

21 al 23 de Mayo 2013

UNLP

Segundas Jornadas de Investigación y Transferencia

de Ingeniería para Ingeniería

Calle 1 y 47 | secit@ing.unlp.edu.ar | http://www.ing.unlp.edu.ar

2° Jornadas
I&T 2013
21, 22 y 23 de mayo de 2013

Resúmenes extendidos - 2013

Secretaría de Investigación y Transferencia
Facultad de Ingeniería - UNLP

Ing. Liliana M. Gassa
Secretaria de Investigación y Transferencia

Lic. Gabriela Caorsi
Directora de Investigación y Transferencia

Sra. Marcela Mannino
Asistente

Segundas Jornadas de Investigación y Transferencia / Marcos D. Actis ... [et.al.] ; coordinado por Gabriela Caorsi y Liliana Mabel Gassa. - 1a ed. - La Plata : Universidad Nacional de La Plata, 2014.
E-Book.

ISBN 978-950-34-0946-6

1. Ingeniería. 2. Investigación. 3. Actas de Congresos. I. Actis, Marcos D. II. Caorsi, Gabriela , coord. III. Gassa, Liliana Mabel , coord.
CDD 620.007 11

Fecha de catalogación: 05/04/2013

Autoridades de la Facultad de Ingeniería

- **Decano**
  Dr. Ing. Marcos Actis
- **Vicedecano**
  Mag. Ing. José Scaramutti
- **Secretario Académico**
  Dr. Augusto Melgarejo
- **Secretaria de Investigación y Transferencia**
  Ing. Liliana Mabel Gassa
- **Secretario de Extensión**
  Ing. Horacio Frene
- **Secretaria de Gestión y Seguimiento de Actividades Curriculares**
  Cta. Cfica. Rossana Di Domenicantonio
- **Prosecretario Académico**
  Ing. Fernando Gutiérrez
- **Prosecretario de Vinculación Tecnológica**
  Ing. Esteban Bulacios
- **Director de la Escuela de Postgrado y Educación Continua (EPEC)**
  Dr. Ing. Sergio Giner

Indice

Aeronáutica

IA1 ANALISIS DEL PATRÓN DE FLUJO EN LA ESTELA DE UN PERFIL AERODINÁMICO CON SISTEMA ACTIVO DE CONTROL DE FLUJO **P. 18**
Colman, Jorge; Delnero, Juan S.; Marañón Di Leo, Julio; García Saínz, Mariano; Alasia, Gonzalo R. ; Ortiz, Pablo Manuel y Garnica, Alvaro David. ***LID LACLyFA***

IA2 ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA DOBLE PÉRDIDA EN UN PERFIL AERODINÁMICO **P. 24**
Cánchero, Andrés; Marañón Di Leo, Julio; Delnero, Juan S.; Monteagudo, Juan P. y Echapresto Garay, Iban. ***LID LACLyFA***

IA3 CONTROL DE FLUJO ACTIVO SOBRE UNA CAVIDAD A BAJO NÚMERO DE REYNOLDS **P. 30**
García Saínz, Mariano; Marañón Di Leo, Julio; Delnero, Juan S.; Colman,Jorge y Algozino, Santiago. ***LID LACLyFA***

IA4 EFECTOS FLUIDODINÁMICOS SOBRE UN ALA DEBIDO A UNA CONFIGURACIÓN PUSHER **P. 37**
Corsaro, J.P.; Hernández C.S, Marañón Di Leo, Julio y Rimoldi,Claudio. ***LID LACLyFA***

IA5 DISPOSITIVO DE LIBERACIÓN PROGRESIVA **P. 42**
Greco, Axel E.; Martínez del Pezzo, Andrés; Bottani, Asdrúbal E. ***UID - GEMA***

IA6 DISEÑO DE MONTURA DAVIES-COTTON DE TELESCOPIO CHERENKOV DE 6M DE DIÁMETRO PARA EL PROYECTO CTA **P. 48**
Actis,Marcos D.; Ringegni,Pablo L.; Bottani, Asdrúbal E. y Vallejo,Gonzalo. ***UID - GEMA***

IA7 ESTUDIO DEL COLAPSO DE TUBOS CUADRADOS DE PARED DELGADA SOMETIDOS A COMPRESIÓN **P. 54**
Mundo, Luis Mariano. ***UID - GEMA***

IA8 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA TÉRMICA DE SUJECIONES MECÁNICAS DE UN COMPONENTE DE APLICACIÓN ESPACIAL **P. 60**
Moore, Ignacio; Pardo, Cristian F. y Scandura, Matías. ***UID - GEMA***

IA9 CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO DE ECODUCTOS **P. 66**
Visus, Marcos; Porritielo, Francisco; Martínez del Pezzo, Andrés. ***UID - GEMA***

IA10 SIMULACIÓN Y ENSAYO DE RIGIDEZ TORSIONAL DE UN CHASIS DE UN VEHÍCULO TODO TERRENO **P. 70**
Martínez del Pezzo, Andrés; Cavallin, Benjamin y Actis, Marcos D. ***UID - GEMA***

IA11 DISEÑO ESTRUCTURAL Y SISTEMA DE SUSPENSION Y ARTICULACION DE VEHICULO UNIPERSONAL DE TRES RUEDAS, CON MOTORES ELECTRICOS CON TECNOLOGIA BRUSHLESS **P. 76**
Menghini, Matías; Actis, Marcos D.; Cavallin, Benjamín y Martiarena, Tomás. ***UID - GEMA***

IA12 DETERMINACIÓN NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL DEL INCREMENTO EN LAS FRECUENCIAS NATURALES DE UNA PALA DE GENERADOR EOLICO DEBIDO A SU ROTACION **P. 82**
Menghini, Matías; Martínez del Pezzo, Andrés; Scarabino, Ana E. y Actis, Marcos D. ***UID - GEMA***

IA13 ANALISIS DE IMPACTO LATERAL DE CHASIS JAULA DE VEHICULO UNIPERSONAL DE TRES RUEDAS **P. 88**
Menghini, Matías. ***UID - GEMA***

IA14 IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE FLOTA HABILITADA PARA OPERACIONES BASADAS EN PERFORMANCE (PBN) EN ARGENTINA. **P. 94**
Herrón, Alejandro G.; Pezzotti, Santiago; Di Bernardi, C. Alejandro; Marino, Paolo y Gomez, Rubén. ***GIAI-GTA***

IA15 DETERMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN GASEOSA EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE EZEIZA **P. 100**
Chapela,Matías; Bonopera, Mariano; D'Iorio, Juan Ignacio; Hanna, Walid; Di Bernardi, Alejandro y Piechocki, Joaquín. ***GIAI-GTA***

IA16 DETERMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA EN EL ENTORNO DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE EZEIZA **P. 106**
Bonopera, Mariano; Chapela, Matías; Hanna, Walid, D'Iorio, Juan Ignacio; Di Bernardi, Alejandro; Piechocki, Joaquín. ***GIAI-GTA***

IA17 RELACION ENTRE EL AEROPUERTO Y SU ENTORNO A TRAVÉS DE LAS SUPERFICIES LIMITADORAS DE OBSTÁCULOS.- PLANES URBANOS VERSUS PLANES MAESTROS AEROPORTUARIOS. **P. 112**
Pitrelli, Sergio; Pesarini, Alejandro; Di Bernardi, Alejandro; Herrón, Alejandro y Puebla, Alejandro. ***GIAI-GTA***

IA18 ESTUDIO DE RUIDO EN NAVES INDUSTRIALES DE LA PLANTA ENSENADA DE YPF **P. 118**
Piechocki, Joaquín; Nadal Mora, Vicente J.; Pezzotti Santiago; Martiarena, Juan; Coppa, Matías; Pesarini, Alejandro y Barberis, Walter. ***GIAI-GTA***

IA19 ESTUDIO DE CARGA TÉRMICA EN NAVES INDUSTRIALES DE LA PLANTA ENSENADA DE YPF **P. 124**
Nadal Mora, Vicente J.; Piechocki, Joaquín; Pezzotti Santiago; Faut, Rogelio; Bonopera, Mariano; Pesarini, Alejandro J.y Barberis, Walter. ***GIAI-GTA***

IA20 ANÁLISIS DE LA FLOTA AEROCOMERCIAL EN AMÉRICA DEL SUR Y SU APORTE GASEOSO CONTAMINANTE EN CICLOS LTO **P. 130**
Coppa, Matías; D'Iorio, Juan Ignacio; Di Bernardi, Alejandro y Pesarini, Alejandro. ***GIAI-GTA***

IA21 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE SISTEMA DE REFRIGERACIÓN FORZADA PARA UN MOTOR ALTERNATIVO AERONÁUTICO REFRIGERADO POR AIRE **P. 136**
Bonopera, Mariano; Piechocki, Joaquín; Di Bernardi, Alejandro; Nadal Mora, Vicente; Pezzotti, Santiago y Fabiani, Gustavo. ***GIAI-GTA***

IA22 SITUACIÓN AL 2012 DE LA COBERTURA DE LOS SISTEMAS DE NAVEGACIÓN AÉREA EN LA REPUBLICA ARGENTINA **P. 142**
Pezzotti, Santiago; Herrón, Alejandro; Walid, Hanna; Carasay, David y Pitrelli, Sergio. ***GIAI-GTA***

IA23 ANALISIS DE INESTABILIDADES FLUIDODINÁMICAS EN VEHÍCULOS ESPACIALES DE COMBUSTIBLE LÍQUIDO **P. 148**
Bruno, Leonardo J. A.; Hollar Dalmau, Pablo G. y Scarabino, Ana E. ***UID GFC***

IA24 ESTUDIO NUMÉRICO DEL FLUJO EN TOBERAS SUPERSÓNICAS DE DISTINTA GEOMETRÍA **P. 154**
Ho, Yen Kun; Jauregui Lorda, Matías; Santoiani, Gastón; Bacchi, Federico y Scarabino, Ana E. ***UID GFC***

IA25 ANALISIS FLUIDODINAMICO DE INYECTORES BI-PROPELENTES **P. 160**
Dabin, Haroldo; Armas, Leonardo y Bacchi, Federico. ***UID GFC***

IA26 ESTUDIO DE CARGAS DINÁMICAS SOBRE UNA PLACA PLANA OSCILANTES EN REGIMEN SUPERSÓNICO MEDIANTE CFD **P. 166**
Delgado, Emilio; Armas, Leonardo y Bacchi, Federico. ***UID GFC***

IA27 ESTUDIO ANALITICO-NUMERICO PARA LA CARACTERIZACIÓN ROTODINÁMICA DE UN SELLO LABERINTICO **P. 172**
Villar, Juan Ignacio; Scarabino, Ana E. y Bacchi, Federico. ***UID GFC***

Agrimensura

AG1 UTILIZACION DE IMÁGENES LANDSAT Y DE RADAR PARA EL ANALISIS DE LAS COSTAS DE LA ISLA MARAMBIO (SEYMOUR), ANTARTIDA ARGENTINA. **P. 179**
Sisti, Jorge; Villamayor, Virginia; Deluchi, Marta; Romero, Cesar; Cabral, Arturo; Argerich, Analía y Savio, Marcelo. ***UID - SIG***

AG2 VERIFICACIÓN DE UN NIVEL OPTICO **P. 185**
Gil, Francisco; Paez,Bruno; Paus, Pablo; San Martín, José; Aldasoro, Roberto y Soto, Jaime R. ***Departamento Agrimensura***

Ciencias Básicas

CB1 CREENCIAS DE ESTUDIANTES PRÓXIMOS A INGRESAR A LA FACULTAD DE INGENIERÍA SOBRE "LA MATEMÁTICA" Y "QUÉ ES HACER MATEMÁTICA" **P. 192**
Cademartori, Patricia M. y Costa, Viviana A. ***UID IMApEC***

CB2 EL USO DE VIDEOJUEGOS EN UN LABORATORIO DE FÍSICA **P. 198**
Gallego Sagastume, Juana I.; Devece, Eugenio; Torroba, Patricia y Videla, Fabián. ***UID IMApEC***

CB3 EL CÁLCULO VECTORIAL EN LA FORMACIÓN DEL INGENIERO. UNA PERSPECTIVA DE ALUMNOS DE LOS ÚLTIMOS AÑOS DE LAS CARRERAS: AERONÁUTICA Y CIVIL **P. 204**
Costa, Viviana Angélica; Landerreche, Francisco y Colman Lerner, Jorge. ***UID IMApEC***

CB4 ACTIVIDADES DE COMPRENSIÓN DE LOS LABORATORIOS UTILIZANDO OBJETOS DE APRENDIZAJE SOBRE LA PLATAFORMA MOODLE **P. 210**
Tocci, Ana. M. ; Fertitta, Abel E. y Visintin, Arnaldo. ***UID IMApEC***

CB5 EXPERIENCIA EN UN CURSO DE ALUMNOS RECURSANTES DE MATEMÁTICA **P. 214**
Altamirano, Natalia; Bertero, María Fernanda; Di Domenicantonio, Rossana; García, Mabel; Langoni, Laura y Trípoli, María de las Mercedes. ***UID IMApEC***

CB6 ECUACIÓN EN DERIVADAS PARCIALES DE POISSON COMO PROBLEMA INVERSO DE MOMENTOS **P. 220**
Pintarelli, María Beatriz y Vericat, Fernando. ***GAMEFI***

CB7 DETERMINACIÓN DE ESTRUCTURAS TURBULENTAS MEDIANTE ALGORITMOS NUMÉRICOS **P. 226**
Calandra, María V.; Marañón Di Leo, Julio y Delnero, Juan S. ***GAMEFI***

CB8 ESTUDIO OPTICO DE LAS LIMITACIONES DE LOS DISPOSITIVOS DE ENCRIPTACION MULTIPLE **P. 232**
Tebaldi, Myrian; Barrera, John Fredy; Bolognini, Néstor y Torroba, Roberto. ***OPTIMO-CIOP***

CB9 LA CURVA DE DIMENSIÓN FRACTAL EN FUNCIÓN DEL NIVEL DE INTENSIDAD COMO DESCRIPTOR DE IMÁGENES: APLICACIONES EN PATRONES DE SPECKLE LASER **P. 238**
Longarzo, Agostina; Grumel, Eduardo; Cap, Nelly L.; Rabal, Héctor y Trivi, Marcelo. ***OPTIMO-CIOP***

CB10 FINALES DE PRIMER AÑO: ESTRATEGIAS DE AYUDA **P. 239**
Guardarucci, María T. y Langoni, Laura. ***Departamento Ciencias Básicas***

CB11 ANSATZ PARA OBTENER LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES DE FISHER DE POTENCIALES CONVEXOS **P. 245**
Flego, Silvana P. ***Departamento Ciencias Básicas***

CB12 ANSATZ -LIBRE DE PARÁMETROS- PARA INFERIR EL ESTADO FUNDAMENTAL DE LA ECUACIÓN DE MATHIEU **P. 251**
Flego, Silvana P. y Palacio, Luis. ***Departamento Ciencias Básicas***

CB13 AUTOFUNCIÓN-ANSATZ PARA EL ESTADO FUNDAMENTAL DE LA ECUACIÓN DE COFFEY-EVANS **P. 257**
Flego, Silvana P. y Uriona, Hugo. ***Departamento Ciencias Básicas***

CB14 CURVATURA ESCALAR RIEMANNIANA EN UN GAS DE ELECTRONES UNIDIMENSIONAL **P. 263**
Melgarejo, Augusto; Tori, Cora I. y Trípoli, María de las Mercedes. ***Departamento Ciencias Básicas***

CB15 MÉTODO DE PROYECCIONES OBLICUAS INCOMPLETAS PARA RESOLVER PROBLEMA DE MÍNIMOS CUADRADOS CON RESTRICCIONES DE CAJA **P. 269**
Echebest, Nélida, Guardarucci, María T.; Scolnik H. ***Departamento Ciencias Básicas***

CB16 AUTOGLOSOMETRO DIAGNOSTICO Y TRATAMIENTO DE LA DISFAGIA **P. 275**
Laquidara, Aníbal P.; Zerbino, Lía M.; Noguera, María y Bogliacino, Nicolás. ***CIOp***

CB17 ANSATZ PARA EL ESTADO FUNDAMENTAL DE LA ECUACIÓN DE SCHRÖDINGER CON UN CAMPO DE FUERZAS CENTRALES **P. 281**
Flego, Silvana P. y Torroba, Patricia L. ***Departamento Ciencias Básicas***

CB18 ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LA TRANSFERENCIA DE IMÁGENES POR MEDIOS GRIN MEDIANTE LA FUNCIÓN MTF Y LA TRANSMISIÓN ESPECTRAL **P. 287**
Corti, María Agustina; Zerbino, Lía M. y Garavaglia, Mario. ***CIOp***

CB19 AUTOMIOESTIMULADOR BIOFEEDBACK APLICADO A LA REHABILITACIÓN **P. 293**
Laquidara, Aníbal P.; Zerbino, Lía M. ; Lagraña, Carolina y Yedinak, Ezequiel. ***CIOp***

CB20 MEDICION Y REGISTRO DE PATRONES DE PRESION DE SUCCION EN LACTANTES **P. 299**
Laquidara, Aníbal P.; Zerbino, Lía M.; Gulich, Damián; Cortez,Susan y Jury, Silvia. ***CIOp***

CB21 LA MULTIFRACTALIDAD Y EL EFECTO DE LA TURBULENCIA EN LA DINÁMICA CAÓTICA DE UN LÁSER DE HENE **P. 305**
Gulich, Damián; Funes, Gustavo; Zunino, Luciano y Garavaglia, Mario. ***CIOp***

CB22 RECIENTES AVANCES EN TECNOLOGÍA DE IFOG Y POSIBLES APLICACIONES EN GEOFÍSICA **P. 310**
Alustiza, Diego H.; Mineo,Marcos; Skou, Pedro; Manno, Francisco J. y Garavaglia, Mario. ***CIOp***

Construcciones

IC1 ENTREPISO DE EDIFICIO EN CONSTRUCCION AFECTADO POR INCENDIO. EVALUACION DE LA MAGNITUD DEL DETERIORO **P. 318**
Ferreyra Hirschi, Enrique; Eperjesi, Lilian y Vicente, Ariel. ***UID LEMEIC***

IC2 SISTEMA DE GESTION VIAL: APLICACIÓN EN LA CIUDAD DE MAR DEL PLATA **P.324**
Daguerre, Lisandro; Capra, Bernardino A.; Frígoli Albert, Elisa; Larsen,Diego; Williams, Eduardo A.; Tidone, Leda; Faiella, Pablo; Bolgeri, Fernando y Schvartzer, Fabián. ***LID LaPIV***

IC3 MACROFIBRAS SINTETICAS PARA EL REFUERZO DE HORMIGON **P. 330**
Giaccio, Graciela M.; Bossio, María E.; Monetti, Diego H.; Morea, Francisco; Torrijos, María C. y Zerbino, Raúl. ***Departamento Construcciones***

IC4 DETERMINACIÓN DEL ESTADO TÉRMICO Y TENSIONAL A EDAD TEMRPANA EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MASIVO **P. 336**
Rocco, Claudio G.; Lamattina, Rafael y Villa,E. Ignacio ***Depto. Construcciones***

IC5 ANÁLISIS NUMÉRICO DE LA ESTABILIDAD DE FISURAS EN PRESAS DE HORMIGÓN **P.343**
Villa, E. Ignacio; Zapittelli, María Paula y Rocco, Claudio G. ***Departamento Construcciones***

IC6 APLICACIÓN DE UN MÉTODO DE RESOLUCIÓN IMPLICÍTO Y UNO EXPLÍCITO AL ESTUDIO DE UN PROBLEMA DE FRACTURA NO LINEAL **P. 349**
Zapittelli, María Paula. ***Departamento Construcciones***

Electrotécnia

IE1 CRITERIOS DE DIAGNÓSTICO DE MÁQUINAS ROTANTES DE MEDIA TENSIÓN **P. 356**
Wall,Carlos A.; Catalano,Leonardo J.; Ríos, Javier y Trincado, Pablo. ***IITREE-LAT***

IE2 DESBALANCES EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN. EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS MÉTODOS EXISTENTES PARA SU DETERMINACIÓN. **P. 363**
Issouribehere, Pedro E.; Barbero, Juan C.; Barbera, Gustavo A.; Issouribehere, Fernando y Mayer, H. Gastón. ***IITREE-LAT***

IE3 METODOLOGÍA PARA LOS ESTUDIOS DE REACELERACIÓN Y REARRANQUE DE MOTORES DE INDUCCIÓN CORRESPONDIENTE A UNA PLANTA INDUSTRIAL **P. 370**
Barbero, Santiago; Barbieri, María Beatriz; Beroqui, Mario y Biteznik, Carlos Ezequiel. ***IITREE-LAT***

IE4 DESARROLLOS ELECTRONICOS Y FOTONICOS EN SISTEMAS DE COMUNICACIONES OPTICAS. **P. 376**
Costanzo Caso, Pablo A.; Rabal, Sebastián; Morbidel, Leonardo; Tenaglia, Carlos; Natoli, Alejandro; Paulucci, Emanuel y Bulus Rossini, Laureano A. ***Departamento Electrotecnia***

IE5 LECTOR DE TARJETAS SD EN MICROCONTROLADOR NXP **P. 384**
Antonini, Luis; Osio, Jorge y Rapallini, Jose. ***CeTAD***

IE6 SISTEMA EMBEBIDO PARA CORRECCION DE ERRORES. IMPLEMENTADO EN LOGICA PROGRAMABLES. **P. 390**
Capossio, Leonardo; Osio, Jorge R.; Aroztegui, Walter y Rapallini, José A. ***CeTAD***

IE7 ADPATADOR USB a LPT PARA LA RECUPERACION DE EQUIPOS DE REHABILITACION. ALGORITMO DE SOBEL PARA LA DETECCION DE BORDES. **P. 392**
Barragán, Javier; Anaut, Fernando; Osio, Jorge R.; Rapallini, José A.; Ferrari, Flavio y Cordero, Cristina. ***CeTAD***

IE8 CONTROL DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CON ASISTENCIA DE RED PARA LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO **P. 399**
García Clúa, José G.; Inthamoussou, Fernando A.; Cendoya, Marcelo G.; Mantz, Ricardo J. y De Battista, Hernán. ***LEICI***

IE9 ELECTRODOS CAPACITIVOS. CAPTURA DE SEÑALES BIOMÉDICAS SIN CONTACTO **P. 405**
Spinelli, Enrique; Haberman, Marcelo; García, Pablo y Guerrero, Federico. ***LEICI***

IE10 IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMO MULTIVARIABLE BUMPLESS BASADO EN MODO DESLIZANTE **P. 411**
Garbati, Gustavo D. y Garelli, Fabricio. ***LEICI***

IE11 ESTIMACION DE LA CONDUCTIVIDAD DEL CRANEO Y CUERO CABELLUDO MEDIANTE TOMOGRAFIA DE IMPEDANCIA ELECTRICA **P. 420**
Fernández-Corazza, Mariano; Beltrachini, Leandro; von Ellenrieder, Nicolás y Muravchik, Carlos H. ***LEICI***

IE12 PRODUCCIÓN DE H2 BASADA EN GDR Y ASISTIDA POR RED DÉBIL. TOPOLOGÍA, OPERACIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA **P. 426**
Camocardi, Pablo A.; Toccaceli, Graciela M.; Battaiotto, Pedro E. y Cendoya, Marcelo G. ***LEICI***

IE13 DISPOSITIVO DE ASISTENCIA A DISCAPACITADOS MOTORES: SWITCH CONTROLADO POR SEÑALES ELECTROMIOGRÁFICAS **P. 432**
Haberman, Marcelo y Spinelli, Enrique. ***LEICI***

IE14 RECEPTOR GNSS MULTIANTENA PARA APLICACIONES AEROESPACIALES **P. 438**
Cogo, Jorge; López La Valle, Ramón G.; Puga, Gerardo L.; Smidt, Javier A.; Díaz, Juan G.; García, Javier G.; Roncagliolo, Pedro A. y Muravchik, Carlos H. ***LEICI***

IE15 INTRODUCCION AL SISTEMA SATELITAL ARGENTINO DE RECOLECCION DE DATOS AMBIENTALES. **P. 444**
Carlotto, Adrián; Juárez, José María y Sager, Gerardo. ***UID GrIDComD***

IE16 INTERFAZ CEREBRO COMPUTADORA EMBEBIDA BASADA EN POTENCIALES EVOCADOS VISUALES DE ESTADO ESTACIONARIO. **P. 450**
García, Pablo A.; Spinelli, Enrique M. y Toccaceli, Graciela M. ***LEICI***

IE17 DISPOSITIVO MULTICANAL PARA ADQUISICIÓN DE BIOPOTENCIALES **P. 456**
Guerrero, Federico N.; Spinelli, Enrique y Haberman, Marcelo. ***LEICI***

IE18 OBSERVADOR DE SEGUNDO ORDEN PARA VELOCIDADES ESPECÍFICAS EN BIOPROCESOS **P. 462**
Nuñez, Sebastián; De Battista, Hernán; Vignoni, Alejandro y Garelli, Fabricio. ***LEICI***

IE19 PLATAFORMA EXPERIMENTAL PARA EL DESARROLLO Y EVALUACION DE SISTEMAS DE GENERACION HIBRIDOS BASADOS EN PILAS DE COMBUSTIBLE **P. 471**
Talpone Juan I.; Puleston Pablo F.; More Jerónimo J.; Griñó Robert y Cendoya, Marcelo G. ***LEICI***

IE20 FRECUENCIAS ASOCIADAS A LOS FENÓMENOS ESTUDIADOS POR LA COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA EN AMBIENTES RESIDENCIAL- COMERCIAL, INDUSTRIAL Y HOSPITALARIO **P. 478**
Massa, Pablo A. y Baravalle, Francisco. ***LEDE-SIECIT***

IE21 EVALUACIÓN ELECTROENERGETICA EN REDES RURALES CON LA ALTERNATIVA DEL MOTOR DE POLOS IMPRESOS **P. 484**
Vinsón, Edgardo G.; Lemozy, Norberto A. y Massa, Pablo A. ***LEDE-SIECIT***

IE22 ANÁLISIS COMPARATIVO DE SISTEMAS DE MEDICIÓN INTELIGENTES EN EL CONTEXTO DE LAS REDES INTELIGENTES **P. 491**
Dias, Ricardo, Scaramutti, José C., Arrojo, Carlos D. y Nastta, Hernán A. ***LEME***

IE23 CONSTRUYENDO PUENTES DE APRENDIZAJE. UN PROYECTO DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA EN INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA **P. 498**
González, Mónica, Vilche Ernesto y Knopoff, Patricia. ***UID-UNITEC***

IE24 APRENDIZAJE FUERA DEL AULA. APORTACIONES DE LA EXTENSIÓN UNIVERSITARIA **P. 504**
González, Mónica, Vilche Ernesto y Knopoff, Patricia. ***UID-UNITEC***

IE25 COMUNICADOR DIGITAL PARA PERSONAS CON DIFICULTADES PSICOMOTRICES **P. 511**
Czerwien, Juan Carlos; Gialonardo, José Ignacio; Rapallini, José Antonio y Cordero, María Cristina. ***UID-UNITEC CeTAD***

IE26 ESPACIO DE DESARROLLO DE RAMPAS TECNOLOGICAS PARA MEJORA DE LA ACCESIBILIDAD E INCLUSION **P. 516**
Ferrari, Flavio A.; Massarutti, Jorge H.; Sacco, Antonio; Vázquez, Enrique; Rapallini, José A. y Cordero, María C. ***UID-UNITEC CeTAD***

IE27 MODELIZACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE CELDAS SOLARES BASADAS EN NANOESTRUCTURAS SEMICONDUCTORAS **P. 522**
Cédola, Ariel P.; Cappelletti, Marcelo A. y Peltzer y Blancá, Eitel L.
Grupo de Estudio de Materiales y Dispositivos Electrónicos UID GEMyDE

IE28 ESTUDIO SOBRE MATERIALES PARA LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO CON CELDAS SOLARES Y PARA SU ALMACENAMIENTO. **P.528**
Napán Maldonado, Rocío y Peltzer y Blancá, Eitel L. ***UID GEMyDE***

IE29 NOMENCLATURA Y SIMBOLOGIA EN LA REPRESENTACION DE CIRCUITOS ELECTRICOS. **P. 534**
Deorsola, Marcos y Morcelle del Valle, Pablo. ***Departamento Electrotecnia***

IE30 SEGURIDAD ELECTRICA PARA TODOS **P. 540**
Una opción para mitigar accidentes de origen eléctrico en asentamientos barriales
Ing. Horacio M. Frene. ***Departamento Electrotecnia***

IE31 PERFIL DE RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS NO IONIZANTES DE LA CIUDAD DE LA PLATA **P. 546**
Vernieri, Julieta; Rodríguez, Guillermo; Bava, Alberto y Garavaglia, Mario.
Departamento Electrotecnia - CIOp

Hidráulica

IH1 CORRECCIÓN DE VÓRTICES EN DÁRSENAS DE GRANDES ESTACIONES DE BOMBEO **P.553**
Carner, José Luis; Lucino, Cecilia y Liscia, Sergio. ***LID Hidromecánica***

IH2 DESARROLLO E INSTALACIÓN DE INSTRUMENTOS PARA LA VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA OBRA HIDRÁULICA **P. 555**
Guaraglia, Dardo; García, Pablo; Carner, José y Spinelli, Enrique. ***Departamento Hidráulica***

IH3 BALANCE HÍDROLÓGICO EN CUENCAS URBANAS CON POBLACIONES BAJO RIESGO HÍDRICO. LA CAVA DE VILLA ITATÍ. QUILMES, PROV. DE BUENOS AIRES **P. 563**
Angheben, Enrique y Romanazzi, Pablo G. ***Laboratorio de Hidrología***

IH4 ESTUDIOS HIDRAULICO-HIDROLÓGICOS DE EVENTOS EXTREMOS ACONTECIDOS EN LA CUENCA DEL RÍO SALADO DURANTE 2011 Y 2012 **P. 569**
Bianchi, Guillermo J. ***Laboratorio de Hidrología***

IH5 SISTEMAS DE MITIGACIÓN DE INUNDACIONES EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES **P. 575**
Mauriño, Miguel F. ***Laboratorio de Hidrología***

IH6 ALGUNAS PROPUESTAS Y EXPERIENCIAS PARA FAVORECER LA CAPACIDAD DE LOS ALUMNOS EN EL TRABAJO INTERDISCIPLINARIO. **P. 581**
Cipponeri, Marcos; Salvioli, Mónica Laura; Colli, Gustavo Adrían; Afranchi, Andrea Vanina; Paola, Analía Cristina y Servera, Horacio. ***UIDD GA***

IH7 CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES Y MATERIAL PARTICULADO EN LA PLATA Y ENSENADA. **P. 587**
Colman Lerner, Jorge Esteban; Müller, Andrea; Aguilar, Myriam; Matamoros Natalia; Sánchez Erica Yanina; Ditondo, Juan, Herbarth, Olf; Massolo, Laura; Wichmann ,Gunner y Porta, Atilio Andrés. ***LIS***

IH8 ESTUDIOS DE BASE PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA LAGUNA MULITAS DE LA CIUDAD DE 25 DE MAYO (BA) PROPUESTA PARA SU RECUPERACIÓN Y MANEJO SUSTENTABLE. **P. 593**
Porta, Atilio Andrés; Jelinski, Guillermo; Argañaraz, Lucila; Baldovino, Wenceslao; Amarilla, Roberto; Neschuk, Nancy y Salazar Mesia, Daniel. ***LIS***

Ingeniería Química

IQ1 DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO INDUSTRIAL DE CONGELACIÓN DE CRUSTÁCEOS MARINOS MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA **P. 600**
Santos, María Victoria; Dima, Jimena B.; Baron, Pedro J.; Califano, Alicia N. y Zaritzky, Noemí E. ***PROAL***

IQ2 CAMBIOS EN LAS CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES Y REOLÓGICAS DE PASTAS LIBRES DE GLUTEN DURANTE EL PROCESO DE COCCIÓN **P. 606**
Larrosa, Virginia J.; Lorenzo, Gabriel; Zaritzky, Noemí E. y Califano, Alicia N. ***CIDCA-PROAL***

IQ3 ANALISIS TÉRMICO Y FLUIDODINÁMICO DE UN CALEFACTOR A GAS DE TIRO BALANCEADO **P. 612**
Mariani, Néstor J.; Pereiras, Roberto; Keegan, Sergio D. y Barreto, Guillermo F. ***PROIRQ***

IQ4 OXIDACION PREFERENCIAL DE CO MEDIANTE CATALIZADORES DE Cu y Pt sobre CeO2-Al2O3 **P. 618**
Núñez, Natalia E.; Bideberripe, Hernán P.; Casella, Mónica y Siri, Guillermo. ***PIDCAT***

IQ5 PURIFICACIÓN DE SISTEMAS EQUIVALENTES A EFLUENTES COLOREADOS DE CURTIEMBRES UTILIZANDO MINERALES ARCILLOSOS **P. 624**
Volzone, Cristina; Gallegos, Norma Graciela y Stábile, Franco Matías CETMIC-CINDECA- ***Ingeniería Química***

IQ6 REUTILIZACION DEL CROMO (III) CONTENIDO EN EL LIQUIDO RESIDUAL DEL CURTIDO. **P. 629**
Hintermeyer, Blanca H.; Lacour, Norman H. y Tavani, Eduardo. L. ***CETMIC***

Mecánica

IM1 SOLDADURA POR FRICCIÓN Y AGITACIÓN DE PLACAS DE ALUMINIO 5086. Vucetich, Danilo A.; Lacoste, Juan L.; Feloy, Lucas E. y Gonzalez, Alfredo ***C. LIMF*** **P. 636**

IM2 EVALUACION DEL TRATAMIENTO TERMICO DE HOMOGENEIZADO A TRAVES DE ENSAYOS DE IMPACTO **P. 642**
Lambertucci, Luis Augusto; Maffia, Ernesto Gustavo y González, Alfredo. ***C. LIMF***

IM3 VISUALIZACION DE MACLAS EN PARTICULAS DE SILICIO EN ALEACIONES DE ALUMINIO PARA MOLDEO. Cozzarín, Ana Laura.; Davanzo, Juan A.; Echarri, Juan M. y González, Alfredo. ***C. LIMF*** **P. 648**

IM4 EFECTOS DEL TRATAMIENTO DE HOMOGENEIZADO EN LA EXTRUDABILIDAD DE LA ALEACIÓN AA – 6063 **P. 655**
Echarri, Juan Manuel; Jodra, Sebastián, Culcasi, J. Daniel y Echarri, Tomás. ***LIMF***

IM5 SERVICIO DE MICROSCOPÍA ELECTRÓNICA DE BARRIDO Y MICROANÁLISIS DEL LIMF – FACULTAD DE INGENIERÍA – UNLP **P. 660**
Kang, Kyung W.; Echarri, Juan M. y Llorente, Carlos. ***L. LIMF***

IM6 CARACTERIZACION SUPERFICIAL DE 316LVM BLASTINIZADO Y PASIVADO PARA SU APLICACIÓN COMO BIOMATERIAL. **P. 666**
Lemos Barboza Adriana.L., Kang Kyung.W.; Pereda M.D.; Bonetto R.;Llorente, Carlos; Bilmes, Pablo y Gervasi, Claudio. ***LIMF-LICTE***

IM7 NUEVAS TÉCNICAS DE RELEVAMIENTO: EL PHOTO SCANNING. **P. 672**
Defranco, Gabriel H.; Fuertes, Laura L.; Gavino, Sergio J. L.; Lopresti, Laura A.; Lara, Marianela y Barba, Salvatore. ***UID - GIGA***

IM8 DESARROLLO DE UNA ANIMACION PARA UN ANTEPROYECTO DE APROVECHAMIENTO DE ENERGIA MAREOMOTRIZ. **P. 678**
Defranco, Gabriel H.; Fuertes, Laura L.; Gavino, Sergio J. L.; Lopresti, Laura A., Lara, Marianela. Colaboración ayudante alumno Nestor Eyroa. ***UID – GIGA***

IM9 PROYECTO DE UN AUTOBÚS URBANO ELÉCTRICO PARA EL TRANSPORTE DE PASAJEROS **P. 684**
Sacco, Juan; Blanco, Alberto R.; Vucetich, Danilo A.; Pierre Castell, Andrea V.; Matera, Román y Bellomo, Sebastián. ***UID GETVA***

IM10 PROYECTO DE PLANTA MODULAR PARA DISTRIBUCIÓN DE GAS GLP PARA PEQUEÑOS BARRIOS **P. 692**
Blanco, Alberto R.; Pierre Castell, Andrea V.; Matera, Román; Moreda, Pablo; Aquino, Aurelio; Zubimendi, Alejandro. Alumnos: Entraigas, Axel O.; Magaldi, Facundo; Campodónico, Pedro; Molina, Pablo A.; Tedeschi, Nicolás V. y Maggi, Martín ***UID- GETVA***

IM11 LOGISTICA Y DISTRIBUCION DE LA GARRAFA SOCIAL **P. 697**
Blanco, Alberto R.; Pierre Castell Andrea V.; Zubimendi, Alejandro; Matera, Román; Moreda, Pablo; Aquino, Aurelio. Alumnos: Gebauer; Riffo, Erwin H. Alonso, Raúl A.: Macchi, Juan P.; Priemer, Matías M.; Coccoz, Cerini S. y Orlando, Esteban A. ***UID- GETVA***

IM12 ANALISIS DE ESTRUCTURAS CROSS ROPE MEDIANTE EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS Echarri, Tomás; Lopardo, Edgardo; De La Croix, Brian y Saralegui, Gustavo ***UID -DISIM*** **P. 703**

IM13 UN ELEMENTO FINITO VIGA APTO PARA MODELAR SOLIDOS HETEROGENEOS CON ANISOTROPÍA GENERAL. **P. 708**
Echarri, Tomás; Lopardo, Edgardo y Saralegui, Gustavo ***UID – DISIM***

IM14 NANOMATERIALES COMPUESTOS DE POLIMEROS BIODEGRADABLES. **P. 713**
Junciel, Luis D.; Bianchi, Ana E.; Echeverría, Gustavo; Torriani, Iris L.; Eisenber, Patricia; Botana, Adrián; Mollo, Mariana; Torres Sanchez, Rosa M. y Punte, Graciela. ***Facultad de Ingeniería.***

IM15 CAPACITAR CON CONTENCION, PARA LA INCLUSION. UNA EXPERIENCIA ENRIQUECEDORA. **P. 719**
Alvarez, Cecilia; Iparraguirre, Mercedes; Hirsch, Ernesto; Tovio, Daniel y Bonicatto, María ***Departamento Mecánica***

IM16 TECNOLOGÍAS INNOVADORAS PARA POTENCIAR LA ACCIÓN DE LOS ANTIBIÓTICOS SOBRE LAS BACTERIAS ADHERIDAS A SUPERFICIES **P. 725**
Miñán Alejandro; Díaz Carolina; Schilardi, Patricia y Fernández Lorenzo, Mónica. ***Facultad de Ingeniería***

Produccion

IP1 LOS ESTILOS DE APRENDIZAJES Y SU RELACIÓN CON EL DISEÑO CURRICULAR BASADO EN COMPETENCIAS, UN ESTUDIO DE CASO INGENIERÍA SOCIAL FI - UNLP **P. 732**
Carrizo, Enrique y Cervino, Cintia. ***UID - GyDSSTC***

IP2 APROVECHAMIENTO DE BIOMASA A PRODUCTOS DE ALTO VALOR AGREGADO: OBTENCIÓN DE BIOPROPILENGLICOL A PARTIR DE GLICEROL Barbelli, M. Laura; Pompeo, Francisco; Santori, Gerardo F.y Nichio, Nora N. ***TECPRO*** **P. 738**

IP3 INFRAESTRUCTURA DE LA PRODUCCIÓN: CONSUMO DE ENERGÍA EN INDUSTRIAS DE LA REGIÓN DE LA PLATA BERISSO Y ENSENADA. Couselo, Romina; Pendón, Manuela y Williams, Eduardo. ***Departamento Producción. Cátedra de Formulación y Evaluación de Proyectos*** **P. 744**

IP4 RELEVAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA PRODUCCIÓN EN LA REGIÓN DE LA PLATA, BERISSO Y ENSENADA. Couselo, Romina; Pendón, Manuela y Williams, Eduardo. ***Departamento Producción. Cátedra de Formulación y Evaluación de Proyectos*** **P.750**



Aeronáutica

ANALISIS DEL PATRÓN DE FLUJO EN LA ESTELA DE UN PERFIL AERODINÁMICO CON SISTEMA ACTIVO DE CONTROL DE FLUJO

Colman J.[1], Delnero J.[1,2], Marañón Di Leo J.[1,2], Garcia Sainz M.[1,3], Alasia G.[1], Ortiz P.[1] y Garnica A.[1]

[1]Laboratorio de Capa Límite y Fluidodinámica Ambiental, Universidad Nacional de La Plata, Calle 116 e/ 47 y 48, 1900, La Plata.
[2]Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Av. Rivadavia 1917, C1033AAJ, CABA.
[3]Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Calle 526 entre 10 y 11 1900, La Plata.
jcolman@ing.unlp.edu.ar

Palabras Clave: Control de Flujo, miniflap Gurney, turbulencia, frecuencias, escalas.

Introducción

El presente trabajo tiene como objetivo estudiar el desarrollo de las estructuras fluidodinámicas en la estela lejana de un perfil Clark-Y 18, como así también el desarrollo de las mismas cuando se aplican técnicas de control de flujo mediante un miniflap Gurney móvil ubicado en el intradós del modelo en las cercanías del borde de fuga. El estudio de la estela turbulenta cercana a un perfil con sistemas de control nos muestra la configuración del flujo en esas condiciones y los mecanismos de arranque de vórtices. La estela lejana nos da información sobre la performance general del modelo. Precisamente, la conformación de la estela, esto es, su “estructura fluidodinámica”, están directamente vinculados con las modificaciones a la fuerza aerodinámica sobre el perfil debidas a la estructura de la estela cercana al mismo, la cual naturalmente tendrá influencia importante sobre la estela lejana del mismo.

Los objetivos del control de flujo en general consisten, de acuerdo con la conveniencia, en retrasar o adelantar la transición, suprimir o aumentar la turbulencia, prevenir o provocar la separación, con el propósito de reducir la resistencia aerodinámica, aumentar la sustentación, aumentar el mezclado del flujo, inducir la reducción del ruido por métodos fluidodinámicos. Los dispositivos a emplear pueden ser del tipo pasivo y/o activo. Los sistemas pasivos recurren a dispositivos con características geométricas particulares tales como puntas y bordes filosos con ondulaciones determinadas en la región en la que se origina el proceso de separación del flujo. Los sistemas de control activo están caracterizados por perturbaciones forzadas por algún mecanismo externo, por ejemplo flaps oscilantes, dispositivos vibrantes, ondas de sonido, succión periódica, soplado, calentamiento, etc. En el presente trabajo se propone el estudio de los efectos de un miniflap Gurney, capaz de oscilar “up-down” (arriba-abajo), ubicado en el intradós cerca del borde de fuga del perfil el cual, en su movimiento oscilante cambiará la estructura fluidodinámica de la estela del perfil, tanto en la zona cercana como en la media y la lejana, respecto de la que hubiera tenido el mismo sin la presencia del miniflap.

Al dejar el borde de fuga, las capas limites provenientes del extradós y del intradós se desprenden transformándose en capas de corte que se enrollan en vórtices constituyendo la estructura vorticosa característica de la estela mencionada más arriba. A mayor sustentación las capas límites y las mencionadas capas de corte provenientes del intradós y extradós se diferenciaran aun más. Por lo que la estructura vorticosa de la estela cercana será influenciada por la carga aerodinámica y las características del perfil y ello también afectará a la lejana. Siguiendo corriente abajo al flujo descendente (downwash), provocado por el perfil detrás del borde de fuga, se observará la forma en que el dispositivo activo de control cambiará la estructura vorticosa, volviéndola más asimétrica que el caso del perfil limpio. En un estudio experimental y numérico de la estela de un perfil con sustentación en una corriente libre laminar, Hah and Lakshminarayana [1] encontraron que la estela alcanza la simetría tan solo a una longitud de cuerda corriente abajo del borde de fuga.

Escenarios de flujo no estacionario asociado a desprendimiento de estructuras vorticosas conforman un muy complejo cuadro aerodinámico aún no bien entendido. Al respecto resulta útil recordar que para modelos elementales como por ejemplo cilindros circulares hasta la fecha no se encontraron teorías capaces de predecir el coeficiente de resistencia en función del número de Reynolds en condiciones de flujo con desprendimiento de vórtices. Distintos tipos de miniflaps fueron estudiados por numerosos investigadores ([2] a [6]) confirmando un apreciable incremento de sustentación, de la relación sustentación-resistencia y una reducción de la resistencia de forma para condiciones de gran sustentación con respecto a los mismos valores obtenidos para las mismas alas sin ese miniflap. La referencia [6] describe resultados experimentales del comportamiento aerodinámico de estos flaps. Estos autores suponen que los vórtices contra rotantes que de desprenden del borde de fuga inducen líneas de corriente semejantes a las que hubiera provocado una curvada y suave prolongación de la cuerda del perfil aerodinámico, introduciendo una curvatura virtual desviando hacia abajo el punto de estagnación posterior virtual libre (condición de Kutta). Una descripción más detallada de las estructuras del patrón de flujo de estela generado por un miniflap en base a experimentos con anemometría laser Doppler (LDA) fue comunicada en las referencias [7] y [8]. La influencia del empleo de miniflaps de diferentes longitudes fue tratada en la referencia [9], en la cual se describen asimismo aspectos de la influencia de la turbulencia del flujo incidente de la corriente libre. A fin de lograr reducciones de resistencia “estabilizando la estela” algunos autores sugieren el uso de ranuras, agujeros, flaps aserrados y cuerpos de estela [10], mientras que otros recomiendan la directa eliminación de la calle de vórtices contra rotatorios detrás del miniflap ([11], [12]). Otros autores efectuaron experimentos computacionales con generadores de vórtices que actúan dentro de la capa límite del perfil, cerca del borde de fuga [13].

La interrelación entre los diversos éxitos del control de flujo es especialmente importante cuando se forman burbujas de separación en el extradós de los perfiles, dando lugar a la formación de capas de corte (shear layers). Se han efectuado muchos trabajos relativos al empleo de dispositivos pasivos, como los miniflaps fijos, que actúan influenciando la capa de corte ([11], [12]). En ellos se analizó la influencia de las dimensiones de dichos miniflaps sobre los coeficientes de sustentación y resistencia y, por ende, en la eficiencia C_L/C_D. En los mismos se establece que el miniflap debe tener dimensiones iguales o menores que el espesor de la capa límite en la zona donde actúan los mismos. El miniflap, tanto como elemento pasivo o activo, produce perturbaciones que influencian la generación de estructuras en las capas de corte que se van desprendiendo y enrollando en una calle de vórtices. Desde ambos extremos de un miniflap emergen dos capas de corte que se enrollan en un patrón de vórtices alternantes y contra rotantes estableciendo lo que se denomina una *inestabilidad absoluta de estela* [14]. Ensayos realizados en otro trabajo [15] mostraron que en las regiones de la estela cercana detrás del miniflap en donde comienzan su desarrollo los vórtices, se aprecia un importante pico en el espectro de las velocidades fluctuantes indicando claramente la inestabilidad absoluta mencionada más arriba. Otro trabajo [16] se refiere a la influencia del control del flujo en el borde de fuga, en la performance aerodinámica del mismo.

Trabajos más recientes [17] se refieren a la reducción de la resistencia aerodinámica de miniflaps a través de modificaciones tridimensionales (a lo largo de la envergadura de los mismos) y al uso de miniflaps mecánicos y chorros de aire, comparando sus efectos [18]. En el trabajo experimental de Boldes et al [19] se efectuó un análisis primario sobre la asimetría de la estela de un perfil con miniflap y su correlación con el incremento de sustentación.

Resulta importante remarcar que hay pocos trabajos relacionados con el comportamiento aerodinámico de perfiles inmersos en corrientes libres turbulentas, como asimismo sobre el análisis cuidadoso de la estructura vorticosa de la estela de dichos perfiles equipados con dispositivos activos de control de flujo como por ejemplo los miniflaps oscilantes “up-down”.

Las capas de corte vinculadas a los miniflaps activos, en la estela de los perfiles, dependerán de manera importante de las características del flujo libre aguas arriba del perfil como asimismo de las frecuencias de oscilación del miniflap. Ello implica la necesidad de una medición, más detallada que las efectuadas al presente, de la estructura fluidodinámica de la estela, al menos hasta una cuerda detrás del perfil, lo cual motivó la realización del presente trabajo.

Metodología

En el túnel de viento de circuito cerrado del LaCLyFA, cuya sección transversal es de 1,4m por 1m y una velocidad máxima de 20m/s, se efectuaron los ensayos experimentales con un modelo de ala con el perfil Clark Y-18, de 80cm de envergadura y 40cm de cuerda (c), sin torsión geométrica (Figura 1). Los ensayos se efectuaron para un número de Reynolds (Re), basado en la velocidad de la corriente libre y la cuerda del modelo, de 266.666, esto es, para una velocidad media de la corriente libre aguas arriba de 10m/s (V_∞). La intensidad de la turbulencia de la corriente libre fue del 1,8%. El modelo de ala cuenta con un sistema electromecánico que provee de movimiento oscilante vertical a un miniflap tipo Gurney de 6mm de altura (1,5%c), localizado a lo largo de la envergadura a una distancia de 4%c del borde de fuga, en el intradós del modelo de ala. El miniflap se movió con frecuencias de 16Hz, 20Hz y 25Hz, correspondiendo a un valor del número de Strouhal (Str = f.c/V_∞) de: 0.64; 0.8 y 1, respectivamente. En esas condiciones se midieron las velocidades instantáneas con tres sensores (X-wire probes–ver Figura 1) del anemómetro de hilo caliente (Streamline-Dantec). Los sensores se ubicaron uno por encima del otro con una separación vertical de 1cm entre cada uno. La frecuencia de adquisición de datos fue de 2000Hz filtrándose a 1000Hz. Las posiciones-x detrás en la estela (adimensionalizadas según la cuerda “c” del modelo de ala), con el sensor central a nivel del borde de fuga, fueron 0.015; 0.03; 0.045; 0.06; 0.075; 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9 y 1.0. Las determinaciones de las velocidades instantáneas se realizaron para un ángulo de 0°.



Figura 1. Modelo en túnel de viento

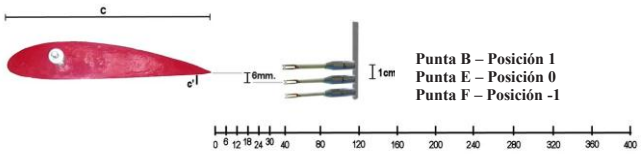


Figura 2. Esquema de medición.

Las configuraciones analizadas fueron: el perfil solo, el Gurney fijo al 4% de C y el Gurney móvil con frecuencias de accionamiento de: F1= 16 Hz; F2= 20Hz; F3= 25Hz.

Para el estudio de la estela se analizaron velocidades medias e instantáneas, intensidades de turbulencia, escalas espaciales y temporales y espectros de frecuencia, para las diferentes configuraciones. En las Figuras 3, 4 y 5 se muestran las velocidades medias para ambas componentes, así como también las intensidades de turbulencia para los casos del perfil solo, el Gurney fijo y a una frecuencia de excitación del flap.

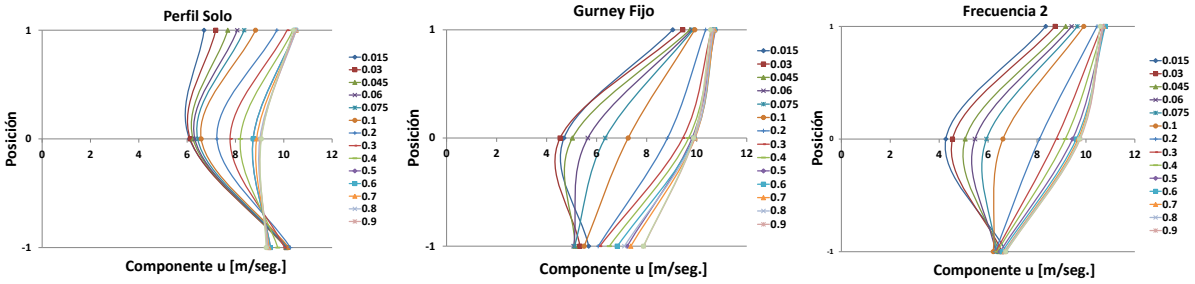


Figura 3. Velocidades en la componente U.

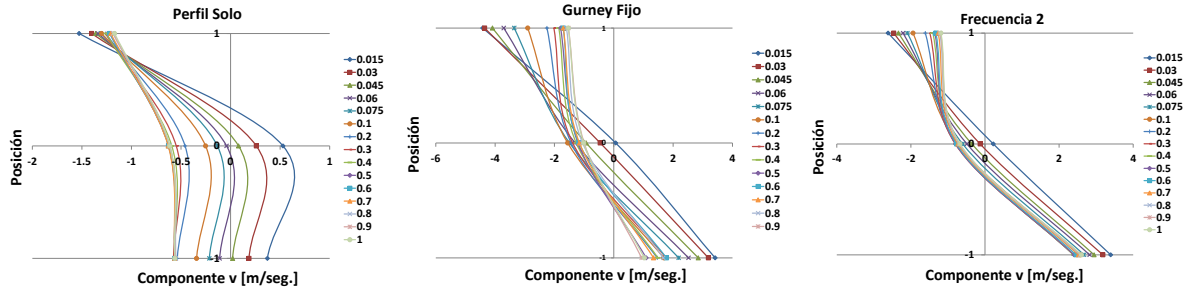


Figura 4. Velocidades en la componente V.

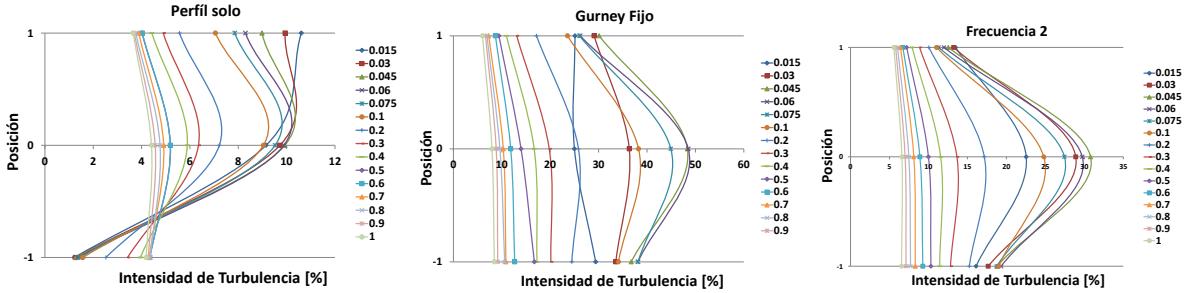


Figura 5. Intensidad de la Turbulencia.

En la Figura 6 se muestran los espectros de densidad de potencia para los casos del perfil solo, el Gurney fijo y una frecuencia de excitación, respectivamente, todos evaluados en el mismo punto y con el mismo sensor.

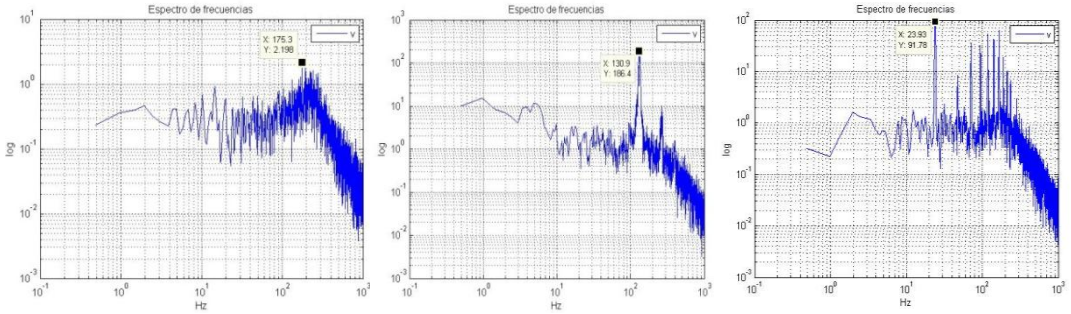


Figura 6. Espectros de densidad de Potencia.

En la Tabla 1 se resumen las escalas espaciales de la turbulencia en la estela del perfil para los diferentes casos, para los 3 sensores y en todas las posiciones corriente abajo.

Análisis de resultados

Respecto de la velocidad en la estela, la componente u de la misma en el perfil solo se incrementa a medida que nos alejamos del mismo (sensor superior – Punta B), el inferior (Punta F) muestra valores prácticamente constantes. Para el Gurney fijo y móvil las velocidades se incrementan. En los Gurney móviles el sensor inferior muestra valores casi constantes, se tienden a emparejar los valores. El flap Gurney genera más downwash en la

Tabla 1. Escalas Espaciales.

Perfil solo

	mm.	6	12	18	24	30	40	80
Punta B	x	155.8	183.6	162.6	50.78	6.348	117.7	191.9
	y	4.657	3.693	3.437	3.445	3.478	2.542	2.718
Punta E	x	33.69	190.4	23.44	18.55	33.2	174.8	212.4
	y	1.985	2.849	3.232	2.663	2.253	2.494	2.346
Punta F	x	43.46	49.8	0.9776	49.8	49.8	49.8	49.8
	y	0.1068	0.2328	0.2367	0.2958	0.4644	0.8061	0.7271
	120	160	200	240	280	320	360	400
Punta B	151.4	235.8	49.8	219.7	219.9	238.8	211.4	49.8
	1.869	1.942	1.728	1.492	1.784	1.38	1.403	1.723
Punta E	187.5	247.1	175.3	206.5	223.6	228.5	211.4	247.1
	2.415	2.417	2.198	1.979	2.064	2.082	2.276	1.973
Punta F	187.5	247.1	243.7	233.4	243.7	228.5	211.4	197.8
	0.8511	1.165	1.241	1.85	1.663	1.784	1.873	1.527

Gurney Fijo

	mm.	6	12	18	24	30	40	80
Punta B	x	120.6	122.6	127	125.5	126.5	128.9	129.4
	y	620.2	977.2	820.6	787.8	750.2	532.8	360
Punta E	x	120.6	122.6	122.6	125.5	126.5	128.9	129.4
	y	71.66	484.2	838.8	1422	1562	1240	893.3
Punta F	x	120.6	122.6	126.5	125.5	126.5	128.9	129.4
	y	650.7	786	463.9	663.2	745.8	531.8	436.7
	120	160	200	240	280	320	360	400
Punta B	131.8	134.8	130.9	130.9	130.9	134.3	133.8	132.8
	171.9	160.2	81.19	65.21	37.21	49.84	25.77	23.85
Punta E	131.8	134.8	130.9	133.8	130.9	134.3	134.3	132.8
	436.3	391.2	186.4	158.6	110.7	153.3	69.76	60.2
Punta F	132.3	134.8	130.9	133.8	130.4	134.3	133.8	130.9
	186.9	213.1	103.7	80.86	57.16	90.4	46.12	36.21

Gurney Movil

	mm.	6	12	18	24	30	40	80
Punta B	x	24.41	23.93	23.93	23.93	23.93	23.93	23.93
	y	578.2	572.5	495.2	370	360.7	256	146.6
Punta E	x	24.41	23.93	23.93	23.93	23.93	23.93	23.93
	y	91.81	184.9	224.7	211.7	234.1	266.8	148.9
Punta F	x	24.41	23.93	23.93	23.93	23.93	23.93	23.93
	y	213.4	143.6	79.8	56.83	61.75	96.88	118.9
	120	160	200	240	280	320	360	400
Punta B	23.93	23.93	23.93	23.93	23.93	23.93	23.93	23.44
	168.8	150.5	17.4	141.6	128.7	120.2	125.5	108.7
Punta E	23.93	23.93	23.93	23.93	23.93	23.93	23.93	23.44
	138.1	113.3	91.78	113.5	108.6	108	119.8	107
Punta F	23.93	23.93	23.93	23.93	23.93	23.93	23.93	23.44
	82.36	49.22	33.7	29.05	28.03	29.59	22.56	24.55

estela cercana, mientras que el Gurney móvil genera más downwash en la estela lejana. El perfil solo mueve flujo hacia arriba en la estela lejana. Para las diferentes frecuencias, este comportamiento, es similar.

En todos los casos las intensidades de la turbulencia de la estela lejana disminuyen y se emparejan. En el caso del Gurney móvil esta disminución es más importante que el caso del Gurney Fijo. La estela del Gurney móvil es menos turbulenta que la estela del Gurney Fijo.

En el caso de los espectros de frecuencia, no se aprecian cambios importantes en la energía de la estela para el caso del perfil solo. Salvo por una pequeña distorsión seguramente provocada por una inestabilidad en el flujo. Se observa para el caso del Gurney fijo una disminución en la energía de la estela. Los espectros del Gurney móvil muestran que la energía se mantiene más estable sobre la estela.

Del análisis de las funciones de autocorrelación, tomando el criterio del decrecimiento exponencial y la hipótesis de flujo congelado, se determinaron las escalas temporales y espaciales de la turbulencia (como ejemplo ver Tabla 1). Para todos los casos se observa que las escalas aumentaron en la estela lejana. Para el caso de Gurney móvil y fijo las escalas son muy similares. Comparando con el perfil solo las escalas son de aproximadamente la mitad que las correspondientes al Gurney móvil. En el caso del Gurney móvil se observa un comportamiento atípico en las distribuciones de energías medidas con el sensor central. Para las otras frecuencias se dan comportamientos similares.

Conclusiones:
El Gurney móvil genera una estela menos turbulenta que la del perfil con Gurney Fijo. El Gurney móvil genera más downwash que el Gurney fijo en la estela lejana. Las escalas espaciales de la turbulencia aumentan en el caso del Gurney fijo y Gurney móvil con respecto al perfil solo. La energía de la estela del Gurney fijo va disminuyendo a diferencia del Gurney móvil el cual no tiene un comportamiento determinado.

Bibliografía

1. Hah C., Lakshminarayana B.,"Measurement and prediction of mean velocity and turbulence structure in the near wake of an airfoil," *Jr. Fluid Mechanics*.Vol.115, 1982 pp. 251-282.
2. Liebeck, R.H.,"Design of subsonic airfoils for high lift," *Jr.Aircraft*Vol.15, No.9, 1978, pp 547-561.
3. Neuhart, D.H., Pendergraft, O.C.,"A water tunnel study of Gurney flaps,"NASA TM-4071, 1988.
4. Bloy, A.W., Durrant, M.T., "Aerodynamic Characteristics of an aerofoil with Small Trailing Edge Flaps," *Wind Engineering,* Vol. 19, No.3, 1995, pp 167-172.
5. Storms, B.L., Jang, C.S., "Lift Enhancement of an Airfoil Using a Gurney Flap and Vortex Generators," *Journal of Aircraft* Vol. 31, No. 3, 1994, pp 542-547.
6. Giguére, P., Lemay, J., Dumas, G., "Gurney Flap Effects and Scaling for Low-Speed Airfoils," AIAA Paper 95-1881, 13th AIAA Applied Aerodynamics Conference San Diego, 1995.
7. Jeffery, D.R.M., Hurst, D.W., "Aerodynamics of the Gurney Flap," AIAA Applied Aerodynamic Conference, AIAA 96-2418-CP, 1996.
8. Jeffrey, D., Zhang, X., Hurst, D.W., "Aerodynamics of Gurney Flaps on a Single-Element High-Lift Wing," *Journal of Aircraft*, Vol. 37, 2000, pp. 295-301.
9. Bacchi, F., Marañón Di Leo, J., Delnero, J. S., Colman, J., Martinez, M., Camocardi, M., Boldes, U., "Determinación experimental del efecto de mini flaps Gurney sobre un perfil HQ–17" *Fluidos-2006 IX Reunión Sobre Recientes Avances en Física de Fluidos y sus Aplicaciones,* Mendoza, Argentina, 2006.
10. Van Dam, C.P. Yen, D.T., Vijgen, P.M.H.W. "Gurney Flap Experiments on Airfoil and Wings," *Journal of Aircraft* (0021-8669), Vol.36, No.2, 1999, pp. 484-486.
11. Bechert, D.W., Meyer, R., Hage, W., "Drag Reduction of Airfoils with Miniflaps. Can We Learn From Dragonflies?," AIAA-2000-2315, Denver, CO, 2000.
12. Schatz, M., Guenther, B., Thiele, F."Computational Modeling of the Unsteady Wake behind Gurney-Flaps,"2nd AIAA Flow Control Conference, AIAA-2417, Portland, USA, 2004.
13. Zulkefli, N.F.; Hussin, F.; Abdullah, M.Z. & Ahmad, K.A. "Numerical investigations of flow field induced by sub-boundary layer vortex generators". Int. Rev. of Aerospace Eng. (IREASE). Praise Worthy & Prize. Feb. 2010
14. Huerre, P., Monkewitz, P., "Absolute and convective instabilities in free shear layers," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 159, 1985, pp. 151-168.
15. Boldes, U.; Delnero, J.; Marañón Di Leo, J.; Colman, J.; Camocardi, M. & François, D. "Influencia en la sustentación, de los vórtices de la estela de un perfil con miniflap tipo Gurney". Actas 1er Congreso Nacional de Ingeniería Aeronáutica. La Plata. Dic. 2008.
16. Gai, S.L.; Palfrey, R. "Influence of trailing-edge flow control on airfoil performance". *Journal of Aircraft* 40, Nro. 2. 2003.
17. Meyer, R; Hage, W.; Bechert, D; Schatz, M.; Frank Thiele. "Drag Reduction on Gurney Flaps by Three-Dimensional Modifications". *Journal of Aircraft* 43 Nro.1. 2006
18. Traub, L.; Miller, A.; Rediniotis, O. "Comparisons of a Gurney and jet flap for hinge-less control". *J. of Aircraft* 41, Nro. 2. 2004.
19. Boldes, U; Delnero, J.S.; Maranón Di Leo, J; Colman, J; Camocardi, M. "The wake asymmetry of an airfoil with a Gurney flap and their connection with the observed lift increase". International Review of Aerospace Engineering Vol. 3, #2 (2010).

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA DOBLE PÉRDIDA EN UN PERFIL AERODINÁMICO

Cánchero, Andrés; Marañón Di Leo, Julio; Delnero, Juan S.; Monteagudo, Juan P. y Echapresto Garay, Iban

Laboratorio de Capa Límite y Fluidodinámica Ambiental, LaCLyFA, Universidad Nacional de La Plata, Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Argentina, andres.canchero@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: Doble pérdida, FX 63137, visualización doble pérdida, pérdida dinámica.

Introducción

Este trabajo analiza de manera experimental el efecto conocido como “doble pérdida” sobre un perfil aerodinámico bajo condiciones de flujos turbulentos incidentes. En este caso un perfil Wortmann FX 63-137, utilizado en palas de aerogeneradores.

La aparición de más de una solución para el patrón de flujo alrededor de un perfil aerodinámico operando a un determinado ángulo de ataque en la región de pérdida puede ser estudiada mediante la aerodinámica de grandes ángulos y sus mecanismos asociados.

Fenómenos de separación de flujo son frecuentes en aeronaves operando a grandes ángulos de ataque, en virajes escarpados, en vuelos acrobáticos, en aeronaves volando en atmósferas turbulentas, en vuelo en las estelas de otras aeronaves, en alas interactuando con vórtices, en rotores de helicópteros perturbados por turbulencia atmosférica o en la estela de la pala precedente y en turbinas eólicas.

El ángulo de pérdida estática es el ángulo mínimo en el cual un perfil alar expuesto, de manera estática, a una corriente uniforme comienza a manifestar fenómenos de pérdida. Partiendo de pequeños ángulos de ataque la sustentación crece normalmente en forma lineal con el aumento del ángulo de ataque. Se suele aceptar que el ángulo de pérdida es aquel primer ángulo para el cual se aprecia un significativo apartamiento de esta relación lineal. Esto debe ser considerado como una simple definición destinada al uso práctico, pues físicamente el apartamiento de un comportamiento lineal no necesariamente debe estar asociado al comienzo del verdadero proceso de separación de flujo y al cambio de patrón de flujo que caracteriza a una entrada en pérdida.

La problemática propuesta forma parte de los fenómenos no estacionarios de separación asociados a soluciones múltiples. La separación no estacionaria es uno de los problemas más importantes aún no resueltos de la mecánica de los fluidos, en particular, para flujos en condiciones turbulentas. El interés en lograr un mayor conocimiento de estos fenómenos nace de sus múltiples campos de aplicación entre los que cabe mencionar aeronaves y sus componentes, helicópteros, turbinas, compresores, flujos a través de conjuntos de caños, canales ramificados, dispositivos generadores de turbulencia, palas de aerogeneradores, etc.

En lo que respecta al fenómeno característico en perfiles aerodinámicos podemos desarrollar el concepto para explicar en forma detallada el patrón del campo del flujo que produce este efecto particular. Partiendo de grandes ángulos de ataque con flujo aún adherido, a medida que sigue aumentando el ángulo de incidencia comienza a aparecer sobre el borde de ataque del perfil un flujo recirculante formando parte de un vórtice contenido dentro de una corta burbuja de recirculación. Mientras este patrón recirculatorio sea pequeño, no producirá apartamientos importantes de la relación lineal sustentación-ángulo de ataque. Pero para ángulos de ataque suficientemente grandes, con tamaños de burbuja de recirculación crecientes se apreciará el comienzo del proceso de separación.

Cuando un perfil alar es orientado bruscamente según un ángulo de ataque suficientemente grande con respecto a una corriente, puede ocurrir un proceso denominado pérdida dinámica. Diferentes tipos de pérdida han sido identificados en el pasado [1], [2], [3]. El tipo de pérdida que más se está estudiando actualmente es el que ocurre a altos números de Reynolds en la región ubicada sobre el borde de ataque de modernos perfiles delgados [3], [4], [5], [6].

El objetivo del trabajo consiste en determinar la configuración fluidodinámica general en la pérdida dinámica del modelo. Se pretende estudiar la estabilidad de los patrones de flujo, del proceso de formación y evolución de burbujas de separación, en condiciones de operación y entrada en pérdida.

Metodología

Se llevó a cabo un estudio experimental en el túnel de viento de capa límite del LaCLyFA de la Universidad Nacional de La Plata. El mismo es un túnel recirculante que cuenta con una sección de prueba de 1,4m x 1,0m x 7,5m y una $V_{máx}$ = 20 m/s. A partir del perfil Wortmann FX 63-137 se construyó un modelo en fibra de vidrio de 0,75m de envergadura y 0,25m de cuerda. La disposición adoptada del modelo dentro del túnel es entre dos paneles verticales (Figura 1) de sección simétrica y con flap posterior variable con el objeto de bidimensionalizar el flujo en toda la envergadura del modelo.

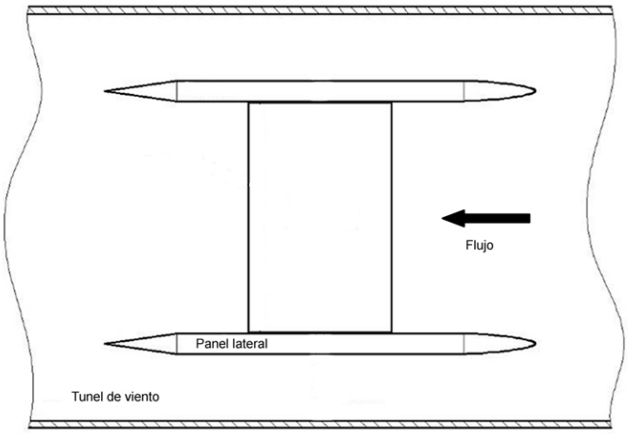


Figura 1. Esquema de paneles y modelo en el túnel de viento.

En primer lugar se caracterizó el perfil mediante un ensayo estático de cargas con una balanza aerodinámica de dos componentes para los diferentes números de Reynolds (100.000, 150.000 y 200.000) y diferentes ángulos de ataque con el fin de obtener los coeficientes aerodinámicos de sustentación y resistencia. Además, se utilizaron dos niveles de intensidad de turbulencia incidente. Los valores obtenidos del ensayo fueron corregidos por tratarse de un ensayo en túnel de viento [7].

Luego se realizó una caracterización cualitativa de la pérdida del perfil en condiciones estáticas mediante diferentes técnicas de visualización de flujo: catavientos sobre el perfil y en la estela del mismo; y se le aplicó una suspensión de magnesio óxido pesado puro en querosene para marcar las líneas de corriente sobre el perfil una vez evaporado el querosene. Para las diferentes técnicas se filmaron videos y se obtuvieron fotografías en alta definición.

Una vez caracterizado el perfil en condiciones estáticas, tanto cuantitativa como cualitativamente, se diseñó un mecanismo de cambio brusco de ángulo de ataque mediante un sistema neumático conformado por un pistón de doble efecto, una electroválvula, reguladores de caudal, un compresor de aire, dos sensores de fin de carrera y un brazo de

palanca. El control del sistema se realiza a través del DAQ Multifunción USB de National Instruments y con el software asociado LabView®. El mismo permitió regular la velocidad de cambio de ángulo de ataque y los límites del mismo. Luego se realizaron los ensayos de visualizaciones con el cambio brusco de ángulo de ataque con los mismos métodos antes mencionados.

A partir de los resultados preliminares de los ensayos de visualización, se procedió a realizar los ensayos de anemometría de hilo caliente, colocando los sensores en zonas estratégicas donde se pretendía encontrar diferencias entre la condición estática y dinámica.

La medición del campo de velocidades instantáneas se realizó con ayuda de un sistema de anemometría de hilo caliente a temperatura constante de seis canales modelo Streamline de Dantec Measurement Technology A/S. Se emplearon sensores dobles (fiber film probes 55R51). Se midieron las componentes fluctuantes de la velocidad corriente abajo del perfil, aguas arriba del perfil (referencia del túnel) y sobre el perfil en dos posiciones medidas desde el borde de ataque a 1/3 de la cuerda y 2/3 de la cuerda (Figura 2), con el fin de obtener una detallada descripción y análisis de las conformaciones fluidodinámicas generadas. Para su análisis se emplearon métodos estadísticos, como herramientas de trabajo, además de otras determinaciones como los espectros de densidad de potencia y las transformaciones wavelets. Mediante las mismas se pueden establecer las características de las escalas turbulentas espaciales y temporales (utilizando 3 sensores en diferentes puntos se pueden realizar correlaciones espaciales), además de las frecuencias de aparición, involucradas en los vórtices que abandonan el perfil corriente abajo.

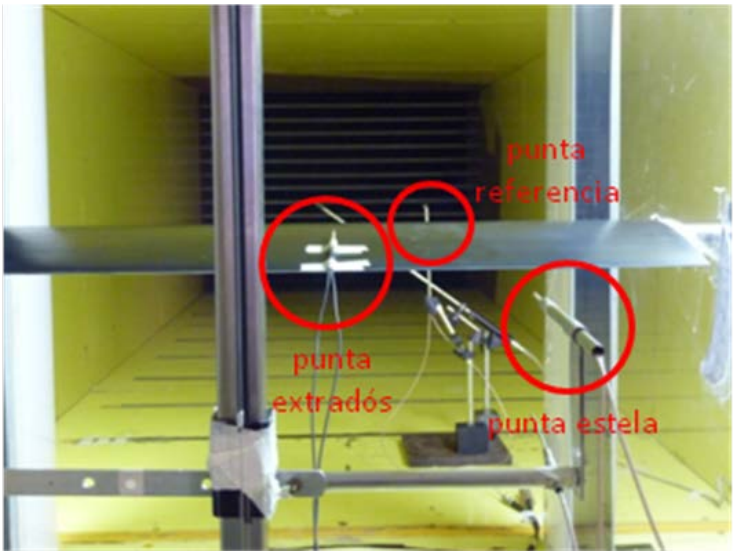


Figura 2. Arreglo de las 3 puntas utilizadas en el ensayo con vista aguas abajo

Resultados

Ensayo de carga (estático)

En la Figura 3 se observa el coeficiente de sustentación versus el ángulo de ataque obtenido a partir del ensayo de cargas y con las correcciones realizadas por tratarse de un ensayo en túnel. Podemos observar que el perfil comienza a entrar en pérdida a partir de los 8° aproximadamente ya que la curva se aparta de la linealidad, sin embargo, el mismo sigue sustentando a valor constante hasta los 19° aprox., donde se produce una caída abrupta dada por la pérdida completa del perfil.

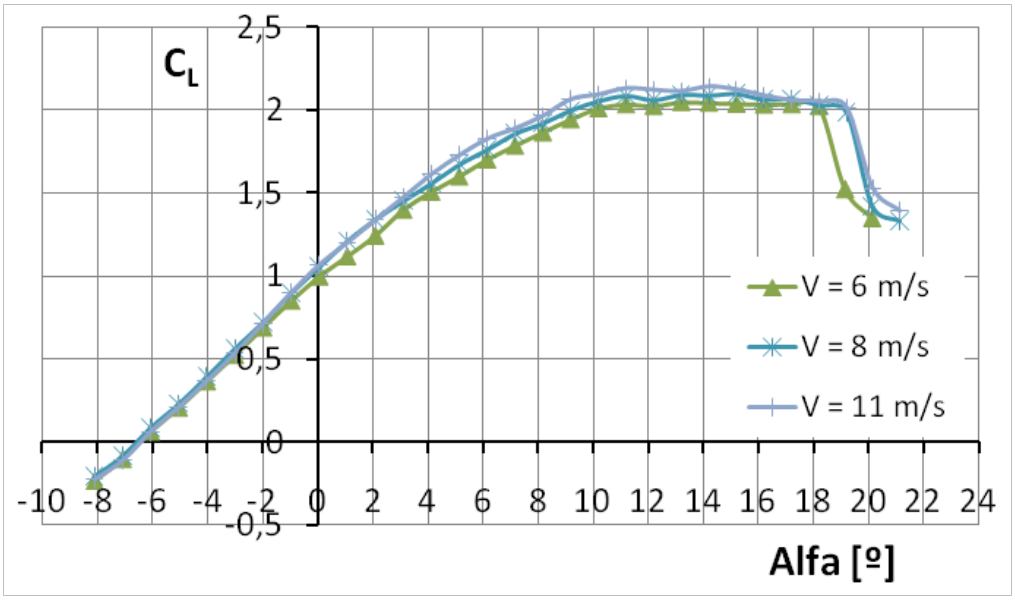


Figura 3.CL vs. α para diferentes velocidades.

Visualizaciones

Los distintos métodos utilizados muestran una concordancia para la entrada en pérdida, hasta los 8° de ángulo de ataque observamos la transición en el borde ataque y no observamos signos de desprendimiento en el borde de fuga (Figura 4).

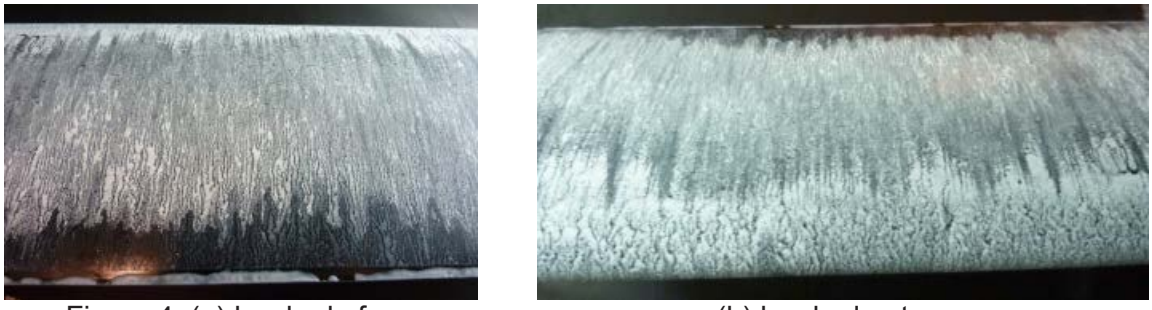


Figura 4. (a) borde de fuga (b) borde de ataque
V = 11 m/s; α = 8° (estático)

Luego, para 13° de ángulo de ataque empiezan a observarse zonas de desprendimiento en el borde de fuga y una burbuja bien marcada en el borde de ataque (Figura 5), característica que se acentúa para ángulos mayores hasta la pérdida completa del perfil en concordancia con el ensayo de cargas.

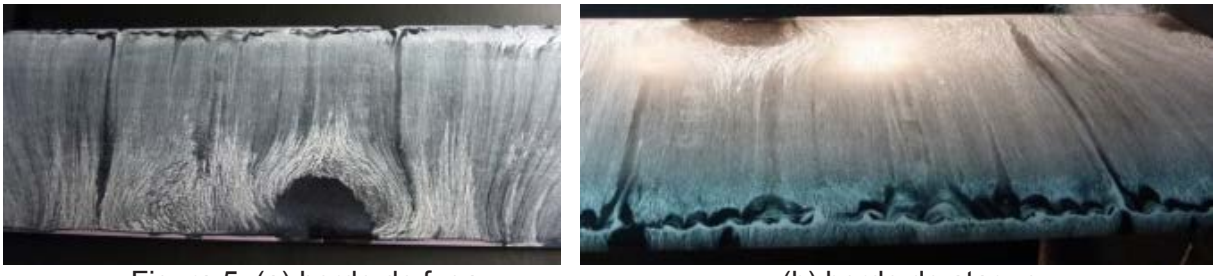


Figura 5. (a) borde de fuga (b) borde de ataque
V = 11 m/s; α = 13° (estático)

Al aplicarse los métodos para el ensayo dinámico con el mecanismo de cambio brusco de ángulo de ataque, se encontraron diferentes soluciones para el patrón de flujo a cierto

ángulo de ataque. En las siguientes figuras se observan las soluciones a 19° para el caso dinámico y estático (Figura 6 y Figura 7 respectivamente). Se observa claramente que en el caso estático se presenta la burbuja de recirculación en el borde de ataque y zona de desprendimiento a partir de la mitad de la cuerda aproximadamente, mientras que en el caso del cambio brusco de 10° a 19° la burbuja no se observa y el desprendimiento en el borde de fuga sobre el extradós se encuentra retrasado con respecto al caso estático.



Figura 6. (a) borde de fuga (b) borde de ataque
V = 11 m/s; α = 10° a 19° (dinámico)



Figura 7. (a) borde de fuga (b) borde de ataque
V = 11 m/s; α = 19° (estático)

Anemometría

Las Figuras 8 y 9 muestran una comparación, de los casos estático a cierto ángulo de ataque y dinámico con un cambio brusco, de las velocidades instantáneas longitudinales y transversales adquiridas con el sensor en la estela del perfil. De la misma manera, está siendo procesada la información adquirida para los diferentes casos y diferentes sensores. Además, se calcularán los espectros de densidades de potencia y transformaciones wavelets para determinar las estructuras turbulentas y buscar soluciones diferentes para iguales ángulos de ataque en pérdida.

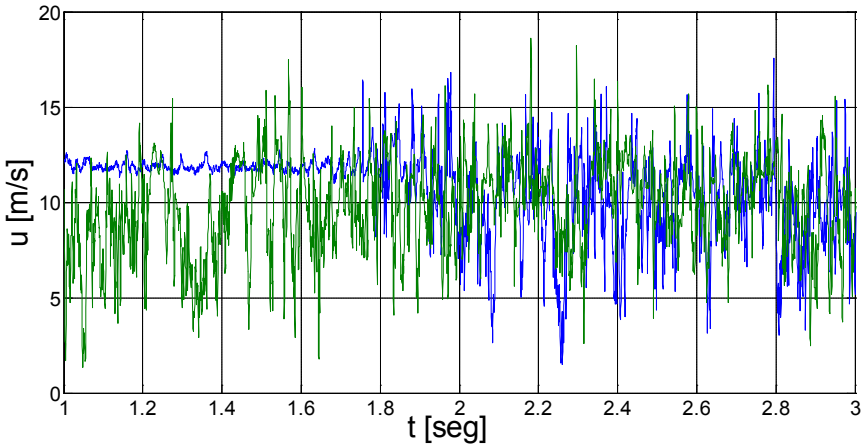


Figura 8. u vs. t para V = 11 m/s; α = 23° (verde – estático) y α = 11° a 23° (azul -dinámico)

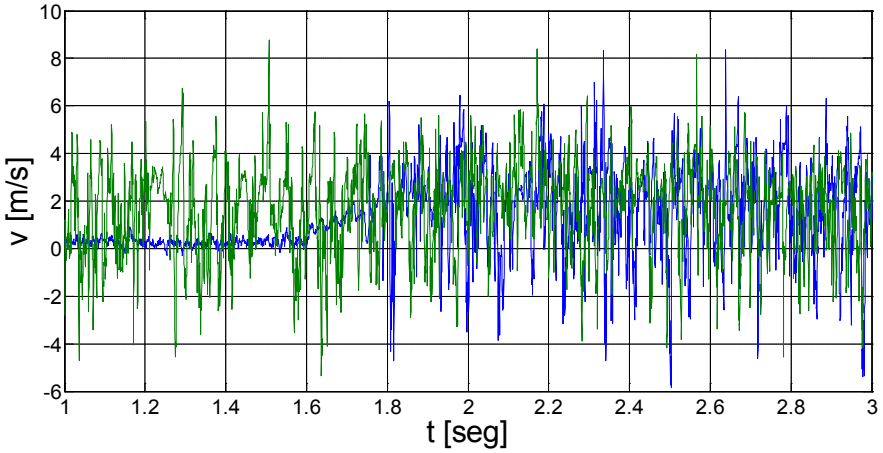


Figura 9. v vs. t para V = 11 m/s; α = 23° (verde – estático) y α = 11° a 23° (azul - dinámico)

Conclusiones

Las técnicas de catavientos e inyección de humo no mostraron resultados significativos sobre la aparición del fenómeno de doble pérdida, pero si sobre la configuración general de la entrada en perdida estática. Sin embargo, se encontraron resultados interesantes mediante la técnica de pintura con querosene y magnesio óxido.

El patrón de flujo hallado sobre el perfil para una condición de pérdida estática (por ej, 19° de ángulo de ataque) difiere notablemente del patrón de flujo para la condición de cambio brusco de 10° a 19°. Para la condición estática se visualiza notablemente la burbuja de recirculación sobre el borde de ataque mientras que realizando el cambio brusco de ángulo de ataque esa burbuja no aparece de manera tan notable o del tal magnitud, pudiendo ser barrida por el movimiento brusco. Esto muestra que existen diferentes condiciones de pérdida para un perfil aerodinámico.

Además, mediante esta técnica se observan diferentes tipos de flujo detrás de esa zona del borde de ataque por sobre el extradós, lo que marca una diferente circulación sobre el perfil y, por lo tanto, una configuración fluidodinámica diferente alrededor del perfil para ambos casos.

A partir de los resultados de anemometría y los ensayos de visualización, se determinará la construcción y ensayo de un modelo instrumentado con tomas de presión a los efectos de determinar el campo de presiones para las diferentes condiciones de ensayo y, por lo tanto, los coeficientes de sustentación y resistencia para el fenómeno de doble pérdida y pérdida dinámica.

Bibliografía

1 - McCullough, G. B. & Gault, D. E., 1951: “Examples of three representative types of airfoil section stall at low speeds”, Technical Report, TN 2502 NACA.
2 - McAlister, K. W. & Carr, L. W., 1979: “Water tunnel visualizations of dynamic stall”. Journal of Fluids Engineering 101, 367-380.
3 - Currier, J. M.& Fung, K. Y., 1992: “Analysis of the onset of dynamic stall” A.I.A.A., Journal 30, 2469-2477.
4 - Acharya, M. & Metwally, M. H., 1992: “Unsteady pressure field and vorticity production over a pitching airfoil”, Journal 30, 403-411.
5 - Shih, C. Lourenco, L. M. & Krothpalli, A. , 1995: “Investigation of flow at leading and trailing edges of pitching-up airfoil” A.I.A.A., Journal 33, 1369-1376.
6 - Shih, C. Lourenco, L. M., Van Dommelen, L. L. & Krothpalli, A. , 1992: “Unsteady flow past an airfoil pitching at constant rate”, Journal 30, 1353 – 1161.
7 – Barlow, Rae & Pope, “Low Speed Wind Tunnel Testing”.

CONTROL DE FLUJO ACTIVO SOBRE UNA CAVIDAD A BAJO NÚMERO DE REYNOLDS

García Saínz, Mariano O.[1,2]; Marañón Di Leo, Julio[1,3]; Delnero, Juan S.[1,3]; Colman, Jorge[1]; Algozino, Santiago[1].

[1]Laboratorio de Capa Límite y Fluidodinámica Ambiental, LaCLyFA, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, UNLP. 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Argentina.
[2]Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Calle 526 entre 10 y 11, 1900, La Plata.
[3]Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Av. Rivadavia 1917, C1033AAJ, CABA.
mariano.garciasainz@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: cavidades, control de flujo, bajo Reynolds, túnel aerodinámico.

Introducción

El patrón fluidodinámico que desarrolla una cavidad inmersa en flujo incidente turbulento responde a una compleja relación entre las características geométricas de la misma y las del flujo incidente. Existen cavidades de las más diversas formas y tamaños que en determinadas condiciones generan efectos adversos, ya sea en detrimento del confort eólico hasta serios problemas estructurales por efectos de resonancia. La posibilidad de modificar el patrón de flujo exterior a la cavidad mediante inyección de aire en su interior hace posible considerar a la cavidad como mecanismo de control de flujo ¨indirecto¨. Debido al amplio espectro de aplicación, el flujo en cavidades resulta de gran interés tanto desde el punto de vista práctico como académico. Para una cavidad abierta típica, los niveles acústicos inducidos alcanzan los 160dB en régimen transónico, y alrededor de 130dB en vehículos de calle a 110km/h debido a que el lugar para pasajeros funciona como un resonador Helmholtz, e inclusive, los fenómenos de resonancia pueden significar un aumento del 250% de la resistencia aerodinámica. Por otro lado, los procesos de transporte de masa de agentes contaminantes se ven afectados por el flujo en cavidades formadas por las condiciones geográficas o los asentamiento urbanos y desde hace varios años se estudia su aplicación en combustión supersónica de motores scramjet.

El flujo en cavidades abiertas es un sistema dinámico complejo, que de acuerdo a varios investigadores está conformado por cuatro procesos fluidodinámicos elementales:

- Amplificación de las perturbaciones vorticosas por la capa de corte;
- Generación de ondas de presión a través de la interacción superficie-vórtice;
- Propagación aguas arriba de las ondas acústicas;
- Conversión de las ondas de presión en ondas vorticosas en el borde a barlovento de la cavidad.

Para poder modificar el patrón fluidodinámico asociado a la cavidad abierta, es necesario interactuar de alguna manera con el flujo, entendiéndose por control todo tipo de mecanismo o proceso a través del cual el flujo en el entorno del cuerpo es llevado a un comportamiento diferente del que exhibiría si se desarrollara normalmente en la ausencia de dichos mecanismos y/o procesos. Pero para poder analizar los efectos de las acciones de control, es necesario conocer primero los fenómenos que determinan el comportamiento fluidodinámico natural de la cavidad, para luego evaluar cuáles pueden ser los sistemas de control más adecuados para los resultados que se deseen obtener. Existe una amplia variedad de estudios tanto experimentales como de simulación numérica en el tema en cuestión pero aún no se tiene un entendimiento

cabal y final respecto de la acción de estos dispositivos como sistemas de control de flujo en condiciones de flujo incidente turbulento, y no se conoce con suficiente nivel de detalle la respuesta de la cavidad abierta frente a acciones de control en lazo abierto. Se debe considerar la relevancia de esto último, dada la importancia que representa poder escalar los resultados de ensayos de laboratorio a las escalas y condiciones reales.

Por tal motivo, el trabajo de investigación se ha orientado al estudio experimental de mecanismos de control de flujo a lazo abierto, en particular de succión y soplado, de manera de encontrar la manera de "actuar" sobre la capa límite por sobre y en las inmediaciones de la cavidad, ejerciendo control sobre el vórtice dentro de la misma. En consecuencia, el estudio y aplicación de mecanismos de control de flujo ayudará a obtener mejores rendimientos de los cuerpos aerodinámicos en los cuales se hayan implementado, controlando el campo del flujo circundante en las distintas condiciones de operación en ambientes de atmósferas turbulentas. En el presente trabajo se analizan los resultados obtenidos de ensayos experimentales en túnel de viento del LaCLyFA-FI-UNLP, al medir, mediante técnicas de anemometría de hilo caliente, la configuración fluidodinámica sobre una cavidad rectangular abierta de 10cm. de lado inmersa en flujo turbulento (intensidad de turbulencia > 1.8%) para diferentes velocidades de la corriente libre, y considerando caudales y frecuencias de conmutación de inyección de aire.

Desarrollo experimental

Los ensayos se realizaron en el túnel aerodinámico cerrado de capa límite turbulenta del LaCLyFA (Figura 1), de 1m por 1,4m de sección de prueba, con la intención de estudiar el comportamiento del flujo en el entorno de una cavidad abierta de 10cm de lado, dotada de un lateral transparente para los ensayos de visualización con humo, 18 picos de inyección de aire dispuestos en las paredes verticales y 36 tomas de presión (18 en dos hileras en el fondo y 9 en cada lateral), como se observa en la Figura 2.

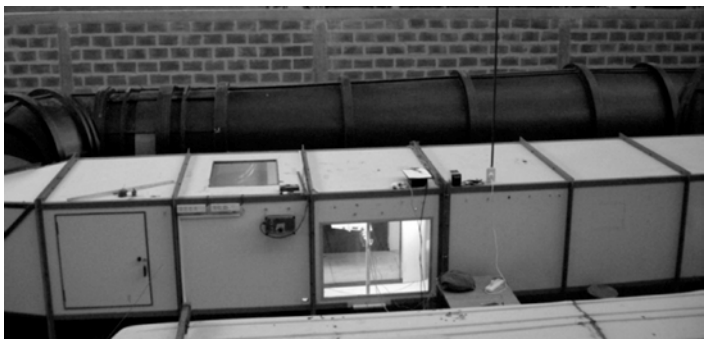


Figura 1. Túnel aerodinámico del LaCLyFA.

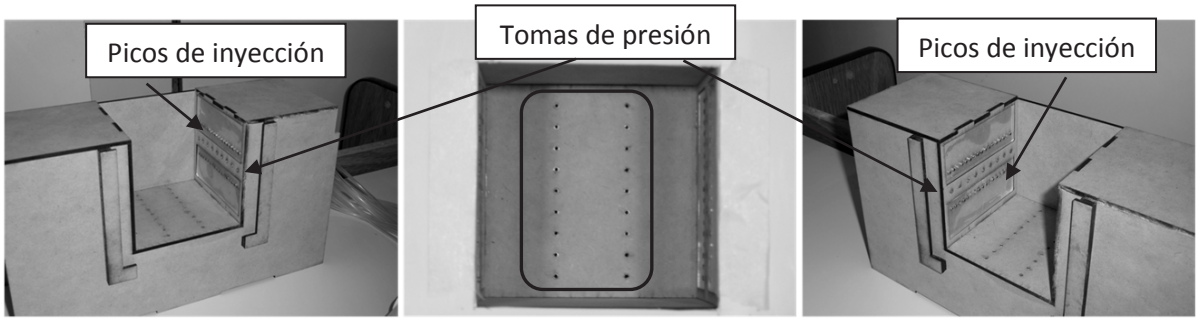


Figura 2. Configuración de la cavidad ensayada.

La cavidad fue instalada en el piso del túnel de viento sobre el cual se efectuaron los arreglos necesarios para asegurar el desarrollo adecuado de la capa límite aguas arriba de la cavidad y poder asegurar la boquilla de la máquina de humo para efectuar los ensayos de visualización inyectando el humo en la corriente libre a diferentes velocidades. Estos ensayos nos permitieron observar los patrones fluidodinámicos asociados al flujo dentro y en las inmediaciones de la cavidad para estudiar el aspecto de las configuraciones fluidodinámicas y su evolución durante el ensayo. Luego, se realizaron los ensayos de relevamiento del perfil de velocidades sobre el eje longitudinal de la cavidad sin ningún dispositivo de control, para 2, 5 y 10m/s, comenzando 20cm aguas arriba y terminando 20cm aguas abajo de los límites de la cavidad, discretizado en 7 estaciones de las cuales tres están asociadas a la cavidad; una está en coincidencia con el borde a barlovento (P3), una en la mitad de la cavidad (P4) y una en el borde a sotavento (P5), tal como se observa en la Figura 3.

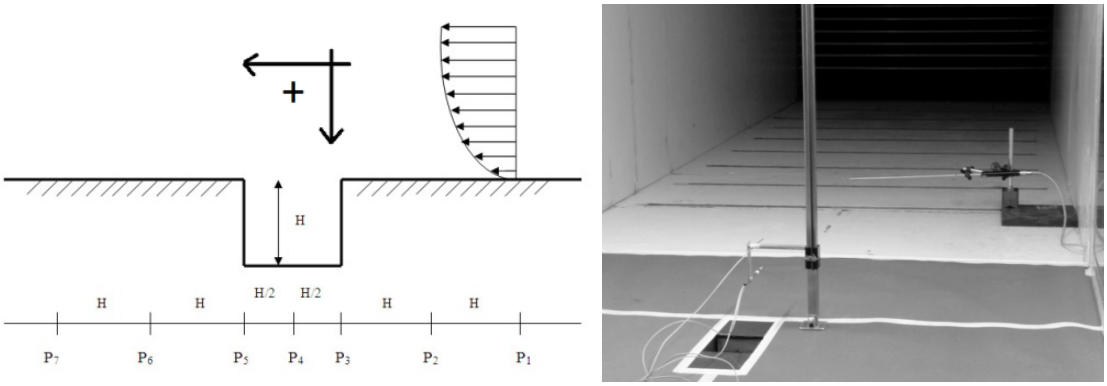


Figura 3. Estaciones de medición de velocidades.

Para cada estación se barre comenzando a 3mm desde el piso del túnel hasta 10cm de altura, con un paso de 1mm. Este ensayo se realiza con un anemómetro de hilo caliente de temperatura constante (Dantec StreamLine CTA98C10), empleando hasta tres puntas doble del tipo X-probe 55R51 en simultaneo, que permiten determinar la componente de velocidad longitudinal y vertical del flujo incidente. De esta manera se obtuvieron los perfiles de velocidades medias, distribución de intensidad de turbulencia, escalas de turbulencia, etc. para las tres velocidades consideradas. En otro ensayo se llevó a cabo la medición de presiones en el interior de la cavidad, también para las tres velocidades mencionadas anteriormente, empleando un micromanómetro digital de alta resolución Alnor EBT-721 y/o un escáner de presiones Pressure System Scanner 98RK, habiéndose diseñado y construido un selector de tomas de presión para mejorar el desarrollo del ensayo.

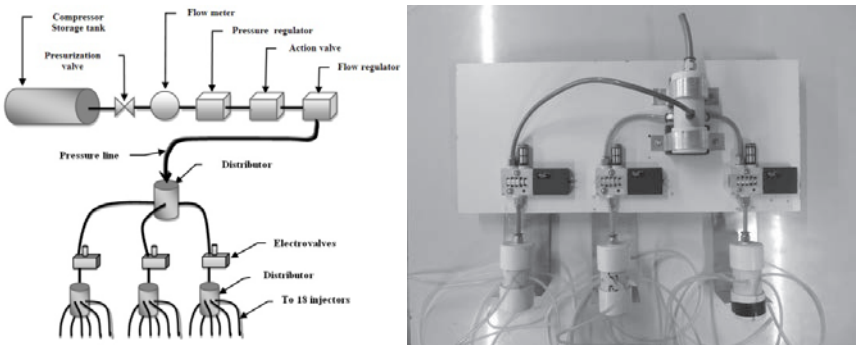
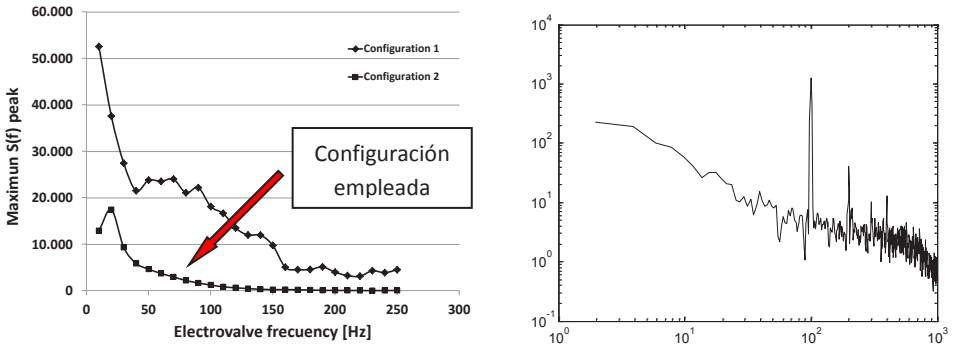


Figura 4. Sistema de inyección de aire.

El estudio incluye la caracterización del sistema de inyección de aire de la Figura 4, dotado de electroválvulas FESTO de alta frecuencia (270Hz), para lo cual fue necesario implementar un banco de ensayo específico fuera del túnel aerodinámico. Los resultados de la caracterización se presentan en la Figura 5; el espectro de frecuencias confirma que el aire es inyectado dentro de la cavidad a la misma frecuencia que es conmutada la electroválvula, existiendo una importante atenuación en la energía dada por la configuración del sistema, necesaria para asegurar la uniformidad de inyección en la envergadura de la cavidad.



a) b)

Figura 5. Caracterización del sistema de inyección de aire; a) picos máximos de los espectros en función de la frecuencia de actuación; b) espectro de frecuencia para inyección a 100Hz.

El aire es inyectado al interior de la cavidad a través de los picos uniformemente distribuidos en dos hileras en la envergadura, ubicados a un tercio y dos tercios desde el techo de la cavidad, dispuestos de manera de favorecer el sentido de rotación del vórtice natural interior de la cavidad, tal como se observa en Figura 6.

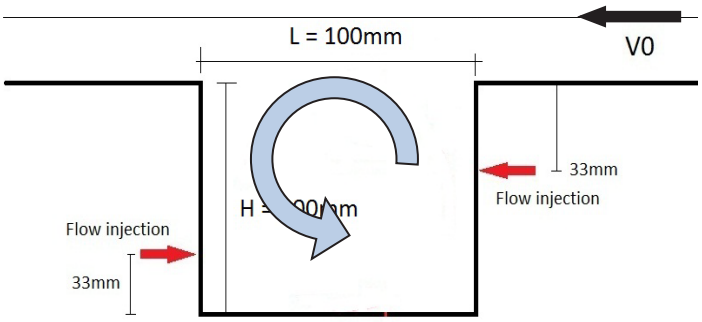


Figura 6. Puntos de inyección de aire.

En una segunda etapa de investigación, se realizaron ensayos de medición de velocidades en la capa de corte sobre la cavidad, en tres estaciones en la envergadura en simultáneo, como se observa en la Figura 7. La intención es analizar el comportamiento del flujo en la zona de interface entre el campo interior y el flujo exterior de la cavidad, como así también correlacionar el desarrollo tridimensional del flujo para esta cavidad de relación de aspecto 1.

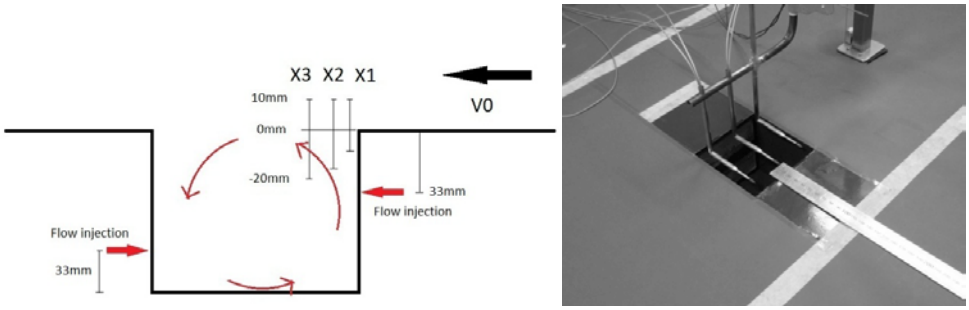


Figura 7. Relevamiento de la capa de corte y desarrollo tridimensional del flujo.

Resultados y discusión

Se decidió trabajar con dos velocidades de la corriente libre siendo 2 y 5m/s, lo que determina un número de Reynolds basado en la profundidad de la cavidad (igual a 10cm.) de 11.100 y 27.800 respectivamente. En la Figura 8 se presenta la visualización del flujo dentro de la cavidad sin inyección de aire, y los resultados de los ensayos de relevamiento de presiones internas para la cavidad sin inyección de aire.

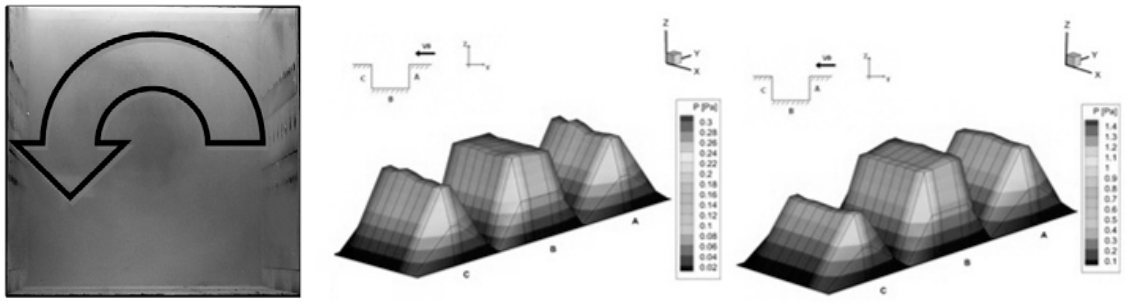


Figura 8. Visualización del flujo interior de la cavidad y presiones medias para V0=2 y 5m/, sin inyección de aire.

En la Figura 9 se observan los perfiles de velocidad de la componente vertical para cuatro casos característicos (sin inyección de aire, con inyección continua, inyección a 10Hz e inyección a 200Hz), para las estaciones P3, P4 y P5 de acuerdo a lo indicado en la Figura 3. Es notable el apartamiento respecto al caso sin inyección tanto en magnitud como en signo (convención Figura 3) de la velocidad hasta los 3cm sobre la cavidad, disminuyendo rápidamente a medida que nos alejamos en la vertical.

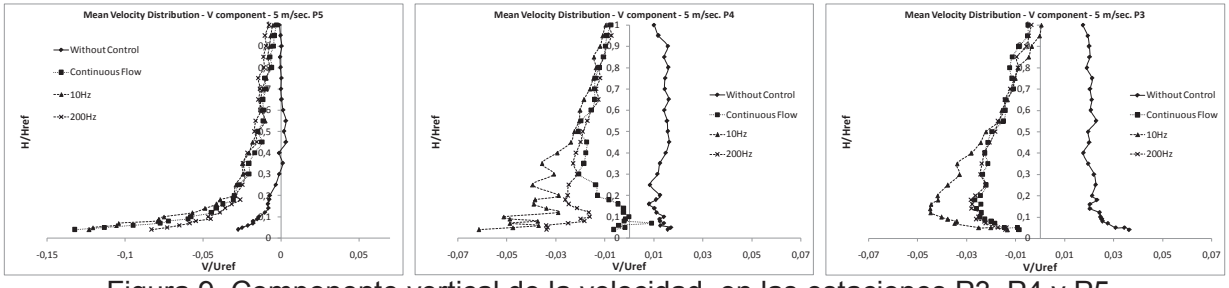


Figura 9. Componente vertical de la velocidad, en las estaciones P3, P4 y P5.

En la Figura 10 se observa la variación del perfil de velocidades en la capa de corte para la estación X1 de acuerdo a la Figura 7, para el caso sin inyección de aire, inyección a 10Hz y

100Hz respectivamente, para un registro en simultáneo de las tres puntas separadas 40mm a cada lado del eje longitudinal. Observar la variación respecto al caso sin inyección.

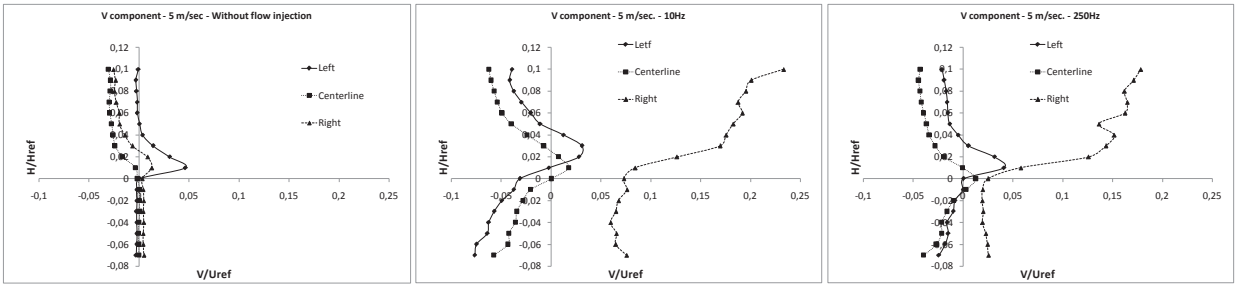
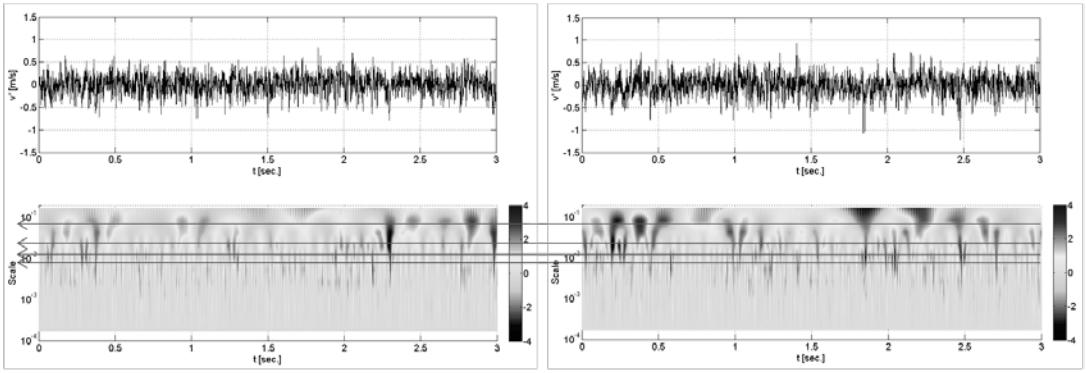


Figura 10. Capa de corte, estación X1, variación en la envergadura de la componente vertical.

Se efectúa un análisis con la transformada wavelet sobre la componente vertical de velocidad para la estación X1 y se compara el caso sin inyección (Figura 11 a)) con inyección a 100Hz (Figura 11 b)); en ambos casos para una posición 2mm por detrás del borde de ataque y a 4mm por encima del techo de la cavidad. Las frecuencias presentes son 4Hz, 12Hz, 23Hz y 32Hz, apareciendo una componente a 100Hz en el caso de inyección.



a) b)

Figura 11. Wavelet componente vertical de la velocidad, estación X1, V0 = 5m/s.

Conclusiones

Cuando el flujo incidente es turbulento, la interacción con las oscilaciones coherentes pueden generar una variación muy significativa del patrón de flujo debido a la influencia de la capa límite turbulenta sobre la cavidad, dando lugar a una importante distorsión de las estructuras incidentes lo cual genera una rango de escalas turbulentas, evidente en el análisis wavelet. Es posible observar el engrosamiento de la capa de corte hacia el borde posterior de la cavidad y la variación de los perfiles en función de la frecuencia de inyección empleada, lo que hace evidente la posibilidad de ejercer control indirecto sobre el flujo exterior, manipulando el flujo interior de la cavidad, razón que motiva el análisis experimental de nuestro trabajo de investigación.

Bibliografía

Roshko A.,“Some Measurement of Flow in a Rectangular Cutout,” NACA TN Report-3488, 1955.

Rossiter J., “Wind Tunnel Experiment on the Flow Over Rectangular Cavities at Subsonic and Transonic Speeds,” British ARC R& M No. 3428, 1964.

EFECTOS FLUIDODINÁMICOS SOBRE UN ALA DEBIDO A UNA CONFIGURACIÓN PUSHER

Corsaro Juan P.[1]., Hernandez Carlos S.[1], Marañón Di Leo Julio[1,2] y Rimoldi Claudio[3]

[1]LaCLyFA, Dto. Aeronáutica, Fac.Ingeniería, UNLP, 116 e/ 47 y 48, 1900, La Plata.
[2]Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Av. Rivadavia 1917, C1033AAJ, CABA.
[3]Dto. de Aeronáutica – Fac.Ingeniería – UNLP- 116 e/ 47 y 48, 1900, La Plata.
juanpablo.corsaro@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: hélice, pusher, ala, flap, presiones.

Introducción

Se presenta un estudio experimental de los efectos producidos por una hélice en configuración pusher sobre un ala dotada de flap plain. El objetivo del trabajo es analizar las características del flujo de aire sobre el sistema y así poder determinar la efectividad del flap, fuerzas, vibraciones y demás fenómenos aerodinámicos que se generan en el sistema ala-flap. El origen del presente trabajo surge a partir de la problemática encontrada en el avión ultraliviano RANS-S12, en el cual se detectaron vibraciones y fatiga del flap en vuelo de crucero, producto del reemplazo del motor original.

En la Figura 1 se puede ver la estela formada por un ala sola con flujo incidente, la estela dada por una pala rotando y la estela combinada generada por el conjunto ala hélice en configuración pusher.

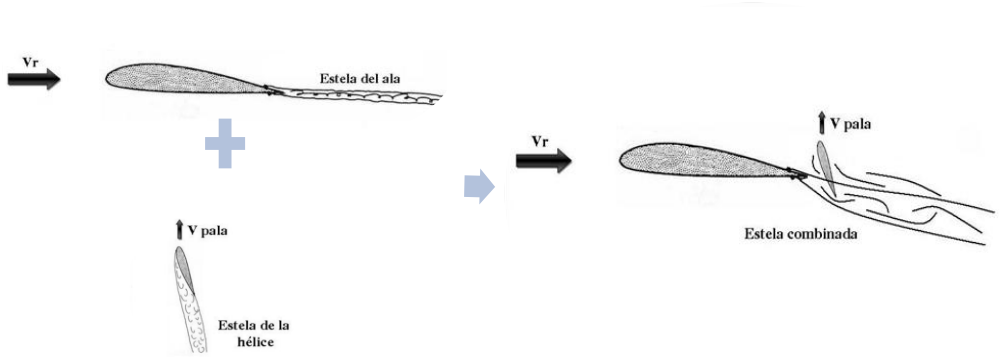


Figura 1. Esquema del fenómeno en estudio.

Parte experimental

Metodología

Para llevar a cabo el estudio se utilizó el túnel de viento de capa límite del Laboratorio de Capa Límite y Fluidodinámica Ambiental (LaCLyFA) del Departamento de Aeronáutica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata. El túnel presenta una configuración cerrada con una sección de prueba de 1m x 1.4m accionado por un motor eléctrico de 60HP. Dentro de este se colocó el ala con perfil NACA 2412 mediante dos balanzas aerodinámicas sujetas a las paredes del túnel con un ángulo de ataque fijo para todos los ensayos de 2.5º, ver Figura 2. Por otro lado se fijó mediante bulones y aislantes de vibraciones el soporte de la bancada del motor al techo del túnel. Una vez fijado el soporte al techo se colocó la bancada del motor y se fue ajustando, tanto la posición del motor como la inclinación del eje de empuje del mismo. Los ensayos se llevaron a cabo para cuatro posiciones distintas, pero siempre con el mismo ángulo de empuje Ø = -6.25º, ver Figura 2.

Estas posiciones se seleccionaron a partir de configuraciones comunes a aviones del tipo RANS.

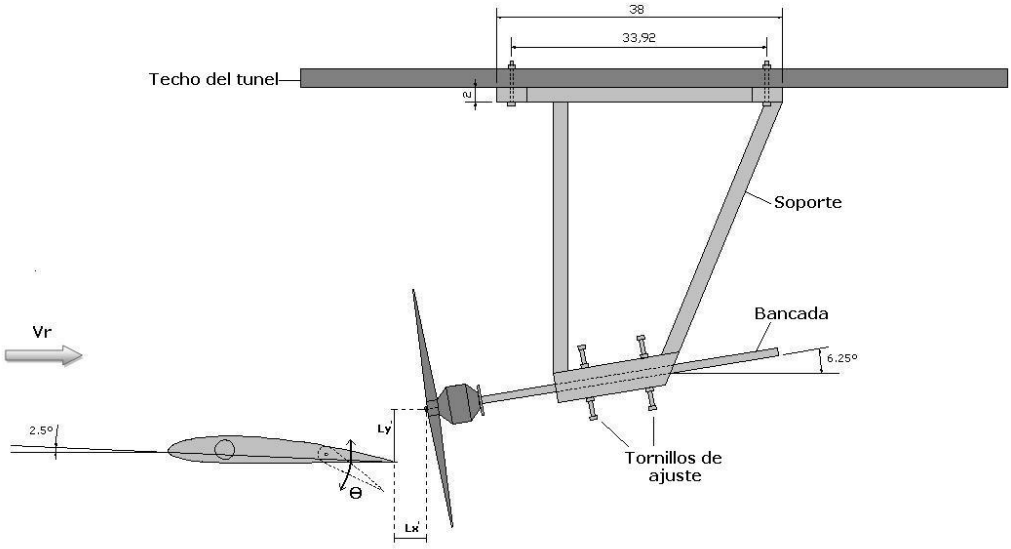


Figura 2. Configuración del sistema en estudio para los ensayos.

Para los ensayos se emplearon diferentes configuraciones y combinaciones entre la velocidad del flujo (Vr), revoluciones del motor (RPM), posiciones del flap (θ) y posiciones relativas entre el ala y la hélice (P0, P1, P2 y P3). Estas configuraciones se detallan en las Tabla 1 y Figura 3.

Tabla 1. Configuraciones usadas en los ensayos.

Posición de la Hélice	P0	P1	P2	P3
Vel. de referencia, Vr	0m/seg	5m/seg	10m/seg	15m/seg
Angulo del flap, θ	0º	10º	20º	30º
RPM del motor	0	2000	4000	6000

Posiciones Relativas	P0 7% C'	P1 10% C'	P2 12,26% C'	P3 14% C'
Lx' [m]	0,021	0,030	0,037	0,045
Ly' [m]	0,032	0,046	0,057	0,069

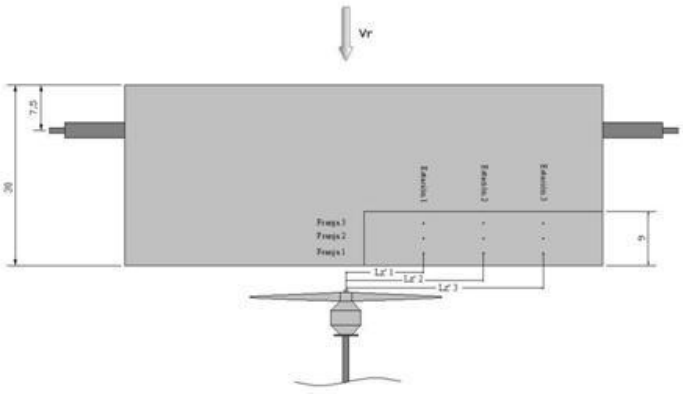


Figura 3. Posiciones para los ensayos (izquierda) y tomas de presión sobre el flap (derecha).

Ensayos realizados

La experiencia consistió en tres etapas: visualización del flujo, medición de presiones y medición de vibraciones.

1. *Visualización del flujo:* para llevar a cabo esta etapa se utilizó humo y un laser color verde, lo cual nos permitió conocer cómo se comporta el flujo de aire en las

inmediaciones del sistema en estudio y de esta forma tener una idea general de las características fluidodinámicas. De esta forma podemos comprobar si existen desprendimientos, recirculación, o alguna particularidad que llame la atención. Durante esta etapa se visualizaron diferentes configuraciones del sistema para velocidades bajas de túnel (Vr = 5m/seg o menores) y para las posiciones de la hélice P0 y P2. Se visualizó y filmó desde varios ángulos y nos concentramos sobre la parte del ala correspondiente al 75% de la pala de la hélice.

2. *Medición de presiones:* para la adquisición de los datos de presión se usó una PC con el programa NetStart y se adquirieron durante 15 segundos para cada configuración con una frecuencia de 4Hz con el equipo NetScanner, generando un total de 60 valores por cada toma de presión y para cada ensayo diferente. Estos valores son la diferencia entre la presión atmosférica y la presión local de cada toma. Las tomas de presión están ubicadas sobre el intradós y extradós del flap.

3. *Medición de vibraciones:* En esta etapa se trató de determinar las vibraciones que genera el paso de la pala de la hélice cuando pasa cerca del flap. Para esto colocamos un acelerómetro en el flap al 75% de la pala de la hélice y con la señal proporcionada por este, hicimos una representación de la densidad de potencia espectral (PSD) para cada configuración de ensayo. Con la PSD podemos determinar cómo se distribuye la energía de la señal a lo largo de las diferentes frecuencias y así saber cuáles son las frecuencias preponderantes. Recordemos que la distancia entre la hélice y el flap es de alrededor del 10% de la cuerda del ala, lo cual puede llegar a generar vibraciones de un rol significativo en cuanto a la fatiga de los materiales, como a la efectividad del flap.

Resultados

Visualización

En la Figura 4, la foto de la izquierda muestra un flujo pegado durante toda la longitud de la cuerda con una estela sobre el borde de fuga ancha y difusa. No se observan desprendimientos. En la foto de la derecha se ven diferentes desprendimientos sobre el borde de fuga del flap que luego impactan contra la hélice en movimiento. Sobre el borde de fuga se aprecia un flujo con límites más marcados y estrechos.

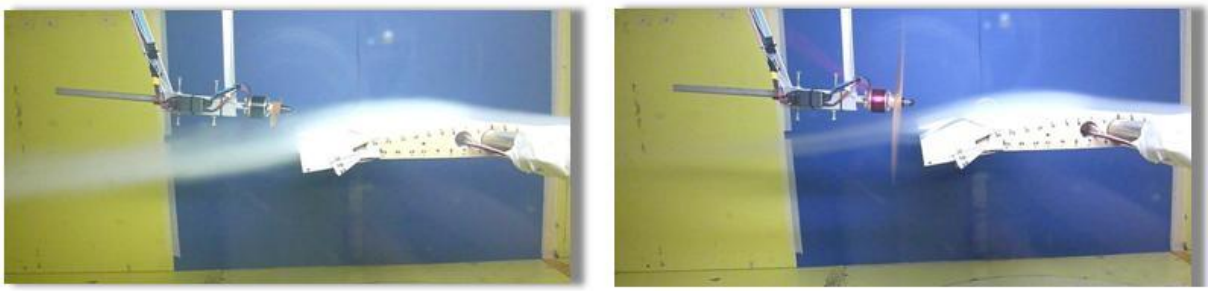


Figura 4. Vista lateral del ala con humo. Sobre la izquierda motor sin RPM y a la derecha con RPM.

En la Figura **5** se ve la influencia de la hélice sobre la dirección del flujo, como también en el grosor de la estela. Para cero RPM la estela cruza el ala perpendicular a la envergadura, en cambio a medida que aumentamos las RPM el flujo de aire se desvía hacia el motor, generando una línea de corriente en forma de “S”, la cual deja de cruzar el ala perpendicular

a la envergadura para cruzarla en forma diagonal y lo sigue desviando pasado el plato de la hélice corriente abajo.



Figura 5. Vista desde arriba del ala con humo para diferentes RPM.

En la Figura 6 vemos como la hélice le imprime al flujo un desvío hacia la derecha de la imagen. También podemos observar como la hélice disminuye el downwash, no solo le impide al flujo que baje sino que le genera una rotacion haciendo que se eleve aguas abajo.



Figura 6. Vista de frente del ala con humo y flap a 20°. A la izquierda sin RPM y a la derecha con RPM.

Presiones

En la Figura 7 vemos la distribución de presión sobre el flap para la estación 1, flap 0° y P1. Se puede ver como los Cp (coeficientes de presión) aumentan conforme aumentan las RPM.

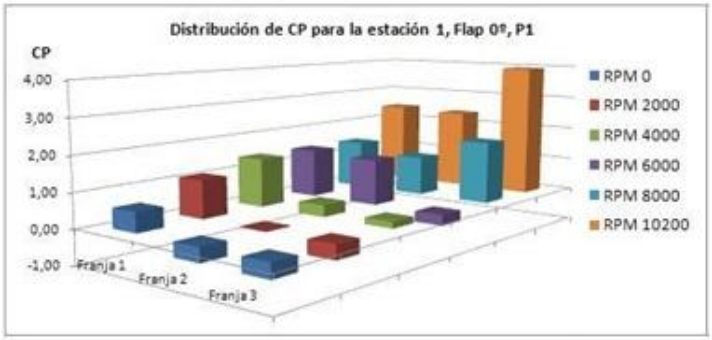


Figura 7. Distribución de presión sobre el flap.

En la Figura 8 se puede observar la resultante de sustentación sobre el flap para Vr = 5, P1 y diferentes ángulos de flap. Se ve como la sustentación aumenta al aumentar el ángulo de flap y las RPM. Esto mismo se hizo para todas las Vr y posiciones entre ala – hélice.

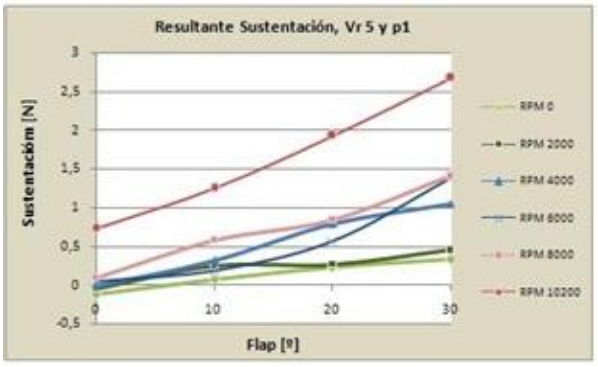


Figura 8. Distribución de resultante de sustentación sobre flap.

Vibraciones

Para llevar a cabo el ensayo de vibraciones se efectuó, como primer paso, el análisis del nivel de ruido en el ambiente.

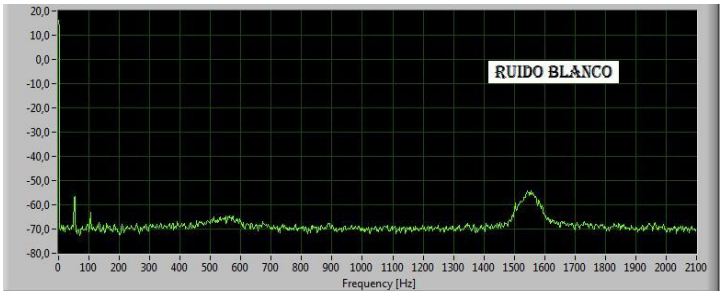


Figura 9. PSD del ruido ambiente.

En la Figura 9 vemos un nivel de ruido constante en -70db, se puede ver un pico en los 50Hz y otro pasado los 100Hz. En frecuencias altas, a los 1550Hz aparece una marcada elevación llegando hasta los -55db.

Luego se hicieron corridas para diferentes RPM manteniendo constante la Vr (nula) y la posición del flap (0º). Para los siguientes análisis de señal se usó un filtro pasa bajos de Butterworth. A continuación se muestra la Tabla 2 con las frecuencias correspondiente al paso de la pala por el flap.

Tabla 2. Frecuencias de paso de pala para cada RPM.

RPM	2000	4000	5000	6000	7000	8000	10200
f [Hz]	66,67	133,33	166,67	200,00	233,33	266,67	340,00

En todas las corridas se notaron picos bien marcados que coincidían con las frecuencias de paso de pala. Estos picos aumentaban de tamaño conforme aumentábamos las RPM, llegando a un máximo para 6000 RPM, luego disminuían su magnitud.

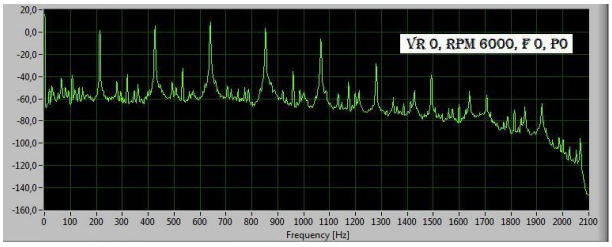


Figura 10. PSD para Vr 0m/seg, RPM 6000, flap 0º, P0

En la Figura 10 se ve el primer pico que corresponde a la frecuencia de la pala en 200Hz y luego sus armónicos repitiéndose a intervalos constantes. Finalmente se hizo la misma corrida a 6000 RPM pero con otro material aislante entre el soporte del motor y el techo del túnel de viento. Como nuevo aislante se utilizó espuma de alta densidad, en vez de goma que era lo que se venía usando en los ensayos anteriores.

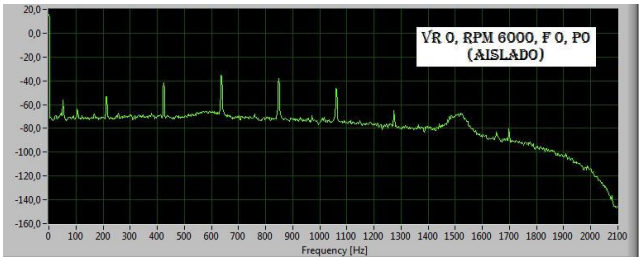


Figura 11. PSD para Vr 0m/seg, RPM 6000, flap 0º, P0, con aislamiento de espuma.

Como podemos ver (Figura 11) los picos se mantienen pero son menores en cuanto a magnitud, con esto entendemos que las vibraciones que estamos obteniendo son las que se transmiten por medio de las diferentes estructuras (vibraciones mecánicas). Nuestro objetivo de estudio no son esta clase de vibraciones sino las vibraciones aerodinámicas que generan las palas y llegan al flap propagándose a través del aire

Conclusiones

Se pudo comprobar la gran influencia de la hélice sobre el flujo de aire, generando un cambio sobre la distribución de presiones, aumentando la fuerza de sustentación y vibraciones del flap conforme se aumentan las RPM. En los ensayos de visualización con humo se comprobó el importante peso que tiene las revoluciones de la hélice en relación con el flujo de aire alrededor del ala. A partir de fotos y videos se pudo observar cómo influye el giro de la hélice en la dirección, forma y ordenamiento del flujo de aire sobre el ala y corriente abajo, burbuja de recirculación, desprendimientos, etc. En los ensayos de vibraciones realizados sobre el flap no se pudo diferenciar las vibraciones aerodinámicas de las mecánicas, lo cual es un tema a seguir estudiando. En los ensayos de presión realizados se pudo comprobar y cuantificar la gran influencia generada por la hélice sobre la distribución de presión del flap, la cual presenta diferentes comportamientos dependiendo tanto de la velocidad de referencia, RPM del motor, de los ángulos del flap y también de la posición entre el ala y la hélice. En el análisis de la distribución de los coeficientes de presión (Cp) y sustentación con respecto a las RPM del motor, se pudo comprobar un destacado incremento de los valores conforme aumentan las RPM. Este comportamiento persiste para todas las velocidades de referencia usadas en los ensayos. También se comprobó que los máximos valores de Cp y sustentación para bajas velocidades de referencia, se dan para la máxima RPM (10.200), pero para altas velocidades de referencia las máximas RPM no son tan predominantes, llegando en algunos casos a predominar los valores dados por 8000 RPM.

Bibliografía

1. Aircraft Design - A Conceptual Approach. AIAA Education Series. Daniel P. Raymer (1992).
2. On the effects of an installed propeller slipstream on wing aerodynamic characteristics, Acta Polytechnica Vol. 44 No. 3. Fernando M. Catalano (2004).
3. Wind-tunnel investigation of effects of a pusher propeller on lift, profile drag, pressure distribution, and boundary-layer transition of a flapped wing - Advance Confidential Report L5CO8. Carl A. Sandahl (1945).
4. Acoustic and Aerodynamic Study of a Pusher-Propeller Aircraft Model - Naca technical paper 3040. Paul T. Soderman and W. Clifton Horne. (1990).

DISPOSITIVO DE LIBERACIÓN PROGRESIVA

Axel Eloy Greco, Andrés Martínez del Pezzo, Asdrúbal Enrique Bottani.

UID – GEMA, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería de La Plata
Calle 48 y 116 La Plata. CP 1900. Contacto: axel.greco@ing.unlp.edu.ar

Palabras Clave: liberación progresiva

INTRODUCCION:

El objetivo del presente trabajo es determinar la morfología del componente principal (pieza deformable) de un sistema de liberación progresiva, de tal modo de cumplir con el requerimiento de desplazamiento vs tiempo especificado.

Los mecanismos de liberación progresiva son utilizados sobre aquellos sistemas (Sistema Ppal.) sometidos cargas que se aplican de manera instantánea haciendo que el mismo se encuentren expuesto a diferentes fenómenos dinámicos como consecuencia de los cuales sufrirá sobrecargas que son, en algunos casos, determinantes en el diseño. El objetivo principal de los sistemas de liberación progresiva es, por tanto, responder ante dichas cargas absorbiendo la mayor cantidad de energía posible en un tiempo sustancialmente breve.

La propuesta de diseño se basa en lograr que el dispositivo, mediante la deformación plástica de alguno de sus componentes logre, ante la aplicación de una carga instantánea, comenzar a deformarse y por la plastificación de su sección disminuir la carga reactiva dotando al sistema al cual fue vinculado de una variación de aceleración mucho menos severa.

La siguiente imagen presenta un esquema posible de variación de la carga sobre el dispositivo en función del desplazamiento del Sistema Ppal. La energía absorbida por el dispositivo de liberación será, pues, el área bajo esta curva. Se trata entonces de desarrollar la geometría de la parte deformable para un sistema de cargas longitudinales dado, con el fin de obtener un funcionamiento similar al descripto en la curva Fuerza vs. Desplazamiento presentada anteriormente.

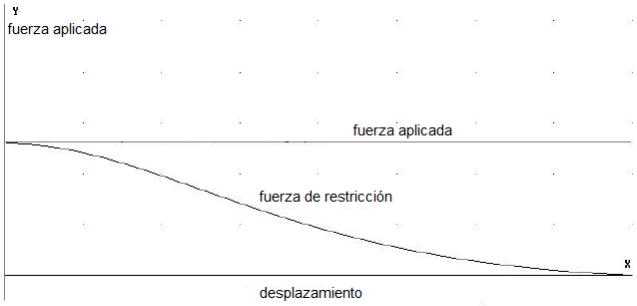


Figura 1. Requerimiento de fuerza vs. desplazamiento.

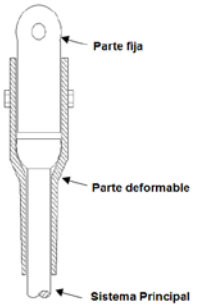


Figura 2. Esquema propuesto.

ENSAYOS DE DESARROLLO

Ensayo de penetración

Como introducción al modelado del fenómeno se propone realizar una serie de ensayos para estimar la validez de un modelo sencillo y así abarcar luego las etapas iterativas para el desarrollo del componente en cuestión.

Se realiza un ensayo de penetración de un cuerpo esférico rígido (penetrador) dentro de un tubo de un material relativamente blando, para obtener del mismo diferentes valores que sirvan de comparación con el modelo de elementos finitos utilizado para la validación. En la figura siguiente se presenta un esquema de la configuración planteada y del montaje del ensayo.

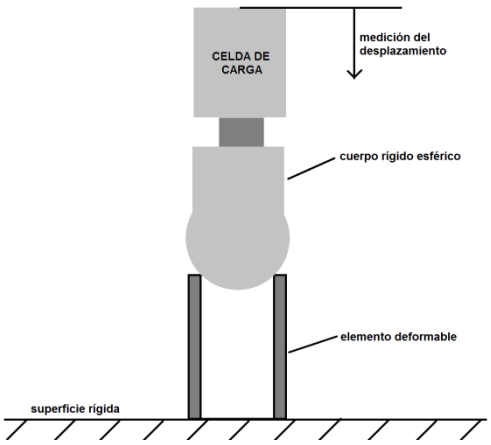


Figura 3. Esquema de ensayo.



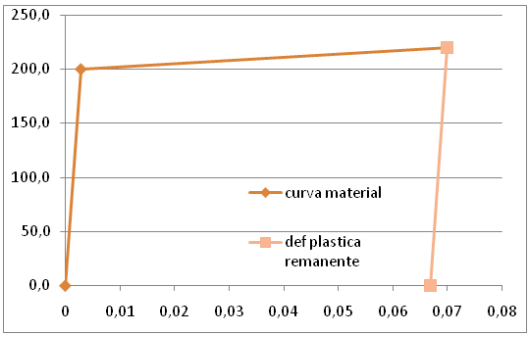
Figura 4. Esquema de ensayo.

Se determina, el valor y variación de la carga necesaria para que el cuerpo esférico se desplace dentro del tubo en función del desplazamiento del carro y una posible carga de estabilización. Se buscará realizar la medición de las dimensiones iniciales y finales de los elementos deformables y su comparación. Dichas medidas serán, el diámetro interno inicial y final (“Dio” y “Dif”), el diámetro externo inicial y final (“Deo” y “Def”), el largo inicial y final (“Lo”, “Lf”) y el espesor inicial y final (“to” y “tf”).

Ensayos de caracterización del material

Para que los resultados del modelo y de los ensayos su puedan comparar se realiza también una caracterización del material utilizado, se construyen 4 probetas y se ensayan a tracción aplicando desplazamiento constante para determinar las características principales del mismo y determinar así el material a utilizar en el modelo de elementos finitos.

En base a las curvas tensión deformación obtenidas del ensayo sobre las probetas, se planteó un material simplificado con las siguientes características.



$$\sigma_{fl} = 200MPa$$

$$E = 70\ GPa$$

$$\sigma_u = 220\ MPa$$

$$\epsilon_{rotura} = 7\%$$

$$\epsilon_{plast\ rem} = 0.0669$$

Figura 5. Material caracterizado, simplificación.

MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS (FEM) DESARROLLADOS

Anticipar el comportamiento físico

Debido a las relaciones entre los diámetros del elemento rígido y el deformable se estima que el fenómeno estará dominado por las características de deslizamiento entre ambas superficies

Se verificará la influencia de la incertidumbre en las características del material y la problemática en la indeterminación del coeficiente de roce entre ambos materiales en el modelo, intentando definir la importancia entre la determinación de cada uno de estos.

Características del modelo utilizado

Para representar el ensayo anterior se plantea como primera instancia, un modelo axil-simétrico, a pesar de haber existido desalineaciones durante el ensayo, compuesto por dos partes, un rígido analítico y una parte que simula el tubo ensayado. Como condición de carga se aplica un desplazamiento de valor conocido, que simula el desplazamiento aplicado durante el ensayo y uno en sentido contrario para simular el retiro del elemento rígido del interior del tubo.

Se plantean dos series de "ensayos virtuales", la primer tanda propone la inexistencia del roce entre las piezas, pero, se plantea la variación del módulo de elasticidad del material del tubo, la segunda consiste en fijar el módulo de elasticidad y variar el coeficiente de roce entre las partes. Se resumen los modelos desarrollados.

Modelo "a"	Modelo sin roce, E=70Gpa
Modelo "b"	Modelo sin roce E=55GPa
Modelo "c"	Modelo sin roce E=82GPa
Modelo "d"	Modelo u=0.3, E=70GPa
Modelo "e"	Modelo u=0.2, E=70GPa
Modelo "f"	Modelo u=0.1, E=70GPa
Modelo "f´"	Modelo u=0.3, E=70GPa, mallado fino

Se presenta a continuación, los gráficos correspondientes a los modelos y ensayos desarrollados.

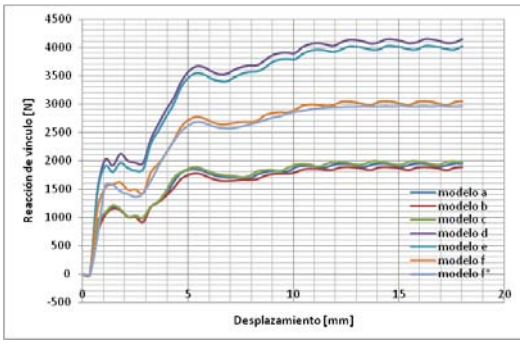


Figura 6. Reacción de vínculo [N] vs desp. [mm], modelos.

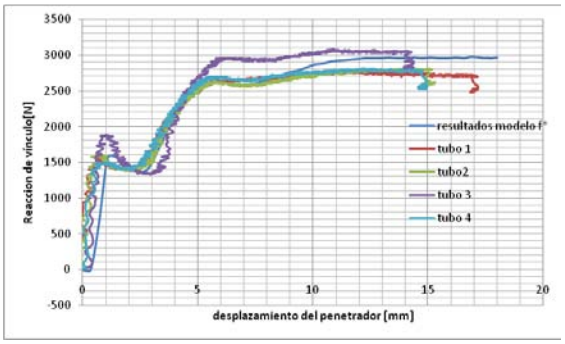


Figura 7. Reacción de vínculo [N] vs desp. [mm] resultados de ensayos + modelo "f´".

En el gráfico de la derecha se realiza una comparación entre el modelo de elementos finitos (modelo "f*") y los resultados experimentales permitiendo concluir que el resultado obtenido valida el modelo desarrollado. Se define, por tanto, utilizar el material definido por los ensayos con un coeficiente de roce de 0.1 para continuar con el desarrollo de la pieza deformable.

MODELO FEM DEL DISPOSITIVO DE LIBERACIÓN PROGRESIVA

Definición de la geometría

En búsqueda de una función carga desplazamiento como la presentada al inicio del informe se trabaja sobre la geometría del elemento deformable. Debido a que se trata de un análisis preliminar y por la naturaleza del problema, de características similares al ensayo de penetración realizado, se propone un modelo axil-simétrico, que en una etapa más avanzada se podrá reemplazar por uno en 3D para incluir desalineaciones y evaluar su efecto.

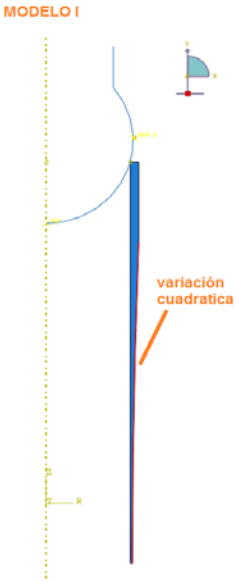


Figura 8. Modelo con variación de radio externo cuadrática.

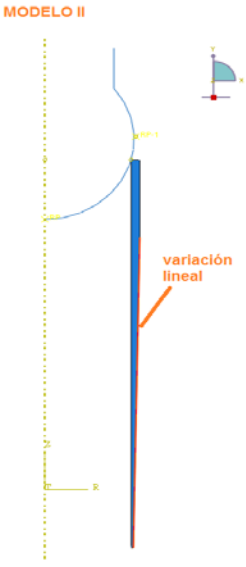


Figura 9. Modelo con variación de radio externo lineal.

Como condición de contorno se aplica la carga puntual establecida sobre el RP del rígido analítico. En la siguiente grafica se presentan las curvas correspondientes a la reacción de vinculo vs. el desplazamiento del cuerpo rígido para cada uno de los sistemas.

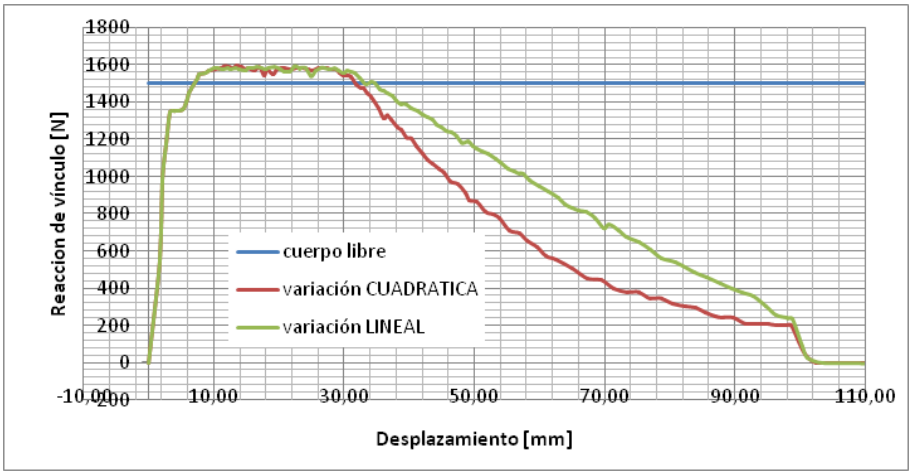


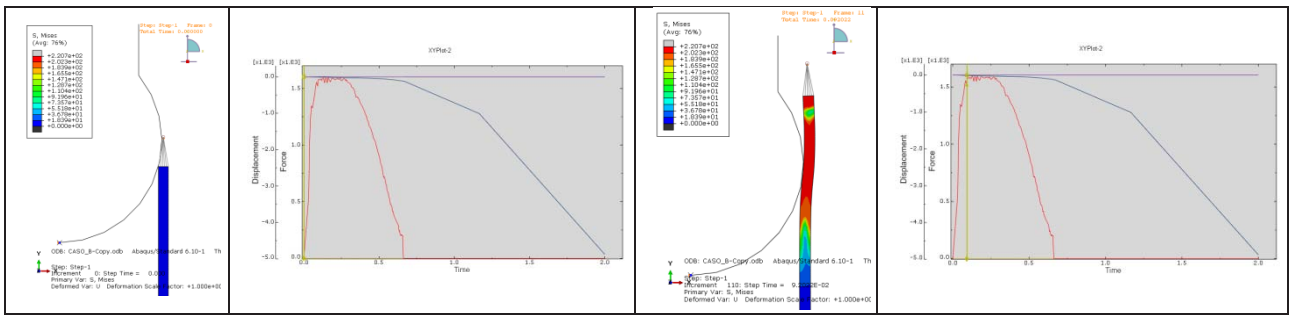
Figura 10. Reacción de vínculo [N] vs desplazamiento [mm].

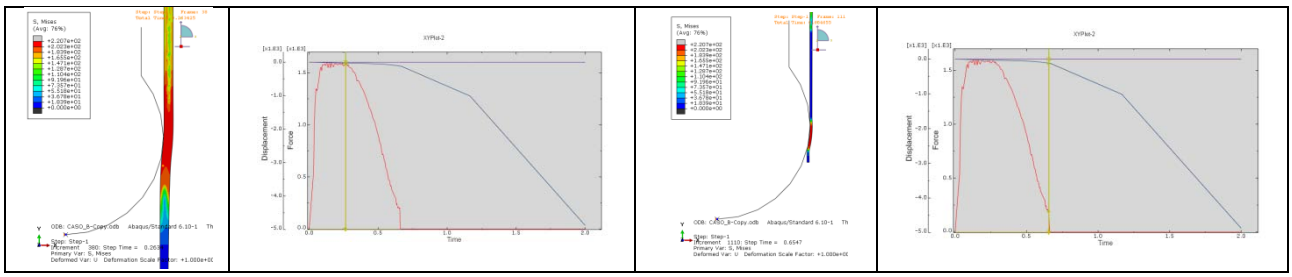
Tabla 1. Resultados comparativos, estudio 1.

	tiempo de estabilización [seg]	tiempo de liberación [seg]	carga máxima [N]	salto de carga [N]	longitud de liberación [mm]
variación lineal	0,11	0,80	1580	239	104
variación cuadrática	0,12	0,61	1585	201	133

Se presentan a continuación, una serie de imágenes donde se muestran, tensiones, posición del rígido, vinculados a la posición sobre la curva de fuerza y desplazamiento en función del tiempo, la gráfica permite reconocer los parámetros a modificar para lograr diferentes efectos.

Tabla 2. Tensiones de VM y posición del rígido vinculado a curva de fuerza y desplazamiento





Conclusiones y trabajos futuros

El modelo desarrollado presenta las bases elementales para el diseño del sistema, los resultados obtenidos satisfacen los objetivos propuestos al inicio del estudio, es decir, que el sistema permite modular la carga de restricción asemejándose a la curva ideal presentada primeramente, en tiempos compatibles con los requeridos por el sistema de liberación.

Los parámetros más influyentes en las características del sistema son el coeficiente de roce, los espesores de las paredes y la interferencia entre los componentes, por lo cual, se deberá prestar especial atención a la manufactura de las piezas y desarrollar conjuntamente los estudios del diseño teórico-experimental y la construcción de los componentes.

Se deberá experimentar con diferentes materiales y procesos constructivos que permitan converger a un diseño seguro con resultados repetitivos y confiables.

Se deberá analizar el requerimiento de terminación superficial a los efectos de limitar la dispersión en los valores del coeficiente de roce. El diseño definitivo deberá apuntar a atenuar la influencia en la variación del coeficiente de roce estudiando la forma del dispositivo y el material utilizado

Se deberán diseñar los componentes restantes y realimentar el modelo de elementos finitos realizando sucesivas validaciones experimentales que permitan avanzar de manera equilibrada entre la parte experimental y de simulación computacional.

Se deberá analizar el comportamiento del dispositivo a diferentes temperaturas.

El análisis desarrollado plantea al dispositivo en un estado ideal, por lo tanto se deberá desarrollar la forma de vincular el dispositivo por ejemplo a una estructura rígida, con lo cual el mismo sufrirá inevitablemente un rediseño en su morfología, y deberá estudiarse el impacto del mismo sobre el sistema.

Bibliografía

Finite Element Modeling for Stress Analysis - Robert D. Cook -

Friction, Lubrication and Wear Technology - AMS HANDBOOK. VOL.18 -

SPINOFFS 14B. - Force Vs. Displacement.

Reliability and Quality Assurance Experience in Launcher Hold and Release System used in GSLV - Vikram Sarabhai Space Centre.

DISEÑO DE MONTURA DAVIES-COTTON DE TELESCOPIO CHERENKOV DE 6M DE DIÁMETRO PARA EL PROYECTO CTA

Marcos D. Actis, Pablo L. Ringegni, Asdrubal Bottani, Gonzalo Vallejo

Unidad de Investigación y Desarrollo Grupo de Ensayos Mecánicos Aplicados - UID GEMA -
Departamento de Aeronáutica - Facultad de Ingeniería – UNLP.
Calle 116 entre 47 y 48 La Plata (1900). e.mail: ringegni@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: CTA, Cherenkov, telescopio, estructura, mecanismos

Introducción:

En los últimos años, la actual generación de observatorios terrestres como HESS, MAGIC y VERITAS ha conducido exitosamente la observación en el campo de la astronomía de rayos gama de muy alta energía con un aumento significativo de observaciones de fuentes y de observaciones detalladas sobre muchos objetos relevantes. .
Para la próxima generación de instrumentos de observación de rayos gamma desde tierra, la comunidad internacional a través del proyecto Europeo Cherenkov Telescope Array (CTA) prevee la construcción de un observatorio en cada hemisferio, con el objeto de observar rayos gamma de fuentes astronómicas en diferentes rangos de altas energías (desde 20 GeV hasta 300 TeV). De esta manera CTA observará el cielo con una sensibilidad un orden superior a los sistemas actuales y con una mejora en la resolución angular. Cada observatorio, donde la Argentina figura entre los primeros candidatos como sitio para su emplazamiento, constará de un arreglo de más de 60 telescopios Cherenkov de tres diferentes tamaños (los de gran tamaño (LSTs), los de mediano tamaño (MSTs) y los de pequeño tamaño (SSTs)), según el rango de energías que deban cubrir. Para las energías más altas a observar (> 1TeV), los arreglos utilizarán aproximadamente 50 telescopios (SST´s) de 6 m. de diámetro, distribuidos en una superficie del orden de los 10 Km2.

El Proyecto CTA considera dos tipos de telescopios de 6 m: el Schwarzschild-Couder (SC) (Vassiliev & Fegan, 2008), de doble espejo, y el Davies-Cotton (DC) (Lewis 1990) de espejo simple, ambos con espejos facetados. Con el tipo SC se logran disminuir las aberraciones ópticas y temporales de los pulsos, además de una reducción de la escala en el plano focal, lo cual baja el tamaño y costo de la cámara (aún en vías de desarrollo), pero contempla una estructura y un mecanismo o sistema de alineación de los espejos más complejos. El diseño DC, desarrollado por nuestro equipo de trabajo, es estructuralmente robusto, más simple, menos sensible a las deformaciones, de menor costo, de mayor simplicidad de construcción y bajo y sencillo mantenimiento. Sin embargo la cámara que es necesaria para detectar los rayos gama en estos SST es más grande y potencialmente más costosa. Para equilibrar los costos de la cámara y el montaje, una primera alternativa que se consideró es cubrir el área aproximada de los 10 Km^2 con menor cantidad de SSTs pero con una configuración del área de espejos relativamente grande.

Este diseño de montura DC de 6 m de diámetro, con un área de espejos facetados, se desarrolló cumpliendo con las especificaciones requeridas por parte del proyecto CTA. Se analizaron diferentes configuraciones estructurales y mecanismos actuadores para generar los movimientos de acimut y elevación del telescopio. El esquema estructural general adoptado finalmente consiste en un reticulado espacial conformado por tubos de acero soldados y tensores y está formado por tres grandes partes preparadas para ensamblar in situ. En este trabajo se muestra el diseño de la configuración estructural finalmente adoptada y los resultados obtenidos por simulación por elementos finitos respecto a las tensiones, pandeo y modos naturales de oscilación. También, se exponen el diseño de los mecanismos para los movimientos de acimut y elevación.

Resultados y Discusión:

1-Diseño y análisis de la estructura:

La estructura general del telescopio diseñado se muestra en la Fig.1 y está formada por tres partes diferentes: la estructura inferior o acimutal, la estructura superior o de elevación y la estructura soporte de los espejos facetados (Fig.2 de izq. a derecha).

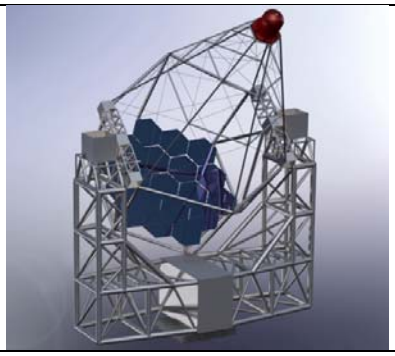


Fig.1

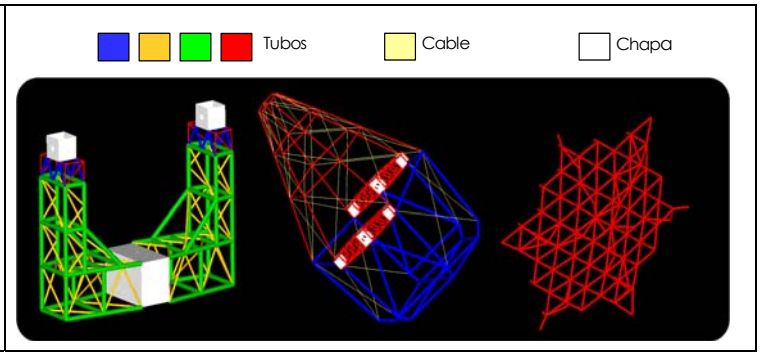


Fig.2

La estructura acimutal, que está sometida fundamentalmente a esfuerzos flexionales y torsionales, determinó que se adoptara un reticulado espacial tipo cajón cerrado cuyos componentes son tubos estructurales con costura. Se prevé su construcción en tres tramos, los dos reticulados verticales y el reticulado horizontal, a los efectos de facilitar su transporte al sitio de emplazamiento. La estructura de elevación consiste en una estructura tronco piramidal de base hexagonal en la cual cada cara es un reticulado con cordones y montantes formados por tubo estructural y diagonales constituidas por tensores. Se completa con dos vigas reticuladas tipo cajón en los laterales para llevar los esfuerzos a través del eje a la estructura acimutal. Finalmente la estructura soporte de espejos es una estéreo estructura de dos capas de contorno hexagonal que conforma la base de la anterior y cumple la doble función de soportar la carga de los espejos y las acciones del viento sobre los mismos, proveyendo a su vez un plano que rigidiza la estructura de elevación.

1.1-Consideraciones y requerimientos:
Para evaluar el comportamiento de la estructura propuesta se consideró:

-Material de los tubos estructurales	Norma IRAM-IAS U500-2592, calidad TE-22
-Las cargas de viento actuantes sobre la estructura:	Norma CIRSOC 102-82 .
-Peso de la cámara:	16000 N
-Diámetro de la cámara:	1.20 m
-Diámetro del área de espejos:	6 m
-Peso de la estructura completa:	125 kN
-Longitud de los espejos de lado a lado:	1.20 m
-Ángulos (elevación / acimut):	-60º a 90º / 360º
-Rango de temperaturas:	-30 a 50 ºC
-Frecuencia natural:	>2.5 Hz
-f/d (foco / diámetro) / FoV (field of view)	1,8 / ≤ 8º
-Sombra generada por estructura soporte de cámara:	5% del área del arreglo de espejos

1.2-Análisis estructural:
Se analizaron diferentes situaciones de carga de acuerdo a las condiciones de operación siguientes: (para esto se utilizó una modelación y cálculo por elementos finitos)

a-Operación: Máxima velocidad de viento en condiciones de observación: 50Km/h
Los parámetros a evaluar fueron los desplazamientos y su afectación al desempeño óptico del telescopio. Para comprender la respuesta de la estructura ante la variación del ángulo de elevación se confeccionaron los gráficos correspondientes (Fig3.)

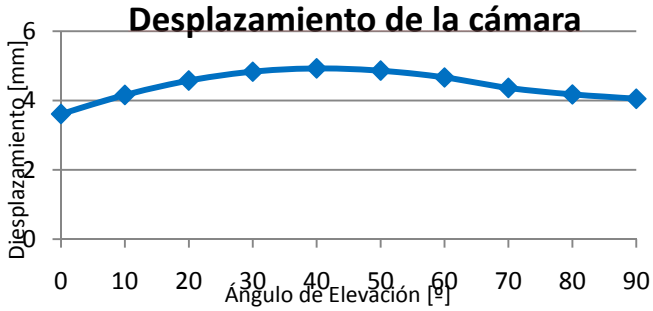


Fig 3

b-Posición de Parking: -Máxima velocidad de viento con mecanismos en operación: 100km/h
-Se realizaron los cálculos para los siguientes peores casos de carga (Fig.4): para el eje de elevación con viento frontal y un ángulo de elevación de 45º y para el eje de acimut con elevación de 0º y viento cruzado a 45º.
Se obtuvieron los siguientes resultados de carga que fueron utilizados para dimensionar los mecanismos con el fin de asegurar su correcto funcionamiento y posición de parking.
-Momento máximo en los ejes: elevación: 30000 Nm cada uno - acimut: 42000 Nm

c-Situación Límite (supervivencia): -Máx. velocidad de viento en *parking*: 180Km/h (Fig.5)

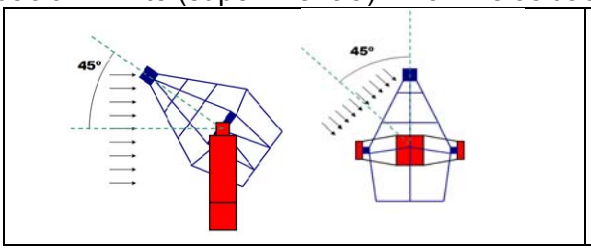


Fig4



Fig.5

Se analizaron las tensiones y deformaciones de la estructura (Fig.6) para verificar que mantenga su integridad sin deformaciones permanentes ante los estados de carga extremos, lográndose un margen de seguridad de la estructura de 1.97

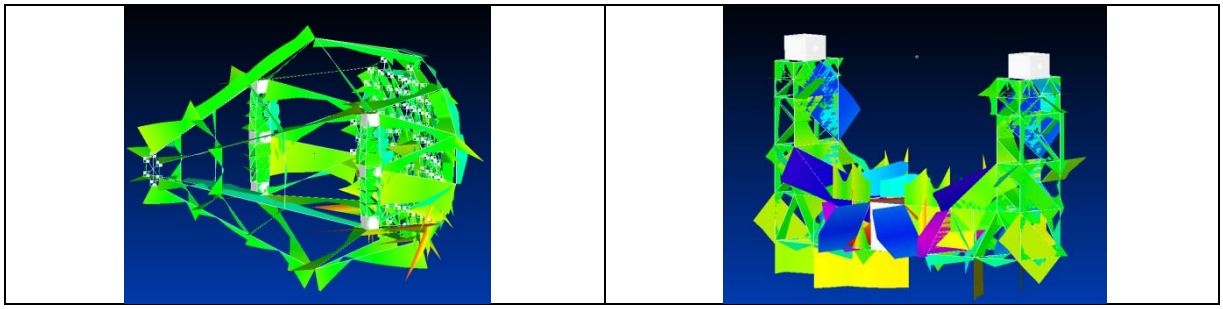


Fig.6.Ejemplos de las distribuciones de tensiones y deformaciones obtenidas

Se realizó el cálculo de inestabilidad (pandeo) de todos los elementos de la estructura determinándose un margen de seguridad positivo de 1.83.
Para el caso de análisis dinámico se obtuvo una frecuencia de resonancia mínima de 3.5 Hz.
El punto clave a resolver en esta instancia fue la determinación del diámetro de los ejes de elevación.

2-Diseño y Análisis de los mecanismos:

El telescopio consta con dos sistemas mecánicos, uno para el eje de elevación (doble) y otro para el eje de acimut (simple) (Fig.7). En ambos casos se decidió utilizar servomotores con

reductoras para accionar los movimientos por su capacidad de mantener constante el par nominal incluso estando detenidos, esto permite realizar el cambio de velocidad entre las fases de seguimiento y posicionamiento en las que opera el telescopio, solo modificando las velocidad de giro del servomotor. También se emplearon sistemas de piñón - corona

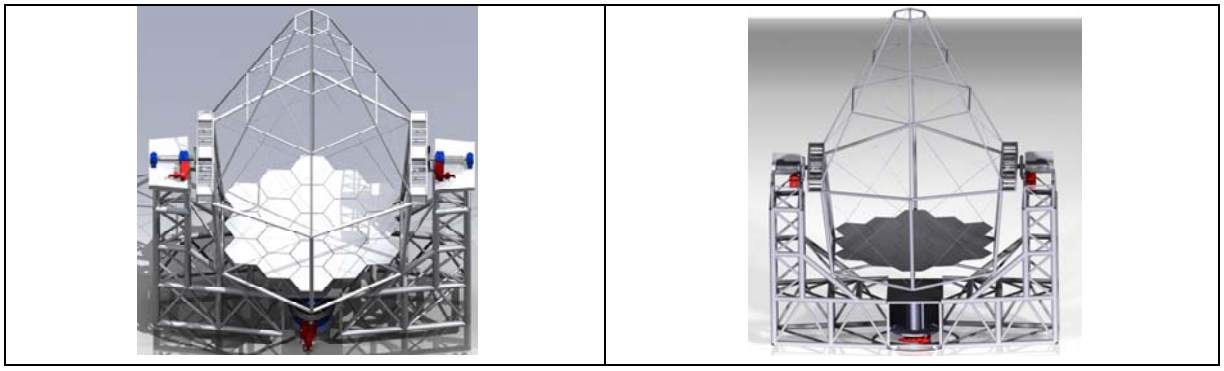


Fig.7 –Mecanismos: elevación (uno a cada lado, parte superior) y acimut (uno inferior)

2.1-Consideraciones para el Diseño de los Mecanismos:

- Cualquier maniobra de posicionamiento con tiempo de duración menor a 1 minuto
- Velocidad ángulo de seguimiento (acimut y elevación): 15º/h.
- Velocidad ángulo de posicionamiento del eje: elevación: 0,5rpm. acimut: 1.35 rpm.
- Aceleración angular del eje de elevación en posicionamiento: 0,2º/s^2.
- Aceleración angular del eje de acimut en posicionamiento: 0,54º/s2
- Tiempo de aceleración (acimut y elevación): 15s.
- Precisión de posicionamiento: ±2,5arcseg.
- Máximo viento: Para operación: 100 Km/h. Supervivencia (Parking): 180 Km/h
- Máximo torque para el eje de elevación: 50.000 Nm
- Máximo torque del eje de acimut: 123.180 Nm (supervivencia), 48.810 Nm (operación)

2.2-Análisis y Diseño de los mecanismos:
Para el diseño de los mecanismos de elevación y acimut se consideraron los siguientes casos de carga de viento: 50km/h para operación normal, 100km/h para mover el telescopio a posición de parking y 180km/h en posición de parking (supervivencia).

2.2.1-Mecanismo de acimut:
El estado de carga analizado más crítico considerado para el dimensionado de este mecanismo es el que tiene en cuenta un viento de 180 Km/h con dirección a 45 º respecto del eje de la cámara y posición de parking. (Fig.8). Este estado de carga genera un torque máximo de 123 kNm que dimensiona los dientes de la corona de orientación y los servorreductores. Para la condición de operación, el momento máximo dimensionante fué de 48.8 kNm. Para el dimensionado de los rodamientos, el estado de carga que se toma es el que considera un viento de 180 Km/h con dirección frontal y en posición de parking. (Fig.9)

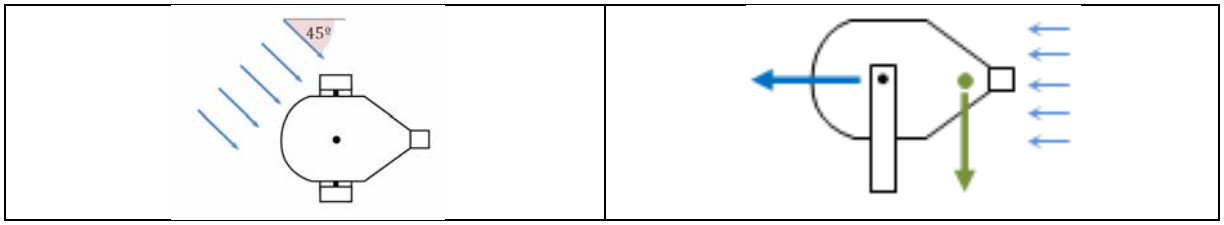


Fig.8 Fig 9

El mecanismo de acimut diseñado (Fig.10) posee un único rodamiento denominado “corona de orientación” que es capaz de soportar esfuerzos radiales, axiales y momentos. Se acciona mediante dos servo reductores que fueron dimensionados para mantener detenido el telescopio cuando se encuentra en condición de estacionamiento “parking” y sometido a máximo viento. La corona de orientación se abulona a dos soportes para no concentrar tensiones sobre los elementos rodantes. Los servorreductores se colocan enfrentados para distribuir los esfuerzos sobre la estructura.

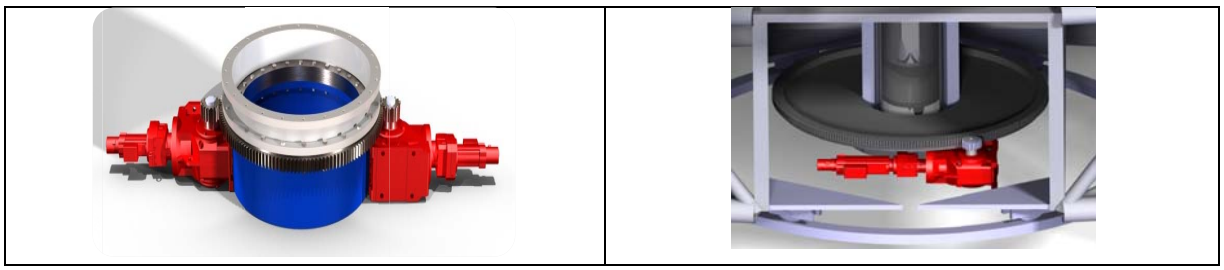


Fig.10. Mecanismo de movimiento de acimut

Las especificaciones adoptadas para este mecanismo se presentan a continuación:

- Par de la reductora: 8000. Nm
- Relación de reducción de la reductora: 1:251.
- Diámetro de la corona: 1440mm.
- Diámetro del piñón: 170 mm
- Relación piñón corona: 1:8,47. (juego: 2.1 arcmin)
- Servomotor: asincrónico, 23.5 Nm, 3000 rpm con freno electromagnético

2.2.2-Mecanismo de elevación:

De los estados de carga analizados, el más crítico para el dimensionado de este mecanismo es el que tiene en cuenta un viento de 100 Km/h con dirección frontal y posición de 40º de elevación. Este estado de carga genera un torque máximo de 25 kNm por cada eje y que dimensiona también los dientes de la corona de orientación y los servo reductores.

Para el dimensionado de los rodamientos se toman los tres siguientes estados de carga: máximo viento frontal de 180 Km/h y posición de parking; máximo viento lateral de 180 Km/h y posición de parking y viento frontal de 100 Km/h, condición operativa hacia supervivencia I y elevación de 40º (Fig.11)

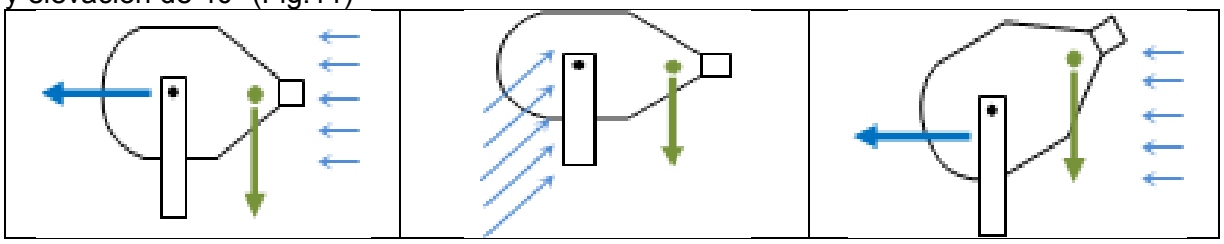


Fig.11

Estos casos de carga generan cargas radiales de 46 KN y 103 KN y cargas axiales de 24 KN y 28 Kn (cargas en rodamientos externo e interno respectivamente) utilizadas para la selección de los rodamientos

El mecanismo de elevación diseñado (Fig.12) cuenta con un eje que posee dos rodamientos, uno interior y otro exterior. Dado el elevado par que toma este eje y que se genera en el cuerpo de elevación del telescopio se coloca un equipo moto-reductor en cada extremo para distribuir la carga y evitar la deformación asimétrica de la estructura. Para minimizar el tamaño de los servorreductores y lograr la reducción de velocidad adecuada se incorpora al sistema un juego piñón-corona. Las cajas porta-rodamientos y la reductora se abulonan al mismo plano. La corona se fija directamente en la estructura para aumentar la frecuencia del primer modo de vibración.

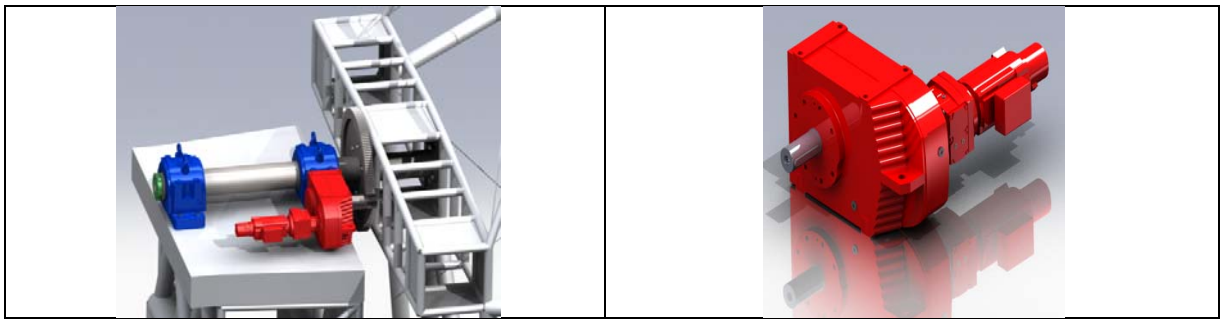


Fig. 12 Mecanismo de movimiento de elevación.

Las especificaciones adoptadas para este mecanismo se presentan a continuación:

- Par de la reductora: 4.300Nm.
- Relación de reducción de la reductora: 1:251.
- Diámetro de la corona: 900mm.
- Diámetro del piñón: 102 mm
- Relación piñón corona: 1:8,82. (juego: 1.5 arcmin)
- Rodamientos de rodillos a rótula.
- Servomotor: asincrónico, torque 11 Nm con freno electromágnético

Conclusiones:

La estructura diseñada del telescopio con una masa de 125 kN cumple las condiciones estructurales y mecánicas de diseño para los estados de carga analizados (en operación normal, y supervivencia hasta 180 km/h en posición de parking). De los análisis realizados con los diferentes estados de carga considerados, se obtuvieron niveles de tensiones por debajo del nivel de tensión de diseño del material y no se encontraron elementos que pandearan en la estructura. Desde el punto de vista dinámico, todos los modos de vibración de la estructura son superiores a 2.5Hz, cumpliendo con los requerimientos de CTA. Los mecanismos de acimut y elevación de este telescopio se diseñaron y seleccionaron para soportar los estados de carga y cumplir con los requerimientos de alcanzar cualquier posición en menos de 1 minuto cumpliendo con valores de velocidad (aceleración): elevación = 0,5 rpm (0,2 _/s2); acimut = 1 rpm (0,4 _/s2).

Por otra parte personal del IAFE (Instituto de Astronomía y Física del Espacio) fue el encargado de realizar el estudio de las aberraciones determinando que las mismas está completamente dominadas por el sistema óptico y que la influencia de las deformaciones de la estructura y la montura de los espejos es despreciable para cualquier estado de carga del telescopio. Esto permite concluir que el diseño del telescopio cumple con los requerimientos impuestos por CTA

Bibliografía:

1.Lewis, D. A. (1990). Experimental Astronomy, 1, pp 213-236.
2.Rovero, A.C. (2009), BAAA 53.
3.Vassiliev, V. & Fegan, S.J. (2008). 30th ICRC, 3, pp 1445-1448.
4. Lewis, D.A.: Optical characteristics of theWhipple Observatory TeV gamma-ray imaging telescope. Experimental Astronomy 1, 213-236, (1990)
5. Rovero, A.C., et al.: Optical performance related to mechanical deformations of a Davies-Cotton mount for the high energy section of the Cherenkov Telescope Array. 32nd ICRC, Vol 9, 46-49 (2011)
6. White, R., et al.: Telescopes for the High Energy Section of the Cherenkov Telescope Array. 32nd ICRC, Vol 9, 58-61 (2011)
7-Manuales SKF
8-Manuales SEW

ESTUDIO DEL COLAPSO DE TUBOS CUADRADOS DE PARED DELGADA SOMETIDOS A COMPRESIÓN

Mundo, Luis M.

UID GEMA, Depto. Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata ,

Calle 1 y 47, (CP: 1900), La Plata, Argentina

Email: luis.mundo@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: Pandeo local, Compresión, Paredes delgadas, FEM, Aplastamiento.

INTRODUCCION:

El pandeo de elementos sometidos a compresión se genera a causa de una inestabilidad en la estructura. Este puede darse en diferentes formas dependiendo de las características geométricas del elemento a estudiar. Si se tratara de una viga muy esbelta, el posible modo de pandeo será como de columna elástico o elastoplástico según su esbeltez. Si la viga es corta y de espesores gruesos la falla puede ocurrir debido a que la carga sobrepasa la carga última de compresión del material y solo es función de las propiedades mecánicas del material. Si la viga posee espesores delgados respecto a las longitudes de su sección puede ocurrir que la falla se dé por una inestabilidad local de dicha sección, este es el caso que se desarrolla en el presente trabajo.

El estudio del fenómeno se realiza por medio de la caracterización del modo de pandeo analizando la evolución de la carga y la geometría de una viga de sección cuadrada hueca a medida que se la somete a una deformación axial de compresión. Este análisis se realiza mediante el uso de un software de elementos finitos, Abaqus.

A su vez se verifican los resultados obtenidos con los hallados en el paper "Finite Element Modeling of Crushing Behaviour of Thin Tubes with Various Cross-Sections". Este posee resultados analíticos, experimentales y numéricos del progreso de la carga para la misma viga sometida a la misma deformación de compresión.

DESARROLLO:

Para realizar el estudio del fenómeno de pandeo local y postpandeo se utiliza una viga cuadrada hueca de 450 mm de longitud y 100 mm de lado por 2,8mm de espesor, esta es la misma que la utilizada en el paper seleccionado como información de comparación a fin de poder validar el método de elementos finitos realizado.

La forma de evaluar el comportamiento a pandeo de la viga se realiza provocando la compresión por medio de la aplicación de deformación axial entre ambos extremos. Esto se genera mediante dos placas rígidas en contacto con dichos extremos. Una de ellas se desplaza

axialmente y de la restante se obtiene carga axial que se genera para producir la deformación, como se presenta en la siguiente figura.

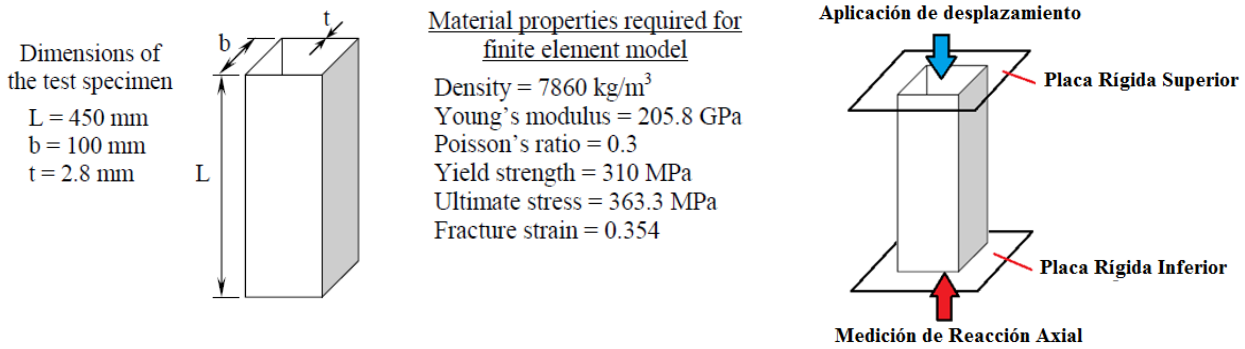


Figura 1 – Geometría, propiedades de la viga a analizar y configuración del análisis.

Descripción del comportamiento físico:

En este tipo secciones sometidas a compresión la falla comienza a manifestarse en forma de pandeo local generado principalmente por una imperfección, ya sea del material, proceso de fabricación o simplemente geométrica, esta última se relaciona con la planitud de las caras o paralelismo entre ellas. A su vez también influyen de forma significativa las condiciones de borde aplicadas, si sus extremos se encuentran simplemente apoyados, libres o empotrados.

En general, un diagrama de carga vs. desplazamiento para este tipo de problema presenta un rápido crecimiento de la fuerza debido a la compresión del tubo en régimen elástico. Luego una rápida caída de la carga cuando una zona del perfil comienza a ceder debido a un pandeo localizado, plegándose. Normalmente se genera en una zona cercana a uno de los bordes en caso de que estos se consideren libres perpendicularmente a la dirección de la carga. Luego de finalizar el primer plegado se puede observar otro crecimiento de la carga hasta que se genera el siguiente plegado de las caras adyacentes. Posteriormente se divisa otro crecimiento de la carga debido al contacto entre los plegados hasta que las caras comienzan a plegase nuevamente. Este proceso ocurre repetidamente hasta que se pliega la totalidad de las caras. Como se muestra de forma cualitativa en la siguiente figura.

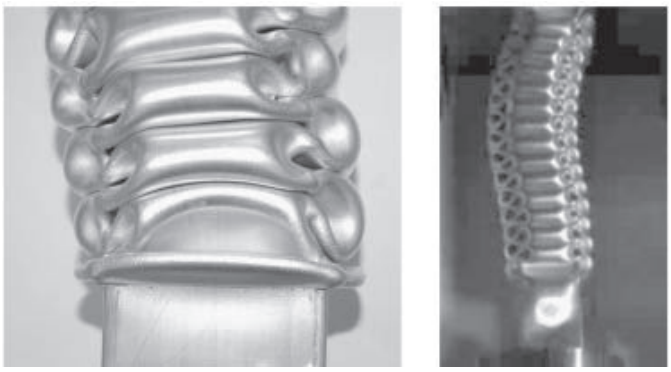


Figura 2 – Comportamiento típico de aplastamiento de tubo cuadrado por pandeo.

Modelos Numéricos Implementados

Para realizar el análisis del comportamiento se generaron una serie de modelos FEM representando las mismas condiciones que se mencionaron anteriormente.

Puede mencionarse que dichos modelos poseen una complejidad significativa debido a que es un problema que contempla tanto la inestabilidad propia del pandeo de la estructura como la elasto-plasticidad del material, una alta no linealidad geométrica debida a los grandes desplazamientos y deformaciones, y un complejo nivel de contacto de la pieza consigo misma para poder modelar cada fase de plegado.

Modelo 1:

Consiste en un análisis Estático Implícito generando una imperfección en el mallado por medio del corrimiento manual de los nodos del borde superior de la viga de 1mm hacia afuera de la sección. El mallado consiste en 7580 elementos cuadriláteros de orden lineal con integración reducida, del tipo (S4R).

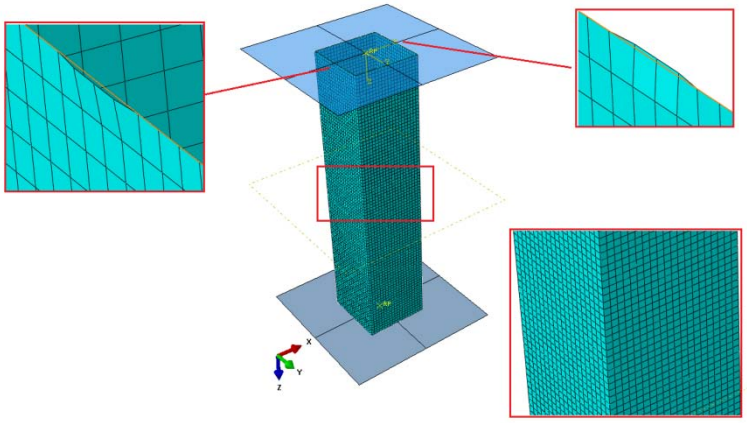


Figura 3 – Mallado del modelo y detalle de imperfecciones agregadas.

Modelo 2:

Consiste en el mismo modelo anterior solo que las imperfecciones se generan mediante la utilización del primer modo de pandeo como patrón de deformación del mallado. El mayor apartamiento del mallado es de 1% del espesor.



Figura 4 – Comparación de primer instante de aplastamiento versus modo de pandeo seleccionado para modificar el mallado.

Modelo 3:

Este modelo consiste en un análisis Dinámico Explícito en el que no se consideran imperfecciones sobre la geometría, dejando que solo la evolución de la deformación genere la inestabilidad. El mallado utilizado es el mismo que en los modelos anteriores, solo que los elementos son aptos para análisis explícitos.

Modelo 4:

Consiste en un análisis dinámico explícito en el que se generan imperfecciones en el mallado considerando los cinco primeros modos de pandeo elástico obtenidos según un modelo previo con iguales factores de ponderación. El mayor apartamiento del mallado es de 1% del espesor.

Modelo 5:

Consiste en un análisis dinámico explícito en el que se generan imperfecciones en el mallado considerando los cinco primeros modos de pandeo elástico obtenidos según un modelo previo. En este caso se considera el primer modo de pandeo con un factor de ponderación del doble que el del resto de los modos. El mayor apartamiento del mallado es de 1% del espesor.

Resultados:

Primeramente se presentan los resultados hallados en el paper de referencia, en el cual se obtuvo la siguiente curva de carga vs acortamiento de la probeta.

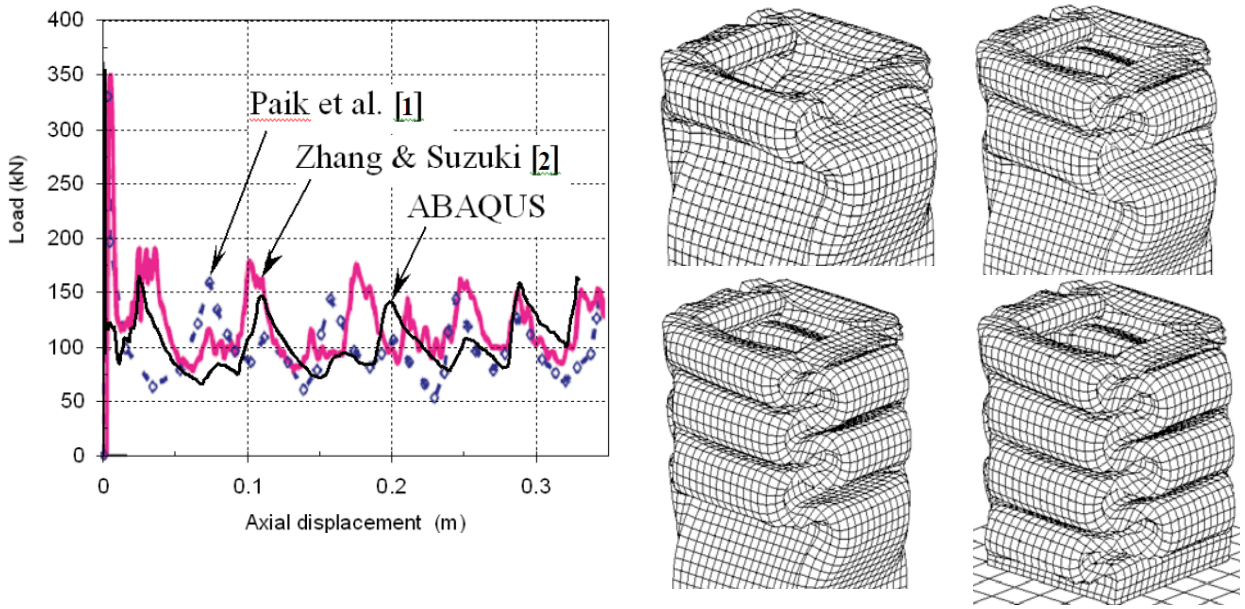


Figura 5 – Curva carga vs. Acortamiento – Aplastamiento progresivo del modelo FEM.

A su vez se obtuvieron los siguientes valores de carga pico y principal de pandeo:

Table (1) Comparison between the presented results of F.E.M., experimental results in Ref.[1] and numerical solution in Ref.[2]

Parameter	Ref.[1]	Ref.[2]	F.E.M.
Peak load (kN)	337.12	357.23	348.25
Mean load (kN)	100.98	101.32	102.78

En cuanto a los modelos realizados, a continuación se presenta una comparación entre los resultados de cada modelo junto con una tabla de las cargas pico y principales de pandeo en comparación con las halladas en el paper.

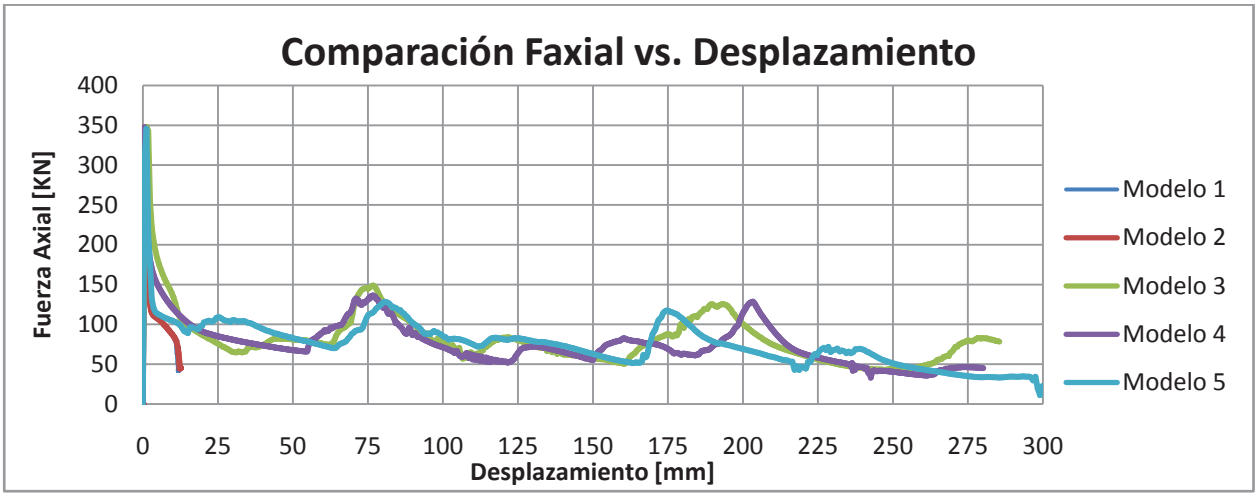


Figura 6 – Diagrama de carga, comparación entre modelos.

Tabla 1 – Cargas Pico y Cargas Principales – comparación con paper.

MODELOS	Carga Pico [KN]		Desplaz. [mm]	Carga Principal [KN]	
Paik [1] Analítico-paper	337,12		NM*	100,98	
Zhang & Suzuki [2] ensayo-paper	357,23		NM*	101,32	
FEM Abaqus-Paper	348,25		NM*	102,78	
		Error %**			Error %***
Modelo 1	347,47	0,22	0,77	42,3	-
Modelo 2	347,82	0,12	0,83	47,75	-
Modelo 3	347,78	0,13	1,2	82,31	19,92
Modelo 4	347,33	0,26	0,6	76,43	25,64
Modelo 5	345,82	0,70	1,2	73,35	28,63

NM*: Valores no medidos. Error%: Error porcentual medido respecto a la carga pico del modelo de Abaqus obtenido del paper. Error%***: Error porcentual medido respecto a la carga Principal modelo de Abaqus obtenido del paper.**

Conclusiones

Se logró obtener conocimientos en las técnicas utilizadas para el modelado del pandeo local en estructuras de pared delgada verificando y validando su comportamiento frente a distintas alternativas, tanto teóricas, numéricas como experimentales.

Las *Cargas Pico de Pandeo* obtenidas con todos los modelos FEM implementados se acercan al resultado numérico (Abaqus) obtenido del paper de manera muy satisfactoria, logrando un error 0,7 % en el peor caso. A su vez, respecto a los valores experimental y analítico hallados los errores son aceptables, de 3,2% en el peor caso.

Los valores de *Carga Principal de Pandeo*, obtenida de la energía absorbida (integral numérica realizada en la curva carga vs desplazamiento) dividida por el desplazamiento total arroja valores muy por debajo de las mencionadas en el paper, con errores de hasta un 28%.

Los análisis estáticos generales utilizados abortan a escasos milímetros de desplazamiento 12mm aproximadamente, por lo que se concluye que este tipo de análisis no son aptos para este tipo de problemas, teniendo que utilizarse análisis Explícitos.

Las imperfecciones en el mallado a colocar en las paredes de la viga no deben exceder el 2% del espesor para los casos en los que se utilizan los autovalores de pandeo. Valores mayores disminuyen drásticamente la *Carpa Pico de Pandeo*. Se debe ponderar el modo de pandeo deseado con un mayor valor que el resto con el fin de generar la deformación requerida. En el modelo 4 al tener igual ponderación en los cinco primeros modos de pandeo se observa que el colapso comience en la zona central de la viga (influenciada por el quinto modo), Esto no altera significativamente la carga pico de pandeo, solo el comportamiento posterior el cual depende de los sucesivos plegados.

Puede observarse que el no agregar imperfecciones no impide el desarrollo del colapso de la estructura en los análisis dinámicos Explícitos.

REFERENCIAS

[1] M. M. Yones, "Finite Element Modeling of Crushing Behavior of Thin Tube with Various Cross-Section"

[2] J. K. Paik, J. Y. Chung, and M. S. Chun, “On quasi-static crushing of a stiffened square tube”, J. Ship Res., Vol. 40, No. 3, pp. 258–267, 1996.

[3] A. Zhang, and K. Suzuki, “A study on the effect of stiffeners on quasi-static crushing of stiffened square tube with non-linear finite element method”, Int. J. of Imp. Eng., Vol. 34, pp. 544–555, 2007.

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA TÉRMICA DE SUJECIONES MECÁNICAS DE UN COMPONENTE DE APLICACIÓN ESPACIAL

Ignacio Moore, Cristian F. Pardo, Matías Scandura

Área Departamental Aeronáutica – Facultad de Ingeniería – UNLP
Calle 116 s/n entre 47 y 48.La Plata, Buenos Aires, Argentina. CP 1900.
e-mail: cristian.pardo@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: Resistencia térmica, sujeciones mecánicas, componente espacial.

Introducción

En aplicaciones espaciales es de gran importancia determinar las resistencias térmicas de las sujeciones mecánicas que vinculan un equipo a la estructura principal de un satélite. En el análisis y diseño térmico del equipo, se debe conocer cuanta energía se transfiere por conducción entre este y dicha estructura principal, siendo necesario determinar lo más fehacientemente posible la resistencia térmica de las sujeciones, para emplearla en modelos numéricos.

El valor de la resistencia térmica de una sujeción mecánica depende de diversos factores, siendo los principales la configuración geométrica (espesores y diámetros de arandelas, diámetro de tornillo y diámetros y largo de inserto, etc.), materiales, torque de ajuste, pegamento empleado para el pegado del inserto a la estructura, etc.

En este trabajo, se presenta la determinación de los valores de resistencia térmica para 3 sujeciones mecánicas a ser empleadas en un componente satelital. Para esto, se llevó a cabo una serie de ensayos en una cámara de termo-vacío, utilizándose los valores arrojados por estos en el ajuste de modelos analíticos y numéricos. De esta manera fue posible modelizar de forma simplificada estas sujeciones para poder utilizar estos modelos matemáticos en modelos más complejos que simulan la interacción térmica del componente con el satélite y con el entorno espacial.

Parte experimental

En la siguiente figura se observa en corte la geometría de una de las 3 sujeciones:

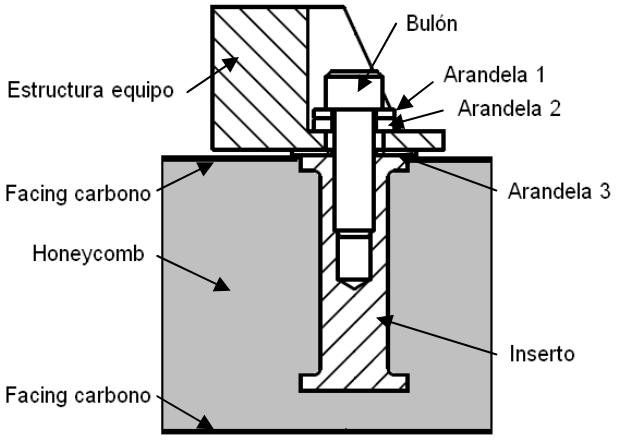


Figura 1. Vista en corte sujeción tipo 1.

Las otras dos sujeciones presentan geometrías conceptualmente similares, pero con algunas diferencias.

Dado que el flujo de calor es entre la estructura del equipo y la estructura del satélite, la cual es del tipo sándwich (como se observa en la figura 1), para determinar los valores de las resistencias térmicas se realiza una probeta la cual contiene a la sujeción y a solo una pequeña porción de cada una de las estructuras.

Luego se aísla térmicamente la probeta, dejándose solo una superficie expuesta, la cuál es el facing inferior.

Durante el ensayo, se aplica potencia mediante una resistencia eléctrica en la superficie que representa la estructura del equipo, y se dejan estabilizar las temperaturas, llegándose prácticamente a régimen estacionario ($\Delta T/\Delta t \leq 1$ºC/h). Conocida la potencia entregada y las temperaturas en los diferentes puntos, se calculan las resistencias térmicas de cada sujeción.

En la siguiente figura se observa gráficamente lo anteriormente explicado:

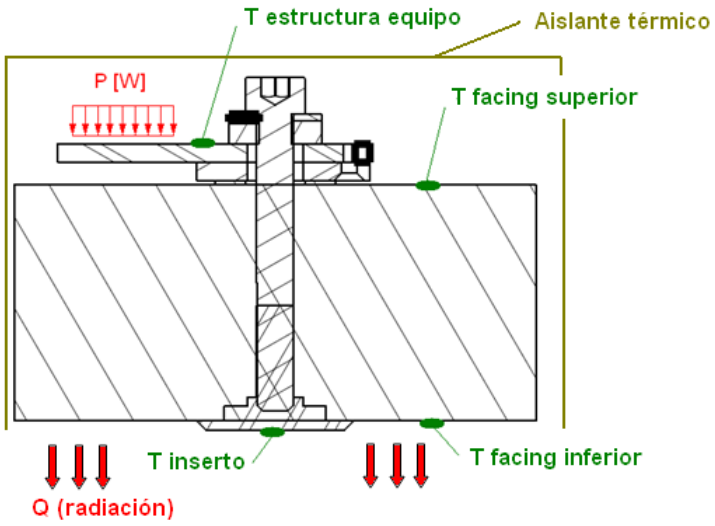


Figura 2. Representación conceptual del ensayo.

Dado que el componente es de uso satelital, los ensayos deben realizarse en vacío, para lo cual se emplea una cámara de termo-vacío. Dicha cámara alcanza un vacío del orden de $1x10^{-7}$ mbar y tiene una camisa con un circuito de nitrógeno líquido que llega a -190ºC, siendo esta el sumidero térmico del ensayo.

El aislante térmico es del tipo MLI (multi-layer insulation) empleado en la industria satelital, el cuál minimiza el intercambio de calor por radiación entre la probeta y la camisa de la cámara. Como se explicó anteriormente, el facing exterior se deja sin aislar ya que es por allí por donde el calor es expulsado mediante radiación a la camisa de la cámara.

Los sensores empleados en cada punto de medición son termocuplas tipo T (cobre – constantan).

En la figura 3 se observa el modelo de resistencias considerado para cada sujeción, y el modelo de resistencias final a emplearse en los modelos térmicos matemáticos:

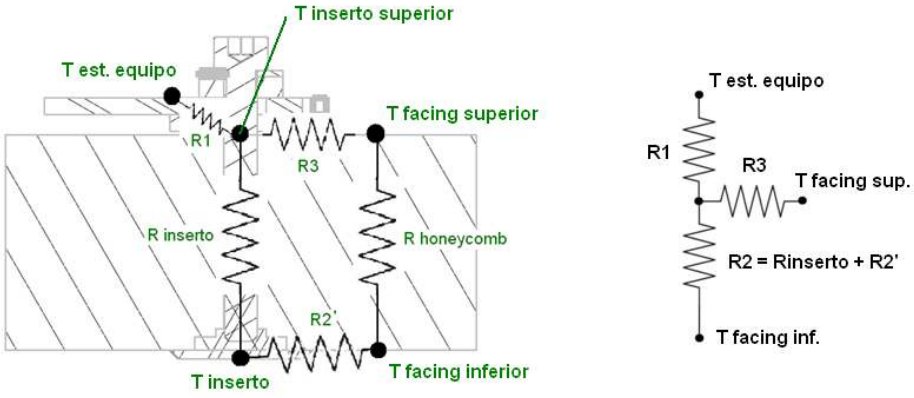


Figura 3. Modelo de resistencias para cálculo (izq.) y modelo de resistencias final (der.)

Si bien en el cálculo de las resistencias se tiene en cuenta la R honeycomb, en el modelo final no. Esto se debe a que el modelo matemático del satélite ya considera el honeycomb.

La R honeycomb para cada sujeción se calcula analíticamente según la siguiente expresión:

$$R_{honeycomb} = \frac{l}{k.A} = \frac{0{,}052m}{1\frac{W}{m.ºC}.0{,}009739m^2} \rightarrow R_{honeycomb} = 5{,}34\frac{ºC}{W}$$

Mientras que para determinar la Rinserto para cada sujeción, se realiza un modelo numérico, al cual se le aplica una temperatura de borde en un extremo y una potencia en el otro:

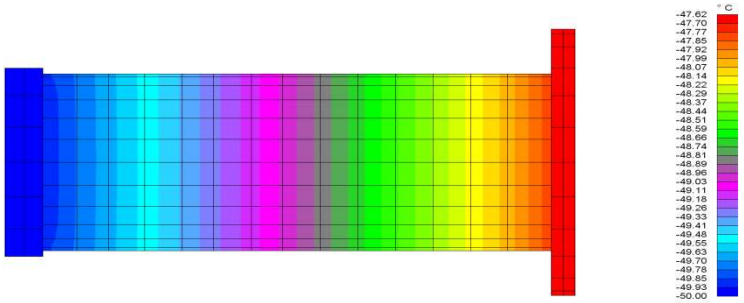


Figura 4. Modelo numérico resistencia térmica de inserto, sujeción 3.

Siendo Rinserto:

$$R_{inserto} = \frac{\Delta T}{Q} = \frac{-47.62ºC - (-50ºC)}{1W} \rightarrow R_{inserto} = 2{,}38\frac{ºC}{W}$$

En la siguiente imagen se observa la disposición de las probetas en la cámara, la camisa refrigerada (paredes negras), los aislantes térmicos y los cables de potencia y de termocuplas.

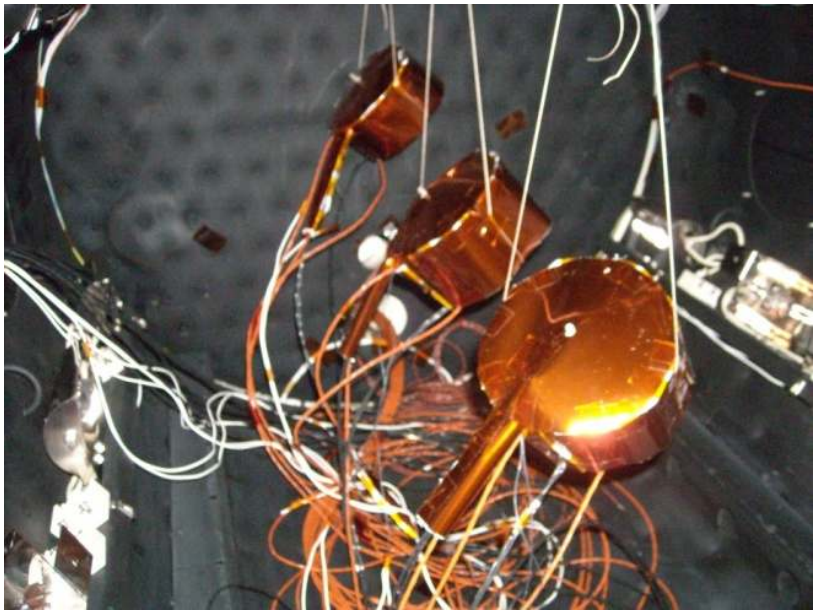


Figura 5. Disposición de probetas en el ensayo.

Para cada sujeción, se ensaya a dos valores de potencia aplicada, presentándose a continuación los valores de temperatura alcanzados en cada punto para la sujeción 1:

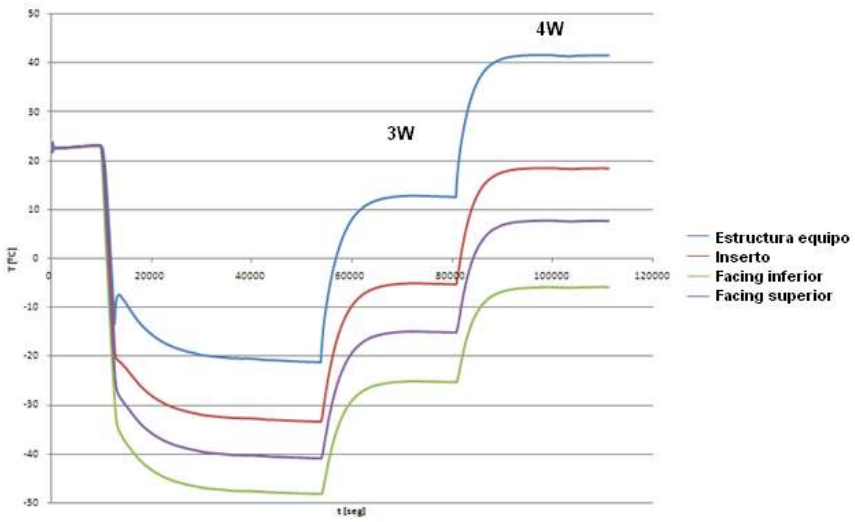


Figura 6. Temperaturas medidas en ensayo. Sujeción 1.

En la siguiente tabla, se presentan los valores de temperaturas obtenidos para cada sujeción a diferentes potencias:

Tabla 1. Temperaturas medidas en los ensayos.

	Sujeción Nº1	Sujeción Nº2	Sujeción Nº3
Potencia [W]	**2,94**	**2,89**	**2,99**
T est. equipo [ºC]	12,5	12,8	32,4
T inserto [ºC]	-5,4	-18,8	-13,2
T f. sup. [ºC]	-15,3	-20,7	-23,5
T f. inf. [ºC]	-25,3	-28,5	-33,9
Potencia [W]	**3,99**	**3,92**	**3,99**
T est. equipo [ºC]	41,6	40,5	61,4
T inserto [ºC]	18,3	3,6	8,3
T f. sup. [ºC]	7,6	2,0	-2,8
T f. inf. [ºC]	-5,9	-8,5	-16,0

Debido a que existen pérdidas de potencia a través del aislante como así también a través de los sensores, se realiza un modelo numérico detallado de cada probeta, el cual se analiza para las condiciones de borde del ensayo. Mediante estos análisis se pueden estimar las pérdidas en los sensores y en el aislante.

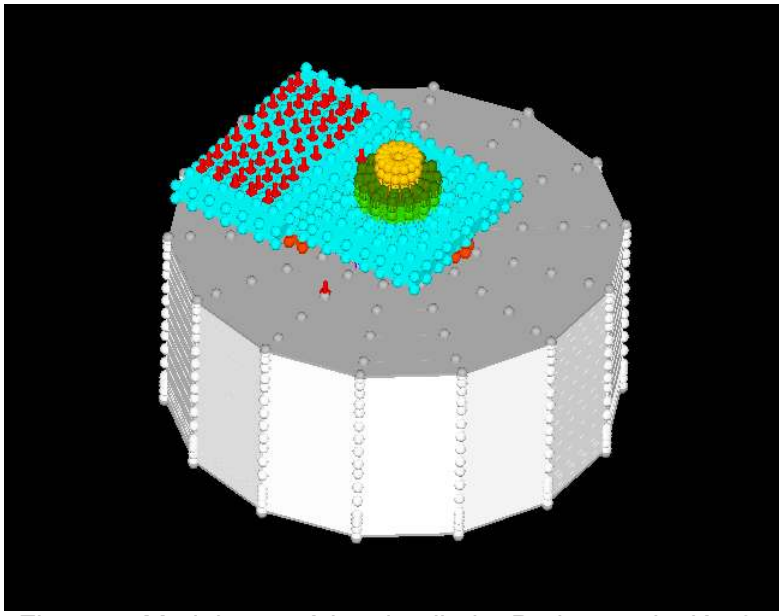


Figura 7. Modelo numérico detallado. Probeta sujeción 2.

Resultados

Una vez conocidas las pérdidas y las temperaturas alcanzadas en cada punto, se calculan las resistencias térmicas para cada sujeción siguiendo el modelo de resistencias de la figura 3 izq.

En la siguiente tabla se presentan los valores de resistencias térmicas para cada sujeción:

Tabla 2. Valores de resistencias térmicas obtenidos para cada sujeción.

	Sujeción Nº1	Sujeción Nº2	Sujeción Nº3
R1 [K/W]	8	11,28	19,16
R2 [K/W]	79,89	12,63	67,28
R3 [K/W]	5,26	5,55	5,99
Req. [K/W]	12,94	15,14	24,66

Conclusiones

- Se presentó un método para determinar la resistencia térmica de sujeciones mecánicas de un componente espacial, útil para trabajos futuros similares.

- Debido a las bajas potencias que se manejaron en el ensayo, las pérdidas por los sensores y por el aislante no se pueden despreciar, siendo los resultados sensibles a las mismas.

- Dado que el fenómeno es tridimensional, la solución presenta simplificaciones. Esto significa que se considera en los modelos analíticos de resistencias (no en los detallados numéricos) a la temperatura en los facings, la estructura del equipo y en la cara inferior del inserto homogénea sin gradientes.

Bibliografía

Spacecraft Thermal Control Handbook. David Gilmore.
Satellite Thermal Control for Systems Engineers. Robert D. Karam.

CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO DE ECODUCTOS

Marcos Visus, Francisco Porritielo, Andrés Martínez del Pezzo

UID – GEMA, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería de La Plata

Calle 48 y 116 La Plata. CP 1900. Contacto: amartinez.delpezzo@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: Reciclado de cubiertas, trabajo de extensión, trabajo con cooperativas.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo describe la construcción de ecoductos, que son caños de desagüe construidos con cubiertas de autos. La construcción de estos ecoductos sirve como un económico método de reciclaje de las cubiertas de descarte. Además de poseer la ventaja que a las cubiertas se les otorga un nuevo uso, genera una fuente de trabajo para las cooperativas, a la vez que combate la proliferación de mosquitos portadores de enfermedades y las zanjas a cielo abierto.

PARTE EXPERIMENTAL

Para la fabricación de los ecoductos, se diseñó y construyó una máquina gracias al trabajo de dos becarios de extensión [3]. La máquina esencialmente es una prensa dentro de la cual se apilan las cubiertas de auto. La prensa esta accionada por un gato hidráulico, accionado manualmente por el operador. Una vez prensada la columna de cubiertas, se las asegura con precintos plásticos para mantener la carga de compresión sobre la pila, la cual le otorga rigidez al conjunto. Luego se envuelve a la pila en film de polipropileno para facilitar su manipulación. En la figura 1 se puede apreciar la máquina diseñada mediante el software CATIA a la izquierda y la máquina una vez construida a la derecha con dos módulos de caño a un costado.

Como se mencionó anteriormente la máquina fue diseñada con el software CATIA, en base a las premisas de construcción sencilla, facilidad de operación y ergonomía de trabajo para el operario, ya que el peso de las secciones de caño es importante. Durante la etapa de diseño se verificó la resistencia estructural de la máquina utilizando el módulo de elementos finitos que trae incorporado el paquete de CATIA (Figura 2).



Figura 1

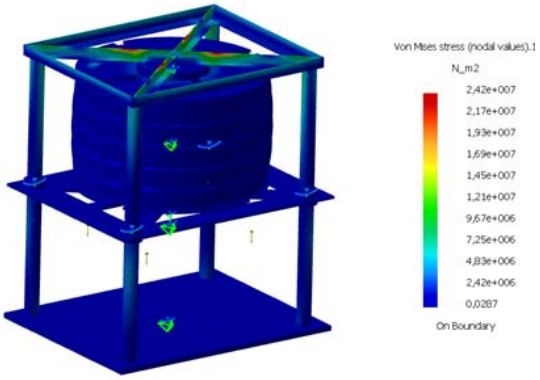


Figura 2

Los módulos de caño de aproximadamente un metro de longitud se alinean y precintan en segmentos de tras módulos, sujetándolos entre sí mediante otro conjunto de precintos. Luego para facilitar la alineación cuando son utilizados en la obra, en uno de los extremos del conjunto se agrega un aro de chapa, para que funcione de interface con el conjunto adyacente. En la figura 3 se observa el aro metálico para alinear.

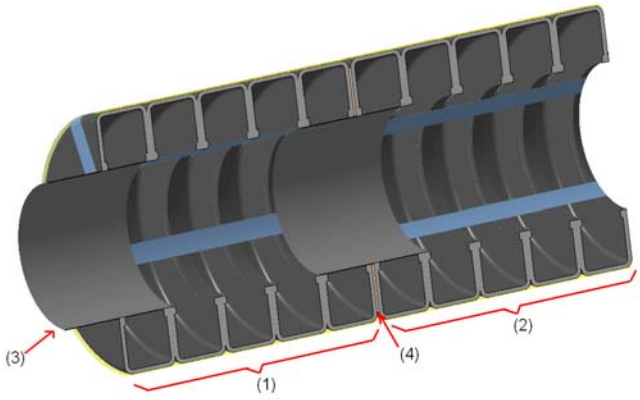


Figura 3

(1) y (2) Módulo con los sunchos. (3) Aro de chapa para alinear los módulos (4) Envoltura de film plástico.

En una segunda etapa [4] se realizaron las tareas de puesta a punto de la fabricación de los ecoductos y las primeras pruebas de su instalación. Estas pruebas fueron realizadas en colaboración con la cooperativa los coquitos dentro del predio de la facultad de ingeniería.

Uno de los condicionantes para la instalación de los caños es la profundidad a la cual se los entierra, la cual depende entre otros factores de la carga de tránsito que deberán soportar. Para el cálculo de la profundidad se debe considerar la carga de pandeo de los caños a utilizar según se detalla en [1]. Debido a la naturaleza de los ecoductos este valor de carga de pandeo debió ser calculado mediante el software ABAQUS, y luego fue verificado en ensayos experimentales (ver figura 4).

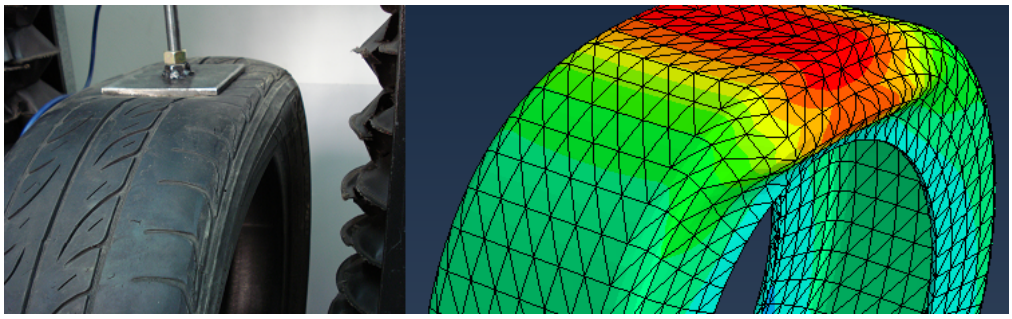


Figura 4.

Estudios de cálculo y ensayo de la carga crítica de pandeo.

Para el estudio de elementos finitos, como la cubierta es una pieza formada por varios materiales de comportamiento no lineal, sumado a que su construcción con refuerzos metálicos, se debió realizar una gran cantidad de ensayos de caracterización de los materiales que la conforman. Una vez armado el modelo con una única cubierta, el cual fue validado en laboratorio, se armaron varios modelos formados por tres cubiertas en contacto, para calcular la carga de pandeo del conjunto y así sacar un valor de carga por unidad de longitud de caño.

RESULTADOS Y DISCUCIÓN

Como resultados de los trabajos realizados se logró desarrollar un caño de desagüe fabricado con cubiertas de automóvil. Como resultado de la prueba piloto de instalación se introdujeron varias mejoras al diseño como ser utilizar en cada módulo de caño, cubiertas con las mismas dimensiones, lo cual facilita la alineación del caño. Una segunda mejora introducida fue la utilización de precintos para mantener la precarga en cada módulo y para vincular los módulos entre sí. Por último se detecto la necesidad de utilizar un aro de chapa para facilitar la alineación entre conjuntos cuando se los instala en obra.

Por otro lado en base al trabajo de caracterización de los caños se pudo calcular una carga de pandeo por unidad de longitud de los caños la cual fue utilizada para determinar que al enterrar los caños a un metro de profundidad por arriba de ellos puede transitar un auto mediano. Para mayores cargas de tránsito los caños deben ser enterrados a una profundidad mayor.

CONCLUSIONES

Partiendo de una pieza de descarte como son las cubiertas de automóvil se logró desarrollar un caño de desagüe, para ser utilizado como alternativa a los de fibrocemento, junto con la máquina necesaria para la fabricación de los mencionados caños.

En este trabajo se determinaron varias características mecánicas del caño desarrollado y una profundidad orientativa para su instalación en obra.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Tuberías. Materiales, cálculos hidráulicos, cálculos mecánicos. J. Mayol Mallorqui. Editores técnicos asociados. 1981

[2] Ingeniería sanitaria, redes de alcantarillado y bombeo de aguas residuales. E. Metcalf. Editorial Labor. 1994

[3] Informe de trabajo final de pasantía de extensión de Marcos Visus. 2011

[4] Informe de trabajo final de pasantía de extensión de Francisco Porrritielo. 2012

SIMULACIÓN Y ENSAYO DE RIGIDEZ TORSIONAL DE UN CHASIS DE UN VEHÍCULO TODO TERRENO

Andrés Martínez del Pezzo, Benjamin Cavallin, Marcos Actis

UID – GEMA, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería de La Plata

Calle 48 y 116 La Plata. CP 1900. Contacto: amartinez.delpezzo@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: Vehículo todo terreno, rigidez torsional, simulación numérica, ensayo validación.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo describe el estudio de rigidez torsional realizado sobre el chasis jaula de un vehículo todo terreno. Los parámetros tales como rigidez torsional y rigidez flexional son determinantes a la hora de definir el confort de marcha y las características dinámicas del vehículo en estudio.

En primera instancia se realizó un estudio numérico utilizando el software de elementos finitos ABAQUS (figura 1), con el objeto de establecer los parámetros a emplear para realizar el ensayo sobre la estructura real del vehículo (figura 4), y posteriormente utilizarlo para realizar otros estudios. Para tal efecto se estimaron las cargas necesarias a aplicar a la estructura para obtener deformaciones medibles, sin comprometer la integridad estructural del chasis-jaula.

En segunda instancia se realizó un ensayo sobre el chasis jaula del vehículo para determinar la rigidez torsional de la estructura, utilizando un sistema hidráulico para aplicar las cargas. Este ensayo además de permitir relevar el valor de la rigidez de la estructura permitió validar el modelo de elementos finitos el cual fue utilizado para estudios posteriores.

PARTE EXPERIMENTAL

Simulación numérica

Para la simulación se utilizó el software de elementos finitos ABAQUS. En este estudio se despreció la influencia de las chapas que conforman el piso, el parallamas, la parte trasera del habitáculo, la caja de carga y los guardabarros, con lo cual el resultado obtenido fue conservativo.

Todo el modelo fue construido utilizando elementos viga lineales (de dos nodos), elementos tipo B31 según nomenclatura del software ABAQUS. Este tipo de elementos

soportan bien las tensiones de corte, por lo cual funcionan bien para vigas no esbeltas, las cuales se corresponden con la mayoría de los elementos de la estructura chasis jaula.

Las parrillas fueron confeccionadas utilizando rótulas y juntas pasador, elementos que transmiten las cargas normales y de corte pero no los momentos. De esta forma el modelo tiende a poseer el mismo comportamiento que la estructura real. En el caso de los resortes, estos fueron situados en el mismo lugar que el vehículo real, pero por la naturaleza del estudio fueron reemplazados por vigas rígidas. Por el lado de los amortiguadores, como transfieren al chasis una carga pequeña al cargarlos de forma cuasi-estática, se desprecia su influencia en el modelo. Todas estas simplificaciones se justifican ya que lo que se busca determinar es la rigidez del chasis solamente, para lo cual todos los elementos de la suspensión deben permanecer rígidos, de forma de no contribuir al desplazamiento / rotación de la estructura, lo cual podría inducir una errónea estimación de su rigidez.

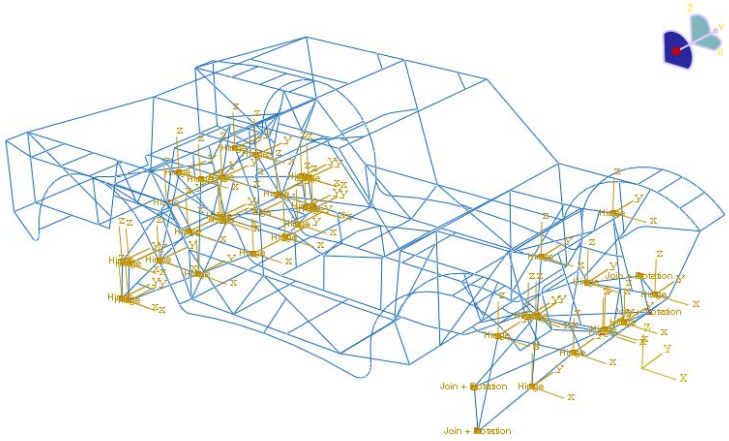


Figura 1
Estructura utilizada en el análisis, mostrando las parrillas de suspensión y sus accesorios.

En cuanto a las condiciones de contorno asumidas, se vincularon las dos ruedas traseras (restringiendo los desplazamientos verticales y longitudinales pero no los transversales), y sobre cada rueda delantera se aplicó una carga vertical con sentido opuesto para cada una, de forma de crear las componentes del momento torsor (ver figura 2).

Para este estudio, por tratarse de una estructura no simétrica en el sentido longitudinal, se estimó la rigidez torsional en sentido anti-horario y en sentido horario.

Los puntos de medición se situaron sobre los largueros segundarios del chasis, los que conforman el piso del vehículo (figura 3).

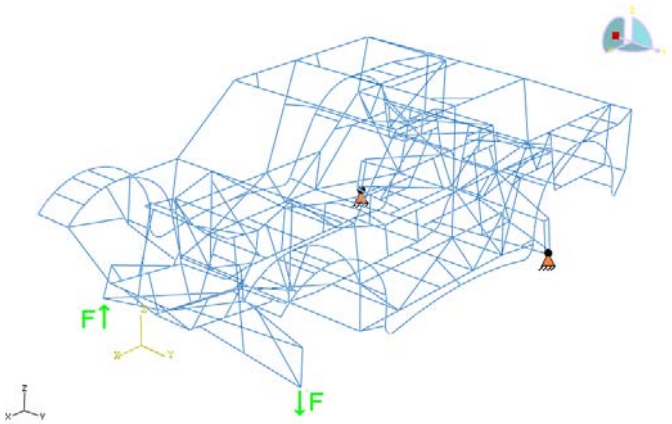


Figura 2
Ubicación de los vínculos y las cargas.

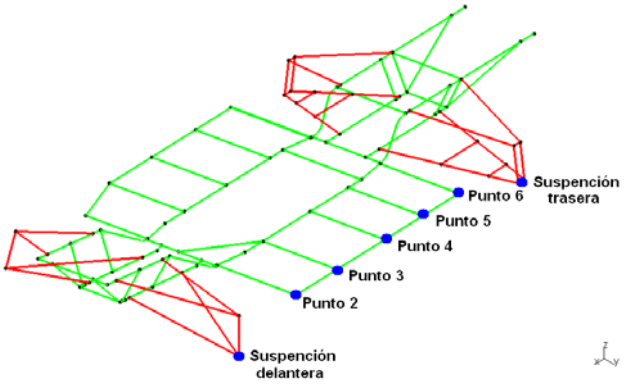


Figura 3
Puntos del lado izquierdo donde se midió la deflexión de la estructura.

Ensayo real

Para obtener un valor de rigidez torsional del chasis del vehículo se reemplazó la suspensión del vehículo (figura 4) por parrillas rígidas, portamasas rígidos y barras rígidas en lugar de los resortes, uniendo estos componentes al chasis en los mismos puntos de sujeción que posee el sistema de suspensión real del vehículo.

El ensayo consistió en aplicar al chasis el momento torsor calculado mediante el modelo de elementos finitos y medir el desplazamiento en los mismos los puntos de la estructura, que en el modelo de FEM, estando ésta fija en su parte trasera, a una base rígida (figura 4).

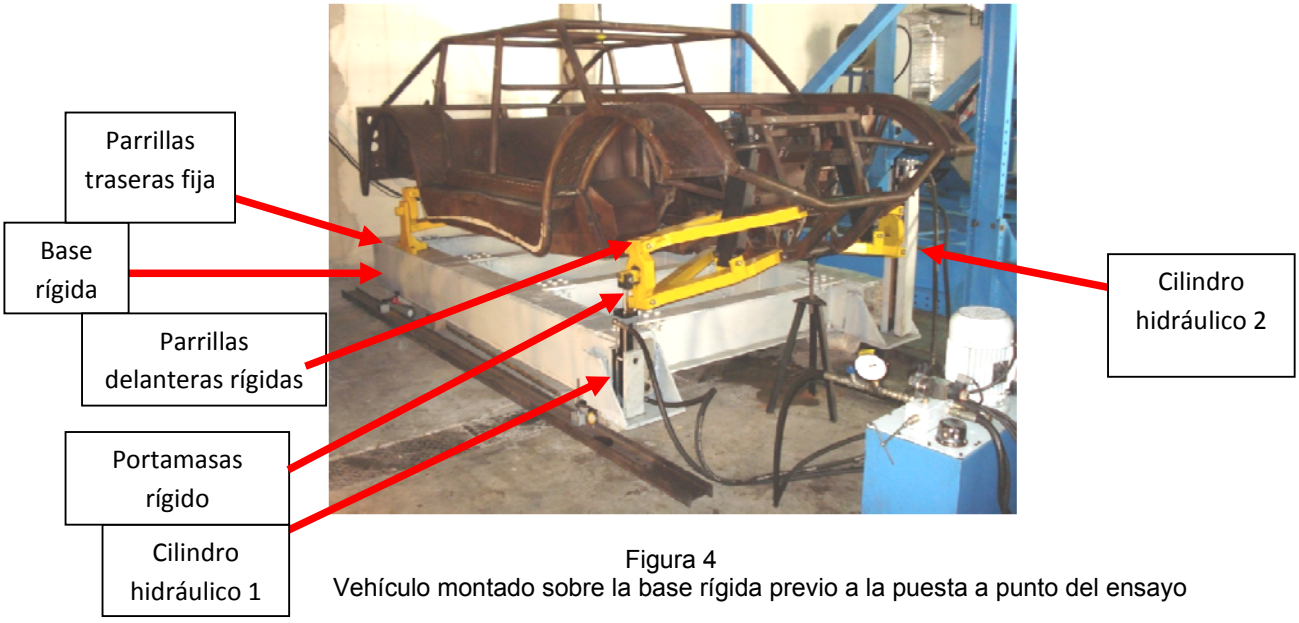


Figura 4
Vehículo montado sobre la base rígida previo a la puesta a punto del ensayo

La carga máxima aplicada fue de aproximadamente 920 daNm. En la simulación de rigidez torsional realizada mediante elementos finitos, se comprobó que estos valores de carga no generaban tensiones excesivas sobre la estructura (tensiones menores a 100 MPa, siendo la tensión de fluencia del acero utilizado 220 MPa)

Mediante la utilización de cilindros hidráulicos (figura 4 y 5), sobre los portamasas delanteros rígidos se aplicó la carga que generó el momento torsor. Los portamasas traseros rígidos se vincularon a la base rígida, restringiendo los desplazamientos verticales y horizontales en el sentido de avance del vehículo (Uz = Ux = 0) pero no fue restringido el desplazamiento de los portamasas rígidos, y por ende del vehículo, en el eje Y (eje transversal a la dirección de avance del vehículo) de forma de permitirle a la estructura deformarse libremente en ese sentido.

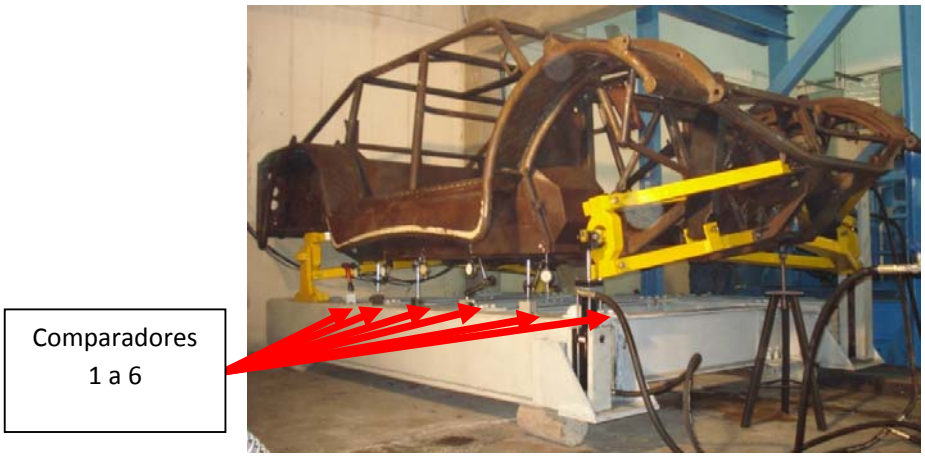


Figura 5

Comparadores montados en los puntos de medición para el ensayo de torsión sentido horario.

Para dotar al sistema de suspensión rígido de los mismos grados de libertad que el sistema real, las parrillas de suspensión fueron vinculadas al chasis, a los portamasas rígidos y a los reemplazos de los resortes, mediante pernos pasantes.

Previo al ensayo, se comprobó la rigidez de la base del banco de ensayo, a la cual se sujetaba el chasis, midiendo su deformación mediante comparadores mecánicos, sobre cuatro puntos cercanos a cada vínculo entre el chasis y la base. De este estudio se concluyó que la base resultaba suficientemente rígida, ya que la deflexión máxima medida al aplicar la carga máxima a emplear en el ensayo fue de 0,4 mm, contra los 13 mm de deformación medidos entre la estructura y la base, durante el ensayo ante la misma carga aplicada.

Para comprobar el comportamiento de la estructura ante la carga de torsión se midió la deflexión para cinco valores de momento torsor aplicado, partiendo de un valor de precarga de aproximadamente 170 daNm, utilizado para eliminar cualquier posible juego.

RESULTADOS Y DISCUCIÓN

La rigidez torsional de cualquier estructura está dada por el cociente entre el momento torsor aplicado y el ángulo de rotación medido ante la aplicación de dicha carga.

$$K = \frac{Momento\ torsor}{\acute{a}ngulo\ de\ rotaci\acute{o}n}$$

En la tabla 1 se detallan los resultados obtenidos en la simulación numérica y del ensayo sobre el chasis real. Se puede apreciar en esta tabla que la correlación entre ambos resultados es cercana al 5 %, lo cual es más que aceptable para un estudio de este tipo.

Tabla 1

Rigidez torsional obtenida en el ensayo [Nm/grado]	Rigidez torsional obtenida en la simulación [Nm/grado]
9800	9370

En la figura 6 aparecen las curvas con los valores de los ángulos de rotación medidos en cada punto analizado sobre la estructura real. En este gráfico podemos observar una leve diferencia entre la rotación en el sentido horario y el antihorario, producto de la asimetría de la estructura analizada. También podemos obsevar que la estructura posee tres zonas donde la variación de la rigidez es lineal, presentando dos puntos de cambio de tendencia, lo cual indica dos zonas de transición entre partes de la estructura con diferente rigidez, la zona intermedia representa la jaula del vehículo y resulta más rígida que la torreta de suspensión delantera, zona izquierda de las curvas, y menos rígida que la zona derecha del gráfico que representa la parte de la torreta trasera y caja del vehículo.

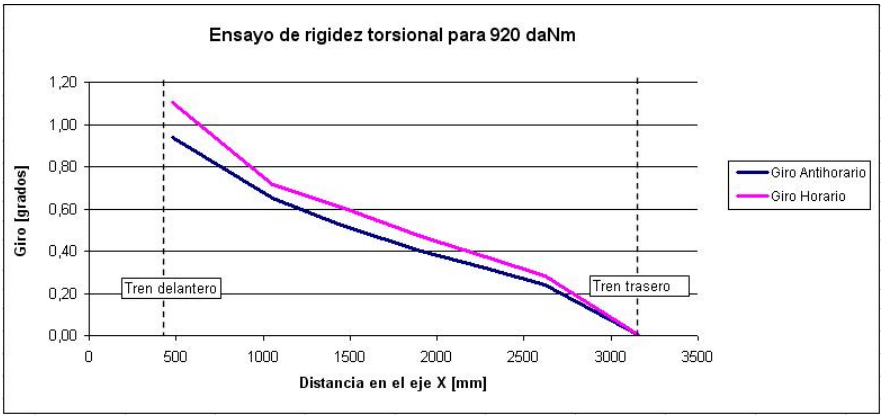


Figura 6

Rigidez torsional obtenida del ensayo

CONCLUSIONES

En este trabajo se calculó la rigidez del chasis de un vehículo todo terreno mediante el método de elementos finitos, valor que luego fue contrastado con el resultado obtenido de la estructura chasis jaula real.

A través del estudio realizado se comprobó una adecuada correlación entre el valor de la rigidez obtenida en el ensayo y la obtenida en la simulación.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Race Car Vehicle Dynamics. Milliken & Milliken

[2] Abaqus Analysis User's Manual (7.1.1 Solving nonlinear problems)

DISEÑO ESTRUCTURAL Y SISTEMA DE SUSPENSION Y ARTICULACION DE VEHICULO UNIPERSONAL DE TRES RUEDAS, CON MOTORES ELECTRICOS CON TECNOLOGIA BRUSHLESS

Menghini, Matías, Actis, Marcos Daniel, Cavallin, Benjamín, Tomas Martiarena

UID – GEMA, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería de La Plata
Calle 48 y 116 La Plata. CP 1900. Contacto: matias.menghini@ing.unlp.edu.ar

Palabras Claves: Vehículo de tres ruedas, Tecnología Brushless, Baterías Litio-Polímero.

1. INTRODUCCIÓN

Durante décadas vehículos de ruedas con diferentes diseños y portes han sido el medio más importante de transporte de personas y objetos; en estos últimos años el incremento del tráfico en ciudades y rutas ha generado problemas de espacio de circulación cada día más graves y difíciles de solucionar. Con la idea de encontrar ayudas con la utilización de nuevos conceptos y recursos nos hemos propuesto un trabajo que contenga alguna de las soluciones necesarias sobre todo aquellas que mejoren las del medio ambiente.
Contando con recursos propios en lo que hace a materiales y desarrollos en energías alternativas, particularmente motores eléctricos de última generación, y baterías de Litio-Polímero utilizadas en un scooter, el proyecto ha concluido con éxito en la Facultad de Ingeniería de la UNLP donde se decidió ir por más.
El camino que nos pareció que debíamos intentar era el de relacionar el diseño de una moto y el de un coche de cuatro ruedas. Los coches son más voluminosos y costosos, en la actualidad más del 80% de ellos en la circulación de ciudades llevan solo uno o dos pasajeros despreciando una gran cantidad de energía y produciendo gases y ruidos que perturban el ambiente.
En este marco, el mercado de vehículos parece estar listo para un nuevo tipo de diseño que sea útil como un coche, pero pequeño como una moto, que pueda transportar una o dos personas en todo tipo de tráfico y situaciones ambientales con energía limpia.
Este trabajo se concentra en la idea de un diseño que abarque estos objetivos, como conclusión del desafío; esta propuesta se centra en un concepto de vehículo de tres ruedas, que se propone, constituirse en una síntesis fina de la maniobrabilidad de una moto y la capacidad de carga de un vehículo de cuatro ruedas, su dinámica y protección de los pasajeros.
Este movimiento se controla con un volante, igual que en un coche, donde el conductor es el responsable de mantener la correcta dirección e incitar a la inclinación de la parte delantera en las curvas. El mismo está compuesto de dos secciones, una delantera que contiene al conductor, un chasis tubular que porta la horquilla con suspensión y rueda delantera, y una trasera con doble rueda y suspensión por paralelogramo deformable donde porta las baterías.
El bastidor delantero (Chasis tubular) y el trasero están vinculados por un sistema de barras que actúan por trasladó de diferentes acciones geométricas, produciendo la inclinación en los virajes
Estas cuatro barras que forman un paralelogramo actúan produciendo reacciones dinámicas y cinemáticas que facilitan la inclinación del vehículo.

Las soluciones que pretenden aportar este trabajo, es un primer análisis del diseño y cálculo de la estructura principal, mediante el uso de software de elementos finitos Abaqus. A su vez se establecerá el sistema de vinculación de las dos estructuras características que conforman el

vehículo para que se produzca una inclinación como en las motos en la sección delantera mientras el bastidor trasero permanece fijo a la carretera. Se establecerá también la selección del sistema de suspensión independiente trasera.

2. DISEÑO DE CHASIS JAULA

El diseño del chasis del vehículo en desarrollo se basó principalmente en la utilización de una estructura de utilización aeronáutica que se poseía, la cual pertenece a una camilla de rescate de personas utilizada por helicópteros (Figura 1), la cual por su configuración constructiva y por los materiales utilizados en la construcción de la misma seria de gran utilidad para este proyecto.

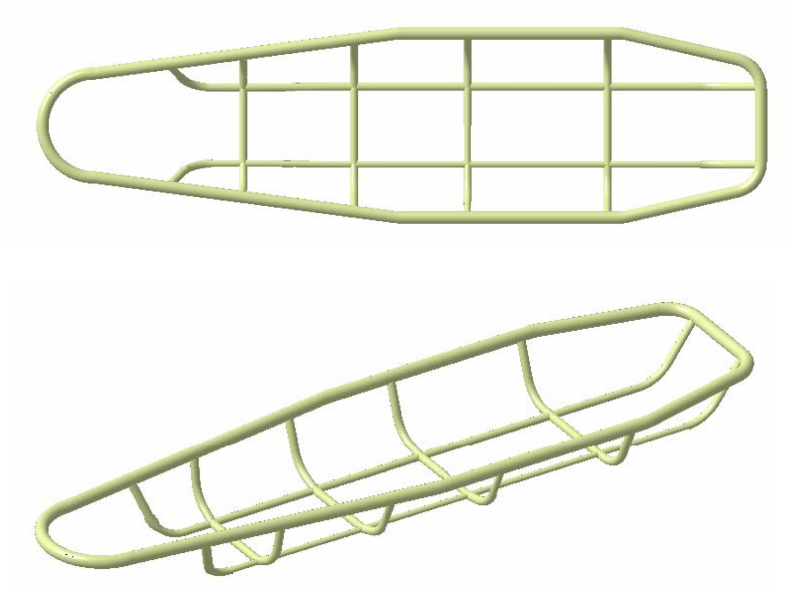


Figura 1 *Estructura base "Camilla de rescate"*

2.1. Diseño propuesto

El diseño propuesto del chasis jaula que articula con la parte trasera del vehículo, en la cual va el piloto, se basó en la estructura de una camilla de rescate de personas, y en base a la misma se modificó y agregó las barras necesarias para poder establecer el chasis en estudio (Figura 2). Los materiales utilizados en la simulación son tubos de acero 4130 de diámetros de 25.4 mm y 19 mm con un espesor de 1.6 mm. En la (Figura 3) se muestra la parte en estudio del vehículo completo.

El análisis realizado al chasis-jaula se estableció para determinar los esfuerzos y deformaciones del mismo mediante la aplicación de un estado de cargas actuantes. Para la simulación numérica, el modelo utilizado es una estructura formada por barras, la misma se discretizó en 1.110 elementos del tipo (B31 [9]) y 1.058 nodos. Se considero la orientación y espesores de cada una, así como los distintos diámetros de cada barra en estudio. En la (Figura 4) se muestra la geometría del modelo propuesto y en la (Figura 5 y 6) se muestran los puntos de anclaje y el estado de cargas que se determinó mediante la aplicación de una aceleración de 2G a la masa del piloto, la cual se tomó en 100 Kg, con lo cual la carga aplicada fue de 200 Kg. en los anclajes del asiento.



Figura 2 *Estructura modificada "Chasis-jaula"*

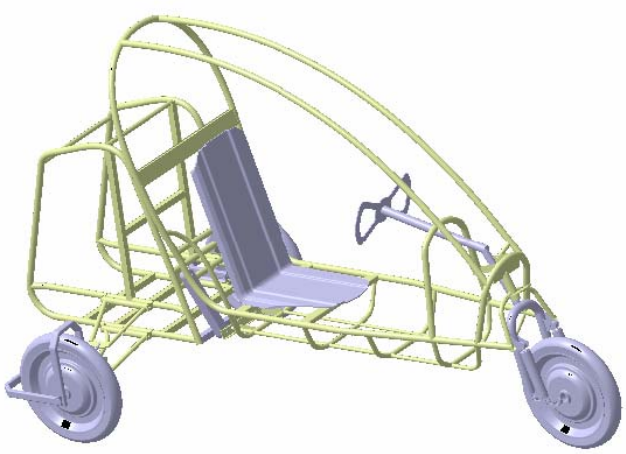


Figura 3 *Diseño conceptual con sistemas de suspensión y articulación*

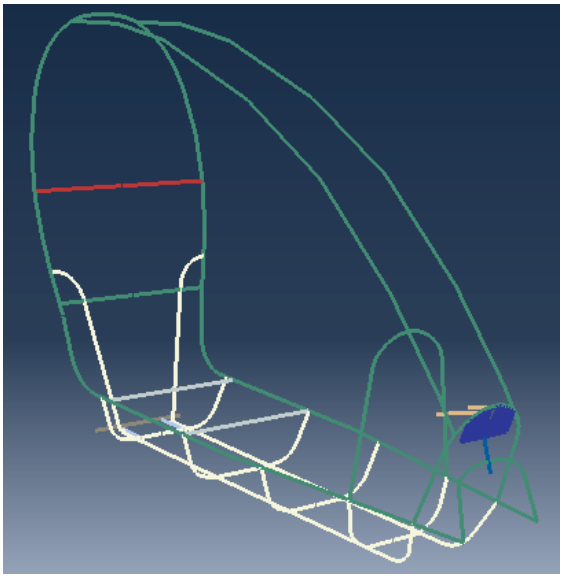


Figura 4 *Estructura con diferentes secciones*

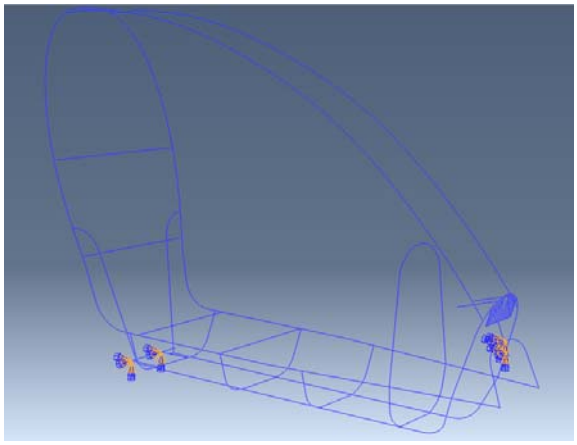


Figura 5 *Puntos de anclaje de la estructura*

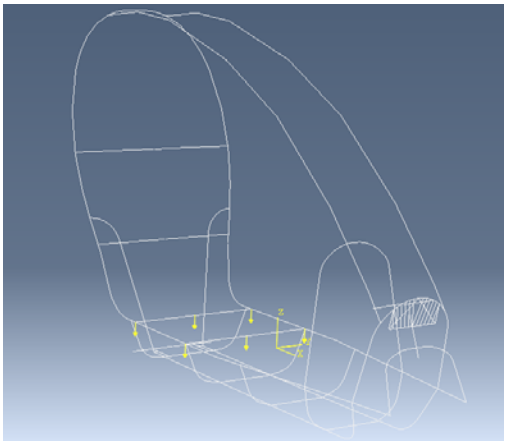


Figura 6 *Estado de cargas aplicado*

3. SELECCIÓN DE SUSPENSIÓN TRASERA

El sistema de suspensión seleccionado se basa en las características constructivas de un paralelogramo deformable, sistema que permite todos los cambios de actitud de transferencia que permitan los resultados buscados.
Los elementos que constituyen dicho sistema de suspensión son barras, dos superiores y dos inferiores, que relacionan a las ruedas porta motores y freno con el chasis, articuladas por rotulas que dan amplia regulación del sistema, y que alojan también el soporte de los amortiguadores y resortes. Sus características permiten adoptar diferentes ángulos, longitudes de recorrido de los amortiguadores y resortes, y distintas distribuciones de las masas suspendidas y no suspendidas.

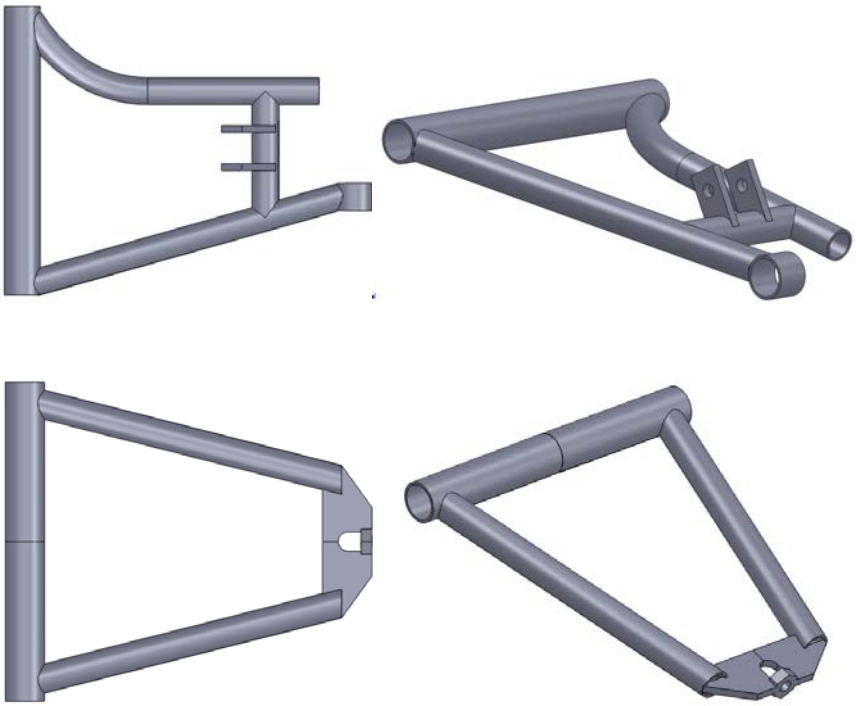


Figura 7 *Parrilla de suspensión inferior y superior*

4. SISTEMA DE ARTICULACION

El sistema de articulación se realizo mediante el uso de cuatro barras articuladas, sistema conocido como “cuadrilátero articulado plano”, el cual permite la articulación de las dos estructuras. Las rotaciones de estas estructuras se dan en un punto denominado como centro instantáneo de rotación (C.I.R), y dicho centro instantáneo de rotación describe en todo su recorrido un arco de circunferencia según la geometría seleccionada de las barras que forman este sistema y de la posición del mismo. El diseño se basó en la posibilidad de permitir que el centro instantáneo de rotación se pueda posicionar por debajo de la superficie de la carretera, y por encima de la misma, con el fin de establecer en las pruebas de manejo la configuración más adecuada a nuestro proyecto.

Por último y con el fin de llevar a la práctica los planteos preestablecidos, el vehículo prototipo fue construido como modelo de experimentación que nos permitiera llevar a la práctica las distintas configuraciones con los cambios geométricos del sistema de enlace, que permitiera a distintos conductores hábiles, probar maniobras aportando su comentario con los cambios que se fueron efectuando a fin de obtener la dinámica ideal.

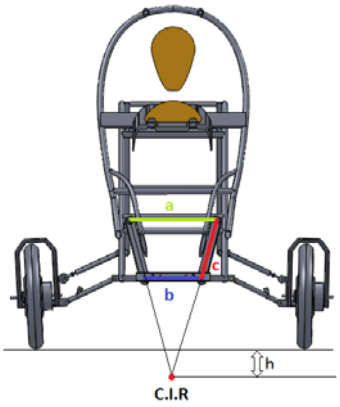


Figura 8 *Posicionamiento de las barras de articulación*

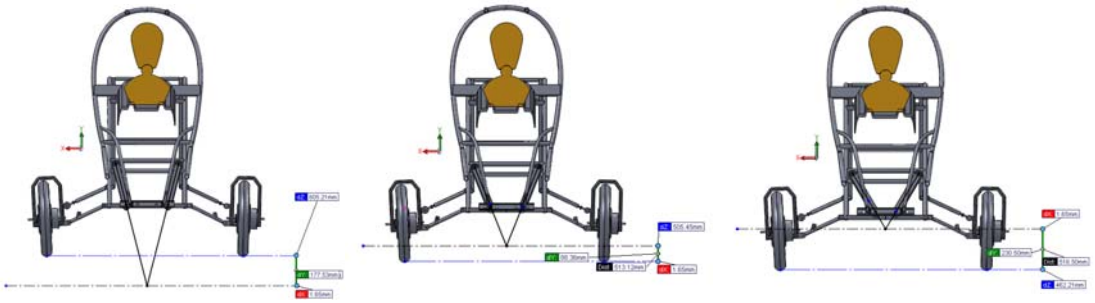


Figura 9 *Posicionamiento del CIR para las distintas configuraciones*

5. CONCLUCIONES

Los resultados numéricos obtenidos son satisfactorios desde el punto de vista estructural, debido a que para el material utilizado SAE 4130, el cual tiene una tensión de Fluencia de 517 MPa. se obtuvieron valores máximo de tensiones de 148 MPa. (Figura 10), y deformaciones máximas, las cuales son de 1.88 mm en la parte central de la estructura en estudio (figura 11).

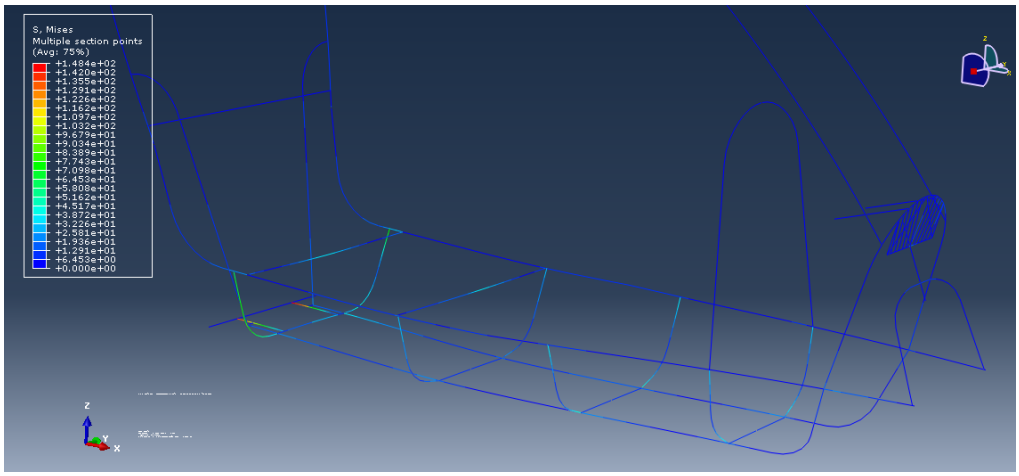
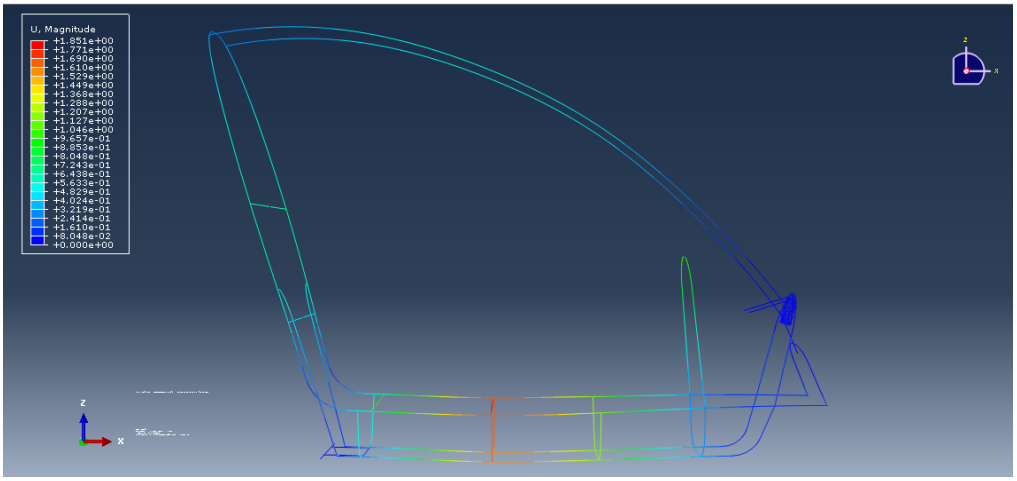


Figura 10 *Estado de tensiones obtenido*



Los resultados se analizarán para una segunda etapa de desarrollo, con las pruebas de ensayo sobre el prototipo real, en el cual se ensayará bajo los estados de carga aplicados en los párrafos anteriores, así como las pruebas de manejo para la determinación de la dinámica del mismo y la eficiencia de los acumuladores de Litio Polímero.
Un análisis de frecuencias naturales del modelo en estudio y su validación mediante el ensayo correspondiente, es el próximo paso en este trabajo.

El diseño exterior se completó con un agregado aerodinámico (carrocería exterior) que proviene de un desarrollo aplicado a la trompa de un planeador, también en desarrollo en otro sector de nuestra universidad.

4. REFERENCIAS.

[1] Prof. Dipl.-Ing. Jörnsen Reimpell, Dipl.-Ing. Helmut Stoll, Prof. Dr.-Ing. Jürgen W. Betzler . (2001). The Automotive Chassis:Engineering Principles. Oxford. Segunda edición. Butterworth-Heinemann. Great Britain.

[2] Abaqus/CAE user´s manual y Abaqus theory manual (versin 6.7), año 2007

DETERMINACIÓN NUMÉRICA Y EXPERIMENTAL DEL INCREMENTO EN LAS FRECUENCIAS NATURALES DE UNA PALA DE GENERADOR EÓLICO DEBIDO A SU ROTACIÓN

Matías Menghini, Andrés Martínez del Pezzo, Ana Scarabino, Marcos Actis

UID – GEMA, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería de La Plata
Calle 48 y 116 La Plata. CP 1900. Contacto: matias.menghini@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: vibraciones, aerogenerador, material compuesto, FEM

1 INTRODUCION

Las condiciones de trabajo de un generador eólico son exigentes, ya que además de las cargas cíclicas típicas de cualquier máquina rotante, por más ajustado que sea su balanceo, estos sufren cargas cíclicas producidas por las pequeñas variaciones de la dirección del viento y por el gradiente natural de velocidad del mismo con la altura. También se ven expuestos a cargas aleatorias provocadas por la turbulencia atmosférica, ráfagas y cargas extremas durante tormentas con vientos intensos.
En una máquina que sufrirá tanto cargas cíclicas debidas a la rotación, como aleatorias debidas a la turbulencia, el conocimiento de las frecuencias naturales de la pala es crítico para prevenir esfuerzos excesivos, desgaste prematuro y rotura de las mismas por fatiga, así como para planificar ensayos de fatiga representativos de las cargas dinámicas actuantes [2].
La pala que se estudia en este trabajo pertenece a un aerogenerador de eje horizontal, de 1,5 kW de potencia nominal a 10 m/s, diseñada y construida en el Área Departamental Aeronáutica de la Facultad de Ingeniería de la UNLP [4]. El diseño se realizó a partir de la teoría aerodinámica cantidad de movimiento-elemento de pala, que optimiza la geometría para que cada sección de la pala trabaje con el ángulo de ataque de máxima eficiencia [1]. La geometría obtenida bajo estas hipótesis presenta una torsión que se acentúa hacia la raíz y una variación de cuerda que también aumenta en ese sector. La geometría óptima fue levemente modificada para simplificar la construcción y aumentar la rigidez en la raíz, sin sacrificar significativamente su eficiencia aerodinámica.
En el presente trabajo, utilizando el software de Elementos Finitos Abaqus, que permite incorporar el efecto de la rotación y las características del material compuesto de la pala. Se realizó una primera estimación de las frecuencias naturales a flexión cuando la pala está bajo la acción de las cargas centrífugas debidas a la rotación de la turbina. Posteriormente se aplica una técnica experimental en la cual la pala, de 1,50 m de longitud y cuerda variable entre 0,15 m y 0,05 m fue discretizada en tres estaciones para someter la misma a cargas de tracción puntuales que simulan la fuerza centrífuga y en estas condiciones se la somete a vibraciones por la técnica de “barrido en frecuencia” en el vibrador electrodinámico (shaker) del Departamento Aeronáutica.

2 METODOLOGIA

2.1 Metodología experimental

Los métodos basados en el estado estacionario básicamente corresponden a la sintonización de una frecuencia de excitación de la estructura en análisis hasta que aparezca sobre la misma una resonancia [5, 6]. En general esta técnica, esquematizada en la Figura 1, utiliza complejos sistemas basados en vibradores electrodinámicos y una amplia instrumentación. Este equipamiento realimenta las condiciones de ensayo de manera tal que la fuerza de excitación es independiente de la frecuencia de oscilación. El inconveniente del método, más allá de contar con el equipamiento necesario, es que es un proceso lento ya que requiere encontrar la frecuencia de excitación justa que haga resonar a la estructura, aunque existen técnicas automatizadas para reducir estos tiempos al máximo posible. Este método determina las características dinámicas de manera robusta y directa y fue aplicado exitosamente en trabajos previos de investigación [7] llevados a cabo por el grupo GEMA del Área Departamental Aeronáutica en la Facultad de Ingeniería de la UNLP.
Para nuestro caso en particular además de contar con la implementación necesaria para poder obtener las frecuencias de resonancia se utilizó un dispositivo capás de cargar en forma simultánea la pala en estudio en tres estaciones (experiencia 1) o en el centro de gravedad de la misma (experiencia 2).

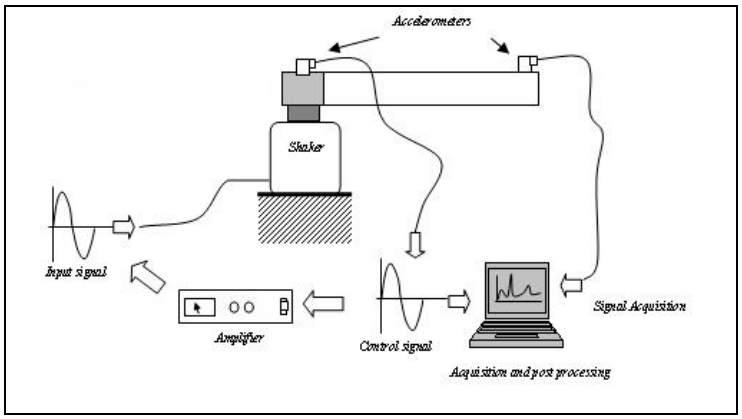


Figura 1. Esquema de los ensayos con vibrador electrodinámico

La Figura 2 muestra una imagen de la pala montada sobre el vibrador e instrumentada con un acelerómetro para realimentar el sistema.



Figura 2: Pala en vibrador, con acelerómetro.

La Figura 3 y 4 muestran la pala montada sobre el vibrador con los tensores correspondientes para aplicar la carga axial sobre la misma en las tres estaciones o en

el CG respectivamente.

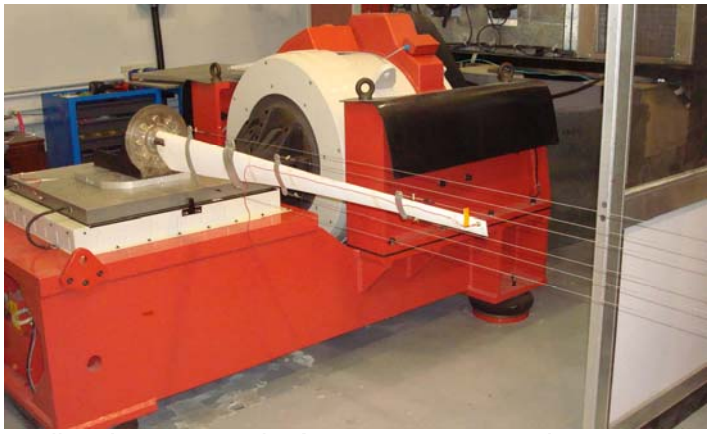


Figura 3: Pala en vibrador, con acelerómetro y tensores de carga en tres estaciones.



Figura 4: Pala en vibrador, con acelerómetro y tensores de carga en el CG.

2.2 Metodología del cálculo numérico

Para la simulación numérica, el modelo utilizado es un sólido formado por el relleno, recubierto por los laminados correspondientes. La parte sólida se discretizó en 299.524 elementos del tipo (C3D4 [9]) tetraedro lineal, mientras que la piel se discretizó en 165.862 elementos tipo cáscara (S3 [9]) triangulares lineales. Se modelaron las distintas capas de laminado considerando la orientación y espesores de cada una, así como las distintas telas que componían el laminado, buscando la mejor aproximación a la pala real. La Figura 6 muestra la geometría de la pala y el mallado utilizado.

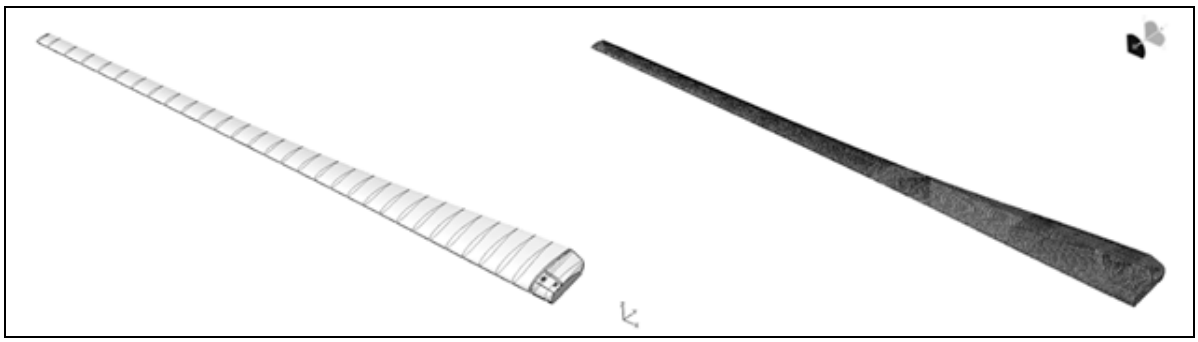


Figura 6: Geometría de la pala

3 CONCLUSIONES

3.1 Resultados Experimentales:

La Figura 8 muestra el resultado del ensayo de la pala real sometida a un barrido en frecuencia, montada en el vibrador. En este gráfico se observan claramente los picos correspondientes a los tres primeros modos naturales de vibración, debida a flexión fuera del plano de rotación del rotor para la pala sola. La Figura 9 muestra el mismo espectro de respuesta pero para este caso la pala se encuentra cargada axialmente con 159,5 Kg en el CG, este valor de carga axial fue obtenido en función a la rotación nominal de 400 RPM y la masa de la pala.

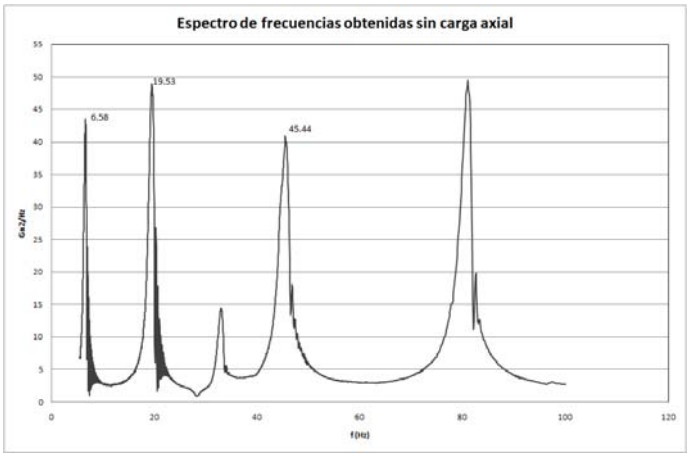


Figura 8: Ensayo de pala sola sin cargas axiales

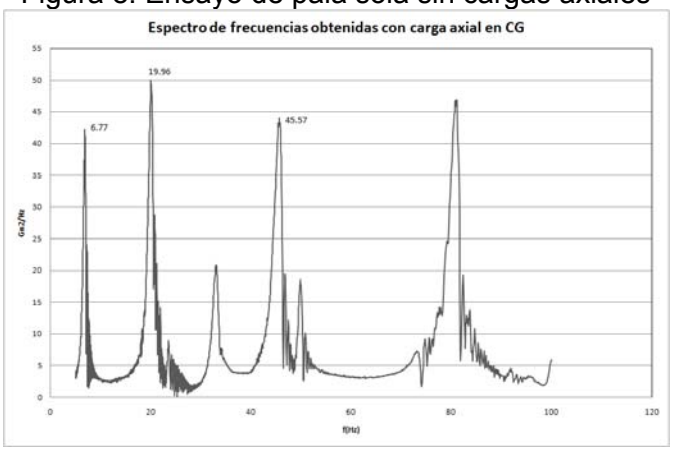


Figura 9: Respuesta a excitación de la pala contemplando los 159,5 Kg en el CG.

La Figura 10 muestra el resultado del ensayo de la pala real sometida a un barrido en frecuencia. En este gráfico se observan los picos correspondientes a los tres primeros modos naturales de vibración a flexión fuera del plano de rotación del rotor para el caso en donde la pala se encuentra cargada axialmente con 159,5 Kg distribuidos en tres estaciones de las cuales le corresponden a la más cercana a la raíz 66,3 Kg, la estación central 55,8 Kg y a la estación de la punta 37,8 Kg. estos valor de carga axial fueron obtenidos en función a una rotación nominal de 400 RPM y la discretizacion de la masa de la pala.

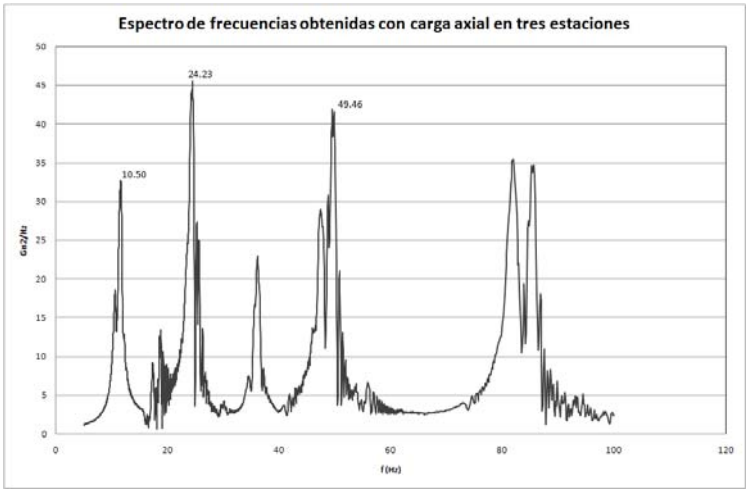


Figura 10: Espectro de respuesta a excitación de la pala contemplando los 159,5 Kg distribuidos en las tres estaciones.

3.2 Resultados numéricos:

Los resultados numéricos obtenidos se realizaron para la pala en rotación nominal, estos reproducen un incremento en las frecuencias de resonancia, estos incrementos son debidos a que la pala rotando en régimen la misma ve un esfuerzo axial de 159,5 Kg el cual rigidiza la misma.
La Tabla 1 sintetiza las frecuencias naturales obtenidas y los incrementos obtenidos en los distintos ensayos y en las simulaciones numéricas. Las frecuencias naturales obtenidas en el ensayo considerando todo el esfuerzo axial en el CG del la pala tienen poco incremento respecto a la frecuencias obtenidas en la pala sola, estos pequeños incrementos se deben a que el CG de la pala en estudio se encuentra cercano a la raíz de la misma, no influyendo demasiado en la rigidez total de la pala.
Las frecuencias naturales obtenidas con el ensayo considerando tres estaciones de carga son muy altas, debido a que la distribución de cargas sobre la estructura de la pala rigidiza en gran medida la punta de la misma.

Tabla 1. Frecuencias naturales de los primeros modos de la pala (Hz):

MODO → METODO ↓	1^{O} Flexión fuera del plano del rotor	2^{O} Flexión fuera del plano del rotor	3^{O} Flexión fuera del plano del rotor
Pala sola (Barrido en frecuencia)	6.58	19.53	45.44
Pala carga axial CG (Barrido en frecuencia)	6.77	19.96	45.57

Pala carga axial 3 estaciones (Barrido en frecuencia)	10.50	24.43	49.46
Numérico – pala sola	7.75	22.93	56.26
Numérico – pala con rotación	8.76	24.50	58.14

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para todos los ensayos realizados, la simulación de la pala sola respecto a la simulación al ensayo aproximó mucho mejor las frecuencias calculadas a las medidas en los dos primeros modos, aunque no tanto en el tercero, en cuanto a la comparación de de las simulaciones de la pala sola y de la pala con rotación se ve un incremento debido a la rigidez que le proporciona la rotación a la misma.
Para los resultados obtenidos en los ensayos con carga axial en el Shaker se aprecia que de las dos metodologías empleadas de aplicar toda la fuerza debida a la rotación en el CG de la pala o de discretizar la pala en tres estaciones y cargar simultáneamente las mismas se ve que ambas no son del todo adecuadas ya que como se ve en la tabla 1 los valores de frecuencias obtenidos para la pala cargada en el CG son muy próximos a los valores obtenidos en la pala sola y esto es debido a la proximidad del CG a la raíz, en cuanto a los valores obtenidos con la metodología de discretizar a la pala en tres estaciones de carga se ve que los incrementos de las frecuencias difieren en gran medida respecto a la pala sola, estos valores se deben a incremento de la rigidez de la pala en las zonas próximas a la punta de la misma.
Una metodología de ensayo en la cual la pala en estudio sea sometida a las rotaciones nominales sobre el vibrador y poder adquirir los valores de las frecuencias naturales, es el próximo paso en este trabajo.

REFERENCIAS

1. Bastianón R., “Energía del Viento y Diseño de Turbinas Eólicas”, 2 º Edición, Tiempo de Cultura Ediciones, 1994
2. IEC 61400-2 Ed. 2 “Wind Turbine Generator Systems – Part 2: Safety of Small Wind Turbines”, International Electrotechnical Commission (IEC), 88/181/CDV, February 2004.
3. Isaac M. Daniel, Ori Ishai. “Engineering mechanics of composites materials”. Second Edition. Oxford University Press. 2006
4. Scarabino, A., Martínez del Pezzo A, Menghini M., "Diseño y Construcción de un Aerogenerador de 1.5 kW", *1er. Congreso Latinoamericano de Ingeniería de Vientos*, Montevideo, Uruguay, 4-6 noviembre 2008.
5. C.M. Harris, C.E. Crede, “Shock and Vibration Handbook”, McGraw Hill Book Company, 1961
6. White R. G. and Pinnington R. J., 1982, Practical application of the rapid frequency sweep technique for structural frequency response measurement, *The Aeronautical Journal of the Royal Aeronautical Society*, pp 179-199
7. Actis, M.: “Estudio de la variación de propiedades mecánicas de estructuras de paredes delgadas ante la presencia de inestabilidades elasto-plásticas”, Tesis de Doctorado, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata, junio de 2007
8. Dossing O. “Structural Testing Part II, Modal Analysis Simulation”, Brüel & Kjær, 1988
9. Abaqus/CAE user´s manual y Abaqus theory manual (versin 6.7), año 2007

ANALISIS DE IMPACTO LATERAL DE CHASIS JAULA DE VEHICULO UNIPERSONAL DE TRES RUEDAS

Menghini, Matías

UID – GEMA, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería de La Plata
Calle 48 y 116 La Plata. CP 1900. Contacto: matias.menghini@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: Vehículo de tres ruedas, Impacto FEM

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta que la seguridad del conductor es el factor más importante desde el punto de vista del diseño, se utilizara el modelado con elementos finitos para estudiar el efecto de "Impacto" de la estructura primaria, donde va situado el conductor en un vehículo de tres ruedas.

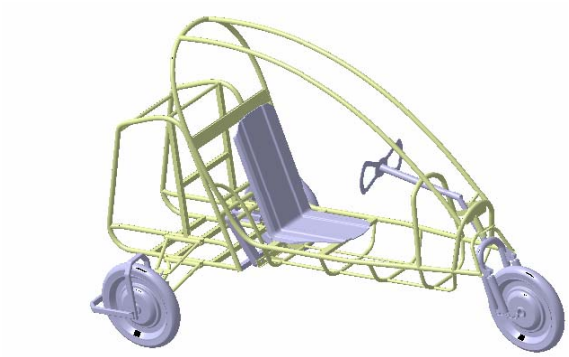


Figura 1: Diseño completo de vehículo de tres ruedas

DESARROLLO DEL TRABAJO

Hipótesis de trabajo.
El modelo que se planteara para el análisis de la estructura primaria del vehículo es un modelo tridimensional constituido por bigas de distintas secciones, las cuales conforman la estructura del mismo, el modelo tiene comportamiento no lineal del material, grandes desplazamientos y deformaciones, las condiciones para este problema serán una velocidad inicial y la gravedad, aplicada a toda la estructura, como condición de contacto se estableció que no hay fricción ente la estructura en análisis y el piso, ni entre la estructura y la columna a impactar.

Debido a la imposibilidad de realizar una validación del análisis propuesto mediante un ensayo o experiencia, se planteo la construcción, ensayo y simulación dos modelos estructurales constituidos por barras de acero solidas de 6.49 mm de diámetro, los cuales consisten en un modelo de cuatro barras y un modelo de ocho barras, a los cuales se los ensayo y simulo bajo distintas condiciones para evaluar la valides del modelo propuesto para estos casos.
Para ambos casos se utilizo los datos obtenidos del material mediante ensayo de tracción de probetas obtenidas del mismo material a utilizar.

Modelos de Barras

Los modelos fue construido a partir de barras de acero de distinta longitud y un diámetro de 6.49 mm, las mismas fueron soldadas en los extremos mediante el uso de soldadura MIG, (Figura 2) en dos de los extremos de cada modelo se adicionaron dos bloques de acero de 482.8 gramos para el de cuatro barras y 241.4 gramos para el de seis barras, estos bloques se colocaron para incrementar la masa del modelo en estudio, para permitir la disminución de la altura de impacto.

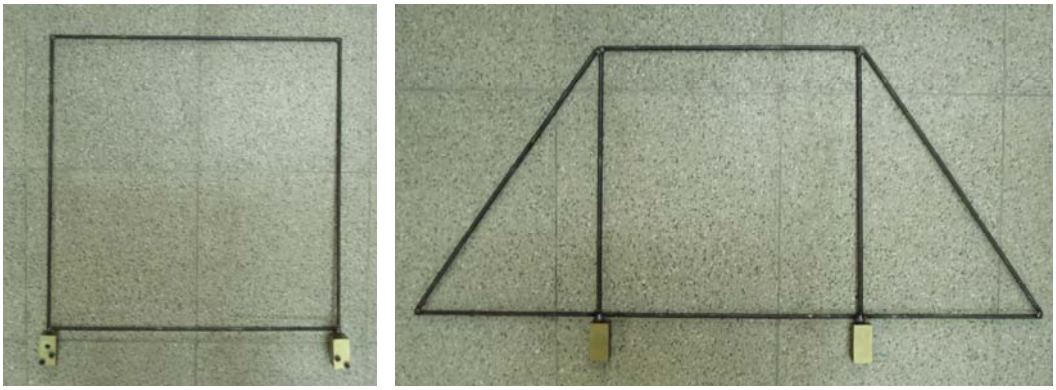


Figura 2: Estructura reticulada de barras con masas

El ensayo sobre los modelos construidos, consistió en realizar un impacto de la estructura en estudio arrojándola desde una altura de 2 metros para el modelo de cuatro barras y desde una altura de 1.2 metros para el de ocho barras, contra una sección circular de acero de 134 mm de diámetro.
El ensayo de filmo mediante una cámara de alta velocidad a una tasa de 420 FPS, para evaluar el comportamiento durante el impacto

Descripción del modelo

El modelo utilizado mediante el software Abaqus en un modelo 2D constituido por vigas de una sección circular de 6.49 mm de diámetro, los elementos utilizados son tipo biga lineal B31. El modelo tiene comportamiento no lineal del material, grandes desplazamientos y deformaciones y el contacto entre las partes.

Las condiciones de contorno empleadas son la aplicación de dos masas no estructurales, además se aplico la aceleración de la gravedad y una velocidad inicial antes del impacto, que es la velocidad que se obtiene en caída libre desde la altura especificada, a su vez se considero el contacto entre la estructura a impactar y la columna no tiene fricción. A continuación en la figura 3 se muestran los modelos en estudio

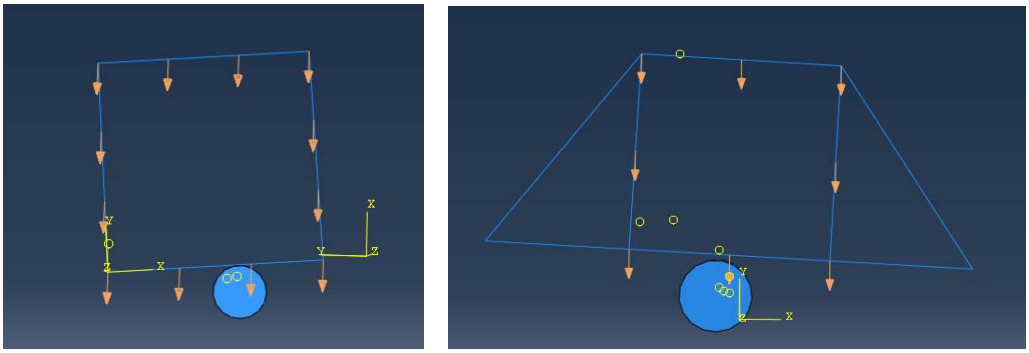


Figura 3: Modelo de elementos finitos utilizado

Resultados

Debido a que inicialmente se realizo el ensayo de los modelos construidos, se observo para ambos casos que el impacto no se produjo en la zona central de la biga inferior, sino desplazado del centro, a su vez se observo que el mismo no cayó en forma paralela a la horizontal, sino con un determinado ángulo, el cual se midió analizando las fotos obtenidas a alta velocidad. Mediante estas nuevos parámetros se realimento los modelos, realizando las modificaciones necesarias para representar el impacto realizado en la práctica.

A continuación en las figura 4 se observa la respuesta de los modelos reales construidos y los modelos analizados, posterior al impacto.

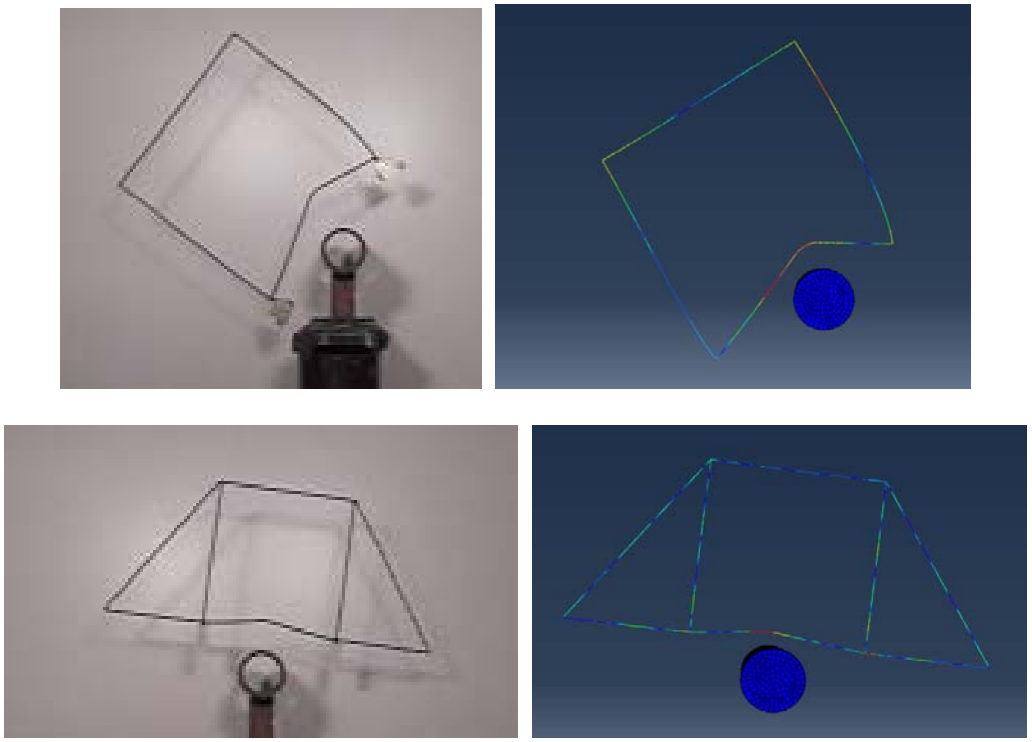


Figura 4: Modelo construido y simulación posterior al impacto

La evaluación que se realizo a ambos modelos, fue la medición geométrica de la máxima deformación plástica en el punto de impacto, para ello se tomo dos puntos en cada extremo de la barra impactada y se trazo una línea, posteriormente se tomo la distancia perpendicular a dicha línea en el punto de máxima deformación, para el caso del modelo simulado numéricamente, lo que se realizo fue tomar las coordenadas de los nodos en el modelo ya deformado y realizar las medidas.

Las medias realizadas a los modelos real (Dr) y la realizada a partir de las coordenadas de los nodos del modelo de elementos finitos (Dm) son:

Modelo de cuatro barras	Modelo de ocho barras:
Dr: 78.20 mm	Dr: 21.56 mm
Dm: 93.10 mm	Dm: 18.98mm

De estas medidas se observa una diferencia en las deformaciones plásticas de 14.9 mm, las cuales nos dan un error del 19.05 % para el modelo de cuatro barras y para el

modelo de ocho barras, se observa una diferencia en las deformaciones plásticas de 2.58 mm, las cuales nos dan un error del 11.9 %.

Conclusiones

En la realización de los ensayos y simulaciones realizadas a ambos modelos se observa que la respuesta de los modelos en estudio es menos acertada cuando las deformaciones plásticas son muy grandes, mientras que para pequeñas deformaciones la respuesta presenta poco error con respecto a la realidad, en cuanto a la respuesta dinámica ante un impacto en ambos casos se observo que los dos modelos planteados representan la realidad con bastante exactitud.

En función a los resultados obtenidos en las deformaciones y respuesta, se procedió a realizar el modelado del efecto de impacto lateral de la estructura principal del vehículo de tres ruedas (Figura 5), el cual es el objetivo principal de este trabajo.

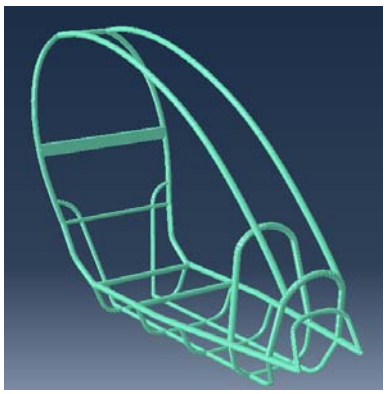


Figura 5: Modelo de estructura principal de vehículo de tres ruedas

Descripción del modelo

El modelo utilizado es un modelo 3D constituido por vigas de distinta sección, todo el conjunto de vigas está conformado por 939 nodos y 963 elementos tipo viga lineal B31.

Las condiciones de contorno empleadas son la aplicación de la fuerza de gravedad en toda la estructura y una velocidad inicial antes del impacto contra una columna de 300 mm de diámetro, la cual se simulo en conjunto con el piso como un rígido analítico
A continuación se presenta en figura 6 el modelo utilizado.

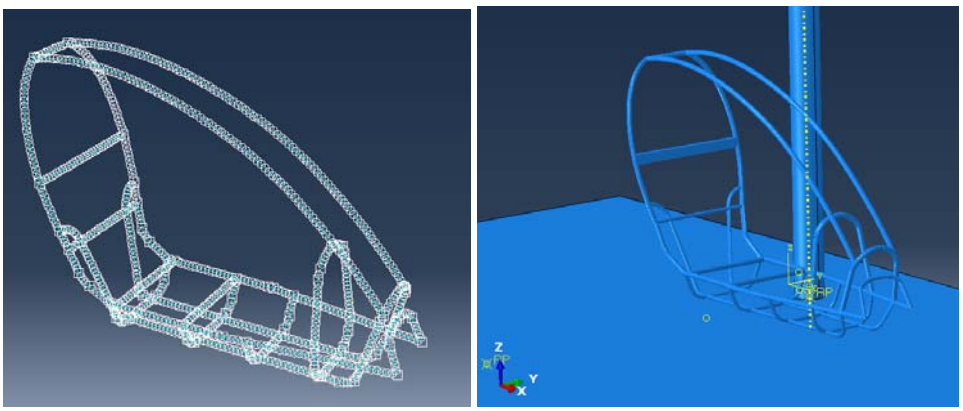
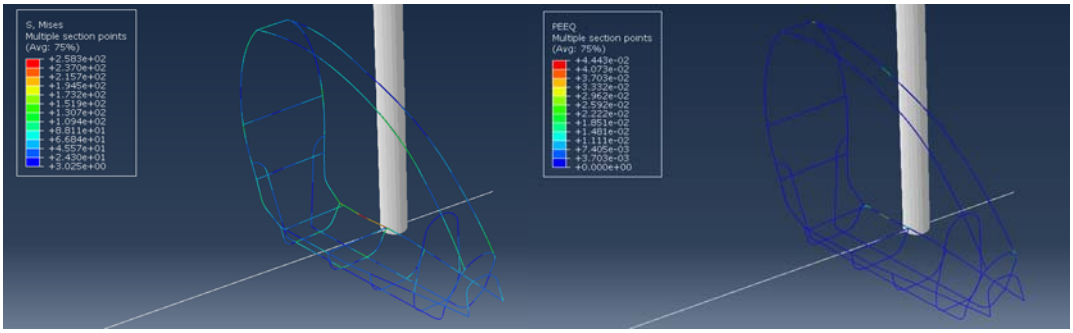


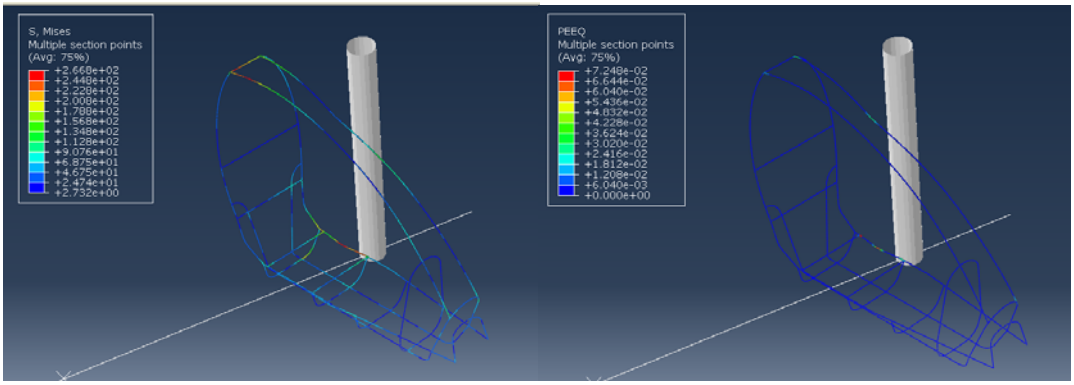
Figura 6: Modelo utilizado

Resultados

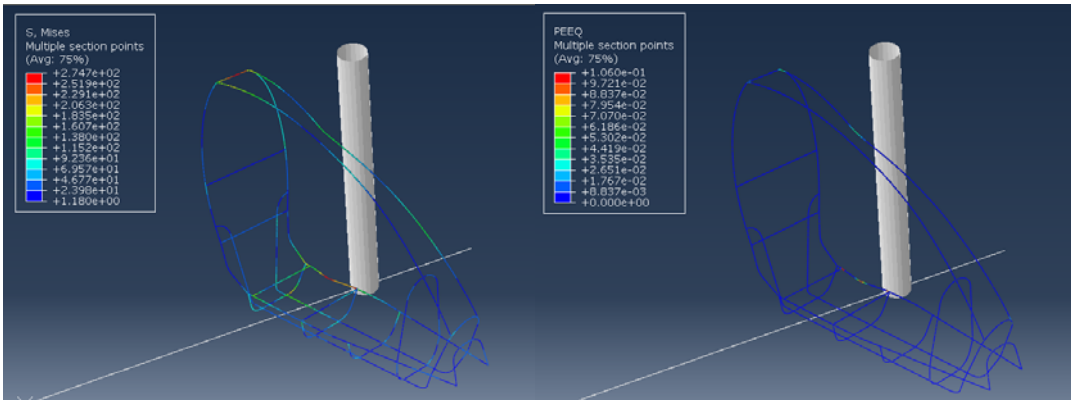
Debido a que se desconocía la actitud de la estructura en estudio ante un impacto lateral, se realizo la simulación del impacto a tres velocidades distintas, las cuales son 20, 25 y 30 Km/h.
A continuación en las figura 7 se observa la respuesta del modelo para las tres velocidades.



Modelo con velocidad de impacto de 20 Km/h



Modelo con velocidad de impacto de 25 Km/h



Modelo con velocidad de impacto de 30 Km/h

Figura 7: Visualización tensiones principales y de deformación plástica para las tres velocidades

Las mediciones que se realizaron para las tres velocidades consistió en medir las deformaciones plásticas transversales en la parte inferior (Di) y superior (Ds) de impacto de la estructura con la columna para determinar que en ambos puntos no se produzcan deformaciones plásticas transversales superiores a 50 mm, las mismas se las realizo tomando coordenadas de los nodos en el modelo ya deformado y realizar

los cálculos correspondientes para la obtención de la deformación plástica transversal. A continuación en figura 8 se muestran los puntos definidos anteriormente.

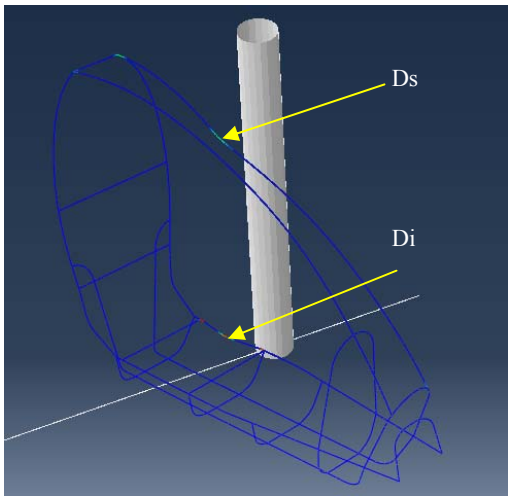


Figura 8: Puntos donde se midió la deformación plástica transversal al eje del vehículo

Tabla 2

Resultados de Deformación Plástica Transversal en Puntos Críticos de la Estructura		
Velocidad (Km/h)	Deformación Plástica (mm)	
	Punto Inferior (Di)	Punto Superior (Ds)
20	10,10	55,44
25	17,95	79,70
30	26,63	123,45

Conclusiones

De los resultados obtenidos se observa que las deformaciones más importantes se dan el parte superior de la estructura, estas son debidas a la escasa rigidez trasversal de la parte superior, la cual a una velocidad de impacto lateral de 20 Km/h no supera los 60 mm preestablecidos como deformación máxima admisible, por su parte en la parte inferior donde la estructura impacta con la columna, para las tres velocidades estudiadas se ve que las deformaciones se encuentran por debajo de la máxima admisible. Con respecto a la respuesta a dinámica del modelo empleado, se observo cómo se había supuesto que la estructura impactara en primera instancia en la parte inferior, comienza a rotar en el eje longitudinal y vertical e impacta en la parte superior, con lo cual el modelo responde según lo esperado.

Como conclusión del problema planteado, la estructura en estudio, impactando lateralmente contra una columna a una velocidad lateral mayor a 20 Km/h no sería capaz de contener lateralmente las deformaciones dentro del rango estipulado como apto en la parte superior, mientras que en la parte inferior se encuentra dentro del rango de aceptación.

Referencias

Abaqus/CAE user´s manual y Abaqus theory manual (versin 6.7), año 2007

IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE FLOTA HABILITADA PARA OPERACIONES BASADAS EN PERFORMANCE (PBN) EN ARGENTINA.

Autores
Herrón, Alejandro G.; Pezzotti, Santiago; Di Bernardi, Alejandro; Marino, Paolo; Gómez, Rubén.

Lugar de ejecución del trabajo
GTA - Grupo Transporte Aéreo de la UID "GTA-GIAI", Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina. E-mail: alejandrogherron@gmail.com, gta@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave
Operaciones, Procedimientos, PBN, RNAV, RNP.

Resumen

Enmarcado dentro de un programa de sostenibilidad del transporte aéreo y definido como línea de investigación prioritaria de la UID GTA-GIAI, se presenta como objetivo general del presente documento, la realización de un aporte al PROGRAMA DE SOSTENIBILIDAD DEL TRANSPORTE AÉREO realizando un análisis de la flota que opera en la actualidad dentro del país, con el fin de determinar cuáles aeronaves (pertenecientes a una determinada aerolínea) se encuentran en condiciones de operar bajo procedimientos basados en performance -PBN-.

La navegación aérea ha ido evolucionando en el tiempo con la inclusión de nuevos equipamientos (y por consiguiente nuevos procedimientos), permitiendo así a las aeronaves un vuelo más seguro y eficiente. Con el advenimiento de las tecnologías basadas en posicionamiento satelital (GNSS) y con el apoyo de estaciones de tierra, se está logrando en la actualidad operar con una precisión de metros y optimizar las rutas de vuelo. Esto implica reducción de tiempos de vuelo, disminución de contaminación atmosférica, reducción de impacto acústico, menor consumo de combustible, reducción de la carga de trabajo para los controladores y pilotos, y la optimización del espacio aéreo, entre otros.

Todos estos factores hacen que sea de suma importancia comenzar a analizar formas de implementación de estas nuevas tecnologías en el país. Para ello resulta vital identificar y determinar en primera instancia que aeronaves, actualmente operando en laregión, se encontrarían en condiciones de implementar estos nuevos procedimientos. Dentro de este contexto, se considera el análisis de las aeronaves actualmente habilitadas en dichas operaciones, centrando el enfoque principalmente en las tecnologías orientadas a las etapas de aproximación y despegue. Esto se hace dado que dichas etapas en las operaciones de las aeronaves, presentan un importante impacto ambiental y prestanmucho lugar a la optimización de los procedimientos.

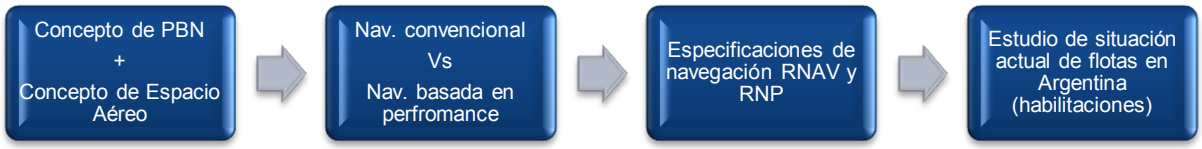
INTRODUCCIÓN

La navegación aérea es un concepto que presenta una marcada evoluciónen el tiempo. Desde métodos convencionales de navegación basada en sensores (ej. radioayudas como el VOR, DME, NDB, ILS, etc.), hacia operaciones que tienen en consideración y hacen énfasis en la propia performance de la aeronave (PBN – Navegación basada en Performance) y la optimización de la gestión del espacio aéreo.

Es en este contexto en donde surge el concepto de PBN o navegación basada en performance, que con la implementación de sistemas globales satelitales o GNSS se convierte en un elemento clave para las operaciones aeronáuticas actuales y futuras.

DESARROLLO

Se observa a continuación un esquema conceptual en cuanto a la estructura del presente trabajo y los temas que aborda:



Concepto de PBN y espacio aéreo

El concepto de PBN (según referencia [1]) está compuesto por tres elementos interrelacionados, fundamentales para cualquier operación basada en performance:

- Los requerimientos establecidos en las especificaciones de navegación apropiadas.
- La infraestructura de las ayudas a la navegación (tanto terrestres como espaciales) que permiten operar al sistema.

Aplicando los dos aspectos anteriores, en el contexto del concepto de espacio aéreo, a rutas con servicio de tránsito aéreo (ATS) y procedimientos instrumentales, se obtiene un tercer componente dentro de las operaciones PBN:

- La aplicación de la navegación.

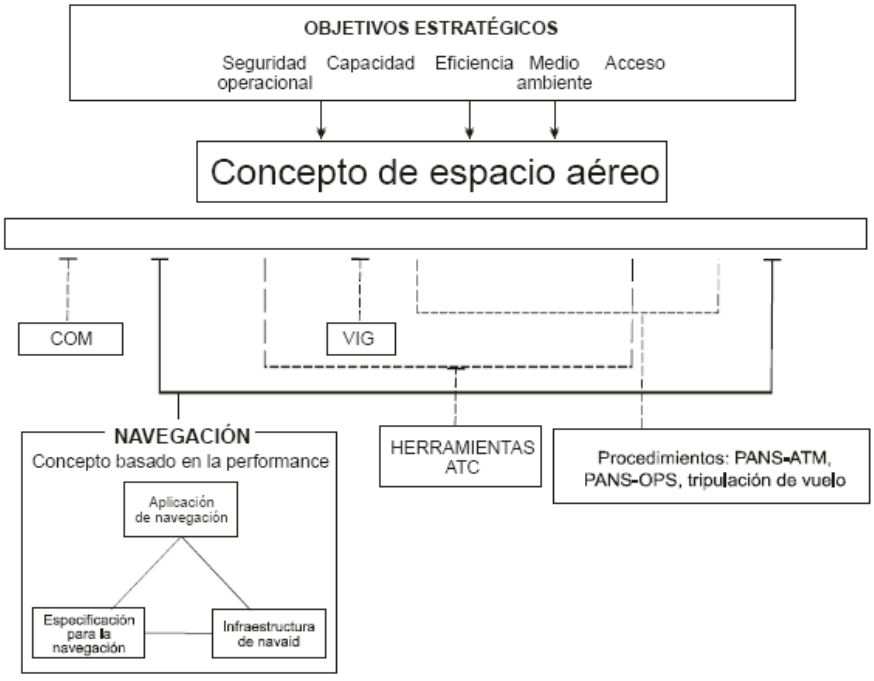


Figura 1: Síntesis de la relación entre PBN y concepto de espacio aéreo.

Hablando específicamente desde el punto de vista del espacio aéreo (según referencia [1] y [2]), los requerimientos de PBN se encuentran afectados por la comunicación, el control y su gestión en relación al tráfico aéreo, la infraestructura para las ayudas a la navegación, y las capacidades funcionales y operacionales necesarias para satisfacer la aplicación de la gestión de tráfico aéreo.

Comparación entre navegación convencional y navegación basada en performance (según referencia [1])

Procedimientos convencionales

El diseño de procedimientos convencionales sirve para aplicaciones que no son RNAV, es decir cuando la aeronave se encuentra navegando basándose en señales directas de radioayudas terrestres. Esto produce rutas más largas no optimizadas. Además, las áreas de protección de obstáculos son comparativamente más grandes y el error de navegación se incrementa en función de la distancia del avión a la radioayuda.

Procedimientos RNAV

El concepto de RNAV hace referencia a la navegación en cualquier dirección dentro del área de cobertura de ciertos sensores específicos. La creación de puntos de referencia definidos por nombre, latitud y longitud permitieron el diseño de rutas menos dependientes de la ubicación de la ayuda a la navegación, permitiendo así optimizar la planificación en los espacios aéreos.

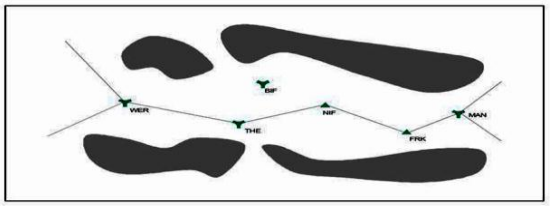


Figura 2: Procedimiento de vuelo convencional.

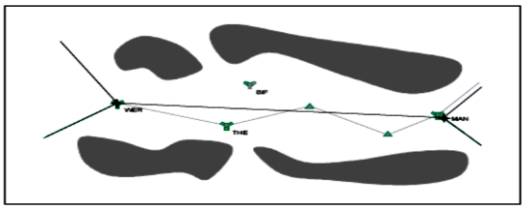


Figura 3: Procedimiento instrumental de vuelo RNAV.

Procedimientos RNP

Los procedimientos RNP introdujeron el concepto de performance al diseño de los mismos. Estos procedimientos marcaron la antesala para los procedimientos PBN.

Procedimientos PBN

La navegación por área utilizando PBN es una operación basada en la performance de las aeronaves en donde las características de esa navegación se encuentran especificadas.

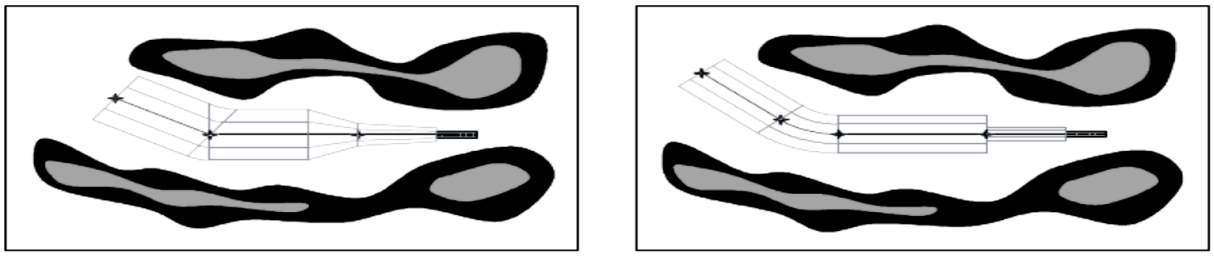


Figura 4: Procedimiento RNP APCH (Izq.) y RNP AR APCH (Der.) (según referencia [3]).

El principal cambio para los diseñadores es que no diseñaran procedimientos para sensores específicos sino acorde a una especificación de navegación (ej. RNAV 1). La elección de una especificación apropiada se basa en los requerimientos del espacio aéreo, la infraestructura de las ayudas de navegación disponible y el equipo y la capacidad operacional de la aeronave que se espera que utilice la ruta.

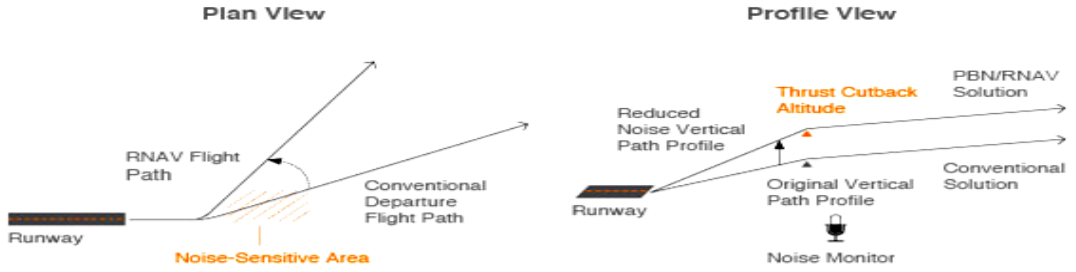


Figura 5: Impacto ambiental reducido en un procedimiento PBN de descenso continuo [5].

Especificaciones de Navegación

Una especificación de navegación es un conjunto de requerimientos para las aeronaves y las respectivas tripulaciones (según referencia [1]), necesarios para mantener una aplicación de navegación dentro de un concepto de espacio aéreo definido.

Se debe tener en cuenta que debido a los requerimientos específicos de performance definidos para cada especificación de navegación, una aeronave aprobada para una especificación RNP no se encuentra automáticamente aprobada para una RNAV. De forma similar, cualquier aeronave aprobada para una especificación de navegación RNP o RNAV que tiene requisitos de precisión estrictos (ej. RNP 0.3), no se encuentra automáticamente aprobada para una especificación de navegación que posee un requisito de precisión menos estricto (ej. RNP 4). Además, una aeronave aprobada para procedimientos RNP 1 en un Estado, por ejemplo, puede no cumplir con los requerimientos operacionales de otro, dadas las particularidades de cada uno. Como situación puntual se puede citar el caso de Argentina donde la aprobación operacional por parte de la autoridad en cuanto a la especificación RNP 1 define la utilización de sistemas GPS como ayuda a la navegación principal. Por lo tanto en otro Estado donde para la misma especificación de navegación se requiera de una infraestructura de las ayudas a la navegación basada en VOR/DME, la aprobación de la aeronave no resulta válida.

Se debe destacar que las especificaciones RNAV y RNP son fundamentalmente similares, la diferencia clave radica en el requerimiento de tener un sistema de abordo autocontenido, que permita el monitoreo y la alerta en cuanto a la performance de la aeronave para el caso del sistema RNP. En otras palabras un sistema con este requerimiento (sistema RNP) debe ser capaz de poder asegurar su propio desempeño.

RESULTADOS

Estado de situación actual en relación a las flotas en Argentina

Realizando un análisis de las flotas que actualmente operan en la República Argentina se identifican y cuantifican a las aeronaves que cuentan con equipamientos y habilitaciones pertinentes para realizar operaciones de tipo PBN.

Se hace una diferenciación entre las aerolíneas que tienen base en Argentina, y las que operan dentro del territorio nacional pero que son procedentes de otros países. Existen alrededor de 130 empresas que cuentan con aeronaves en Argentina. El número de estas aeronaves ronda los 300 al año 2012.

De cada una de las aeronaves pertenecientes a dichas empresas se presenta información acerca de las habilitaciones (según referencia [4]) correspondientes a distintos procedimientos por parte de la autoridad aeronáutica. Los mismos se explican a continuación:

- Procedimientos utilizando sistemas ILS (ya sea CAT I, II, III-A, III-B o III-C), para aproximaciones.
- Procedimientos con una Separación Vertical Mínima Reducida o RVSM, para navegación en ruta.
- Especificación de Mínima Performance de Navegación o MNPS-NAT para la región North Atlantic.
- Procedimientos RNP-1, utilizados en aproximaciones y salidas.
- Procedimientos RNP-10, utilizados para navegación en ruta remota o transoceánica.
- Procedimientos RNAV-5, utilizados para navegación en ruta continental y arribos (área terminal).

En los siguientes gráficos se representa porcentaje y número las aeronaves habilitadas (según referencia [6]); además se recuadra en naranja las especificaciones relacionadas con las etapas de aproximación y despegue.

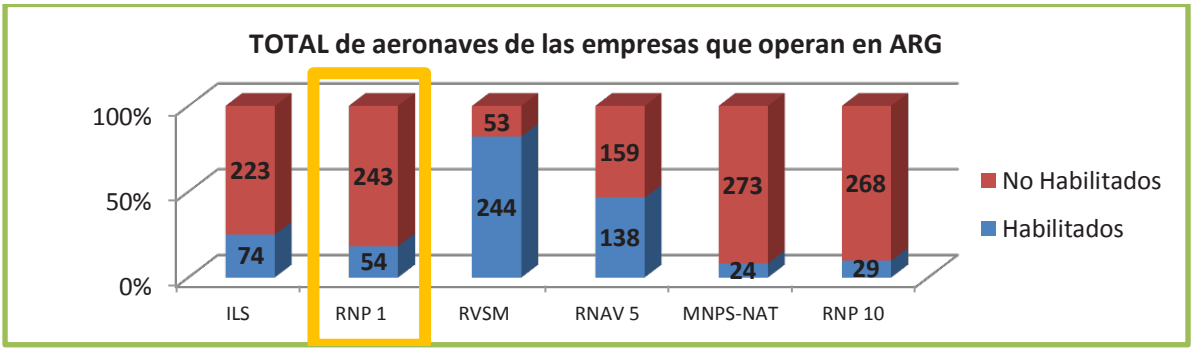


Figura 6: Aeronaves con habilitaciones para procedimientos específicos en Argentina.

En relación con ello las principales aerolíneas con base en la República Argentina son:

EMPRESA	TOTAL	(%)
AEROLINEAS ARGENTINAS S.A.	43	46.2
ANDES LÍNEAS AÉREAS	5	5.4
AUSTRAL	30	32.3
LAN ARGENTINA	15	16.1
TOTAL	**93**	**100**

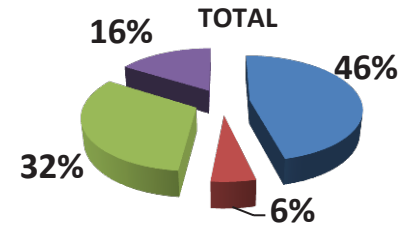


Tabla 1: Empresas aéreas de la República Argentina.

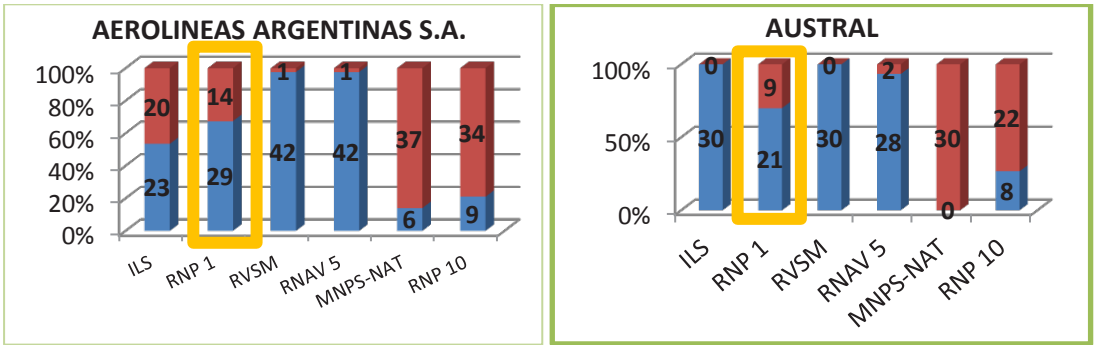


Figura 7: Aeronaves de Aerolíneas Argentinas (Izq.) y Austral (Der.) con habilitaciones para procedimientos específicos.

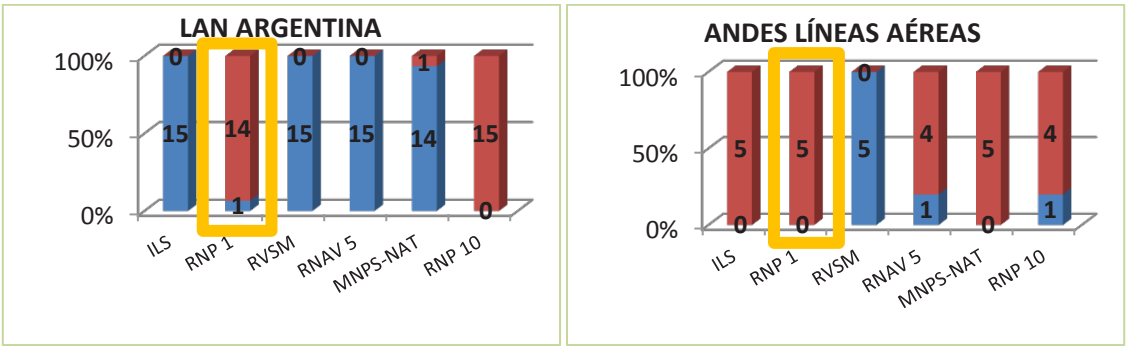


Figura 8: Aeronaves de LAN Argentina (Izq.) y Andes Líneas Aéreas (Der.) con habilitaciones para procedimientos específicos.

CONCLUSIONES

En primer lugar, se debe observar que el concepto de PBN es amplio y abarca distintas partes dentro de la actividad aeronáutica que se encuentran interrelacionados para que la aplicación del sistema sea factible. Entre estas partes se debe hacer mención a los operadores/explotadores (como las aerolíneas), las aeronaves, las tripulaciones con la capacitación y habilitaciones pertinentes, la infraestructura de las ayudas a la navegación (terrestres y satelitales), y la autoridad aeronáutica encargada de generar un marco regulatorio para que se desarrollen las operaciones PBN. Cada una de estas partes cumple un rol específico y constituyen los pilares fundamentales que soportan a la navegación basada en performance.

Particularmente, se puede concluir que la mayoría de las aeronaves que operan en la Argentina no poseen habilitaciones necesarias para realizar procedimientos basados en performance. Pero se debe recordar que el análisis incluye operadores que no son aerolíneas, operadores de servicios para vuelos chárter, privados, operadores con aeronaves fuera de servicio o con flota de gran antigüedad que no se encuentra operando regularmente, entre otros.

Analizando ahora a las aerolíneas principales como Aerolíneas Argentinas, se observa que posee más de la mitad de su flota habilitada para procedimientos RNP-1 y casi en su totalidad para RNAV-5 (ruta y arribos). Además haciendo una comparación con sistemas de aproximación convencionales como el ILS, se observa que la mayoría posee habilitaciones.

Finalmente se concluye que la transición a estos sistemas de navegación ayudaría a reducir el impacto ambiental generado por la operación de las aeronaves mencionadas en el desarrollo, debido a la disminución de las emisiones gaseosas y acústicas así como también la optimización de rutas dentro del espacio aéreo.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Doc. 9613 "Performance-based Navigation (PBN) Manual" (OACI).
[2] “Airspace Concept Handbook for the Implementation of Performance Based Navigation (PBN)” (EUROCONTROL)
[3] “Required Navigation Performance Authorization Required (RNP AR) Procedure Design Manual” (OACI)
[4] AMC 20-28 “Airworthiness Approval and Operational Criteria related to Area Navigation for Global Navigation Satellite System approach operation to Localiser Performance with Vertical guidance minima using Satellite Based Augmentation System” (EASA)
[5] Manuales de Boeing. www.boeing.com
[6] Documentos propios del “GTA” de la UID “GTA-GIAI” de la UNLP.

DETERMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN GASEOSA EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE EZEIZA

Autores

Chapela Matias A., Bonopera Mariano, D'Iorio Juan Ignacio, Hanna Walid, Di Bernardi Alejandro, Piechoki Joaquin

Lugar de ejecución del trabajo

GTA - Grupo Transporte Aéreo de la UID "GTA-GIAI", Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina. E-mail:matiaschapela@gmail.com, gta@ing.unlp.edu.ar

Palabras Claves

Aeropuertos, Operaciones, Gases, Dispersión, Entorno aeroportuario.

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo presentar los resultados sobre el análisis de los gases contaminantes resultantes de la operación de los motores de las aeronaves durante las fases de aproximación, aterrizaje, tiempo en plataforma, rodaje y despegue. También cuantificar los gases contaminantes emitidos por los vehículos de asistencia que operan dentro del aeropuerto.

Cabe destacar que el estudio efectuado se encuentra estrechamente relacionado con la iniciativa propuesta por las principales entidades y autoridades aeronáuticas sobre el desarrollo de aeropuertos ecológicamente sustentables (denominados como "Green Airports"), y a su vez, con los valores máximos de contaminantes permitidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Dichos análisis fueron realizados mediante software computacionales específicos. Se plantearon distintos escenarios operativos del aeropuerto, para luego proceder a su simulación. De esta manera, se obtienen las curvas de concentración de contaminantes permitiendo analizar el aporte contaminante dentro del predio aeroportuario y su entorno.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años las naciones del mundo han manifestado intenciones de reducir los actuales niveles de generación contaminante y prueba de ello son los distintos acuerdos que se han alcanzado y firmado.

Existen diversos organismos que intentan definir líneas de acción en función de la caracterización actual de la actividad humana y de sus respectivas proyecciones. En este contexto podemos mencionar al Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) de la World Meteorological Organization (WMO), a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) de la ONU cuya preocupación fundamental se centra en los gases efecto invernadero (GEI: H_2O, CO_2, CH_4, NOx, O_3, CFC, otros); y la Organización Internacional de Aviación Civil (OACI) de la ONU que tiene, entre otros, injerencia directa sobre los aportes del transporte aéreo prestando especial atención a residuos tales como el HC, CO, NOx, entre otros contaminantes gaseosos .

Las proyecciones indican que la actividad aeroportuaria se incrementará significativamente en los próximos años y es por ello que se busca reducir los impactos que esta actividad genera.

Cuando caracterizamos aportes contaminantes gaseosos lo hacemos en función de escalas, la local (entorno aeroportuario inmediato: 30 Km a la redonda) y la global (a través de la circulación atmosférica: miles de kilómetros). En este contexto nuestro estudio se concentra en la escala local inmediata ya que busca caracterizar el entorno para definir las servidumbres gaseosas, que junto a las servidumbres acústicas y a las superficies limitadoras de obstáculos definen el uso del suelo en el entorno aeroportuario.

En este contexto el presente documento pretende dar una idea preliminar de la cantidad de contaminantes generados en un ámbito aeroportuario a través de simulación computacional.

DESARROLLO

A continuación se describen sucintamente ciertos aspectos relevantes que deben ser tenidos en cuenta a la hora de determinar huellas gaseosas.

- Aeropuerto en estudio

Para el presente análisis se eligió como escenario de estudio al aeropuerto Internacional de Ezeiza por ser el aeropuerto internacional mas representativo y por la diversidad de la flota que en el opera.

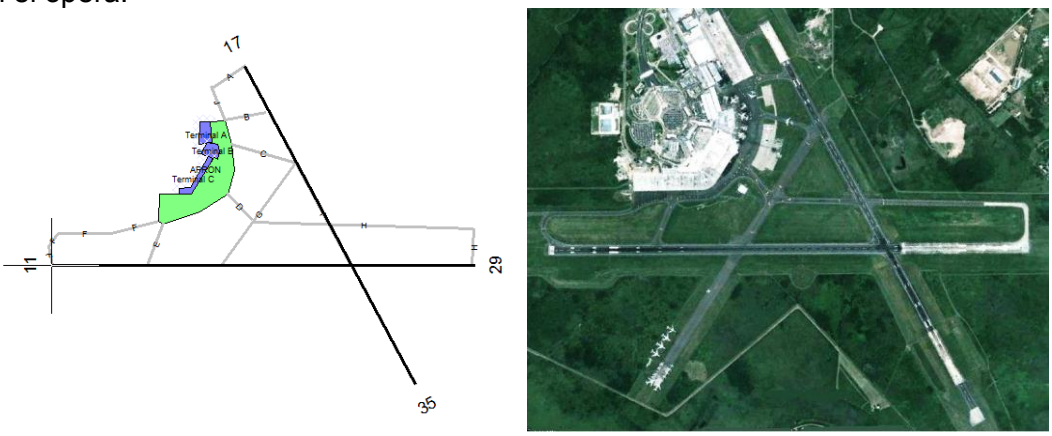


Figura 1. Vista general del aeropuerto

- Estrategia de uso de pistas, operaciones, Escenario operativos

Si bien los escenarios son diversos en función de la estrategia operativa de las pistas, de las condiciones meteorológicas reinantes y uso del espacio aéreo circundante, se describen solamente algunos escenarios operativos que han sido seleccionados para este análisis. Esto es; despegue por pista 11, despegue por pista 17, aterrizaje por pista 35 y aterrizaje por pista 17. El análisis se realizó en base a ciclos LTO (Landing, Take-off)

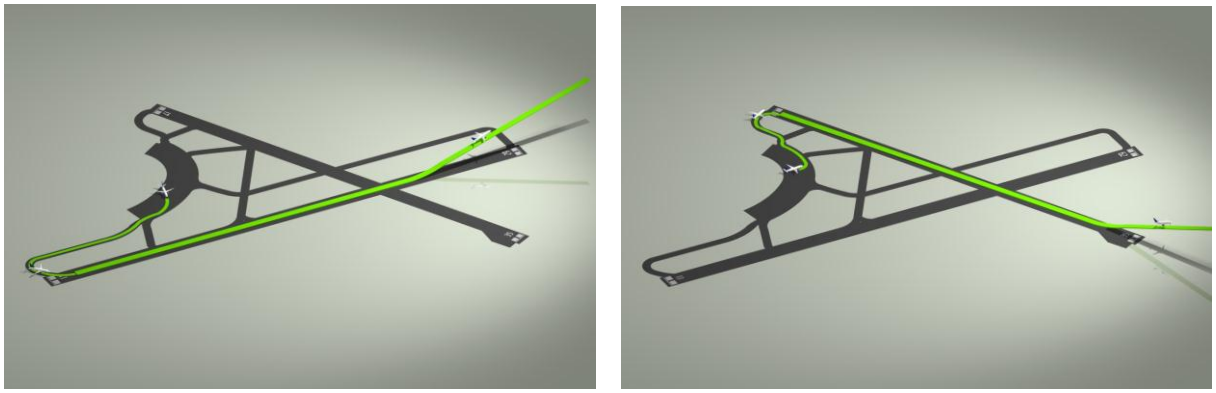


Figura 2. Escenarios de despegue (Pista 11 y 17 respectivamente)

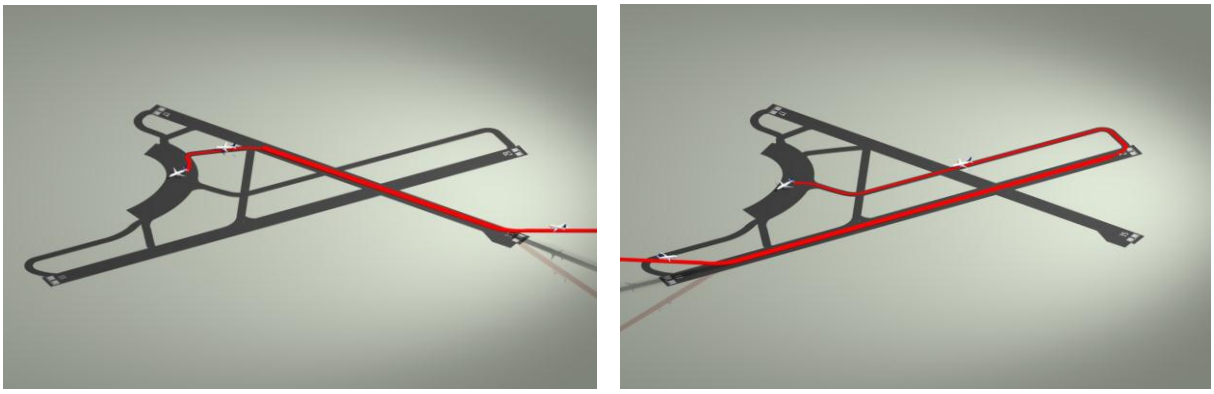


Figura 3. Escenarios de aterrizaje (Pista 35 y 11 respectivamente)

- Flotas y planta poder

A continuación se muestra la mezcla de tráfico que fue utilizada para el cálculo; la misma corresponde a un día típico en el aeropuerto (promedio 170 Op/día). Se realizó la hipótesis adicional que la misma es válida para todos los días del año. Asimismo no se consideran aeronaves de aviación general por ser su aporte insignificante respecto a la flota analizada.

Aeronave	Planta Poder	Partidas Anuales	Arribos Anuales
Airbus A319-100	CFM56-5B6/P	1.582	2.190
Airbus A320-200	V2527-A5	5.779	5.475
Airbus A321-100	CFM56-5B2	365	365
Airbus A321-200	CFM56-5B2/P	730	730
Airbus A330-200	CF6-80E1A1	365	730
Airbus A340-200	CFM56-5C3	913	913
Airbus A340-300	CFM56-5C3	1.278	913
Airbus A340-600	Trent 556-61 Phase 5 tiled	730	730
Boeing 737-200	JT8D-15A	304	365
Boeing 737-300	CFM56-3-B1	730	730
Boeing 737-700	CFM56-7B22	3.468	5.110
Boeing 737-800	CFM56-7B26	2.373	2.555
Boeing 747-400	PW4056	365	365
Boeing 767-200	CF6-80A	487	487
Boeing 767-300 ER	PW4060 Reduced emissions	2.677	3.042
Boeing 777-200-ER	Trent 772	3.042	2.677
Boeing 777-300 ER	GE90-115B DAC	730	730
Boeing DC-10	CF6-6D	1.825	2.190
Bombardier CRJ-900-ER	CF34-8C5 LEC	730	1.095
Embraer ERJ190-LR	CF34-10E	730	730
Fokker F28-1000	RR SPEY-MK555-15	365	365

Tabla 1. Mezcla de trafico Utilizada

- Contaminantes a estudiar – Fuentes

Los contaminantes producidos por la combustión generada en un motor aeronáutico son diversos y dependen de varios factores, tales como el tipo de combustible, la riqueza de la

mezcla, el mantenimiento de la cámara de combustión, entre otros. La siguiente ecuación da una idea general de carácter preliminar de algunos de los contaminantes principales:

$$N_2 + O_2 + C_m.H_n \rightarrow (a.CO_2 + b.H_2O + c.N_2 + d.O_2) + (e.HC + f.CO + g.NO_x)$$

En la siguiente tabla se muestran los contaminates analizados en este estudio:

Contaminante	Cuantificación	Dispersión
CO	X	X
HC	X	X
NO_X	X	X
CO_2	X	--

Tabla 2. Contaminantes a estudiar

Las Fuentes consideradas para el análisis se centran en aquellas unidades que operan en la parte aeronáutica (lado aire) del aeropuerto: aeronaves en todas sus fases de operación, Auxiliary power unit (APU's), Ground support equipment (GSE) de las aeronaves en plaforma.

➢ Meteorología de referencia

Con el fin de cuantificar los contaminantes generados al tiempo de poder realizar el estudio de dispersión fue necesario procesar la información meteorológica del predio aeroportuario. Los parámetros meteorológicos analizados fueron:

- Altura de mezcla (altura vertical en la cual se establece un corte para el modelado de emisiones de las aeronaves)
- Temperatura (ambiente, máxima y mínima)
- Presión a nivel del mar
- Humedad relativa
- Dirección e intensidad del viento
- Altura del techo de nubes
- Visibilidad horizontal

Para esto fue necesario contar con información a nivel de superficie cada hora como así también dos mediciones diarias de datos en altura.

➢ Software de referencia – Proceso de calculo

La determinación de la cantidad de gases emitidos y la dispersión de los mismos se realizó mediante el software EDMS v5.1.3 (Emission & Dispersion Modeling System)[4] el cual es utilizado por la Federal Aviation Administration (FAA) para sus aeropuertos. El mismo permite el cálculo del aporte contaminante de las aeronaves en todas sus fases de operación como así también el de los vehículos de asistencia de las mismas.

El proceso de cálculo consiste en la sumatoria total anual de cada una de las fuentes analizadas, la dispersión de los contaminantes se realiza a través del modelo de dispersión gaussiano.

Para el procesado de los datos meteorológico se utilizo el software Aermet View [1] que permite calcular ciertos parámetros de capa limite usados para estimar perfiles de viento, turbulencia y temperatura sin contar con los datos de altura previamente mencionados.

El siguiente diagrama de flujo representa la metodología a seguir para el análisis:



Figura 4. Metodología desarrollada

RESULTADOS

Siguiendo la metodología planteada anteriormente y a través de los procesos lógicos que presentan los programas anteriormente mencionados [2] [3] se llega a los resultados que se muestran a continuación.

Los gráficos corresponden a las cantidades totales (expresado en toneladas anuales) de contaminantes emitidos por todos las fuentes que se consideraron en el análisis y la dispersión de los mismos. El periodo analizado corresponde al año 2011.

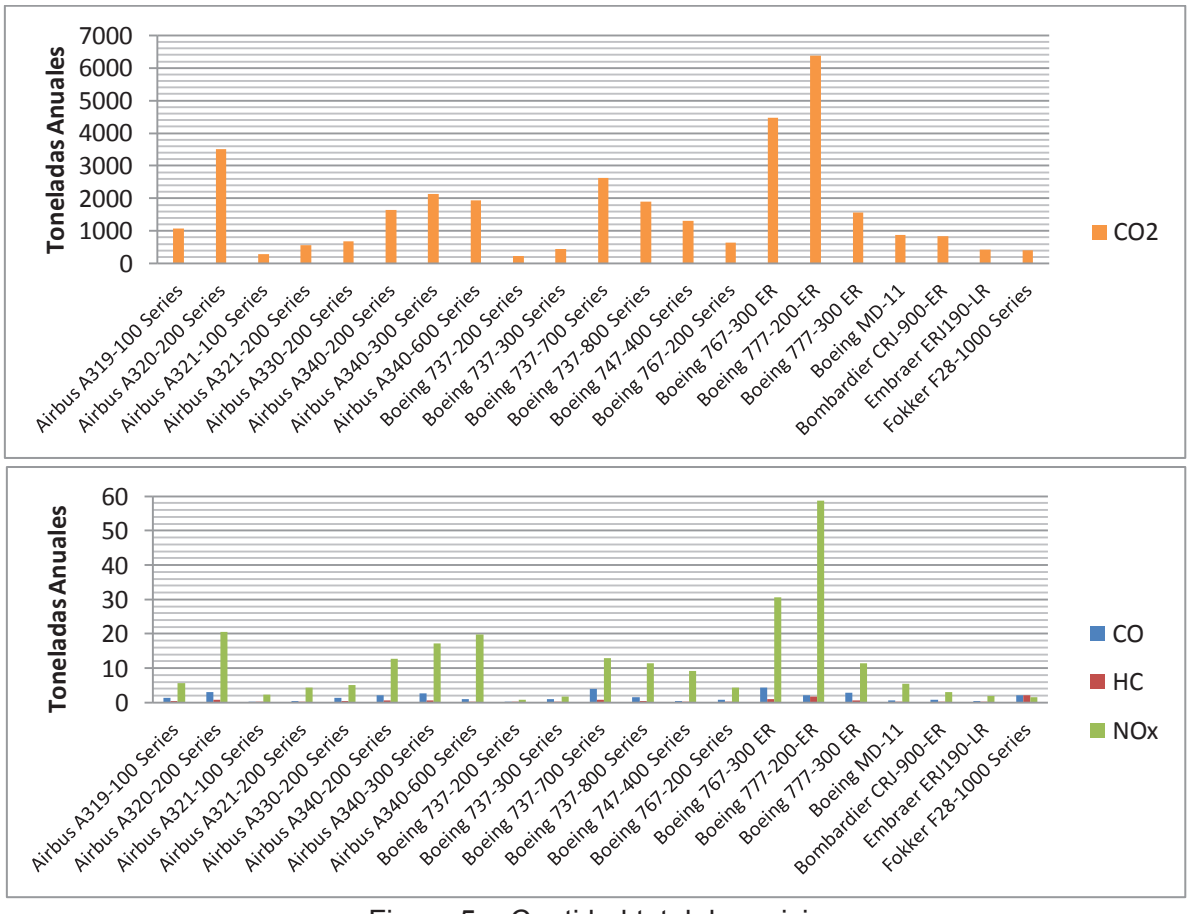


Figura 5. Cantidad total de emisiones

De manera similar los programas de simulación permitan construir las huellas de dispersión gaseosas contemplando las condiciones operacionales, las atmosféricas y la rugosidad del terreno, las mismas permiten a través de isolineas dar a conocer un valor de concentración de contaminantes presentes en el aire expresado en microgramos por metro cubico ($\frac{\mu g}{m^3}$). os resultados se presentan en los siguientes gráficos.

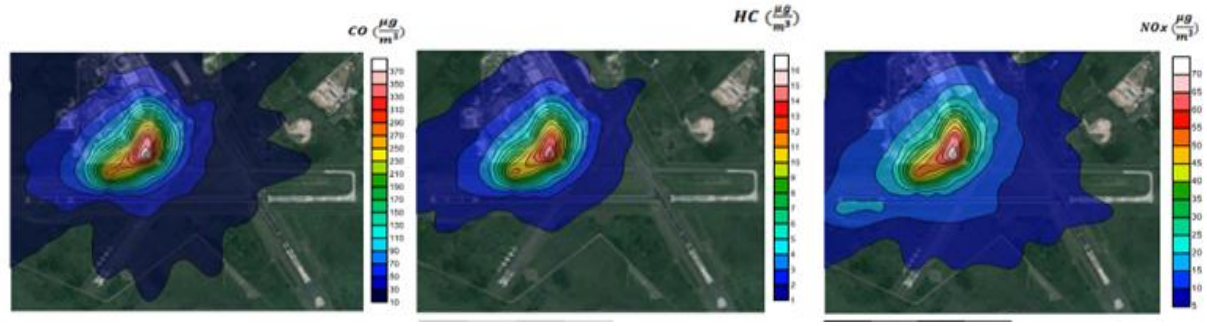


Figura 6. Curvas de dispersión de contaminantes

A modo de ejemplo se muestran también las huellas correspondientes al NO_x en las operaciones de aterrizaje y despegue respectivamente.

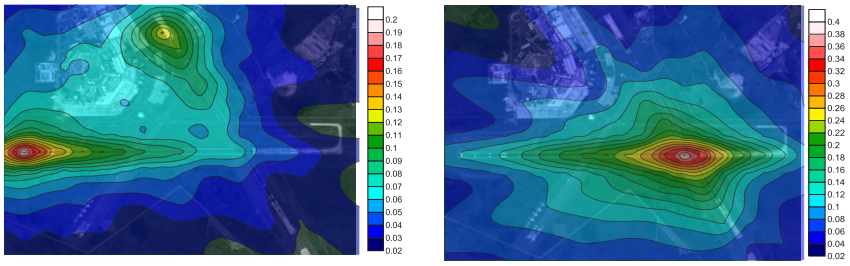


Figura 7. Ejemplo de curvas de dispersión de contaminante en aterrizajes y despegues

CONCLUSIONES

El CO_2 representa casi el 99% de los contaminantes, mientras que el HC, CO y NOx representan un 1% siendo el más significativo de ellos el NOx con un aporte del .84%

Es evidente que la huella gaseosa depende fuertemente de las condiciones atmosféricas reinantes y de las características de la rugosidad del terreno. En el caso de Ezeiza el terreno es casi plano y las condiciones de meteorológicas son de intensidad baja lo que da una huella de bajo impacto sobre el entorno.

Los modelos de dispersión de contaminantes gaseosos son de uso primordial en la planificación de usos del suelo del entorno aeroportuario inmediato, esto debería estar reflejado en los códigos urbanos locales. En este contexto los resultados obtenidos deben ser correlacionados con los códigos urbanos correspondientes a la zona en estudio e integrados a la huellas de ruido y a las superficies limitadoras de obstáculos correspondientes.

La gestión ambiental es un asunto de carácter prioritario en el ámbito aeronáutico para poder mitigar las repercusiones del cambio climático producido por los gases de efecto invernadero. La acción inmediata es implementar un plan a corto, mediano y largo plazo con objetivos claros y concisos para afrontar la problemática de la contaminación ambiental

BIBLIOGRAFÍA

[1] U. S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards Air Quality Assessment Division, March 2009, Aermod implementation guide.
[2] Fagin, Guy T., May 1988, Manual Calculation Methods for Air Pollution Inventories. Occupational and Environmental Health Laboratory, United States Air Force.
[3] Jagielski, Kurt D., O'Brien, Robert J., July 1994. Calculation Methods For Criteria Air Pollutant Emission Inventories. USAF Occupational and Environmental Health Directorate, Air Force Material Command, Brooks AFB, Texas.
[4] Moss, Michael T., Segal, Howard M., June 1994, The Emissions and Dispersion Modeling System (EDMS): Its Development and Application at Airports and Air Bases. Published by Air & Waste Management Association, Vol. 44.

DETERMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA EN EL ENTORNO DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE EZEIZA

Autores
Bonopera, Mariano E,; Chapela, Matías; Hanna, Walid; D'Iorio, Juan Ignacio; Di Bernardi, Alejandro; Piechocki, Joaquín.

Lugar de ejecución del trabajo
GTA - Grupo de Transporte Aéreo de la UID "GTA-GIAI", Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina. E-mail: mariano_bonopera@outlook.com, gta@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves
Aeropuertos, Aeronaves, Operaciones, Ruido, Entorno aeroportuario.

Resumen

A través del presente trabajo se buscó obtener una noción preliminar de la situación actual del aeropuerto en lo referente a contaminación acústica. Este estudio se enfocó en el marco de los Green airports (aeropuertos verdes), iniciativa llevada a cabo por las principales autoridades del ámbito aeronáutico para el desarrollo de aeropuertos ecológicamente sustentables.

Dichos análisis fueron realizados mediante software especializado, tales como el INM 7.0 (Integrated Noise Model de la FAA) y el Custic 3.2. La Metodología consistió en plantear distintos escenarios operativos del aeropuerto, para luego simularlos. Con esta información se pudieron construir las respectivas huellas de ruido.

Este documento se centra sobre tres pilares fundamentales que hacen a la actividad de los aeropuertos; las operaciones de los vehículos de asistencia a las aeronaves o GSE (Ground Support Equipment) que circulan por la plataforma comercial, las operaciones de rodaje de las aeronaves (Taxing) y las operaciones de aproximación y despegue.

INTRODUCCIÓN

Dentro de los contaminantes que la actividad aérea genera el ruido es, sin duda, el más significativo de ellos en virtud de la alta percepción negativa que este genera. Por otra parte la exposición a altas intensidades durante períodos prolongados trae consecuencias negativas en la salud de la población y es por ello que se busca reducir estos aspectos negativos desde la misma fuente.

En este contexto la industria aeronáutica ha realizado importantes esfuerzos reduciendo en los últimos 40 años cerca de 40 db (algo por cierto significativo considerando que se trata de escalas logarítmicas). Asimismo se ha comprometido a reducir 7 db más en los próximos años a través de innovaciones tecnológicas en aeronaves y plantas poder.

Por otra parte las Naciones Unidas (ONU), a través de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), establece normas y métodos recomendados para el desarrollo seguro, ordenado y eficiente de la aviación civil internacional y ha establecido dentro de sus Objetivos Estratégicos uno relacionado con la "Protección del medio ambiente y desarrollo sostenible del transporte aéreo" con el fin de "Promover el desarrollo armonizado y económicamente viable de la aviación civil internacional sin dañar indebidamente el medio ambiente".

El aumento en la demanda de tráfico regular de pasajeros, mercancías y vuelos chárter trae aparejado el desarrollo local, impactando directamente en el crecimiento habitacional en las cercanías de los aeropuertos. Este hecho se manifiesta en que aeropuertos originalmente suburbanos han pasado a ser considerados urbanos en distintos lugares del mundo.

En este contexto nuestro estudio se concentra en una escala local inmediata que busca caracterizar, mediante simulación computacional, el entorno acústico que junto a las servidumbres y a las superficies limitadoras de obstáculos definen o definirán el uso del suelo en el entorno aeroportuario.

DESARROLLO

A continuación se describen sucintamente aspectos relevantes que deben ser tenidos en cuenta a la hora de determinar huellas acústicas.

- Aeropuerto en estudio

Para el presente análisis se eligió como escenario de estudio al aeropuerto Internacional de Ezeiza, por ser el más representativo y por la diversidad de la flota que en el opera.

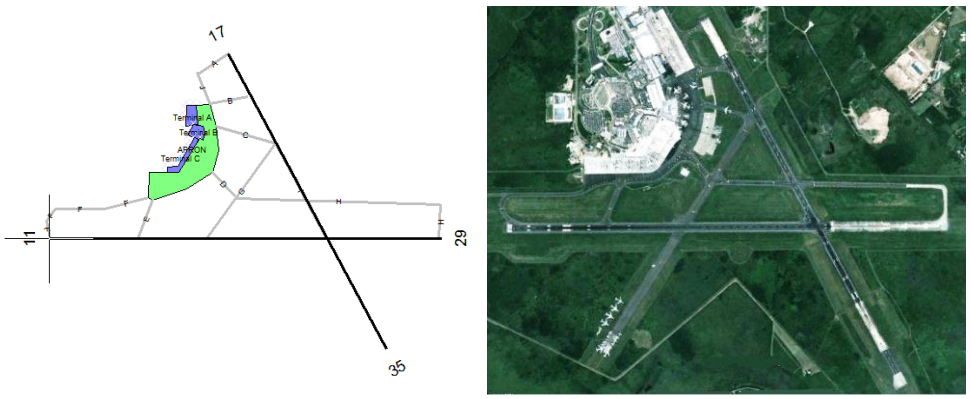


Figura 1. Vista general del aeropuerto

- Escenarios operativos

Si bien los escenarios son diversos en función de la estrategia operativa de las pistas, las condiciones meteorológicas y uso del espacio aéreo circundante, los escenarios elegidos para el estudio son: despegues y aterrizajes por cada una de las cuatro pistas (con cabeceras denominadas 11, 17, 29 y 35).

- Flotas y planta poder

Para el desarrollo del presente trabajo se tuvo en cuenta la mezcla de tráfico y la cantidad de operaciones que se presenta en la Tabla 1, para un día considerado como típico en lo que respecta a la cantidad de operaciones (promedio 170 Op./día). Cabe mencionar que no se han considerado aeronaves de aviación general por su aporte insignificante respecto a la flota considerada.

Tabla 1: Mezcla de aeronaves y cantidad de operaciones

Aeronave	Planta Motriz	Cantidad de operaciones día
Airbus A319-100	CFM56-5B6/P	10

Airbus A320-200	V2527-A5	31
Airbus A321-100	CFM56-5B2	2
Airbus A321-200	CFM56-5B2/P	4
Airbus A330-200	CF6-80E1A1	3
Airbus A340-200	CFM56-5C3	5
Airbus A340-300	CFM56-5C3	6
Airbus A340-600	Trent 556-61 Phase 5 tiled	4
Boeing 737-200	JT8D-15A	2
Boeing 737-300	CFM56-3-B1	4
Boeing 737-700	CFM56-7B22	24
Boeing 737-800	CFM56-7B26	13
Boeing 747-400	PW4056	2
Boeing 767-200	CF6-80A	4
Boeing 767-300 ER	PW4060 Reduced emissions	15
Boeing 777-200-ER	Trent 772	15
Boeing 777-300 ER	GE90-115B DAC	4
Boeing MD-11	CF6-6D	2
Bombardier CRJ-900-ER	CF34-8C5 LEC	11
Embraer ERJ190-LR	CF34-10E	5
Fokker F28-1000	RR SPEY-MK555-15	4

- Contaminantes a estudiar – Fuentes

Las fuentes de contaminación acústicas que existen en un aeropuerto son múltiples y diversas (directas, indirectas e inducidas). La parte aeronáutica del sistema aeroportuario contempla actividades que en su mayoría son generadoras de contaminación acústica, pero sin lugar a duda el contribuyente principal es la operación de las aeronaves; esto es, principalmente, por el ruido de los motores. Esta situación se ve reflejada en los siguientes gráficos.

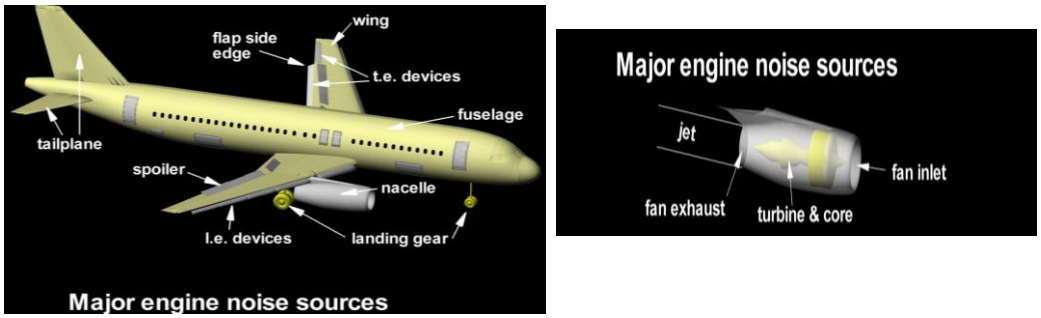


Figura 2: Principales fuentes de ruido en una aeronave.

- Software de referencia – Proceso de calculo

Como metodología se analizan los niveles de ruidos producidos por las operaciones que tienen lugar en el Aeropuerto Internacional de Ezeiza estableciendo etapas de operación de las aeronaves, las cuales a su vez son divididas en dos grupos. El primer grupo (Grupo 1) corresponde a las etapas de aproximación, aterrizaje, rodaje y despegue (ciclo LTO), y se analiza mediante la utilización del software INM 7.0. El segundo grupo (Grupo 2) abarca la aeronave en plataforma (desde block on hasta block off) con sus vehículos de asistencia y el nivel de ruido se calcula mediante el software Custic 3.2.

Las métricas de ruido (medición del sonido) consisten en tres diferentes bloques: nivel de presión de ruido medido en decibeles, frecuencia y ponderación del sonido en el tiempo. Los niveles de presión del sonido para varias frecuencias y un tiempo dado son combinados usualmente en un espectro de frecuencias. Así surgen las diferentes clases de métricas:

- niveles de ruido máximo de un evento aislado,
- dosis de energía de un evento aislado,
- métricas de energía promedio acumulada,
- métricas de tiempo acumulado.

En este caso se utiliza la métrica DNL (Day Night Level), que es la métrica estándar especificada por FAA para determinar la exposición acumulada al ruido en el entorno aeroportuario. La métrica DNL fue desarrollada para predecir los efectos en la población a la exposición de ruido a largo plazo. Tiene en cuenta la duración y magnitud del mismo, integrado durante un período de 24 horas. Se divide este en 3 etapas: diaria, de 7 a 19; tarde, de 19 a 22; y noche, de 22 a 7. Se le agrega a esta última una corrección a los valores obtenidos, de 10 dB, para contemplar el efecto del ruido en esa franja horaria sobre la población.

a. Análisis del Grupo 1

Para el análisis de ruido con el INM 7.0. se tuvieron en cuenta los siguientes datos de entrada e hipótesis de trabajo:

- temperatura y presión estándar (15 °C y 1013,2 hPa.),
- viento de proa de 8 nudos (valor estándar para el INM 7.0.),
- se asignaron los motores disponibles para cada aeronave.
- la ruta de aproximación y despegue se consideró como una línea recta de 10 millas náuticas.

b. Análisis del Grupo 2

El análisis de ruido de los vehículos de asistencia se llevó a cabo mediante el Custic 3.2. Para esta situación, tanto las aeronaves como los vehículos de apoyo fueron considerados como fuentes puntuales.

Las hipótesis utilizadas para este caso son:

- temperatura y presión de atmósfera estándar (15 ºC y 1013,2 hPa),
- condición de viento nulo,
- se asumió que el único obstáculo presente en el entorno que afecta a la propagación del ruido es el edificio terminal.

RESULTADOS

a. Grupo 1

El resultado del método utilizado arroja curvas isoacústicas asociadas a las emisiones sonoras producidas por la flota operativa en el aeropuerto de Ezeiza durante el ciclo LTO. Estas se muestran en las Figuras 3, 4 y 5.



Figura 3: Curvas de ruido considerando 100% de operaciones sobre pista 11.

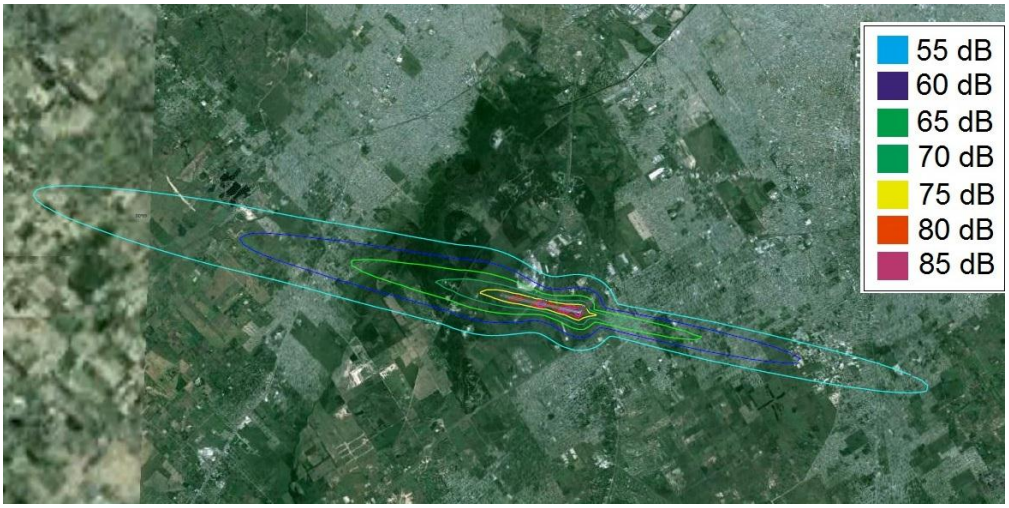


Figura 4: Curvas de ruido considerando 100% de operaciones sobre pista 29.

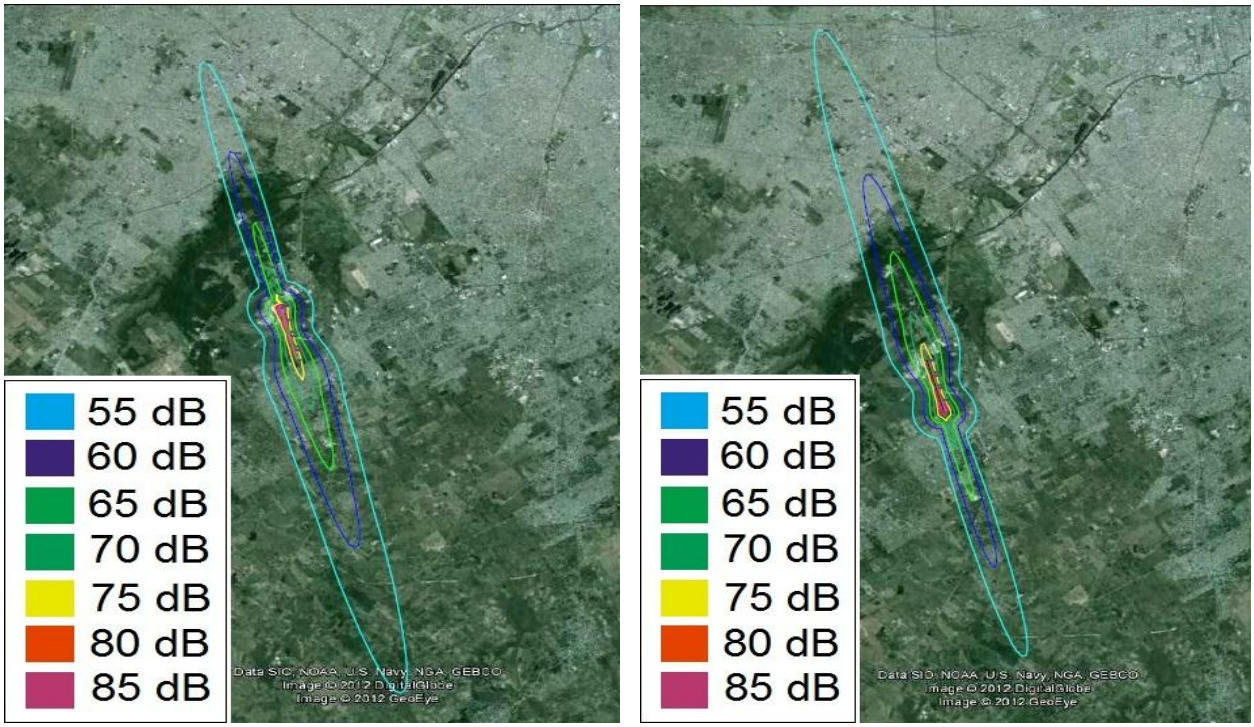


Figura 5: Curvas de ruido considerando 100% de operaciones sobre pista 17 y Pista 35 respectivamente.

b. Grupo 2

El resultado del método utilizado arroja curvas isoacústicas asociadas a las emisiones sonoras producidas por la flota operativa en el aeropuerto de Ezeiza durante las operaciones en plataforma. Estas se muestran en la Figura 6.

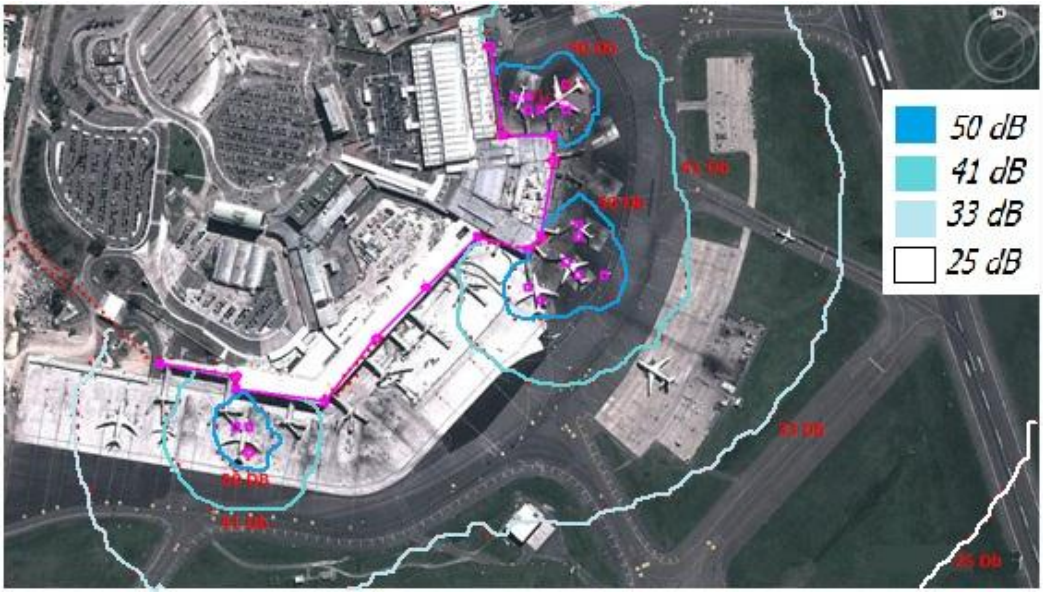


Figura 6: Curvas de ruido producidas por las aeronaves y sus elementos de apoyo durante la operación en plataforma.

CONCLUSIONES

Tal como se observa en las gráficas obtenidas para el Grupo 1, las curvas isoacústicas de 70 a 80 dB caen por sobre una zona densamente poblada cuando la actividad aérea se realiza sobre la pista 17-35. Al utilizar la pista 11-29 las curvas isoacústicas sobre la mancha poblacional disminuye a valores de 65 a 70 dB.

La operación de la aeronave y de los vehículos de asistencia en plataforma producen un ruido de 50 a 60 dB por lo que podemos concluir que el mayor aporte de contaminación acústica se da durante las operaciones de aproximación, aterrizaje, taxeo (in – out) despegue y ascenso.

El efecto de la contaminación acústica por parte de las operaciones del Aeropuerto Internacional de Ezeiza puede tener consecuencias importantes sobre la calidad de vida de las personas que habitan en sus inmediaciones, dado que el límite máximo superior que recomienda la Organización Mundial de la Salud para un nivel de vida confortable es de 70 dB durante el día mientras que para la noche no se recomienda niveles de ruido mayores a 30 dB.

El efecto de la contaminación acústica del aeropuerto por sobre la población se ve día a día incrementado, principalmente por el aumento sostenido de la actividad aérea en el aeropuerto y por la creciente urbanización en las zonas aledañas al predio aeroportuario.

BIBLIOGRAFÍA

[1]. AC 36 – 1H “Noise Levels for US Certificated and Foreign Aircraft”, FAA.
[2]. AC 150/5020-1 “Noise control and compatibility planning for airports”, FAA.
[3]. AC 36 – 2C “Measured or Estimated Airplane Noise Levels”, FAA.
[4]. INM 7.0 User Manual.

RELACION ENTRE EL AEROPUERTO Y SU ENTORNO A TRAVÉS DE LAS SUPERFICIES LIMITADORAS DE OBSTÁCULOS.- PLANES URBANOS VERSUS PLANES MAESTROS AEROPORTUARIOS.

Autores
Pitrelli Sergio F, Pesarini Alejandro, Di Bernardi Alejandro, Herrón Alejandro, Puebla Alejandro.

Lugar de ejecución del trabajo:
GTA- Grupo de Transporte Aéreo – UID GTA-GIAI. Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: sergio.pitrelli@ing.unlp.edu.ar , gta@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves:
Planificación, aeropuertos, entorno, limitación, restricción.

Resumen

Se presentan las problemáticas que hacen a la interacción operacional de un aeropuerto y su entorno inmediato; y la relación que debería existir entre los planes urbanos de desarrollo y los planes maestros aeroportuarios en un contexto de evolución armónica.

Naturalmente existe una marcada simbiosis entre la evolución y crecimiento del aeropuerto con el desarrollo de la mancha suburbana entorno a éste. Muchas veces esta situación transforma un aeropuerto suburbano en urbano. Este crecimiento conlleva la aprobación de nuevas construcciones por parte de los estados municipales que en muchos casos implican interferencias y conflictos.

A través de un ejemplo se muestra la limitación operacional que el entorno le impone al predio cuando la falta de control y relación permiten la generación de nuevos obstáculos.

El desarrollo se realiza particularmente en función de la experiencia de trabajos desarrollados en la UID GTA-GIAI, de las normativas de aplicación dada por la Organización Aviación Civil Internacional y de las características de los aviones de aviación comercial contenidas en los documentos publicados por los fabricantes de aeronaves.

INTRODUCCION.

La actividad humana genera cambios en la naturaleza de las cosas modificando permanentemente el medio en el cual se instala y desarrolla. Acorde a ello los avances tecnológicos que en sus comienzos eran lentos, fácilmente asimilables - permitían observar sus virtudes y defectos-, y de impacto relativo hoy son tales que en muchos casos su velocidad de cambio no permiten llegar a comprenderlos en su verdadera dimensión y repercusión. Un ejemplo de ello es la evolución de la industria aeronáutica y de la normativa aeronáutica de referencia y su aplicación.

Estos avances han permitido mejorar la calidad de vida de muchas personas, las cuales se han concentrado en núcleos urbanos aumentando sus densidades a números difíciles de asimilar sin una adecuada planificación. La población mundial en los últimos 200 años ha aumentado en aproximadamente 5.000 millones de personas, y en nuestros días el mundo soporta del orden de 7.000 millones de habitantes, esto significa que aproximadamente el 70% del aumento se ha producido en poco más de 200 años.

Cuando las ciudades crecen en un contexto de desarrollo social económico ambiental tienden a fortalecer sus sistemas de transporte siendo el aeropuerto un eslabón de la

cadena multimodal de interconectividad y complementariedad. Es entonces que aparece un ciclo natural donde la ciudad crece, el aeropuerto evoluciona, su entorno se desarrolla y consolida, y sin la adecuada planificación el aeropuerto puede perder capacidad operacional incluso llegar a la clausura.

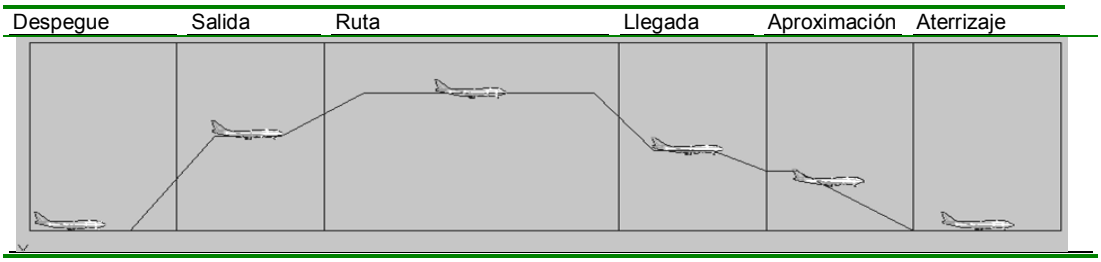
Por tales motivos a día de hoy hay una palabra que se presenta como clave para el desarrollo y evolución armónica, la "*Planificación*" en su mejor entendimiento. Según la Real Academia Española, la planificación es: "*Plan general, metódicamente organizado y frecuentemente de gran amplitud, para obtener un objetivo determinado, tal como el desarrollo armónico de una ciudad, el desarrollo económico, la investigación científica, el funcionamiento de una industria, etc.*" Llevarla adelante implica una visión sistémica y participación de equipos multidisciplinarios donde cada uno aporte su conocimiento y entre todos se pueda llevar adelante un "Plan".

En este contexto, el aeropuerto y su entorno no escapan al análisis de relaciones entre ellos, si bien existen muchas y muy variadas solo tomaremos una, que es el objeto de esta publicación.

DESARROLLO

Superficies limitadoras de obstáculos.

Para organizar las operaciones aéreas se establecen volúmenes y estructuras aéreas donde existen reglas claras que permitan el control y gestión de dicho espacio. En ese contexto podemos estructurar de manera preliminar las fases de un vuelo según la siguiente figura:



Fases de vuelo

Las características físicas del entorno inmediato del aeropuerto tienen influencias directas sobre la aproximación como así también sobre el despegue de una aeronave, ya que es donde la aeronave vuela a relativamente baja altura/altitud.

En ese contexto el nexo operacional entre un aeropuerto y su entorno se da a través de las superficies limitadoras de obstáculos (SLO). Estas son superficies imaginarias complejas que envuelven a las pistas de un aeropuerto y su entorno cuyas función fundamental es definir el espacio aéreo que debe mantenerse libre de obstáculos para que puedan llevarse a cabo con seguridad, eficiencia y regularidad las operaciones previstas y evitar que los aeródromos sean afectados e incluso queden inutilizados por obstáculos artificiales en sus alrededores.

Las SLO están definidas para que las aeronaves, durante la transición tierra-aire / aire-tierra, sobrevuelen los objetos y terrenos próximos a la pista a una altura tal que su operación sea segura. Para ello debe existir un margen de seguridad establecido sobre los mismos llamado margen minino de franqueamiento de obstáculos, los objetos que se proyectan desde el terreno y atraviesan estas superficies pueden ejercer en ciertas circunstancias un impacto operacional en el diseño de las operaciones o bien limitarlas, provocando diferentes consecuencias.

Según la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) el carácter de las SLO, obligatorio, recomendado o no necesaria, está determinado de acuerdo al tipo de operación, por lo que en principio tendremos:

Tipo de operación	Superficie	Tipo de aproximación			
		Visual	Instrumental		
			No precisión	Precisión	
				Categoría I	Categoría II y III
Aterrizaje	Cónica	Obligatoria	Obligatoria	Obligatoria	Obligatoria
	Horizontal interna	Obligatoria	Obligatoria	Obligatoria	Obligatoria
	Aproximación	Obligatoria	Obligatoria	Obligatoria	Obligatoria
	Transición	Obligatoria	Obligatoria	Obligatoria	Obligatoria
	Aproximación interna	-	-	Recomendada	Obligatoria
	Transición interna	-	-	Recomendada	Obligatoria
	Aterrizaje interrumpido	-	-	Recomendada	Obligatoria
Despegue	De ascenso en el despegue	Obligatoria			
Aterrizaje y despegue	Horizontal externa	No obligatoria, según criterio de la autoridad			

Carácter de las superficies limitadoras de obstáculos

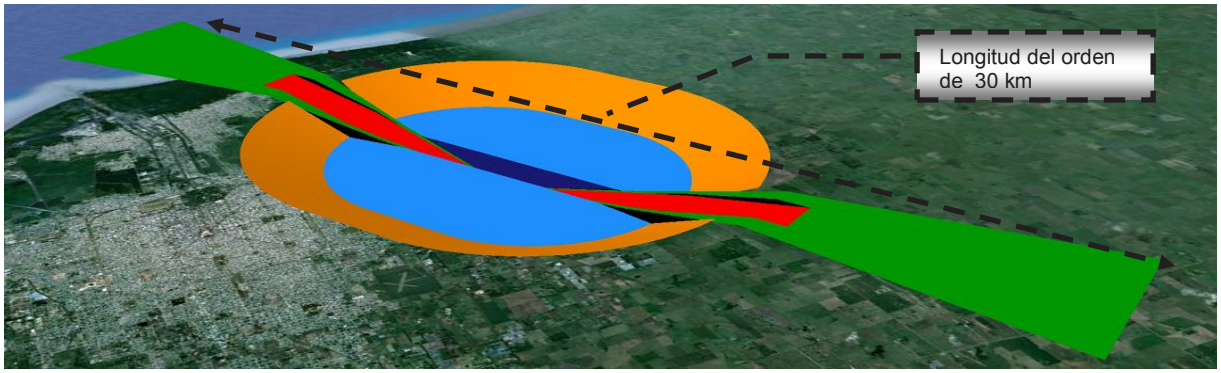
Las características físicas de las SLO están determinadas por "*el numero de clave"*de la pista a la que están asociadas y el tipo de aproximación utilizado basado en las ayudas a la navegación que la misma posea. Por otra parte el "*número clave"* está ligado con la longitud de pista por medio de la Longitud de campo de referencia (LCR).

La longitud disponible de una pista, principalmente en el despegue, es una de las características limitantes de la operación aérea, comercial o privada. Cuanto más se aproxime a las performances establecidas por los fabricantes en el documento Flight Manual o en el Airport Planning mejor será el aprovechamiento de la misma por parte de los operadores aéreos.

La realidad es que en un aeropuerto tendremos un flota o mezcla de aeronaves con diferentes performances y solo una pista que debe brindar servicio a toda la mezcla de tráfico para la que ha sido prevista, esto lleva implícito la importancia de la planificación en lo que a determinación de la longitud de pista se refiere.

Ampliando un poco más lo anteriormente dicho, las necesidades de longitudes de pista para una determinada aeronave varían según las condiciones en las que opera, estas pueden ser: altitud del emplazamiento, pendiente de pista, vientos (intensidad y dirección) condiciones atmosféricas (temperaturas y presiones). Por ello se deduce que una aeronave determinada en un mismo aeropuerto tenga necesidades de longitudes de pista diferentes según las condiciones atmosféricas reinantes. O bien ese mismo avión operando en distintas altitudes requerirán diferentes longitudes de pistas.

Estas SLO suelen extenderse más allá de los límites del aeropuerto proyectándose sobre el entorno que los rodea, por ejemplo para la fase de aproximación o despegue se establecen las superficies de aproximación y despegue correspondientes, las cuales pueden tener una longitud del orden 15 km desde los extremos de pista (30 km en total), esto muestra que todo lo que este debajo de la proyección de estas superficies debería tener una limitación en altura, es por ello que resulta de importancia la necesidad de contemplar estos temas en los códigos de planificación urbana, estableciendo criterios necesarios para evitar interferencias y conflictos.



Ejemplo grafico de superficies limitadoras de obstáculos.

Criterios de Análisis

El punto de partida para el análisis deberán ser los datos del aeropuerto y del tipo de operación que se realiza, con ello se determinan las SLO necesarias y sus características. Luego con los datos de topografía del entorno (planimetría y altimetría) se verifica la situación de obstáculos respecto de las SLO. A partir de allí con los datos de la flota que opera en el aeropuerto, caracterizada por la performance de cada aeronave se analiza la afectación si es que existe.

El análisis de la situación se podría resumir en un diagrama como se muestra a continuación.

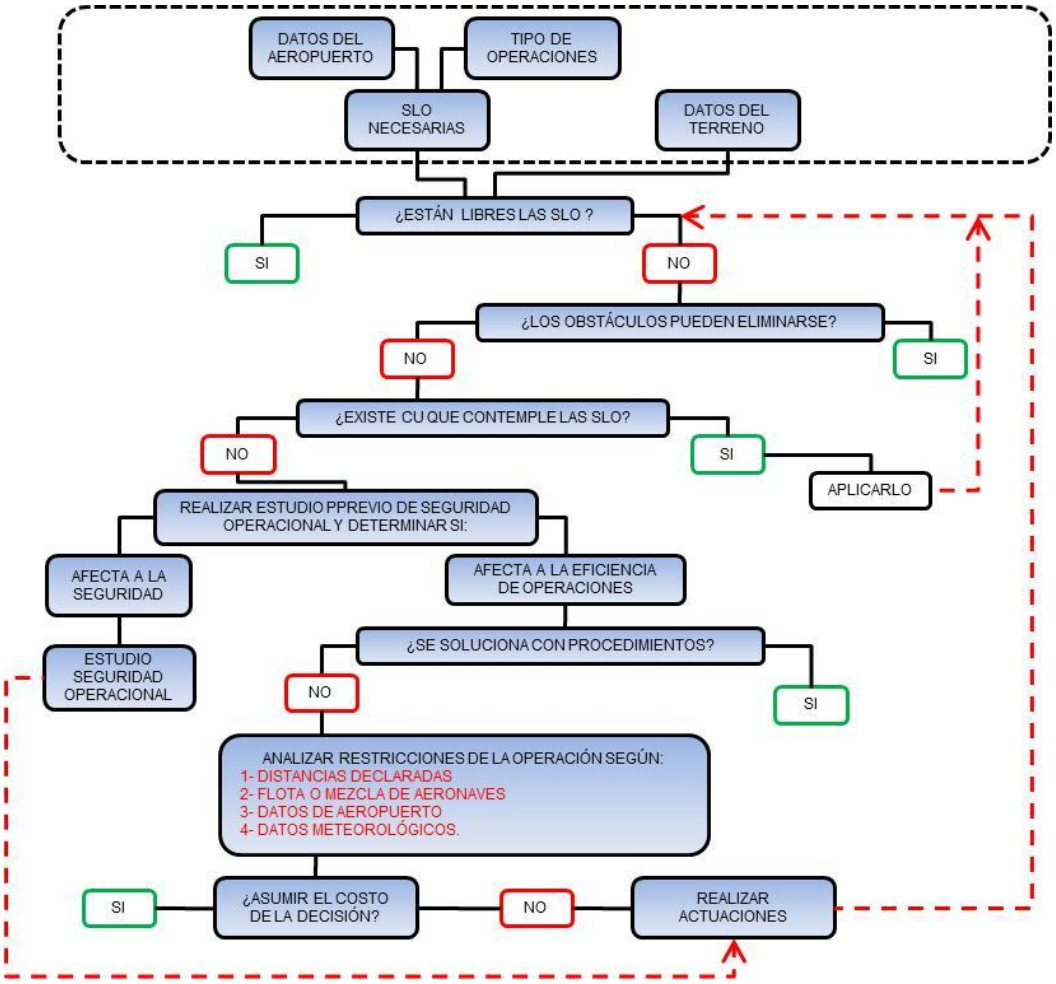
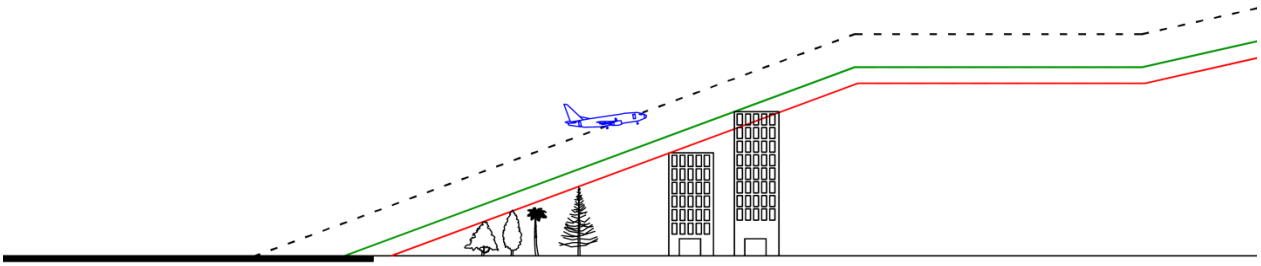


Diagrama de decisión.

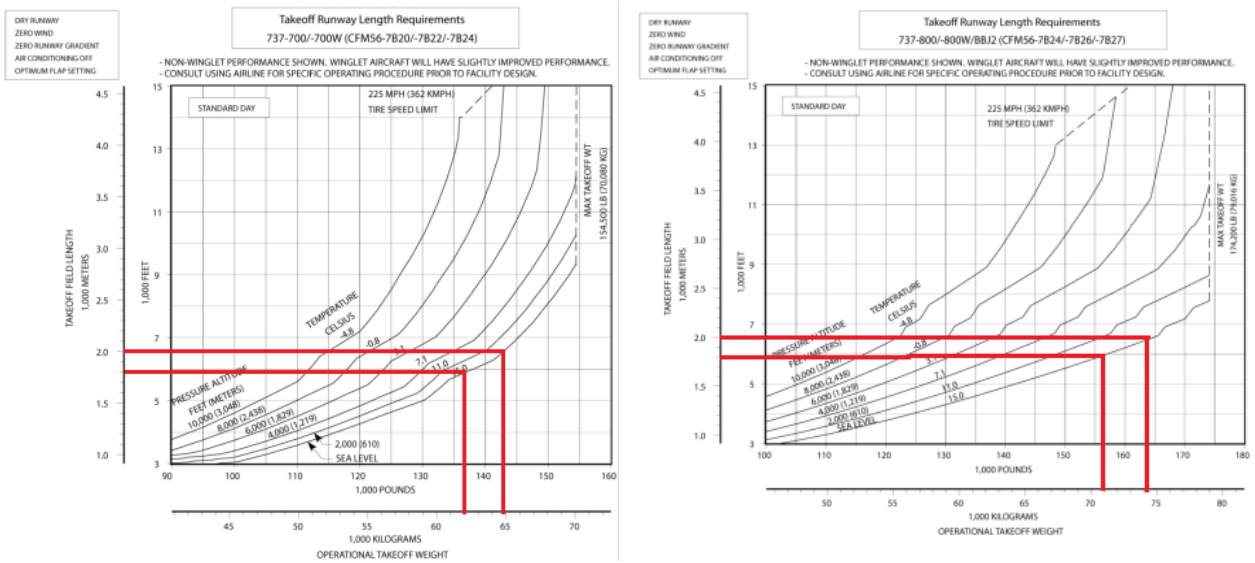
RESULTADOS

Con la intención de cuantificar y evidenciar algunos de los posibles impactos que generarían en la actividad aeroportuaria la presencia de un nuevo obstáculo artificial en su entorno se presenta a continuación un análisis teórico sobre un aeropuerto que se encuentra a nivel del mar, que dispone de una pista de pendiente nula de 2.000 metros de longitud cuya aproximación es de precisión de Categoría I y que sobre la proyección del eje de pista, a unos 2.500 m de su umbral, se autoriza el emplazamiento de un edificio. En este punto la altura máxima según las SLO debería ser de unos 48,8 metros respecto de la cota del mismo umbral, pero la altura real del obstáculo excede en 4 metros, la ausencia de control traería como consecuencias un desplazamiento del extremo de pista de 200 metros, quedando reducida la distancia disponible para el despegue a 1.800 metros.



Esquema de perfil de ascenso en despegue.

En este aeropuerto opera una mezcla de tráfico que incluye entre sus aeronaves al Boeing B-373-700 en sus diferentes versiones, operando condiciones de pista seca, viento nulo y en un día estándar surge de los correspondientes Airport Planning las limitaciones de peso que la reducción de distancia disponible para el despegue le impondría. Situación que se evidencia en los siguientes gráficos y tabla asociada.



Requerimientos de pistas para B-737-700 / 800

	Pista 2000 m	Pista 1800 m	Limitación de peso
B-737-700 (20.000 lb empuje)	64.800kg	62.000 kg	2.800 kg
B-737-700 (26.000 lb empuje)	70.000kg	70.000kg	ninguna
B-737-800 (26.000 lb empuje)	74.000kg	71.000kg	3.000 kg

Ahora bien si se asigna por ejemplo 20 despegues por día al B373-700 obtenemos que estaríamos limitando en 56.000 kg/día (2.800 x 20), suponiendo esto al cabo de un año

tendríamos 20.440.000 kg/año (56.000 x365).Estas 20.440 toneladas/año representa una pérdida económica no solo para línea aérea que las transporta, sino para el aeropuerto que las procesa y más aún para la comunidad o municipio en la cual está emplazado el aeropuerto ya que esa carga limitada es una oportunidad de negocio desperdiciada.

Por otra parte adoptando un promedio de 75 kg por pasajero y 25 kg de equipajes estas 20.440 toneladas/año se traducen en 204.400 pasajeros/año, que asumiendo una media en el costo del billete de 500 U$D daría un volumen de 102.200.000 U$D/año desperdiciado y en lo referente a la tasa aeroportuaria sobre la base de 30 U$D por pasajero esto representa una merma en la percepción de tasas de 6.132.000 U$D/año.

Con lo anterior cabría la pregunta si ¿asumir el costo de la penalización o adecuar y actuar en consonancia para evitar la proliferación de obstáculos en el entorno?

CONCLUSIONES

Es evidente que lo que parece ser solo parte del crecimiento natural de la ciudad se transforma en un problema operativo-económico con pérdidas de oportunidad para la comunidad toda. Estas situaciones se dan por que los Códigos Urbanos (CoU) desconocen la existencia del Código Aeronáutico que es Ley Nacional y es precisamente en este contexto que se permiten obras que nunca deberían autorizarse.
.
En ese contexto surge la necesidad imperiosa de incrementar los esfuerzos para que la planificación urbana se encuentre en sintonía y en un todo de acuerdo con la planificación aeroportuaria, esta deberá estar a su vez en concordancia con la planificación intermodal de transporte y ambas deberían estar al servicio de los planes estratégicos territoriales. A todo esto deberá darle el marco el plan estratégico de desarrollo (industrial, agraoalimentario, turismo, comercio exterior, entre otros tantos).

Por supuesto que estas SLO deben ser contempladas en los CoU como así también las servidumbres aeronáuticas acústicas y gaseosas generadas por la operación aeroportuaria. De aquí surgirán aspectos relevantes para definir, desde el punto de vista aeronáutico de la seguridad operacional y desde lo ambiental, los usos del suelo en el entorno aeroportuario inmediato.

Bibliografía

[1] Anexo 14 Vol I. Organización de Aviación Civil Internacional (OACI)
[2] DOC 9137. Manual de Servicios de Aeropuertos Parte 6 Limitación de obstáculos. OACI
[3] DOC 9157. Manual de diseño de aeródromos Parte 6 Frangibilidad. OACI
[4] Airplane Characteristics for AirportPlanning B-737
[5] Planes Maestros de los aeropuertos de San Fernando, Iguazú, Mendoza, Bariloche, Mar del Plata, Comodoro Rivadavia, Rio Gallegos, Córdoba, Tucumán, Salta, Resistencia, San Juan, Santa Rosa, Paraná, Posadas, Rio Grande. UID-GTA-GIAI. (2011- 2012-2013)
[6] Análisis de restricciones de uso y dominio en el entorno del aeropuerto de la ciudad de La Plata. UID-GTA-GIAI. (2011)

ESTUDIO DE RUIDO EN NAVES INDUSTRIALES DE LA PLANTA ENSENADA DE YPF

Autores
Piechocki, Joaquín; Nadal Mora, Vicente J.; Pezzotti Santiago; Martiarena, Juan; Coppa, Matías; Pesarini, Alejandro; Barberis, Walter

Lugar de ejecución del trabajo
Grupo de Ingeniería Aplicada a la Industria, UID GTA-GIAI, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Palabras clave
Ruido, ambiente de trabajo, industria.

Resumen

Se presentan los aspectos más significativos de un estudio de niveles de ruido realizado para la empresa YPF, en el cual se estudiaron 8 naves industriales de la planta de Ensenada, en cuanto a los niveles de ruido. El estudio se dividió en 3 etapas.

En la Etapa I se realizaron diferentes tipos de mediciones de nivel de presión sonora en distintos puntos de la nave de referencia. Se determinó el Nivel Sonoro Equivalente Promedio de una Superficie de Referencia, según la Norma ISO N° 3746. Se elaboró un mapa de nivel de presión sonora en dBA para la nave en estudio, basado en los valores promedios de las mediciones realizadas.

En la Etapa II se analizó el mapa acústico en contraste con la legislación vigente y los niveles objetivo de la empresa. Se acuerda con la empresa la implementación de medidas de mitigación.

En la Etapa III se elaboraron propuestas para la mitigación del nivel de presión sonora a fin de alcanzar los niveles objetivos acordados para cada sector.

Introducción

Con el objeto de establecer los niveles de ruido en las naves del complejo Industrial Lubricantes y Especialidades (CILE) y determinar la situación a los requerimientos establecidos en la Ley de Trabajo, la empresa YPF contrató a esta UID GTA-GIAI para su determinación y evaluación.

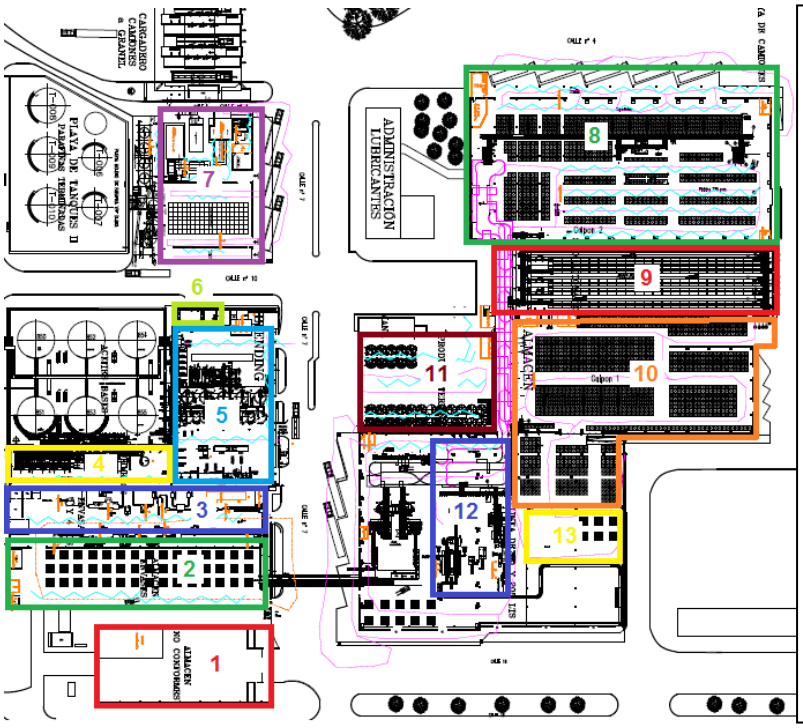
Sistema estudiado – descripción general

El CILE se ubica en el extremo Norte de la Planta de YPF, de la localidad de Ensenada. El predio posee una superficie aproximada de 61.000 m^2 y en él se realizan todos los procesos para la producción de lubricantes.



Figura 1 - Ubicación del Sector de Lubricantes en el CILE

El sector de Lubricantes puede separarse en 13 zonas principales que se indican a continuación:



Zonas

1. No Conforme y Mantenimiento (aproximadamente 1.350 m^2)
2. Almacén de Insumos (aproximadamente 1.660 m^2)
3. Envasado de 1 y 4 litros (aproximadamente 1.660 m^2)
4. Polímeros (aproximadamente 715 m^2)
5. Blending (aproximadamente 2.780 m^2)
6. Compresores (aproximadamente 80 m^2)
7. Parafinas (aproximadamente 1.420 m^2)
8. Picking – Galpón 2 (aproximadamente 4.600 m^2)
9. Almacén Automático (aproximadamente 1.600 m^2)
10. Piking – Galpón 1 (aproximadamente 3.200 m^2)
11. Almacenaje a Granel (aproximadamente 1.350 m^2)
12. Envasado 20 y 205 litros (aproximadamente 2.260 m^2)
13. Tambores vacíos (aproximadamente 1.192 m^2)

Figura 2 - Zonas estudiadas del Sector Lubricantes

Estudio acústico

El estudio se organizó según 3 etapas:

Etapa I – Caracterización
Con el fin de elaborar un mapa del nivel sonoro continuo equivalente se realizó un relevamiento extendido del nivel de presión sonora continua equivalente ponderada "A" dentro de las naves y del ruido de fondo. Además se midieron parámetros atmosféricos y ambientales para cada sector. La información registrada permitió la elaboración de mapas de nivel sonoro. Estos mapas permiten establecer tentativamente las fuentes locales de emisión acústica.

Etapa II – Diagnóstico
Sobre la base de la caracterización de la contaminación acústica de cada zona industrial, se compara la situación al respecto a los límites de la Ley Nacional 19.587. Este análisis permite a su vez establecer una jerarquía de fuentes acústicas, estableciendo de esta manera un diagnóstico, tanto en términos de los límites establecidos en la ley de referencia como también de la identificación de las fuentes de ruido. La etapa se concluyó con el acuerdo con la empresa sobre las acciones a seguir respecto al tratamiento acústico en cada sector.

Etapa III – Mitigación
En la presente etapa se desarrollan soluciones a nivel de anteproyecto de ingeniería como propuestas para el tratamiento de las zonas estudiadas, de acuerdo al diagnóstico realizado en la etapa anterior. Se busca a partir de estos desarrollos alcanzar los niveles objetivo acordados.

Métodos de medida e instrumentación

Las mediciones se realizaron en condición de operación del sector. Se realizaron medidas de nivel de presión sonora, mediante instrumentos configurados en respuesta lenta, con un filtro de ponderación frecuencial A, a la altura del oído del trabajador en distintos puntos de la nave de referencia.

Se efectuaron mediciones, denominadas de registro discreto, donde el sonómetro es portado por el operador, quien registró las indicciones del instrumento; y por otra parte las denominadas de registro continuo, donde el sonómetro se dejó instalado sobre un trípode en modo de adquisición continua, durante una o más jornadas completas.

Las mediciones se realizaron en todo de acuerdo a la Ley Nacional 19.587 y sus decretos modificatorios, y a la norma ISO N° 3746.

Los instrumentos utilizados para la medición acústica fueron: Sonómetro ST-8852 Data Logger Sound Level Meter y Sonómetro TES 1352 Data Logger Sound Level Meter. Asimismo se utilizó para la medición de las condiciones ambientales el siguiente instrumental: Barómetro Marca Druck, Modelo DPI 740 y Termómetro de bulbo seco – bulbo húmedo, Marca Luft.

Resultados de las mediciones – Mapas de nivel de presión sonora

A partir de las mediciones realizadas se elaboraron los mapas de nivel de presión sonora, que indican la distribución de presión sonora equivalente ponderada "A" en cada sector. A modo de ejemplo, se presenta el mapa de la Sala de Compresores en la Figura 3. En esta figura se muestran zonas de bandas de nivel sonoro que presenta la planta de la nave industrial (y regiones aledañas) frente a condiciones atmosféricas y operativas específicas.

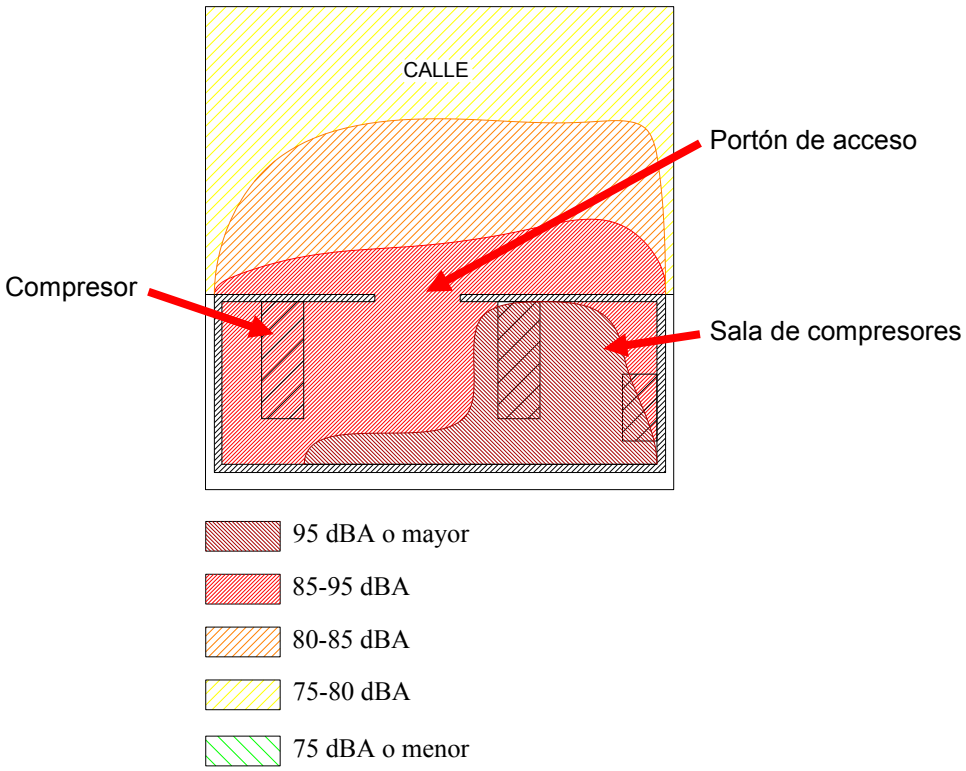


Figura 3 - Mapa de nivel de presión sonora para la Sala de compresores

Planteo de alternativas de solución

En los casos en que los niveles de presión sonora superaron los límites permitidos, o aun estando dentro de los límites, cuando la empresa decidió mejorar el ambiente de trabajo, se plantearon alternativas para mitigar el ruido cada sector.

Sobre la base de los relevamientos de campo efectuados y los estudios realizados en las Etapas I y II, se elaboraron una serie de alternativas de solución que se estructuran de acuerdo a un plan de implementación específico en cada caso.

La mitigación de las emisiones sonoras se abordaron con un enfoque diferenciado dependiente de la caracterización de la fuente emisora.

Las alternativas de tratamiento se centraron en estrategias de mitigación en el campo cercano a las fuentes emisoras y en la incorporación de elementos pasivos de reducción del nivel sonoro, sobre la base de la física de propagación aplicada a cada zona estudiada. Adicionalmente se priorizó la atenuación de los niveles de presión sonora en los puestos de trabajo.

A modo de ejemplo se presentan las soluciones propuestas para el sector Compresores y la Línea de envasado de 1 y 4 litros, que resultan representativas del tipo de tratamiento llevado a cabo en el resto de los sectores industriales.

Sala de compresores

Las fuentes emisoras de ruido de mayor magnitud se identifican como:

- ruido continuo de los equipos compresores,
- ruido de emisión periódica de las descargas de aire comprimido a la atmósfera,

- ruido de fuentes accesorias.

Se consideró que el ruido continuo de los equipos compresores está compuesto por una emisión de presión sonora relativamente constante en el espectro de frecuencia audible, con la superposición de emisiones de mayor intensidad en aproximadamente 150 Hz (de acuerdo a la frecuencia determinada por el conjunto de tornillos compresores, dada por la velocidad de rotación de los tornillos y el número de lóbulos del tornillo) y sus armónicos hasta el número 10 (hasta ese número de harmónicos se espera encontrar intensidades similares de emisión). Adicionalmente se superponen a esta generación de presión sonora el ruido generado por la vibración de cubiertas de chapa y la transmisión de ruido por cañerías.

Las fuentes de contaminación acústica continuas accesorias están dadas principalmente por escapes de aire a presión que se encuentran a nivel del piso en rejillas sobre el exterior del recinto, que periódicamente genera un aporte importante de emisión sonora.

Las descargas de aire comprimido a la atmósfera resultan en emisiones acústicas puntuales. Las mediciones revelan que éstas elevan del orden de 10 dBA la carga acústica en el exterior de la sala sobre la base de la distribución de la figura anterior.

Las soluciones de mitigación se desarrollaron en torno a las siguientes estrategias:

- mitigación local del ruido generado por los escapes de aire a presión mediante la instalación de silenciadores en cada uno de los extremos de los tubos de descargas de aire a la atmósfera,
- mitigación de la presión sonora en el interior del recinto mediante la aplicación de un revestimiento absorbente en las paredes y techo, más bafles colgantes sobre el techo,
- mitigación de la propagación del ruido al exterior mediante el reemplazo de rejillas de entrada de aire a la sala existentes por unas de doble inclinación.
- mitigación de la propagación del ruido en el exterior mediante la aplicación de barreras acústicas en el exterior de la sala de forma que lo zonifiquen.

Línea de envasado de 1 y 4 litros

A partir de los relevamientos de campo efectuados y del estudio realizado en la Etapa I, se identificaron las siguientes fuentes de ruido principales:

- alimentación de envases vacíos a la línea de 1 litro (85,3 dBA promedio),
- curvas en cinta transportadora de envases vacíos de 1 litro (88 dBA promedio),
- curvas en cinta transportadora de envases vacíos de 1 litro (94,7 dBA promedio),
- curvas en cinta transportadora de cajas vacías (86,3 dBA promedio),
- máquina transportadora de tapas (87,3 dBA promedio),
- máquina transportadora de tapas (84,4 dBA promedio),
- alimentación de envases vacíos a la línea de 4 litros (84,6 dBA promedio),
- puntos varios: Escapes de aire comprimido.

Se plantean las siguientes acciones de mitigación:

- colocación de paneles insonorizadores interiores en la máquina de alimentación de envases vacíos,
- eliminación de las curvas del pulmón en la cinta transportadora.
- reemplazo de la cinta transportadora plástica actual por rodillos o reemplazo la cinta actual por tres cintas a 90°.

- reestructuración la aislación del recinto soplador de tapas,
- colocación de silenciadores en los escapes de aire comprimido.

Conclusiones

Se ha determinado la situación de niveles de ruido en 8 naves de la planta de lubricantes de YPF de Ensenada, a partir de las mediciones realizadas. Se analizaron los resultados de las mediciones con los límites establecidos por la Ley de Trabajo.

En conocimiento de las condiciones laborales determinadas, la empresa revisó en forma inmediata las herramientas de gestión utilizadas en cada sector, relacionadas con la seguridad de los operarios al respecto de la contaminación acústica, en un todo de acuerdo a los requisitos legales vigentes.

Se plantearon alternativas de tratamiento de los niveles de ruido, que se centraron en estrategias de mitigación en el campo cercano a las fuentes emisoras y en la incorporación de elementos pasivos de reducción del nivel sonoro, sobre la base de la física de propagación aplicada a cada zona estudiada. Adicionalmente se priorizó la atenuación de los niveles de presión sonora en los puestos de trabajo. La finalidad de este enfoque es abordar la cuestión de economía de medios, economía operativa, mínima intervención física y cumplimiento de las metas de contaminación acústica acordadas, al mismo tiempo que se interviene en los mecanismos físicos del fenómeno acústico.

Bibliografía

- ✓ Ley Nacional 19.587 HIGIENE Y SEGURIDAD DEL TRABAJO.
- ✓ Resolución 295/2003 Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO.
- ✓ Decreto Presidencial N° 351/79. Reglamentación de la Ley 19.587.
- ✓ Decreto Presidencial N° 911/96. Reglamentación de Ley de Higiene y Seguridad para la industria.
- ✓ F. Frahy, Foundations of engineering acoustics, Elsevier Academic Press, Londres, 2007.
- ✓ C. Savioli, Acústica Práctica, Librería y Editorial Alsina, Buenos Aires, 1992.

ESTUDIO DE CARGA TÉRMICA EN NAVES INDUSTRIALES DE LA PLANTA ENSENADA DE YPF

Autores
Nadal Mora, Vicente J.; Piechocki, Joaquín; Pezzotti Santiago; Faut, Rogelio; Bonopera, Mariano; Pesarini, Alejandro J.; Barberis, Walter

Lugar de ejecución del trabajo
Grupo de Ingeniería Aplicada a la Industria, UID GTA-GIAI, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata
YPF Planta Ensenada.
giai@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave
Carga térmica, ambiente de trabajo, industria.

Resumen

Se presentan los aspectos más significativos de un estudio realizado para la empresa YPF, en el cual se analizaron los niveles de carga térmica de 8 naves industriales de la planta de lubricantes de la localidad de Ensenada. El estudio se dividió en 3 etapas.

En la Etapa I se realizaron mediciones de presión barométrica, temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo, dentro de las naves y en el exterior. Se calculó el índice Temperatura de Globo de Bulbo Húmedo (TGBH) sobre los puntos que se adoptaron de referencia para las condiciones de trabajo en la zona. Seguidamente se elaboró un mapa de distribución de temperaturas con indicación de los niveles de carga térmica en cada sector.

En la Etapa II se presenta el mapa objetivo de carga térmica para cada sector y se compara la situación actual respecto a los límites establecidos en la Ley Nacional 19.587.

En la Etapa III se elaboraron propuestas para la mitigación de las cargas térmicas a fin de alcanzar los niveles objetivo acordados para cada sector.

Introducción

Con el objeto de establecer la carga térmica en las naves del complejo Industrial Lubricantes y Especialidades (CILE) y determinar el nivel de confort térmico, la empresa YPF contrató a esta UID GTA-GIAI para su determinación y evaluación.

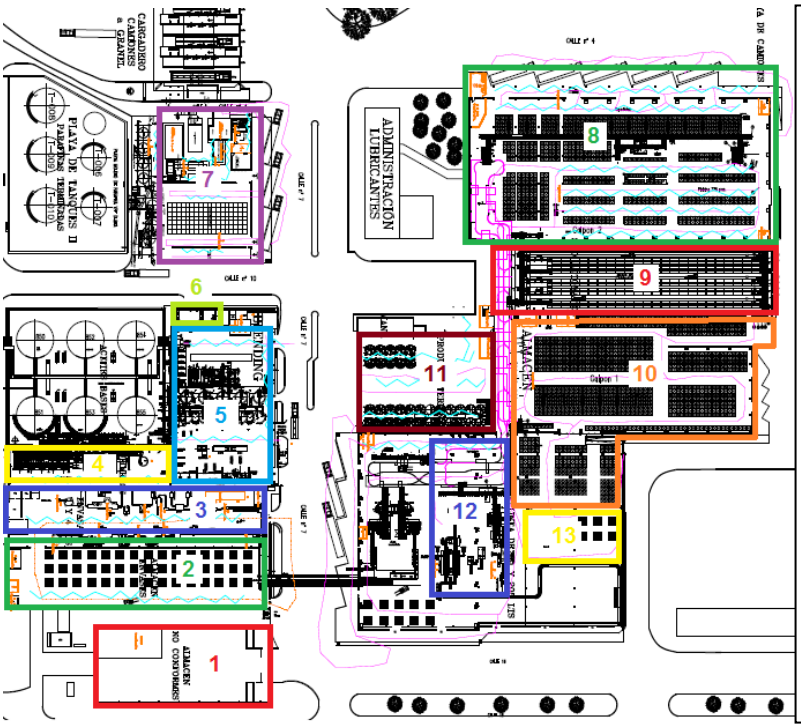
Sistema estudiado – descripción general

El CILE se ubica en el extremo Norte de la Planta de YPF, de la localidad de Ensenada. El predio posee una superficie aproximada de 61.000 m^2 y en él se realizan todos los procesos para la producción de lubricantes.



Figura 1 - Ubicación del Sector de Lubricantes en el CILE

El sector de Lubricantes puede separarse en 13 zonas principales que se indican a continuación:



Zonas

1. No Conforme y Mantenimiento (aproximadamente 1.350 m^2)
2. Almacén de Insumos (aproximadamente 1.660 m^2)
3. Envasado de 1 y 4 litros (aproximadamente 1.660 m^2)
4. Polímeros (aproximadamente 715 m^2)
5. Blending (aproximadamente 2.780 m^2)
6. Compresores (aproximadamente 80 m^2)
7. Parafinas (aproximadamente 1.420 m^2)
8. Picking – Galpón 2 (aproximadamente 4.600 m^2)
9. Almacén Automático (aproximadamente 1.600 m^2)
10. Piking – Galpón 1 (aproximadamente 3.200 m^2)
11. Almacenaje a Granel (aproximadamente 1.350 m^2)
12. Envasado 20 y 205 litros (aproximadamente 2.260 m^2)
13. Tambores vacíos (aproximadamente 1.192 m^2)

Figura 2 - Zonas estudiadas del Sector Lubricantes

Estudio de carga térmica - Desarrollo

El estudio se organizó en 3 etapas:

El estudio se organizó según 3 etapas:

Etapa I – Caracterización
Se realizó un relevamiento extendido en el tiempo de temperaturas de bulbo húmedo y seco, temperatura de globo y parámetros atmosféricos en cada nave industrial.
Seguidamente se desarrolló un modelo matemático de intercambio térmico de cada zona estudiada (Figura 2). Este modelo se basó en el establecimiento de equilibrios térmicos que contemplen cargas térmicas como la irradación solar, aquellas asociadas a la propia actividad fabril, y el intercambio térmico con el medio en sus distintas manifestaciones. El modelo permite la construcción de mapas de carga térmica en distintas condiciones atmosféricas, en distintos momentos del año, y en distintos regímenes de operación. Por otro lado permite cuantificar el efecto de intervenciones sobre la infraestructura edilicia, la maquinaria y las operaciones.

Etapa II – Diagnóstico
Sobre la base de la caracterización de carga térmica de cada zona industrial, producto de la etapa anterior, se compara la situación actual respecto a los límites establecidos en la Ley Nacional 19.587. Con este fin se analiza el estado de las cargas térmicas en los meses más calurosos del año, en un estado de plena actividad industrial. Este análisis permite a su vez establecer una jerarquía de fuentes aportantes de calor. La etapa se concluyó con el acuerdo con la empresa sobre las acciones a seguir respecto al tratamiento de la carga térmica en el sector.

Etapa III – Mitigación
En la presente etapa se desarrollan soluciones a nivel de anteproyecto de ingeniería como propuestas para el tratamiento de las zonas estudiadas de acuerdo al diagnóstico realizado en la etapa anterior. Se busca a partir de estos desarrollos alcanzar los niveles objetivo acordados para cada sector.

Métodos de medida e instrumentación

Las mediciones se realizaron en condiciones operativas normales del sector. Los parámetros relevados, dentro y fuera de la nave, fueron presión barométrica, y temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo.

La temperatura de globo se midió en un punto del sector considerado como referencia de las condiciones de carga térmica que reciben los puestos de trabajo.

Los instrumentos utilizados para las mediciones de temperatura fueron: sensores de temperatura y humedad marca Maxim modelo iButton, un dispositivo para la medición de la temperatura de globo, un barómetro marca Druck modelo DPI 740 y un termómetro de bulbo seco – bulbo húmedo marca Luft.

Resultados de las mediciones – Mapas de carga térmica

De las mediciones realizadas se elaboraron los mapas de carga térmica, que indican la distribución de temperatura de globo de bulbo húmedo (TGBH) en cada sector. A modo de ejemplo, se presenta el mapa de carga térmica del sector Blending - Zona de hornos en la Figura 3. En esta figura se indican 3 regiones de bandas de temperatura para la planta de la nave industrial para condiciones atmosféricas y operativas específicas.

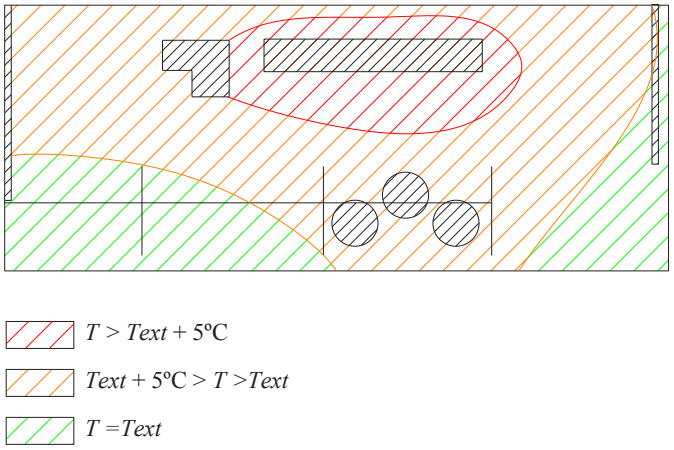


Figura 3 - Mapa de carga térmica en el sector Blending-Zona de Hornos.

Por otra parte, para cada sector se realiza el análisis del parámetro TGBH durante el transcurso de un día completo, en determinada fecha anual de registros máximos de temperatura ambiente de acuerdo a la estadística local. Se presenta en la siguiente Figura 4 a modo de ejemplo, para el sector Almacén de tambores vacíos, para las condiciones indicadas en la figura.

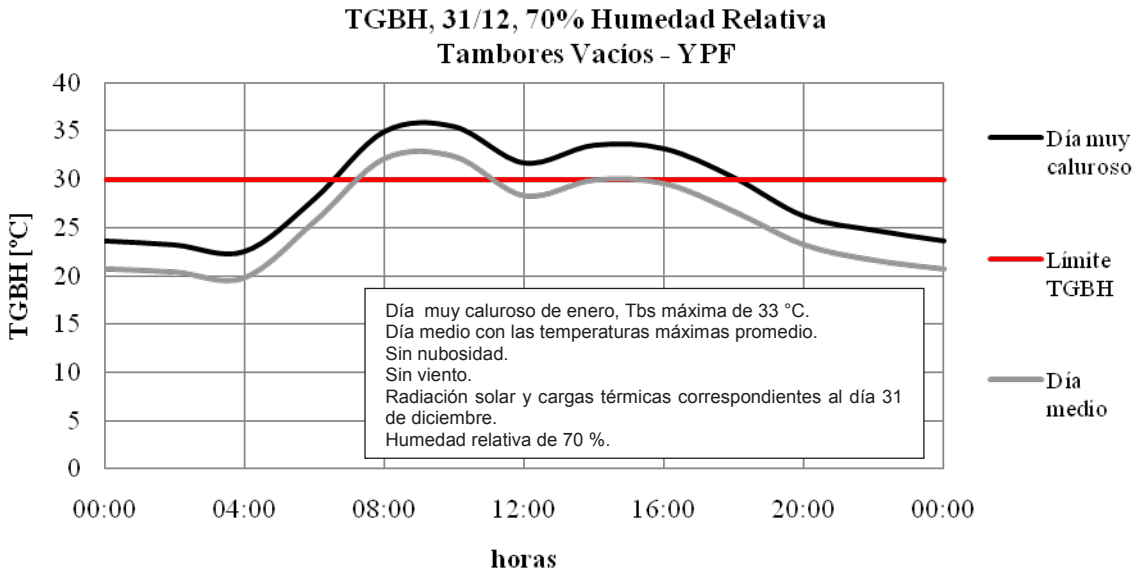


Figura 4 - Variación diaria de la temperatura TGBH interior para humedad relativa de 70% para el día 31 de diciembre en Tambores Vacíos.

Mitigación

En los casos donde la TGBH supera los límites establecidos, se plantearon alternativas para la mitigación de la carga térmica.

Las alternativas de tratamiento se centraron en el uso de estrategias que fomenten el efecto térmico de corrientes naturales de aire, las fuentes de calor y los sumideros naturales. Por otro lado se priorizó la introducción de elementos pasivos de control del intercambio térmico (aislación y sectorización). Finalmente, en algunos casos, de acuerdo a las necesidades específicas de control de la carga térmica, se introdujeron equipos activos de control de la temperatura ambiente (equipos de aire acondicionado).

A modo de ejemplo se presentan las soluciones propuestas para la nave correspondiente al Almacén de tambores vacíos, y al sector Blending-Planta de polímeros.

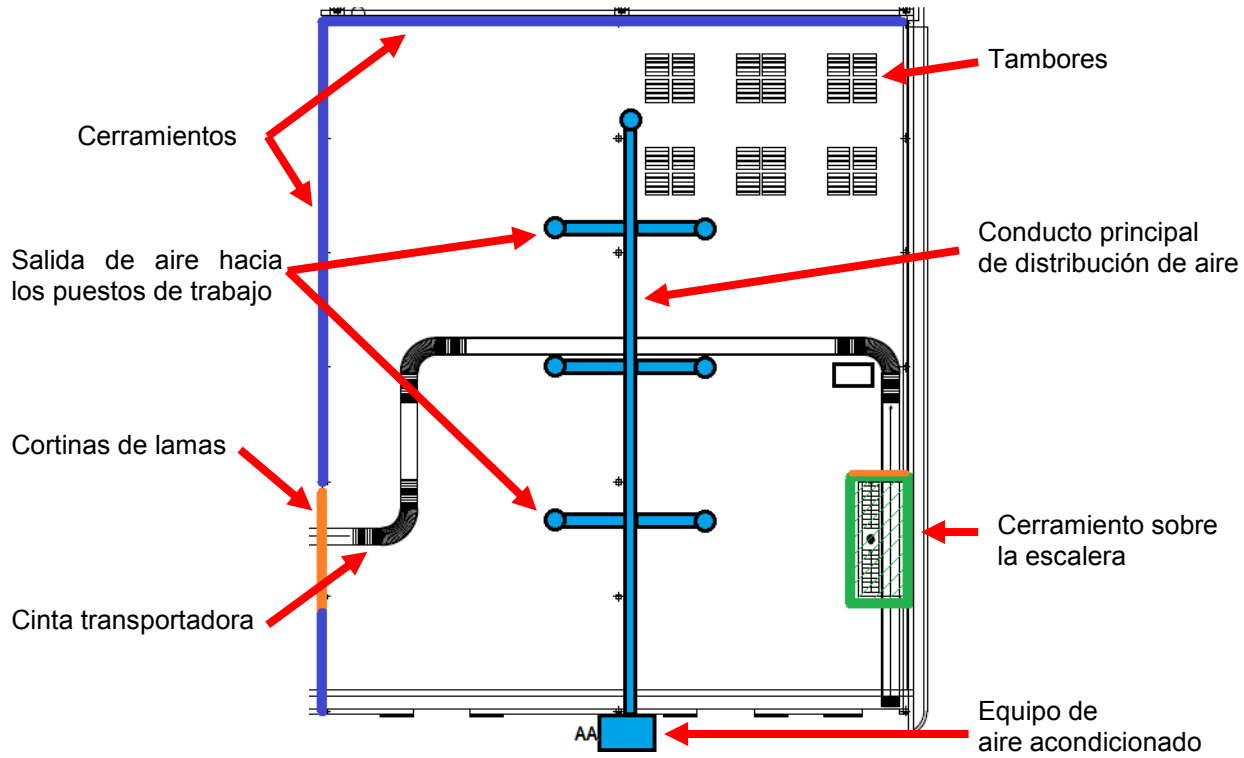


Figura 5 - Esquema de la instalación del sistema de aire acondicionado y cerramientos en el Almacén de tambores vacíos.

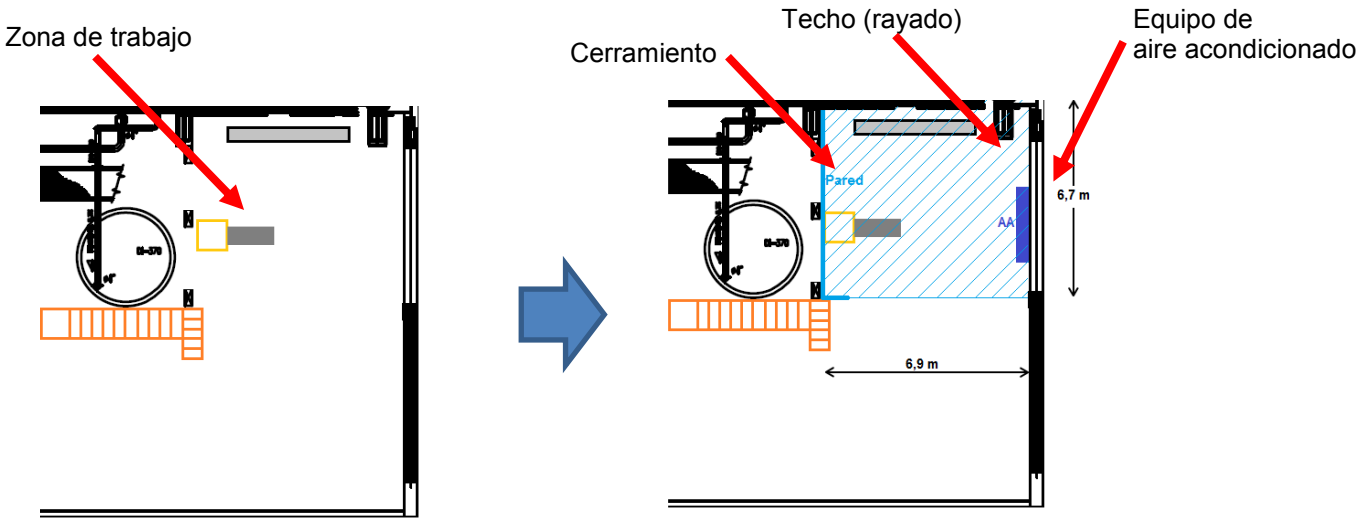


Figura 6 - Esquema de la instalación del sistema de aire acondicionado y cerramientos en el Sector Blending-Planta de polímeros. Situación actual (izquierda) y modificaciones propuestas (derecha).

Conclusiones

Se ha determinado la situación de la carga térmica en 8 naves de la planta de lubricantes de YPF de Ensenada, por medio del modelo térmico y de las mediciones realizadas.

Se analizaron los resultados del modelo con los límites establecidos por la Ley de Trabajo.

En conocimiento de las condiciones laborales determinadas, la empresa revisó en forma inmediata las herramientas de gestión utilizadas en cada sector, relacionadas con el confort térmico y la seguridad de los operarios, en un todo de acuerdo a los requisitos legales vigentes.

Se desarrollaron diferentes alternativas de mitigación de la carga térmica para cada sector, para citar, entre otras, aislación térmica de la nave/sector, instalación de equipos de aire acondicionado, renovaciones a través de ventilación forzada y natural, según fuera lo considerado más apropiado.

Bibliografía

- ✓ Ley Nacional 19.587 HIGIENE Y SEGURIDAD DEL TRABAJO.
- ✓ Resolución 295/2003 Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO.
- ✓ Decreto Presidencial N° 351/79. Reglamentación de la Ley 19.587.
- ✓ Decreto Presidencial N° 911/96. Reglamentación de Ley de Higiene y Seguridad para la industria.
- ✓ Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice, 23rd Edition, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Estados Unidos, 1998.
- ✓ Manual de aire acondicionado, Carrier Air Conditioning Company, Barcelona, 1980.

ANÁLISIS DE LA FLOTA AEROCOMERCIAL EN AMÉRICA DEL SUR Y SU APORTE GASEOSO CONTAMINANTE EN CICLOS LTO

Autores

CoppaMatias, D'Iorio Juan Ignacio, Di Bernardi Alejandro, Pesarini Alejandro, Di Gregorio Pablo.

Lugar de ejecución del Trabajo

GTA - Grupo Transporte Aéreo de la UID "GTA-GIAI", Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina. E-mail:matias.coppa@gmail.com, gta@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave

Aerolíneas,Aeronaves,Motores, Sudamérica, Contaminantes

Resumen

El presente trabajo se desarrolló con el fin de determinar la distribución de la flota aerocomercial en América del Sur, para luego realizar un análisis de la contribución de cada país y, posteriormente, de toda la región, de contaminantes gaseosos producto de las plantas de poder que propulsan a dichas aeronaves.

El estudio comenzó con un análisis estadístico de la flota aerocomercial en cada uno de los países de América del Sur, para obtener datos como modelo y tipo de aeronave, motorización, edad promedio, entre otros. Una vez caracterizado el país en estudio, se procedió al trabajo estadístico sobre una base de datos mundial de motores aeronáuticos, para obtener valores puntuales de contaminación gaseosa, como ser, de hidrocarburos no quemados (HCs), óxidos de nitrógeno (NOx), monóxido de carbono (CO). Luego de ello, se asignaron los motores correspondientes a cada país para obtener el aporte a la atmósfera de cada contaminante gaseoso, y por último, se realizó, a través de ciclos LTO, una estimación preliminar del aporte global de la región en el contexto de la actividad mundial.

INTRODUCCIÓN

Hacia el año 2011 existían en el mundo unas 25.378 aeronaves aerocomerciales que realizaban un promedio de 30.000.000 de operaciones al año. Las prognosis estiman que este número se duplicará en los próximos 20 años razón por la cual se pretende anticipar los posibles efectos adversos que la actividad genera y generará.

En ese contexto la regiónSAM de OACI realiza su cuota parte de aporte contaminante y de ahí la importancia de caracterizar la región. La flota aerocomercial existente al año 2011, respecto de las aeronaves operativas a nivel mundialAmérica en su conjunto totaliza el 39,4% de las aeronaves actualmente en uso.

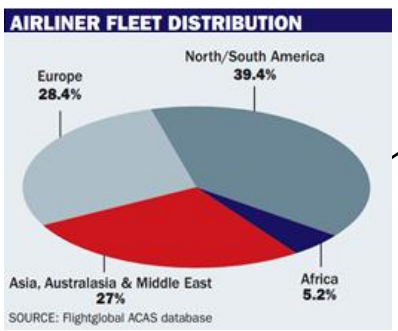


Figura 1. Distribución de aeronaves a nivel mundial [3]

Naturalmente la operación de estas aeronaves genera aporte de contaminantes de distintas magnitudes y calidades, es por eso que distintos organismos internacionales a través de naciones unidas (ONU) han generado y desarrollado políticas asociadas al impulso de un sistema global de transporte sustentable en el marco del cambio climático y calentamiento global.

En la última década se ha marcado, por parte de dichos organismos, una tendencia con claros lineamientos hacia el futuro, generado normativa asociada para la protección del medio ambiente, por ello resulta de interés cuantificar el aporte real de contaminantes gaseosos de la región OACI: SAM.

DESARROLLO

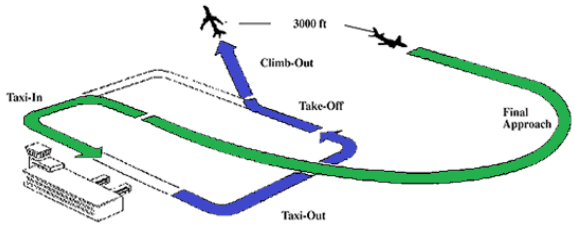
A continuación se describen sucintamente ciertos aspectos relevantes que se contemplaron a la hora de determinar el aporte contaminante gaseoso.

➢ Flotas y planta poder

Las flotas de aeronaves, sus planteas poder y sus respectivos índices de mezcla se presentan en los resultados.

➢ Escenarios operacionales

En todos los casos se corresponde con un ciclo LTO (*Landing - Take Off*) en un aeropuerto tipo. Este ciclo encierra las siguientes cinco fases operacionales:



ICAO LTO Cycle

Operating conditions	Thrust level (rated thrust)	Duration (min)
Taxi out	7%	19
Take-off	100%	0.7
Climb	85%	2.2
Approach	30%	4.0
Taxi-in	7%	7.0

Figura 2. Ciclo Landing- Take Off y tiempos asociados

- Landing: son todas aquellas operaciones que se realizan desde los 1.000 metros de altura sobre la cota del aeropuerto hasta que alcanza la superficie de la pista.
- Taxi in: son las maniobras que realiza el avión hasta llegar a su puesto de estacionamiento en plataforma en condición de Block-On (calzos colocados).
- Taxi out: son las maniobras que realiza el avión desde el Block-Off (calzos afuera) hasta llegar a la cabecera de pista.
- Take off: son las operaciones que realiza el avión en la pista para lograr el despegue. Climbout: son las operaciones que realiza el avión hasta alcanzar los 1.000 metros de altura sobre la cota del aeropuerto.

➢ Contaminantes a estudiar – Fuentes

Los contaminantes producidos por un motor a reacción están dados, entre otros por: el tipo de combustible utilizado, la riqueza de la mezcla, el tipo de motor y cámara de combustión asociada y los niveles de mantenimiento que el mismo tenga. La ecuación teórica que indica parte de esto se presenta a continuación:

$$C_m H_n + N_2 + O_2 \longrightarrow (a\,CO_2 + b\,H_2O + c\,N_2 + d\,O_2) + (e\,HC + f\,CO + g\,NO_x)$$

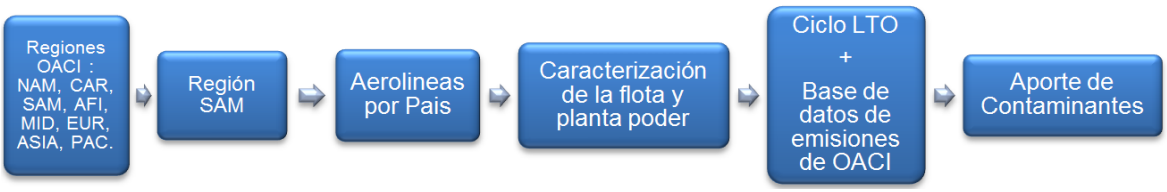
En la industria aeronáutica, y detallado en el Anexo 16 de OACI, se presta un mayor interés a los hidrocarburos no quemados (HCs), óxidos de nitrógeno (NOx) y monóxido de carbono (CO).

En el análisis de contaminantes solo se consideraron aquellos motores existentes en la base de datos de OACI constituidos por plantas poder tipo TurboFan. Los contaminantes por motor son los aportados en un ciclo LTO con combustible aeronáutico con las siguientes especificaciones:

Propiedad	Gama permisible de valores
Densidad, kg/m3 a 15 °C	780 – 820
Temperatura de destilación, °C 10% del punto de ebullición	155 – 201
Punto final de ebullición	235 – 285
Calor neto de combustión, MJ/kg	42,86 – 43,50
Aromáticos, % de volumen	15 – 23
Naftalinas, % de volumen	1,0 – 3,5
Punto de humo, mm	20 – 28
Hidrógeno, % de masa	13,4 – 14,3
Azufre, % de masa	menos de 0,3%
Viscosidad cinemática a –20°C, mm2/s	2,5 – 6,5

- Base de datos – Proceso de cálculo.

Para la obtención del aporte de contaminantes, especificado por motor, se utilizo la base de datos de OACI [4]. El esquema básico de procedimiento se esquematiza a continuación:



RESULTADOS

Sobre la base del análisis realizado, la siguiente tabla muestra la distribución de la flota de la región según los fabricantes, y el porcentaje de aeronaves sobre el total operativas a nivel mundial por fabricante.

Fabricante	[%] en la Región SAM	[%] / flota Mundial
Boeing	34,76	3,63
Airbus	31,81	5,22
Embraer	13,52	7,85
ATR	7,43	10,03
McDonnell Douglas	3,05	Sin Datos
Fokker	3,05	8,67
Beechraft	1,71	3,06
Canadair Regional Jet	1,62	Sin Datos
Bombardier	1,43	0,64
British Aerospace	1,05	2,59

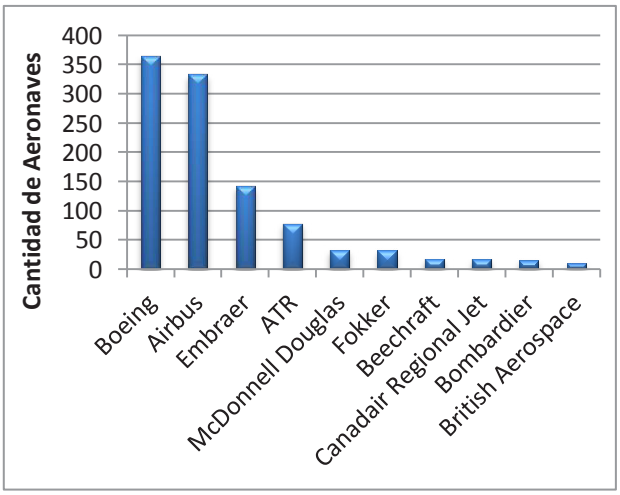


Figura 3. Distribución de las aeronaves por fabricante.

	SITUACION ACTUAL DE LA REGIÓN SAM
Cantidad	1.050 Aeronaves
Edad promedio	10,76 años

Figura 4.Resumen de las características de las flotas los países de la región SAM.

Con especial atención a las características de la región en función de cada país se obtiene:

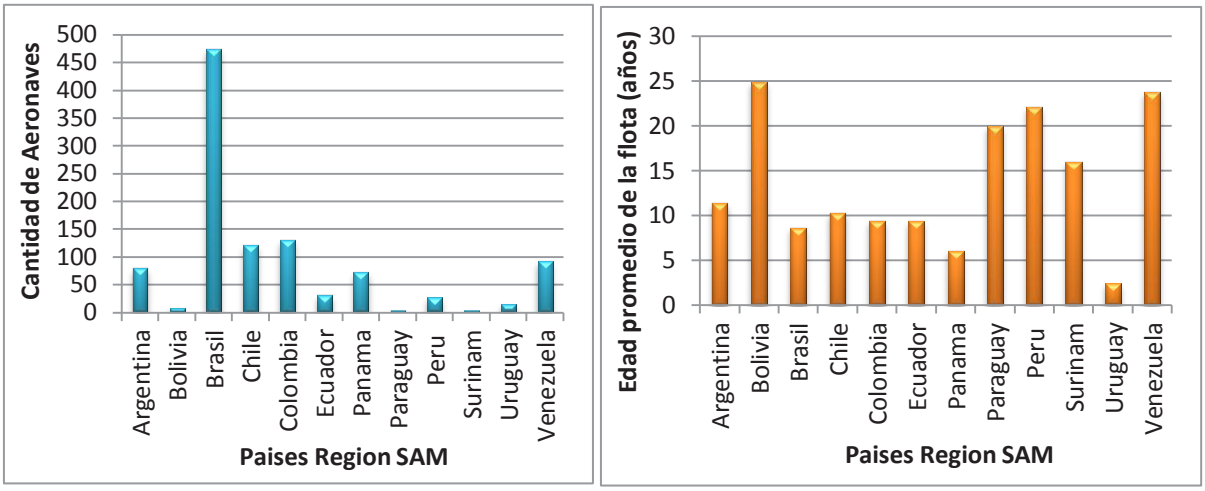


Figura 5.Distribución de la cantidad y edad promedio según los países de la región SAM.

Resulta de gran importancia la clasificación de la flota regional según el tipo de fuselaje:

Tipo de Fuselaje Región SAM		
	Flota	**%**
Fuselaje Ancho	105	10,0
Fuselaje Angosto	945	90,0

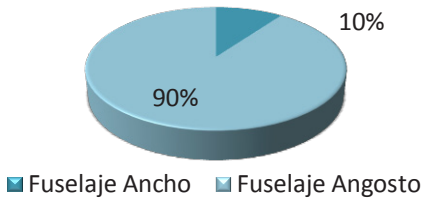


Figura 6. Distribución de las aeronaves por tipo de fuselaje de la región SAM.

Como se observa el 90% de la flota son aeronaves de fuselaje angosto, y según el fabricante y modelo poseen la siguiente distribución:

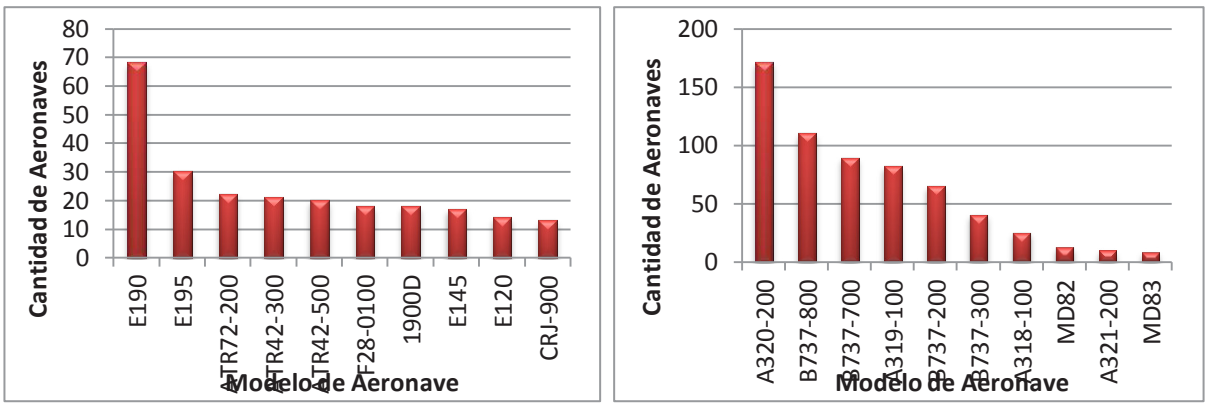


Figura 7. Distribución de aeronaves de vuelo regional y de largo alcance de fuselaje angosto

En la siguiente tabla se detalla el aporte de contaminantes en peso y porcentaje relativo discriminado por cada país de la región SAM.

	HC [gr]	%	CO [gr]	%	NOx [gr]	%
Argentina	96.307	**7,99**	909.877	**6,07**	8.675.14	**10,48**
Bolivia	13.521	**1,12**	107.175	**0,71**	87.462	**1,06**
Brasil	577.054	**47,89**	8.430.944	**56,24**	3.863.098	**46,66**
Chile	249.009	**20,67**	1.780.648	**11,88**	1.752.737	**21,17**
Colombia	151.524	**12,58**	2.684.442	**17,91**	961.738	**11,62**
Ecuador	20.548	**1,71**	186.398	**1,24**	130.877	**1,58**
Panamá	95.010	**7,89**	863.367	**5,76**	598.797	**7,23**
Paraguay	1.888	**0,16**	27.889	**0,19**	17.281	**0,21**
Perú	41.415	**3,44**	228.288	**1,52**	175.423	**2,12**
Surinam	4.248	**0,35**	46.920	**0,31**	43.416	**0,52**
Uruguay	458	**0,04**	53.560	**0,36**	59.332	**0,72**
Venezuela	132.292	**10,98**	636.920	**4,25**	634.920	**7,67**

Figura 8. Aporte de contaminantes según los países de la región SAM

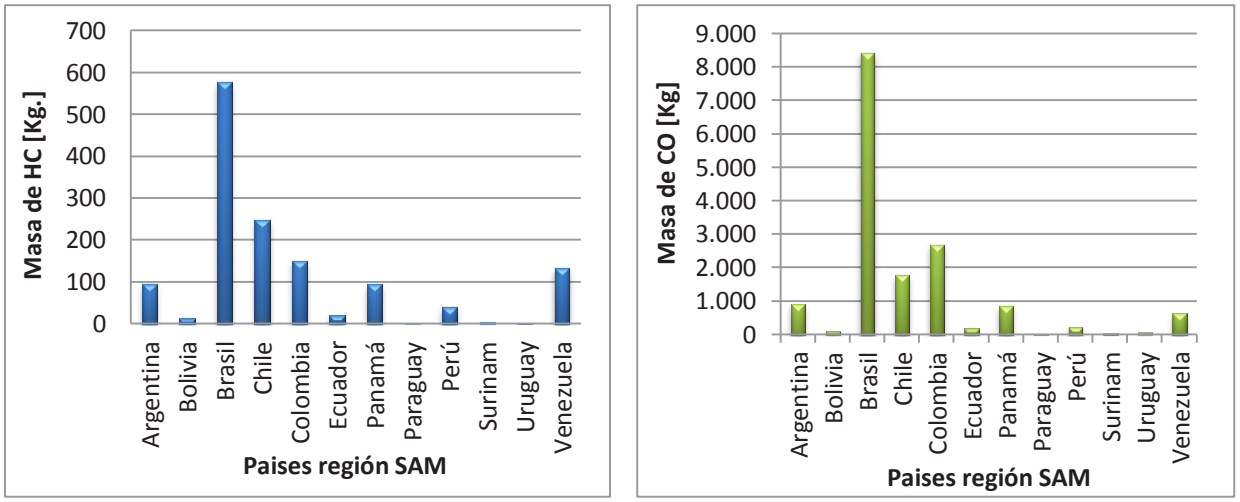


Figura 9. Aporte de HC y NOxpara los países de la región SAM

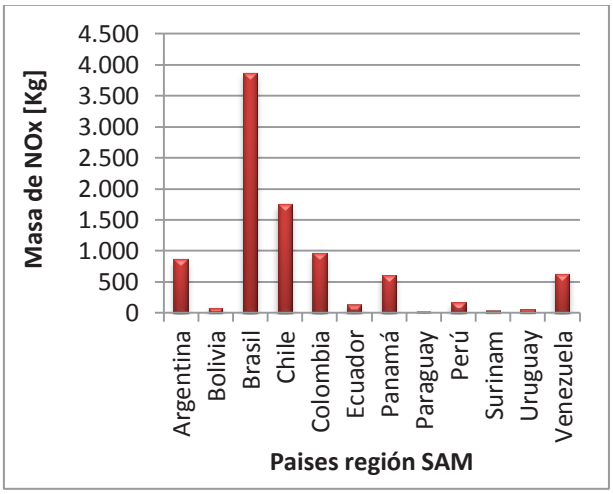


Figura 10. Aporte de CO para los países de la región SAM

Como representación esquemática de impacto visual, se presentan los siguientes mapas conceptuales de la región, donde se detalla la edad promedio de la flota y cantidad de aeronaves operativas.

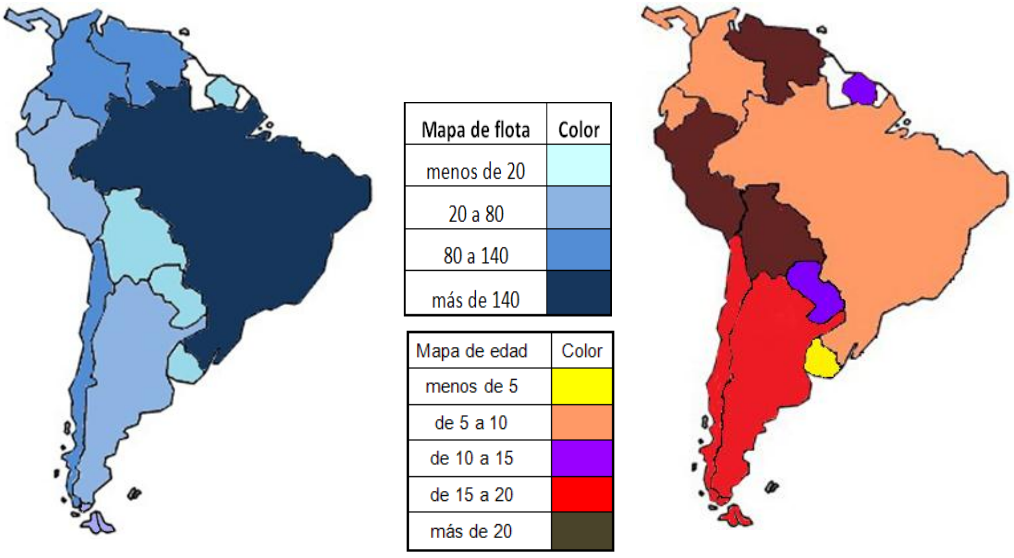


Figura 11. Mapas conceptuales de las características de la flota de la región SAM

CONCLUSIONES

Del total de 25.378 aeronaves operativas en el mundo solo el 4.13% se encuentra en la región sudamericana. Las características de la flota de dicha región se encuentra muy influenciada por la flota de Brasil,que cuenta con 20 aerolíneas, 464 aeronaves y una edad promedio de 8.66 años.

Para determinar el peso relativo global que se tiene respecto a la contaminación aeronáutica es necesario cuantificar la totalidad de operaciones anuales.En los resultados de aporte de contaminantes obtenidos para un ciclo Landig-Take-Off no se contemplan operaciones globales anualizadas, si no que se estudia como el aporte de dos operaciones por aeronave. De acuerdo a estadísticas mundiales podemos aproximar que un aeronave realiza 4.5 operaciones/día por lo cual en un año el aporte resulta significativo.

Actualmente la industria aeronáutica llega a consumir apenas el 4% del combustible en el mundo y si bien, el aporte de CO_2 por la aviación es el 2 % del aporte de CO_2 a nivel mundial, la industria aeronáutica es la única que contamina la alta atmosfera produciendo contaminantes como el NO_2 con tiempo de vida de 114 años.

BIBLIOGRAFIA

[1] Aviación:Airfleet, Datos actualizados al 1 de marzo de 2012.
[2] AircraftBluebook actualizado al año 2011.
[3] SpecialReport: WorldAirlinerCensus 2012,Fligh Global.
[4] (OACI): AircraftEngineEmissionsDatabank, 2012

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE SISTEMA DE REFRIGERACIÓN FORZADA PARA UN MOTOR ALTERNATIVO AERONÁUTICO REFRIGERADO POR AIRE

Autores

Bonopera, Mariano E.[1]; Piechocki, Joaquín; Di Bernardi, Alejandro; Nadal Mora, Vicente; Pezzotti, Santiago; Fabiani, Gustavo.

Lugar de ejecución del trabajo

[1]Grupo de Ingeniería Aplicada a la Industria, UID GTA-GIAI, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina. E-mail: mariano_bonopera@outlook.com, gta@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave

Motores alternativos, refrigeración, sopladores, helicópteros.

Resumen

Se presentan aspectos significativos de un estudio, en el cual se analizan y desarrollan sistemas de refrigeración forzada para un motor alternativo aeronáutico Lycoming de la serie HIO-360, refrigerado por aire, para ser utilizado en la propulsión de un helicóptero.

En general, los motores alternativos en helicópteros se ubican detrás de la cabina, dentro del carenado de la misma. Este hecho justifica la necesidad de disponer de un sistema que fuerce la circulación de una corriente de aire por sobre las aletas de refrigeración para lograr un adecuado intercambio térmico.

En el presente estudio se analiza de modo integral aspectos geométricos y funcionales, de consumo de potencia, constructivos, de mantenimiento, robustez y diseño general del sistema de refrigeración, teniendo en cuenta los requerimientos del fabricante del motor y, las limitaciones geométricas y estructurales que impone la aeronave, con el objetivo de satisfacer los requerimientos operacionales para el cual el helicóptero ha sido diseñado.

A estos fines se estudian dos alternativas: un sistema de refrigeración en base a un soplador centrífugo y otro sistema en base a un soplador axial.

Se concluyó que la alternativa basada en un soplador centrífugo posee ventajas por sobre el basado en soplador axial, por lo que se desarrolla y presenta esta primera alternativa.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se estudia el caso de un sistema de refrigeración forzada para un motor alternativo que equipa a un helicóptero liviano.

La aeronave para el cual se realiza el estudio es el helicóptero CH-12 de la empresa Cicaré S.A. Esta aeronave es un helicóptero liviano biplaza "lado a lado" de uso civil (Fig. 1).

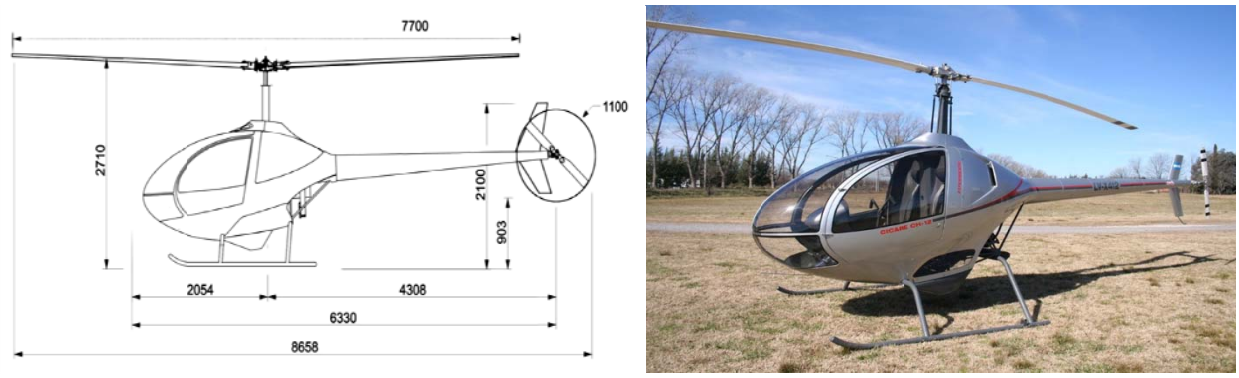


Figura 1: Aeronave CH-12.

En la presente aeronave, el motor se ubica detrás de la cabina, dentro del carenado de la misma. Este hecho justifica la necesidad de disponer de un sistema que fuerce la circulación de una corriente de aire por sobre las aletas de refrigeración del motor para lograr su adecuado intercambio térmico, principalmente durante la condición de vuelo estacionario. La planta motriz para el cual se estudia el sistema de refrigeración es el motor Lycoming HIO-360.

El universo de operaciones que llevará adelante la aeronave impone un número de requerimientos funcionales del sistema que incluyen aquellos de provisión de caudal de aire al motor bajo las condiciones operacionales correspondientes, limitaciones geométricas y estructurales impuestas por la estructura de la aeronave, requerimientos en cuanto a mantenimiento entre otros.

El grupo de condicionamientos asociados con la estructura de la aeronave, es la limitación dimensional impuesta por la forma de la estructura y las instalaciones de los demás accesorios y mecanismos. Los requerimientos dimensionales del sistema de refrigeración impuestos por la condiciones de contorno son:

- ✓ Diámetro exterior máximo (incluyendo difusor): 500 mm,
- ✓ Distancia axial máxima: 100 mm.

Los requerimientos en cuanto a caudal de aire y presión diferencial necesaria para la refrigeración están definidas en el Lycoming Specification N° 2661, teniendo en consideración el punto crítico de operación.

Tabla 1: Requerimientos de caudal y presión diferencial del aire para el punto de operación crítico.

Altura [m]	Temperatura [°C]	Caudal [kg/s]	Salto de presión requerido [Pa]	Potencia [HP]
0	38	1	1.676	135

Con el objetivo de satisfacer estos requerimientos se estudian dos alternativas: un sistema de refrigeración en base a un compresor centrífugo y otro sistema en base a un compresor axial. El desarrollo metodológico del presente estudio comprende el desarrollo de modelos matemáticos para cada tipo de sistema para su análisis comparación, y posterior selección.

Los cálculos utilizados en el presente informe se basan en los principios de conservación de la masa, conservación de la cantidad de movimiento y conservación de la energía en un análisis sobre la línea de corriente media, es decir en una dimensión, como punto de partida para modelar el compresor. Se utiliza el Principio Fundamental de Máquinas Rotantes [1] como base constitutiva de los modelos matemáticos.

DESARROLLO

Modelo de sistema

El desarrollo de los modelos matemáticos tanto para un compresor centrífugo como uno axial se realizó en base a las siguientes hipótesis:

- las velocidades puestas en juego son mucho menores a la velocidad del sonido (M<<0,2),
- el flujo de entrada se considera axial,
- el fluido se toma como adiabático, compresible y unidimensional,
- se considera al aire como gas perfecto.

El método utilizado en ambos casos consiste en adoptar de manera recurrente valores a los diferentes parámetros geométricos teniendo en cuenta las limitaciones dimensionales oportunamente descritas y verificar que los parámetros de salto de presión y caudal son los requeridos.

Sistema de distribución del flujo de aire

Se considera que para ambos modelos las distribuciones del flujo de aire a la salida del compresor son aproximadamente similares para las dos configuraciones (centrífuga o axial). Se adopta como hipótesis aproximativa que en la medida en que el fluido deja el difusor, es distribuido por medio de dos codos a 90° seguidos de una expansión para luego fluir a través de las aletas de refrigeración de cada cilindro. Como parte de la estimación se consideró la existencia de un 20% adicional de pérdida de carga asociada al sistema de distribución no contemplados inicialmente en el cálculo empírico, que determina un coeficiente de seguridad S = 1,2 sobre la caída de presión total. Este salto de presión se estima en 928 Pa.

Por lo tanto, al salto de presión requerido en Tabla 1 se debe adicionar la pérdida de carga calculada, por lo que el salto de presión que debe proveer el sistema para cumplir con los requerimientos operacionales se estima del orden de 2600 Pa**.**

Sistema basado en compresor centrífugo

En adición a las hipótesis generales del modelo, se consideran las siguientes hipótesis particulares:

- no existe inductor a la entrada del compresor,
- se considera difusor sin vanos,

- se consideran los siguientes valores típicos las eficiencias adiabáticas mecánicas y de difusión (0,78, 0,95, y 1 respectivamente).

Se adopta para este modelo, un rotor con perfil de álabes semicircular por simpleza constructiva.

Con la geometría que se presenta en la Tabla 2, el modelo predice que el salto de presión que se produce es superior al requerido, vale decir representa un valor mayor a aquellas mínimas impuestas por las condiciones de diseño.

Sistema basado en compresor axial

En adición a las hipótesis generales del modelo, se consideraron las siguientes hipótesis particulares:

- para un radio determinado, la componente axial de la velocidad a la entrada y a la salida del compresor permanece constante,
- existe equilibrio radial de presiones dentro de la máquina,
- se consideran los siguientes valores típicos las eficiencias adiabáticas mecánicas y de difusión (0,78, 0,95, y 1 respectivamente).

Se adopta un diseño del compresor que satisface el equilibrio radial de fuerzas centrífugas, y la teoría de Grado de Reacción Constante. Este compresor está diseñando sobre la base de la utilización de perfiles NACA serie 65.

Con la geometría definida el modelo predice que el salto de presión que se produce es, como en el caso del compresor centrífugo, superior al requerido, vale decir representa un valor mayor a aquellas mínimas impuestas por las condiciones de diseño.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los parámetros de diseño obtenidos es posible observar una serie de aspectos diferenciales que condicionan la decisión sobre qué tipo de sistema adoptar. Estas se presentan a continuación.

- El compresor axial es de fabricación más compleja.
- Para que el compresor axial tenga una eficiente operación, debería poder instalarse por encima del motor. Esto trae aparejado un mecanismo de transmisión para su accionamiento lo que dificultaría su instalación y además, al tener mayor cantidad de piezas en funcionamiento, la posibilidad de falla de cualquiera de estas aumenta.
- En el caso de colocar el compresor axial detrás del motor, el sistema de conductos para poder canalizar y distribuir el flujo por sobre los cilindros implica una mayor pérdida de carga, por lo que la potencia consumida para lograr el salto de presión requerido es mayor.
- En el caso del compresor centrífugo la dirección del flujo es más fácil de canalizar y distribuir, por lo que las pérdidas de carga son menores en comparación con el axial.
- La instalación y desmonte del sistema de refrigeración basado en un compresor centrífugo es más sencillo que en el caso basado en un compresor axial.

Teniendo en cuenta los ítems anteriores, se decide elegir el modelo basado en compresor centrífugo para ser parte del sistema de refrigeración para la aeronave CH-12. La geometría final obtenida para este modelo la podemos ver en la Tabla 2.

Tabla 2: Geometría final del compresor centrífugo

Características del compresor	
Diámetro exterior rodete	0,380 m
Diámetro interior rodete	0,320 m
Ancho Entrada a rodete	0,045 m
Ancho Salida de rodete	0,045 m
Diámetro exterior difusor	0,580 m
Ancho difusor	0,400 m
Angulo de vanos de entrada	62 º
Angulo de vanos de salida	-20 º
Escalonamientos	1
Número de paletas	36
Espesor de paletas	0,003 m
Tipo de difusor	sin vanos
Diámetro de entrada	0,3 m
Relación de diámetros	1,1875

La geometría se resume en la Figura 2.

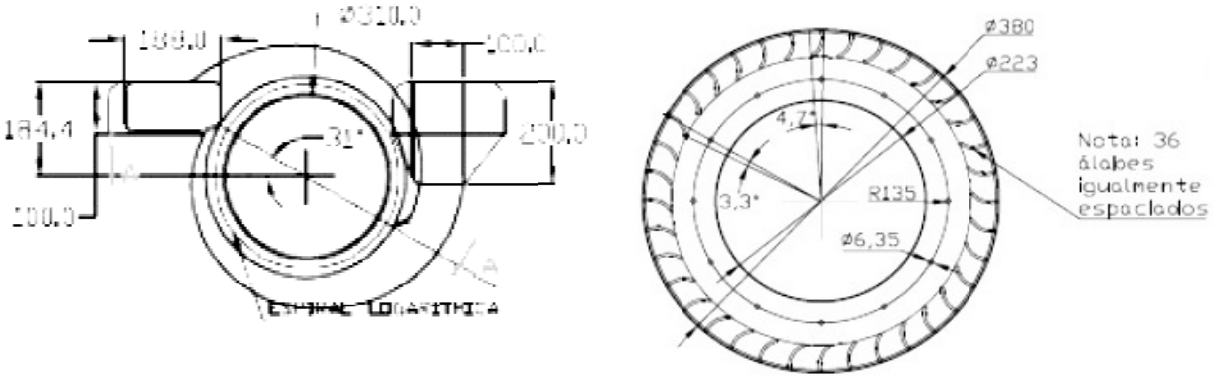


Figura 2: Esquema de la geometría final del difusor y rotor.

CONCLUSIONES

En el presente estudio se desarrollaron modelos matemáticos que permitieron obtener aproximaciones a nivel de ingeniería básica de sistemas de refrigeración basándose en modelos de compresores centrífugos y axiales.

Como consecuencia se encontró que existen soluciones de diseño que cumplen con los requerimientos impuestos para sistemas basados tanto en un modelo como en otro. Estas soluciones permiten obtener resoluciones dimensionales para ambos casos.

La solución asociada a la utilización de un compresor centrifugo muestra para este caso en particular, ventajas relativas frente al compresor axial. Estas ventajas se centran principalmente en la simplicidad constructiva, el espacio utilizado, simpleza operativa, y los costos de fabricación y mantenimiento.

En función de las ventajas relativas de un sistema sobre el otro se desarrolla una resolución geométrica del sistema de refrigeración forzada para el motor Lycoming HIO- 360- G1A en su utilización en la aeronave Cicaré CH-12, basándose en el modelo de sistema con compresor centrífugo. Esta resolución geométrica y funcional evidencia la posibilidad del desarrollo del sistema de ventilación sobre los distintos condicionamientos impuestos de manera satisfactoria.

La adopción de distintas soluciones de diseño, y constructivas condicionan el desempeño de sistema desarrollado. Un ejemplo de esto es la elección de un tipo del perfil que responde a un perfil semicircular inclinado en el sentido de rotación de los mismos para alcanzar el salto de presión necesario

Es posible manipular parámetros geométricos de los compresores centrífugos y axiales de manera que permitan cumplir con una gran variedad de requerimientos funcionales, de espacio, de entorno funcional. El modelo matemático utilizado permite su utilización para la aplicación sobre el desarrollo de productos y procesos, como se demuestra en el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

[1]. Boyce, M.P, “Gas Turbine Engineering Handbook”, Second Edition; Butterworth-Hienemann 2003.
[2]. Vincent, E., “The theory and design of gas turbine and jet engines”; Mc Graw – Hill, 1950.
[3]. Sorensen, H., “Gas turbine”; The Ronald Press Company, 1951.
[4]. Hawthorne, W., “Aerodynamics of Turbines and Compressors”; Princeton University Press, 1964.
[5]. Dixon, S., “Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery”, 6° Edition; Butterworth-Heinemann, 2010.
[6]. Falck, N., “Axial flow compressor mean line Design”, Master Thesis; Lund University, 2008.
[7]. Hassan, A., “Influence of the volute design parameters on the performance of a centrifugal compressor of an aircraft turbocharger”; IMechE Vol. 221 Part A: J. Power and Energy, 2007.
[8]. Miyanaga, K., et al., “A study of volute tongue and passage design on the performance of centrifugal turbomachines”; 14th Australasian Fluid Mechanics Conference, 2001.
[9]. Textron Lycoming Aircraft Engines, “Operator’s Manual”, 8th Edition; 2005.
[10]. Página web de Cicaré Helicópteros S.A: http://www.cicare.com.ar/
[11]. Vijaykumar, A., “Design Methodology For Aerodynamic Design Of Centrifugal Compressor”, Thesis of Degree; VIT University, 2007.
[12]. Chavez, O., “Diseño, Construcción y Pruebas de un ventilador de flujo axial”, Tesis de Grado; Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1987.
[13]. Cheg Xu et al., “Development and design of a centrifugal compressor volute”; International Journal of Rotating Machinery, vol. 3, 2005.
[14]. Lycoming Specification N° 2661

SITUACIÓN AL 2012 DE LA COBERTURA DE LOS SISTEMAS DE NAVEGACIÓN AÉREA EN LA REPUBLICA ARGENTINA

Autores
Pezzotti, Santiago; Herrón Alejandro, Hanna Waid, Carasay David, Pitrelli Sergio

Lugar de ejecución del trabajo
GTA - Grupo Transporte Aéreo de la UID "GTA-GIAI", Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina. Email: santiago.pezzotti@ing.unlp.edu.ar, gta@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves
Radioayudas, Radares, Navegación, Cobertura

Resumen

El objeto de la presente es exponer el estado de situación actual en lo que a cobertura aérea se refiere mediante la descripción y cuantificación del equipamiento en tierra destinado al soporte de las operaciones aéreas seguras dentro del territorio argentino.

El trabajo está sustentado en la experiencia del Grupo de Transporte Aéreo GTA en este campo y se basa en un relevamiento de los sistemas de radioayudas instalados, destinados a la navegación en ruta, aproximación, aterrizaje y despegue en aeropuertos. Así mismo se hace mención a los sistemas de vigilancia, control y seguimiento a través del Programa Argentino de Radarización. Asociado a este equipamiento se encuentran las rutas del espacio aéreo superior e inferior.

INTRODUCCIÓN

La navegación aérea es un conjunto de técnicas y procedimientos que permiten la planificación, posicionamiento, control, seguimiento y vigilancia de un vuelo. Para ello es necesario contar con cuatro elementos básicos: equipamiento en aeronave, equipamiento terrestre o satelital, habilitación del operador, habilitación de la tripulación.

El estado de situación y cobertura de los equipos terrestres influyen en la capacidad del sistema y de ahí la importancia del mismos. En ese contexto resulta vital contar con sistemas fiables que permitan a las aeronaves operar de manera eficiente y segura. Algunos de estos se presentan a continuación:



DESARROLLO

La presente se limita a la cuantificación de los equipos señalados que prestan servicio en tierra. Para tal fin se utilizó diversa información de carácter público como ser los AIP [1] y MADHEL [2], y la recabada por la UID "GTA-GIAI" en trabajos de campo relacionados con los desarrollos de Planes Maestros para Aeropuertos Argentina 2000 [3] en conjunto con las cartas de navegación de las líneas aéreas que sobrevuelan el territorio Argentino.

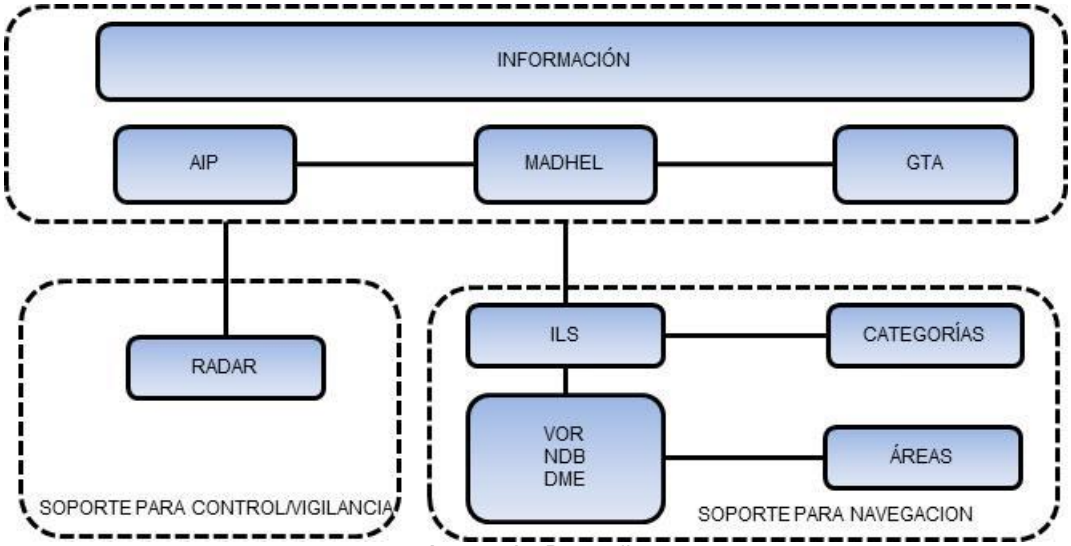


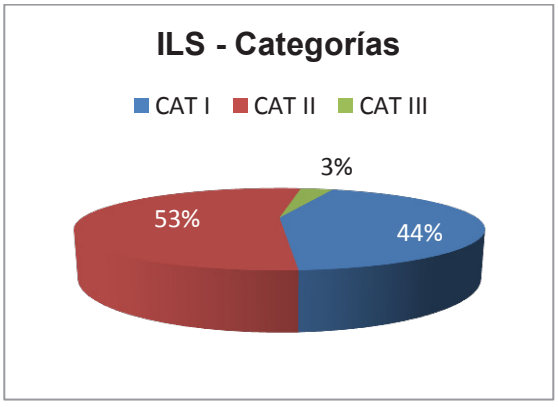
Imagen 1 – Desarrollo

A continuación se resume el estado de situación respecto de las ayudas indicadas:

ILS (Instrument Landing System)

El ILS es un sistema de asistencia a las operaciones de aproximación y aterrizaje que brinda a las aeronaves, información acimutal, horizontal y de distancia respecto de las instalaciones de tierra. La OACI en su Anexo 10 [4] divide este sistema en tres categorías según su capacidad para acercar la aeronave a la pista durante la aproximación.

A continuación se enumeran por categoría:



ILS	
CAT I	13
CAT II	16
CAT III	1

Imagen 2 – Porcentaje de Categorías ILS dentro del Territorio Argentino

La distribución de los mismos a lo largo y ancho del territorio Argentino se presente en la siguiente imagen

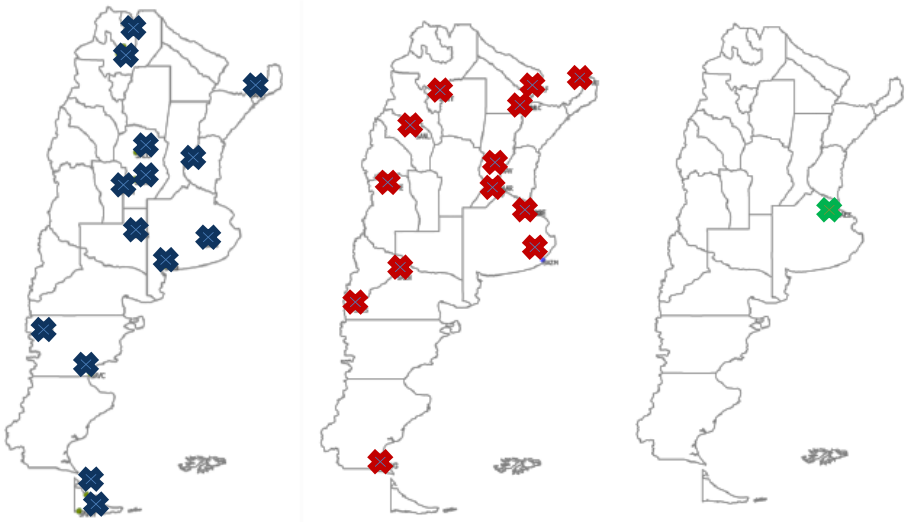
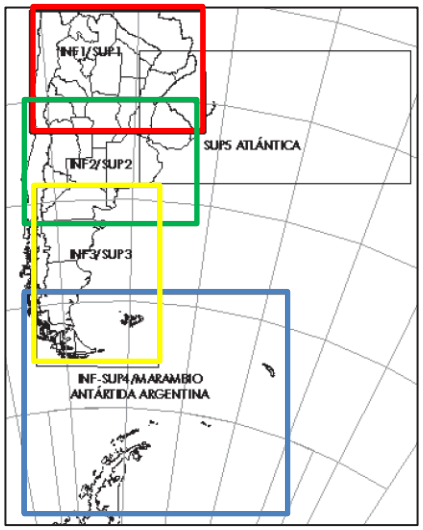


Imagen 3 – Ubicación geográfica según Categoría I, II y III a. respectivamente

ADF (Automatic Direction Finder), VOR (Very High Frecuency Omnidirectional Range) y DME (Distance Measurement Equipment)

El ADF es un antiguo sistema de navegación que indica la dirección hacia donde se encuentra la radiobaliza NDB (Non Directional Beacon). Este está compuesto por un equipo receptor en la aeronave y un equipo emisor en tierra NDB. Así mismo el VOR es un sistema de navegación que permite a la tripulación volar sobre un radial determinado y así seguir una ruta, el mismo funciona con una antena en tierra y un equipo receptor en la aeronave. En cuanto al DME, permite conocer la distancia de la aeronave a una estación DME en tierra. Funciona mediante sistema interrogador/transpondedor.

Naturalmente estos equipos se encuentran distribuidos a los largo del territorio Argentino.



Área Norte		
VOR	VOR/DME	NDB
2	11	9

Area Centro		
VOR	VOR/DME	NDB
17	13	15

Area Sur		
VOR	VOR/DME	NDB
1	15	16

Area Antartida Argentina		
VOR	VOR/DME	NDB
1	1	1

Imagen 4 – Áreas de distribución de radioayudas

Los mismos pueden cuantificarse de la siguiente manera:

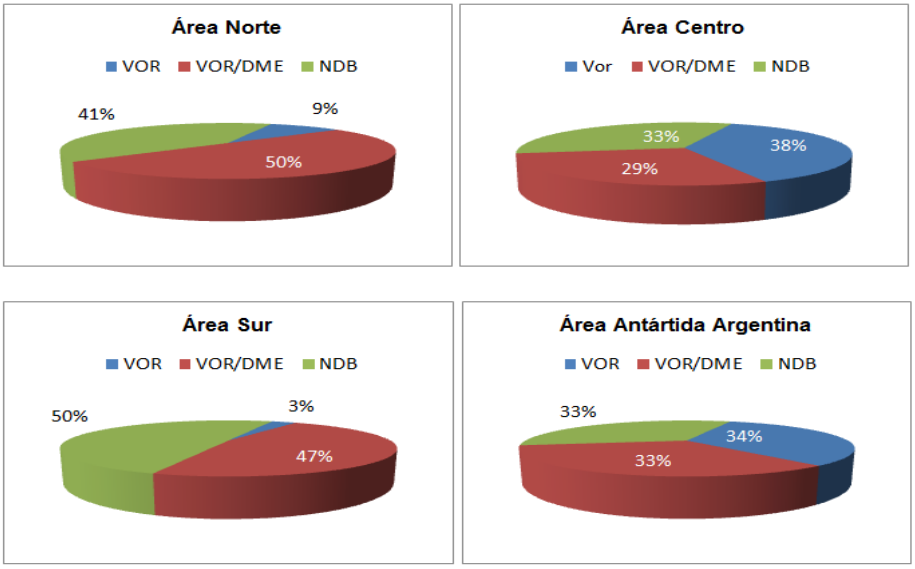
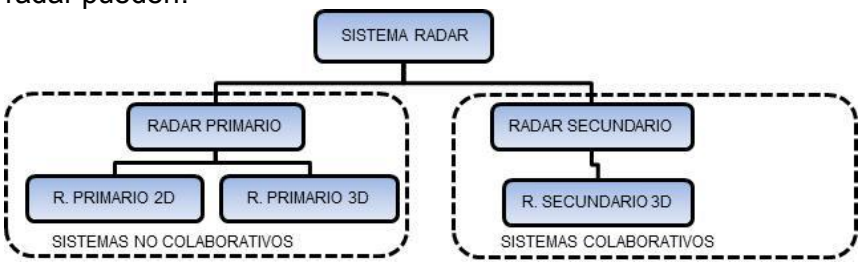


Imagen 5 – Distribución de radioayudas por áreas

Sistema Radar (Radar Secundario Monopulso)

Los sistemas radar pueden:



La presente se centra en el análisis de los radares secundarios monopulso (RSM) instalados en el territorio Nacional bajo el plan de radarización (Decreto 1407/2004).

Dentro del territorio nacional se instalan 22 RSM para vigilancia y control del espacio aéreo. Los mismos poseen un alcance aproximado de 200 NM. A continuación se muestra la ubicación de este tipo de radar:

La distribución geográfica puede observarse en la siguiente imagen:

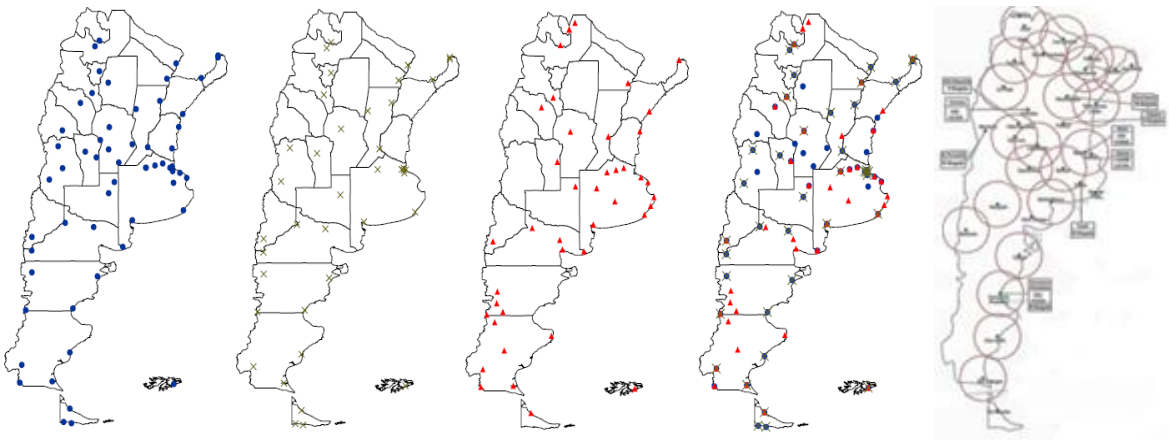


Imagen 6 – Distribución de VOR, DME, NDB e imagen global de todos los sistemas agrupados dentro del territorio Nacional, finalmente se presenta la ubicación y cobertura delos RSM dentro del territorio nacional

Por otra parte la gran mayoría de los sistemas indicados se encuentran implantados en distintos campos de vuelo. Actualmente Argentina cuenta con más de 1.100 repartidos entre aeropuertos, aeródromos, y sitios aptos. De éstos, 54 pertenecen al Sistema Nacional Aeroportuario (SNA) revistiendo 20 de ellos status de internacional. En la siguiente figura se aprecia la distribución relativa de los mismos.

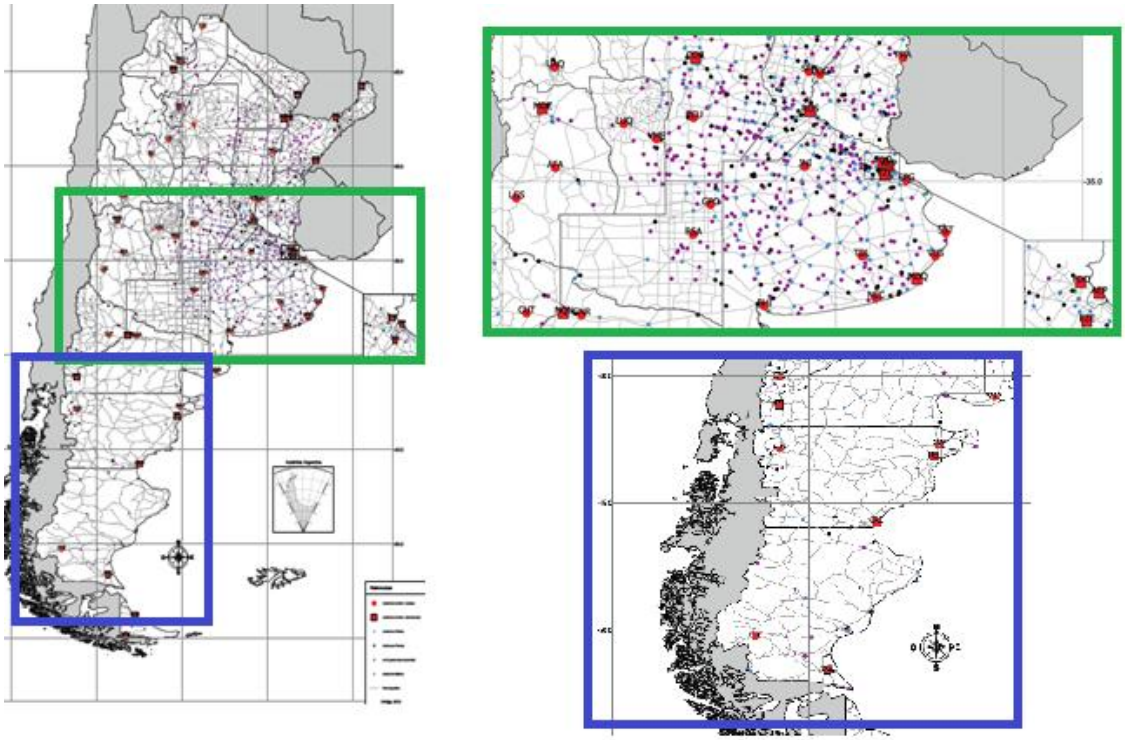


Imagen 7 – Campos de vuelo en Argentina al 2011. Detalle de dos zonas donde cada punto representa un campo de vuelo

Esta situación permite generar una estructura de espacio aéreo, con sus respectivos volúmenes de control por donde vuelan las aeronaves. Un pequeño ejemplo de esto se aprecia en la siguiente figura.

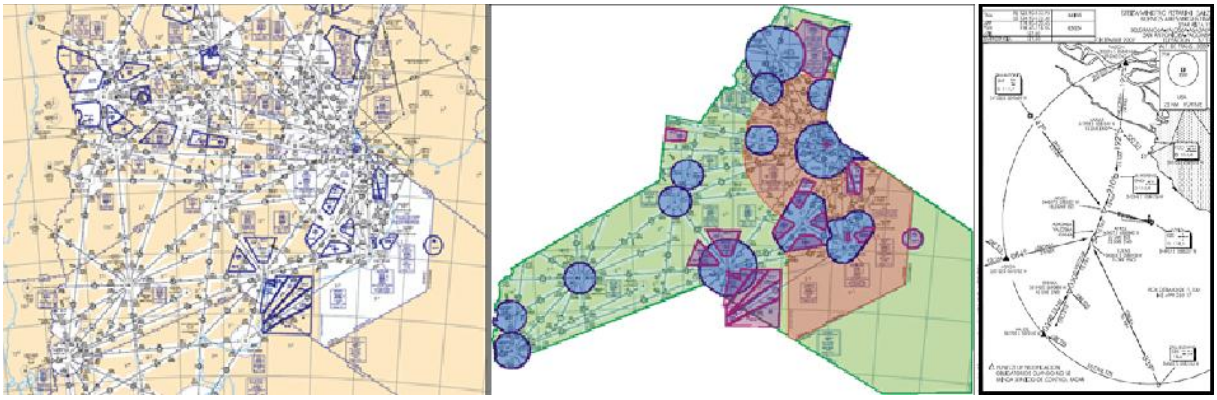


Imagen 8 – Carta de navegación en ruta, distribución de TMA y CTR en el FIR EZE, carta STAR Pista 11 EZE

Por otra parte resulta adecuado contextualizar esto en el marco del Plan Estratégico Territorial (PET) por cuanto permite ver que las concentraciones de equipamiento están en concordancia con los desarrollos actuales del país y con las respectivas concentraciones de

población, áreas de desarrollo y generación de riqueza que es precisamente donde se encuentran los centros de demanda para la actividad aérea.

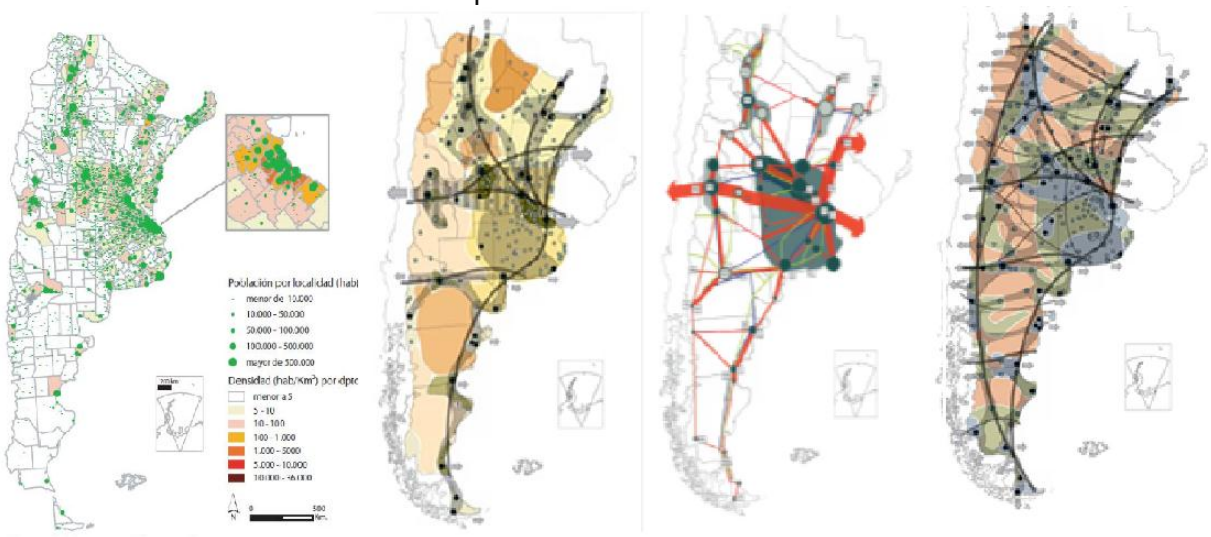


Imagen 9 – PTE: Distribución de la Población, Modelo de País actual, principales ejes de desarrollo, y modelo de País deseado.

CONCLUSIONES

La cantidad, calidad y distribución de estos equipos determinan la estructuración y diseño de los distintos sectores que conforman el espacio aéreo nacional. Así mismo permiten el diseño de procedimientos específicos en los aeropuertos que cuentan con radioayudas de aproximación

Es evidente que existe una relación entre la ubicación del equipamiento disponible, los aeropuertos, el PET, los centros de demanda y destinos preferentes de las principales líneas aéreas que operan en el territorio nacional.

La cobertura de los sistemas de navegación aérea depende del tipo y localización de las mismas, las cuales deben estar acordes a las necesidades de la navegación propiamente dicha y a las necesidades de control y vigilancia del espacio aéreo. El conjunto de las mismas como sistema es el que permite al Estado la gestión del espacio aéreo basado en las políticas de planificación intermodal de transporte sobre el marco del Plan Estratégico Territorial.

El 54% de los aeropuertos del Sistema Nacional Aeroportuario poseen soporte para la aproximación y el aterrizaje (ILS). De los que poseen soporte, el 70% son Internacionales. Así mismo, el 21% se concentra en la región de la Provincia de Buenos Aires.

BIBLIOGRAFIA

[1] AIP (Publicaciones de Información Aeronáutica). Comando de Regiones Aéreas.
[2] MADHEL (Manual de Aeródromos y Helipuertos). Comando de Regiones Aéreas.
[3] Desarrollo de Planes Maestros para AA2000. Trabajo realizado por el GTA Grupo de Transporte Aéreo de la UID GTA GIAI, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, UNLP.
[4] Anexo 10 – Telecomunicaciones Aeronáuticas – OACI (Organización de Aviación Civil Internacional)
[5] INVAP – Empresa Sociedad del Estado.
[6] Cartas de Navegación en Ruta del Territorio Nacional. Comando de regiones aéreas.

ANALISIS DE INESTABILIDADES FLUIDODINÁMICAS EN VEHÍCULOS ESPACIALES DE COMBUSTIBLE LÍQUIDO

Leonardo J. A. Bruno, Pablo G. Hollar Dalmau, Ana E. Scarabino

Grupo de Fluidodinámica Computacional (GFC), Universidad Nacional de La Plata, Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Argentina, ljabruno@gmail.com, pablohd@gmail.com

Palabras claves. pogo, vórtices, sloshing, inestabilidades, presiones.

Introducción

El análisis de los fenómenos fluidodinámicos implicados en la interacción fluido-estructural en el sistema de combustible de lanzadores es esencial para llevar a cabo un eficiente diseño de los sistemas involucrados, garantizando el correcto desempeño a lo largo de toda la misión.

En el presente trabajo se describen en forma resumida fenómenos de la dinámica del combustible en el tanque de un vehículo espacial, tales como las inestabilidades que produce el movimiento de la superficie libre del liquido en los tanques (fenómeno denominado *sloshing*), la formación de vórtices en el desalojo del combustible al pasar por la salida de tanques que puede generar mal funcionamiento de los sistemas de alimentación; y finalmente la interacción del combustible en los conductos con la estructura, ocasionando vibraciones autoexcitadas longitudinales en el lanzador cuando la frecuencia natural estructural coincide con la frecuencia natural del fluido, (fenómeno denominado *pogo*).

Desarrollo

Sloshing: El estudio dinámico del sloshing se basa en el desarrollo del campo de ecuaciones del fluido con una superficie libre (interfase líquido-gas), estimando el movimiento de la superficie libre del mismo, las fuerzas y momentos resultantes de este movimiento sobre el recipiente contenedor, pero las soluciones explícitas son posibles sólo para algunos casos particulares de geometría de contenedores. El movimiento del fluido es descripto por las ecuaciones de Navier-Stokes, pero al ser considerado el fluido incompresible y no viscoso (estos efectos pueden despreciarse en el análisis), estas se reducen a la ecuación de Euler, que en forma vectorial se expresa de la siguiente manera:

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial t} + (\bar{q} \cdot \bar{\nabla})\bar{q} = -\frac{1}{\rho}\bar{\nabla}P - \bar{\nabla}(gZ')$$

Para la determinación de las frecuencias naturales se hace uso de la formulación variacional, teorema de Hamilton (caminos de mínima energía), para de esta manera obtener una formulación linealizada del movimiento de la superficie del fluido. Así también mediante esta formulación se obtiene expresiones que permiten hallar las frecuencias naturales a partir de un método variacional aproximado. La solución está dada por

$$\omega_{mn}^2 = \left[\frac{g\xi_{mn}}{R} + \frac{\sigma {\xi_{mn}}^3}{\rho R^3} J_{mn}\right] \tanh\left(\frac{\xi_{mn} h}{R}\right)$$

Donde ω es la frecuencia natural, $\lambda_{mn} = \xi_{mn}/R$ son las raíces de $\frac{\partial J_{mn}(\lambda_{mn} r)}{\partial r} = 0$ y J_{mn} es la función Bessel del primer tipo de orden m.

Entonces, aplicando la última ecuación, es posible determinar los desplazamientos verticales de la superficie libre para los primeros tres modos simétricos y los primeros tres antisimétricos, aunque la aplicabilidad está limitada a oscilaciones de pequeña amplitud, ya que las ecuaciones han sido linealizadas.

La expresión matemática de la deformación de la superficie libre, para los modos simétricos resultará:

$$\eta(r,\theta,t) = \frac{1}{g}\sum_{m=0}^{\infty}\sum_{n=1}^{\infty}\bar{\alpha}_{mn}\cos(m\theta)J_m(\lambda_{mn}r)\cosh(\lambda_{mn}h)\omega_{mn}\cos(\omega_{mn}t)$$

Y para los antisimétricos:

$$\eta(r,\theta,t) = \frac{1}{g}\sum_{m=0}^{\infty}\sum_{n=1}^{\infty}\bar{\beta}_{mn}\sin(m\theta)J_m(\lambda_{mn}r)\cosh(\lambda_{mn}h)\omega_{mn}\cos(\omega_{mn}t)$$

De estas, interesan fundamentalmente los modos antisimétricos, que producen cargas laterales netas, y en particular el primero, que es el que da los mayores valores de fuerza resultante.

Pogo: La inestabilidad denominada *pogo* consiste en el acoplamiento de vibraciones longitudinales del fluido en los conductos de alimentación, con vibraciones mecánicas de la estructura del vehículo. Esta inestabilidad se analiza en series de tiempo de vuelo en los que se considera un modelo matemático linealizado e invariante en el tiempo, lo que permite que cada componente del sistema de propulsión (conductos, válvulas, componentes de motor, etc.) se modele dinámicamente como si el fluido estuviera quieto dentro de ellos ("*frozen flow hypothesis*"). De esta manera, un elemento será discretizado en nodos, y quedará definido cuando se apliquen las ecuaciones diferenciales a cada uno de los nodos, entonces los distintos componentes del sistema de propulsión poseerán diferentes ecuaciones que caracterizan sus comportamientos. Las ecuaciones constituyen las relaciones entre las variables de estado que incluyen perturbaciones de presión estática, las correspondientes al fluido (propelente) que son los desplazamientos relativos de masa *w* en los nodos y los desplazamientos absolutos generalizados de los modos estructurales *q*. Para determinar el modelo, se deben definir ciertos parámetros:

1. *Inertancia:* cumple la función de la masa en un sistema mecánico, y proporciona los términos inerciales en la dinámica del sistema, dado por $I = \int \frac{dl}{A(l)g}$
2. *Resistencia linealizada:* se obtiene considerando las pérdidas en el conducto debido a la fricción con las paredes, dado por $R = 2\frac{\Delta P}{W_s}$
3. *Elasticidad:* es un parámetro que depende de la velocidad de propagación de una onda de presión en el conducto. A medida que el conducto se considera menos rígido; este parámetro disminuye.

Por lo que partiendo de la ecuación unidimensional de cantidad de movimiento de un fluido:

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}=-\frac{g}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}-\frac{g}{\rho A}F_F+\frac{g}{\rho A}F_B=-\frac{g}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{g}{\rho A}\vec{F}$$

Y linealizando a cada nodo, en este caso y como ejemplo, de un elemento "*caño*", se llega a que en cada elemento se tiene una ecuación representativa de su dinámica en los extremos (subíndices i y j):

$$\begin{cases}\frac{I}{2}\ddot{w}_i+\frac{R}{2}\dot{w}_i+K_a w_i-K_a w_j-p_i+\rho\vec{H}_i\cdot\ddot{\vec{r}}=0\\ \frac{I}{2}\ddot{w}_j+\frac{R}{2}\dot{w}_j+K_a w_j-K_a w_i+p_j+\rho\vec{H}_j\cdot\ddot{\vec{r}}=0\end{cases}$$

Asimismo puede construirse la ecuación de otros elementos en el lanzador, dado por:

Tanque	$I_t\ddot{w}_i+R_t\dot{w}_i-\sum_n\beta_{ni}\ddot{q}+p_i=0$
Junta	$p_i=p_j=p_k$ $w_i=w_j+w_k$
Cámara de combustión	$\begin{cases}I_i\ddot{w}_i+R_i\dot{w}_i-p_i+p_l+\eta p_m=0\\ I_j\ddot{w}_j+R_j\dot{w}_j-p_j+\eta p_l+p_m=0\\ R_{ci}\dot{w}_i-p_l-\tau_c\dot{p}_l=0\\ R_{cj}\dot{w}_j-p_m-\tau_c\dot{p}_m=0\\ p_k-p_l-p_m=0\end{cases}$

Los valores de los modos de vibrar del sistema de propulsión deben ser comparados con los modos de vibrar estructurales, para conocer los modos de vibrar oscilatorios que podrían causar pogo.

Vórtices de descarga: la dinámica de acción de un vórtice en un tanque de propelente ocurriendo en respuesta a una perturbación externa, está basada en el teorema de Kelvin de la conservación de la circulación para un fluido no viscoso e incompresible.

Cuando el fluido se mueve en un tubo cilíndrico, los vórtices inicialmente presentes, solo aparecen "copiando" el movimiento de la parte superior del tanque. Sin embargo, si la estructura vorticosa se ve forzada a adquirir un radio de menor tamaño (como sucede al ingresar en la descarga), la conservación de cantidad de movimiento exigirá un aumento de la velocidad de rotación para mantener el momento angular constante. Esto explica el aumento de velocidad angular que experimenta el fluido al llegar a la salida reducida del tanque.

Podemos diferenciar dos tipos de vórtices distintos, o cuales se desarrollan a continuación:

Vórtice forzado: La rotación de un fluido que se mueve como un sólido respecto a un eje se denomina movimiento de vórtice forzado. En este caso, cada partícula de fluido tiene la misma velocidad angular.

En este tipo de vórtices no existen esfuerzos cortantes en el líquido, y la única aceleración que ocurre se dirige radialmente hacia adentro, hacia el eje de rotación. El fluido rota como un cuerpo sólido.

El flujo en un vórtice forzado es rotacional.

Vórtice libre: El vórtice libre es uno de los tipos elementales de flujo irrotacional. Este movimiento se distingue del vórtice forzado ya que cada partícula se mueve en una trayectoria circular a una velocidad que varía inversamente proporcional con la distancia al centro de rotación. El flujo en un vórtice libre es irrotacional.

Normalmente la configuración de un vórtice incluye un núcleo rotacional y un campo irrotacional, por lo tanto tenemos:

$$V\theta = \begin{cases} \omega \cdot r & si \quad r < a \ \ (vortice\ forzado\ -\ flujo\ rotacional) \\ \dfrac{cte}{r} & si \quad r > a \ \ (vortice\ libre\ -\ flujo\ irrotacional) \end{cases}$$

La aceleración del fluido al disminuir el radio de la zona irrotacional produce una caída de presión y la deformación de la superficie libre del líquido, que desciende hacia el centro del vórtice. En casos extremos, este descenso alcanza la descarga y la superficie libre se “rompe” en el centro, permitiendo el ingreso de gas o vapor en la línea de alimentación (“vórtice de la bañadera”). Esto resulta enormemente perjudicial para el normal funcionamiento del motor, que puede incluso apagarse por la interrupción momentánea del flujo de combustible.

Resultados y discusión

A través de los modelos creados se pudieron obtener y comparar los principales parámetros que caracterizan el desarrollo del fenómeno en los sistemas de almacenamiento y transporte de combustible de vehículos espaciales y proponer soluciones adecuadas para prevenir cada uno de estos fenómenos. Como ejemplo de los distintos problemas analizados, se presentan a continuación la deformación de la superficie libre para los primeros modos de vibrar en la aproximación lineal, en contraste con una simulación numérica computacional del fenómeno de sloshing en un tanque de combustible tipo, y las frecuencias de vibración de los sistemas de alimentación de fluido en sus distintos modos y las frecuencias estructurales de los modos longitudinales, que producen el fenómeno de pogo al acoplarse.
Se puede observar que la máxima altura alcanzada por la superficie libre del fluido en la simulación del tanque para una condición de aceleración repentina de 1 g lateral y 1.4 g vertical es aproximadamente dos veces mayor que la condición de reposo.

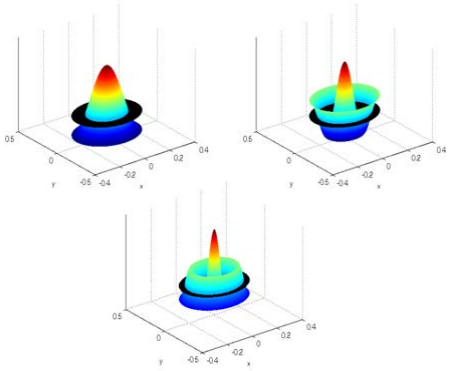


Figura 1 – Tres primeros modos de vibrar simétricos

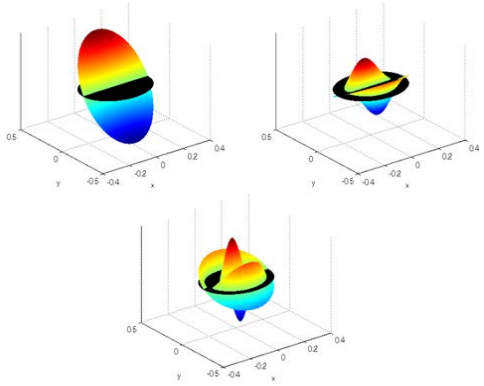


Figura 2 – Tres primeros modos de vibrar antisimétricos

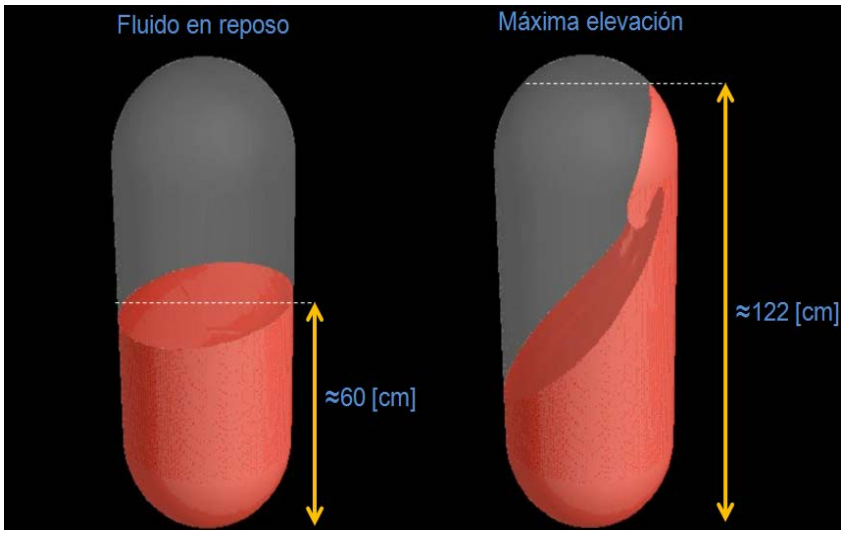


Figura 3 – Altura de elevación de líquido según simulación numérica computacional. Aceleración 1.4 g vertical y 1 g lateral.

Por lo tanto, esta gran elevación genera un gran corrimiento del centro de masas, que se traduce en aceleraciones indeseadas en el sistema. Desde este punto de partida se trabajó en el diseño de dispositivos supresores, que reducen la energía de los desplazamientos de fluido para mitigar este fenómeno.

Para el estudio del fenómeno de pogo, se analizan en primera instancia, los modos naturales del sistema de propulsión, para luego obtener las frecuencias y autovectores del sistema completo. Los resultados han sido obtenidos mediante el programa de cálculo numérico MATLAB.

Existen modos que no son oscilatorios, esto se debe a que existe sobreamortiguamiento en dichas frecuencias. De los modos oscilatorios (aquellos que presentan parte Imaginaria del autovalor distinta de cero), se ve que el 1º modo en el sistema de propulsión se acerca al 1º modo estructural, (el cual ha sido elegido para el acoplamiento del sistema).

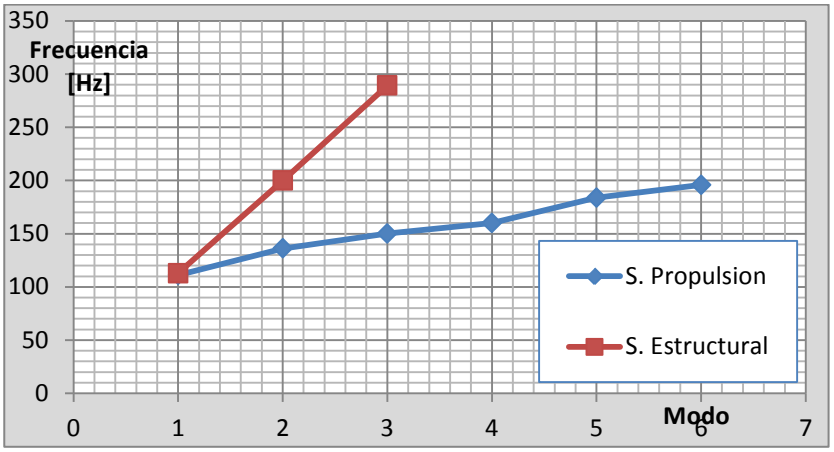


Figura 4 – Modos de vibrar longitudinales

Con el objetivo de visualizar el desarrollo del fenómeno de vorticidad en las salidas de tanques, se realizó una experimentación cualitativa del mismo, utilizando un tanque plástico con un gran angostamiento en la salida, tratando de observar el desarrollo del fenómeno de forma libre y luego implementando un dispositivo anti-vortex simple, consistente en dos placas en forma de "cruz" (o cuatro superficies perpendiculares), para analizar el efecto de mitigación sobre el fenómeno. El tanque se encontraba abierto en su parte superior, y la descarga del fluido se producía a presión atmosférica, por lo cual no existía diferencia de presiones. No se tuvo en cuenta en esta instancia la presurización del tanque, dado que este ensayo se realizó para obtener resultados cualitativos.

Conclusiones

Se estudiaron los distintos problemas de interacción en los sistemas de almacenamiento de combustible líquido para vehículos espaciales, implementándose métodos que permiten modelar los acoplamientos estructura – sistema de combustible para analizar la dinámica del conjunto y determinar aquellas posibles frecuencias que lleven a una inestabilidad del vehículo, tanto en el sentido axial (*pogo*), transversal (*sloshing*) y rotacional (*vortex*). Los distintos métodos fueron implementados a través de programas en MATLAB y simulación numérica mediante *Fluent*. Las entradas incluyen los modos naturales del sistema estructural, como también los parámetros necesarios para describir los elementos del sistema de combustible, tales como las geometrías y características físicas e intrínsecas de los fluidos. A partir de los resultados de estos estudios, se diseñaron y construyeron dispositivos antipogo, antisloshing y antivortex adaptados a un vehículo particular en estudio.

Bibliografía

1. Bohdan, W. Oppenheim, Rubin, S., "Advanced Pogo Stability Analysis for Liquid Rockets". Journal of Spacecraft and Rockets. Vol. 30, Nº 3, May – June 1993.
2. Bruno, Scarabino, Bacchi, "Diseño De Dispositivos Anti-Sloshing Para Un Vehículo Espacial De Combustible Líquido", Congreso de Fluidos 2012, 2012.

ESTUDIO NUMÉRICO DEL FLUJO EN TOBERAS SUPERSÓNICAS DE DISTINTA GEOMETRÍA

Ho, Yen K., Jauregui Lorda, Matías*, Santoiani, Gastón E., Bacchi, Federico A. y Scarabino, Ana E.

Grupo de Fluidodinámica Computacional, GFC, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Argentina, matias.jaureguilorda@ing.unlp.edu.ar
* Comisión de Investigaciones Científicas, Ministerio de la Producción, Ciencia y Tecnología, Provincia de Buenos Aires, Calle 526 esquina 10, 1899 La Plata, Argentina

Palabras Claves: CFD, Tobera, Pluma

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se analiza en forma numérica el flujo de gases de combustión en una tobera supersónica cónica de radio corto; y su descarga, expansión y mezcla en la atmósfera para una relación de presiones correspondiente a la condición de diseño. A raíz de estos valores se rediseña la geometría de la misma y se comparan los resultados obtenidos para dos formas de las toberas: cónica de paredes rectas, y acampanada. También se realizan simulaciones comparativas entre un modelo bidimensional con axialsimetría y uno tridimensional completo.

El estudio de la pluma de una tobera de un motor tiene por objetivo no solamente conocer la evolución de ciertos parámetros a la salida de la tobera, sino que también es una manera de establecer criterios para aumentar la eficiencia de la misma, desde el punto de vista del empuje, temperaturas, concentración de presiones en las inmediaciones de la campana, detectar problemas de desprendimientos de flujo dentro de la misma, estudiar el efecto de la temperatura en el entorno del motor, etc. (Rao, 1958; O'Leary et al, 1992) Estas variaciones de temperatura en esa zona pueden afectar componentes mecánicos y de aviónica que se encuentran en las inmediaciones (Simmons, 2000). También genera cambios en la densidad y viscosidad del aire circundante, lo que implica cambios en la resistencia de base de la zona en cuestión.

El contorno de una tobera divergente tiene una gran importancia para la performance de una tobera debido al campo de altas velocidades involucradas. La selección de una óptima geometría, para una relación de áreas en particular, se ve influenciada por diversos factores: flujo paralelo, axial y uniforme en el plano de salida de la tobera para obtener un vector de empuje máximo, mínima separación y pérdidas por flujos turbulentos dentro de la tobera, mínima longitud posible de la tobera que determina menor peso, pérdidas por fricción en la pared y requerimientos de enfriamiento. (Huzel et al, 1992)

METODOLOGÍA

La longitud de una tobera acampanada generalmente se da como un porcentaje de la tobera cónica de referencia, la cual deberá tener misma relación de áreas. Rao (1958) determinó, mediante el método de las características, que una parábola es una buena aproximación a la curva de las toberas acampanadas y que se puede graficar curvas en donde se aprecia el incremento del factor de corrección al empuje, que es la relación entre el empuje de dicha tobera y el empuje de una tobera ideal adaptada.

Tomando la longitud de la tobera cónica con 15° se calculó una tobera acampanada con la misma longitud y relación de áreas de la cónica. Esto nos determinó una geometría acampanada de la tobera que se muestra en la Figura 1, contrastándola con la tobera cónica de referencia a 15º.

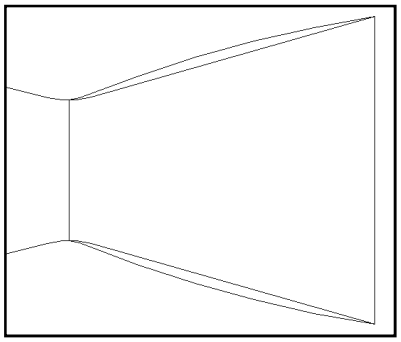


Figura 1 – Geometría de la tobera cónica y la acampanada

La expansión en una tobera con forma de campana es más eficiente debido a que se diseña para minimizar las pérdidas. En este tipo de tobera se tiene, luego de la garganta, un gran ángulo de expansión seguido de una disminución del ángulo de la pared del contorno. Este gran ángulo de expansión luego de la garganta se puede lograr gracias a que la gran presión relativa, gran gradiente de presión y la rápida expansión del fluido, no permite separaciones en esta región exceptuando que haya discontinuidades en el contorno de la tobera.

Por este motivo se decide investigar el flujo en las dos geometrías de tobera, para comparar no sólo el empuje sino también posibles variaciones en la configuración de la pluma que puedan afectar las características de vuelo y la estructura del vehículo.

Las simulaciones se realizaron con el software Ansys Fluent 13, en particular para los casos 2D se contó con una malla de 167000 elementos aproximadamente. En el interior de las toberas el mallado fue estructurado y se realizó con elementos de aproximadamente 1 mm de lado, refinando el mallado en la pared. El mallado de la zona de la pluma y en la zona exterior se realizó con elementos triangulares. La Figura 2 muestra la malla utilizada en la tobera acampanada. La discretización fue similar en la tobera cónica.

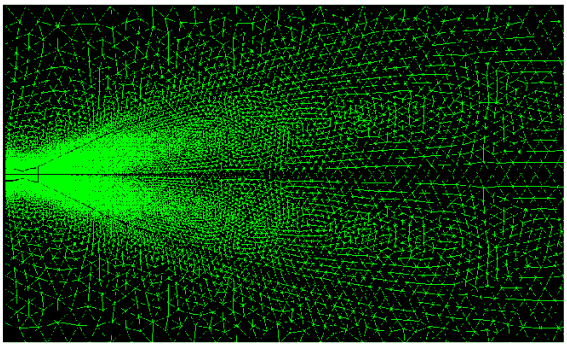


Figura 2 – Vista del dominio mallado completo para la tobera tipo campana

El modelo 3D incluye en su dominio de cálculo el motor con su respectiva estructura de empuje. Dicho dominio está constituido por un cilindro con un diámetro de unos 180 metros y se extiende unos 300 metros hacia atrás del motor. El mallado tiene un total de 2.700.000 elementos distribuidos con una mayor densidad en la zona del motor y la pluma, de manera de optimizar el aprovechamiento de los recursos computacionales y poder modelar satisfactoriamente la estela generada aguas abajo. Este mallado se utilizo para inicializar los cálculos numéricos y se efectuarán posteriores refinamientos de mallas en el caso de que éstos mismos sean necesarios.

Se emplearon tres modelos de turbulencia para el caso de estudio: k-epsilon (Realizable), k-omega (SST - Shear Stress Transport) y Spalart-Allmaras (Vorticity-Based Production). A diferencia de los dos primeros, que modelan la turbulencia a través de dos ecuaciones adicionales de transporte, el modelo de Spalart-Allmaras utiliza sólo una, por lo que el tiempo de cómputo es menor y es por ello que modelo ha adquirido popularidad en la resolución de problemas de flujo compresible.

La simulación se realizó para $\frac{P_{amb}}{P_0} = 0{,}031$, $\frac{T_{amb}}{T_0} = 0{,}086$ y $\frac{A_{descarga}}{A^*} = 4{,}785$.

Para la simulación se empleó el solver basado en presiones en régimen estacionario con discretizaciones espaciales de segundo orden y un acoplamiento presión-velocidad “coupled”. Además de esto, se verificó la independencia de malla y se utilizó el modelo multiespecie “Species Transport” para definir la interacción de los gases de combustión y el aire.

Una vez realizadas las simulaciones, se efectuó un análisis unidimensional teórico en la tobera considerando al flujo como isoentrópico, pero modificando la relación de calores específicos para cada punto estudiado sobre el eje de la tobera. Las conocidas ecuaciones de este modelo son las correspondientes a flujo isoentrópico unidimensional de un gas perfecto. (Shapiro, 1953). A raíz de esto, se compararon las gráficas obtenidas mediante el análisis 1D del número de Mach, temperatura y presión en la tobera acampanada con las gráficas obtenidas mediante los tres modelos de turbulencia utilizados en la simulación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las diferencias observadas entre los tres modelos de turbulencia concuerdan con lo visto en trabajos previos (Bacchi et al, 2011). Es por ello que debido a las similitudes observadas anteriormente, compararemos los resultados obtenidos solamente con el modelo k-omega.

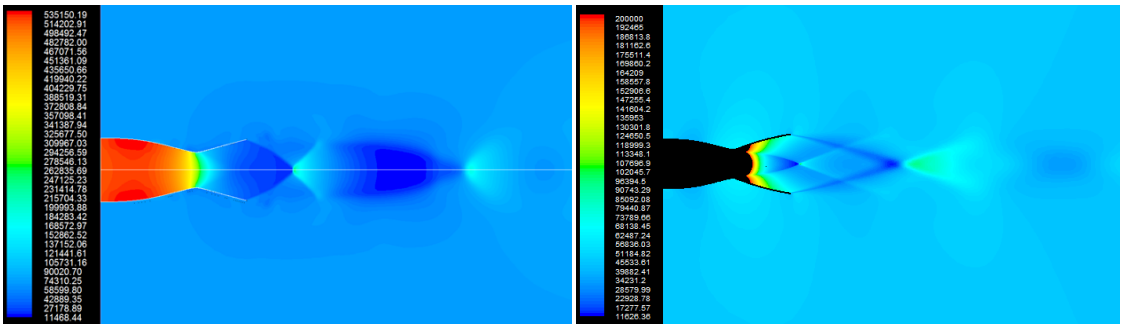


Figura 3 - Comparación del campo de presión estática para tobera cónica (der.) y acampanada (izq.)

Comparando el flujo de la pluma de la tobera acampanada con el de la tobera cónica a 15°, se observa en la Figura 3, en el chorro de descarga de la tobera acampanada, una estructura formada por las ondas de choque cónicas y discos de Mach generados cuando estas ondas convergen. Estos patrones se denominan “shock diamonds” debido a su geometría. Debe señalarse que en dicha figura, para la tobera acampanada, la escala de colores se modificó para resaltar las bajas presiones, de manera de poder visualizar estos patrones característicos de una descarga supersónica. Podemos ver que la estructura es similar a la formada en la descarga de la tobera cónica, sin embargo, la intensidad de las compresiones y expansiones sucesivas en el chorro es mucho menor en el caso de la tobera acampanada. La Figura 4, que muestra la distribución de temperatura en el chorro de descarga con escalas de temperaturas comparables para ambas toberas, resalta la mayor homogeneidad del campo de flujo de la tobera acampanada, donde las variaciones debidas a la estructura del chorro son mucho menores. De esta manera se verifica que con la tobera acampanada se obtiene una descarga más uniforme, por lo que la misma se diseña para minimizar las pérdidas y maximizar la eficiencia en el empuje.

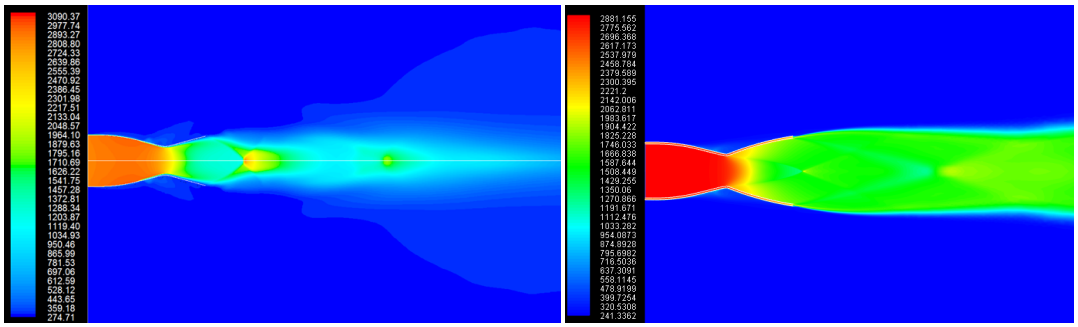


Figura 4 - Comparación del campo de temperatura estática para tobera cónica (der.) y acampanada (izq.)

En la región convergente, de flujo subsónico, se observa que la aproximación 1D concuerda de forma notable con los resultados del modelo numérico axialsimétrico sobre el eje de la tobera. Las diferencias en los resultados se hacen manifiestas en la región divergente, donde el flujo es supersónico. Cabe aclarar que la garganta de la tobera se encuentra en x/L = 0.5.

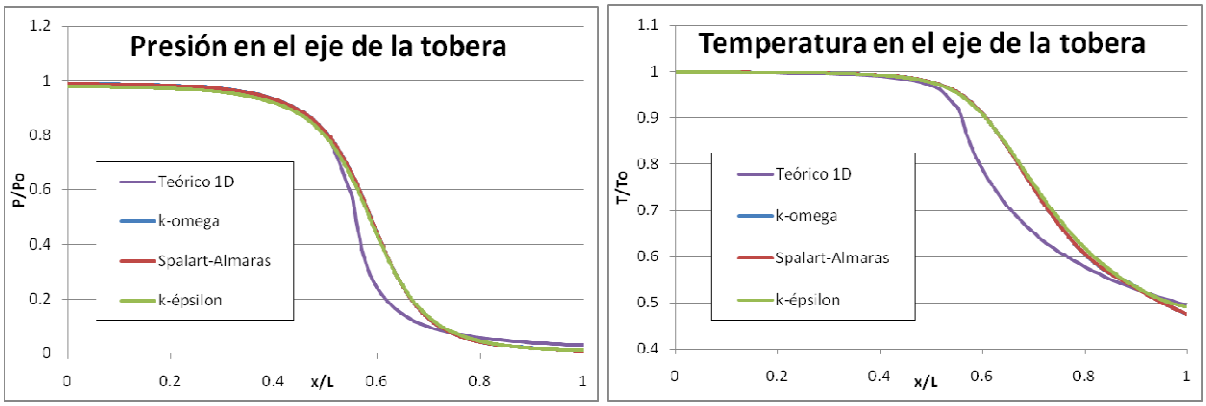


Figura 5 - Presión y Temperatura en el eje de la tobera para la geometría con forma de campana.

En la Figura 5 se observa, para la tobera acampanada, cómo una vez pasada la garganta, el modelo ideal unidimensional predice un aumento de la velocidad y diminución de la presión y temperatura más rápidos inicialmente y más lentos después que los modelos numéricos. Esto se debe a que dicho modelo teórico no contempla las ondas de expansión bidimensionales producidas dentro de la tobera y solamente calcula las variables en función del área de la sección normal al flujo medio.

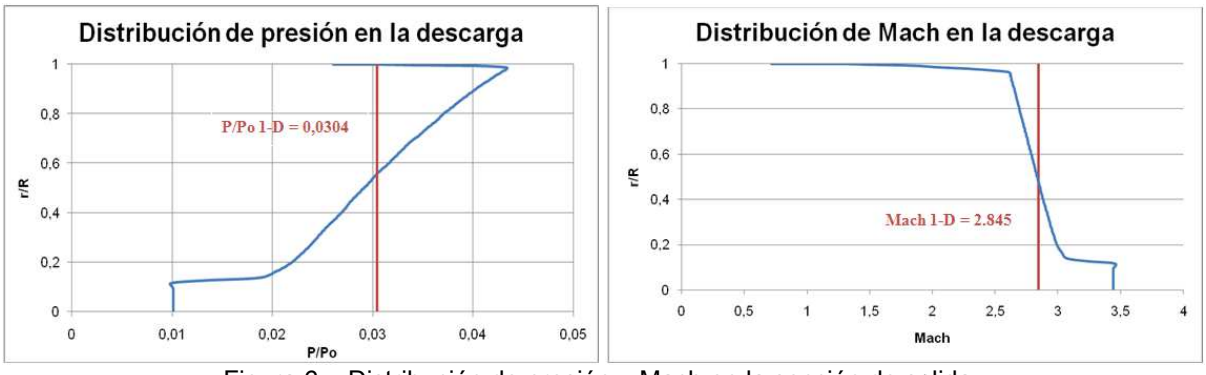


Figura 6 – Distribución de presión y Mach en la sección de salida.

La Figura 6 muestra la variación radial de la presión y el número de Mach en la sección de salida. Es evidente que tanto la presión como el Mach varían localmente y se apartan considerablemente del valor único predicho por la teoría 1D, la que, sin embargo, brinda una aproximación razonable a los valores promedio en la sección.

El salto de presión en la posición r/R = 0.1 es producido por el cono de ondas de expansión originadas al inicio de la sección divergente. Además de este efecto característico de desvíos de corriente axialsimétricos, se observa que el perfil de P/Po muestra variaciones de hasta un 100 % (entre 0.02 y 0.04), por lo que el modelo 1D no es aplicable fuera de una simple aproximación integral para el diseño. La disminución brusca de presión que se observa en la región inmediata a la pared está originada por el segundo cono de expansión (visible en la Figura 3), al descargar el flujo a la atmósfera. La forma de la distribución del número de Mach en la sección de descarga se explica por las mismas razones en la región interior: la expansión sobre el eje, hasta r/R = 0.1 produce el incremento de 3 a 3.4 y la expansión bidimensional axialsimétrica en la tobera explica la variación gradual entre r/R = 0.1 y la cercanía de la pared. Sobre esta última, los efectos de fricción en la capa límite generan la reducción de velocidad observada, que tampoco contempla la aproximación de flujo isoentrópico ideal 1D.

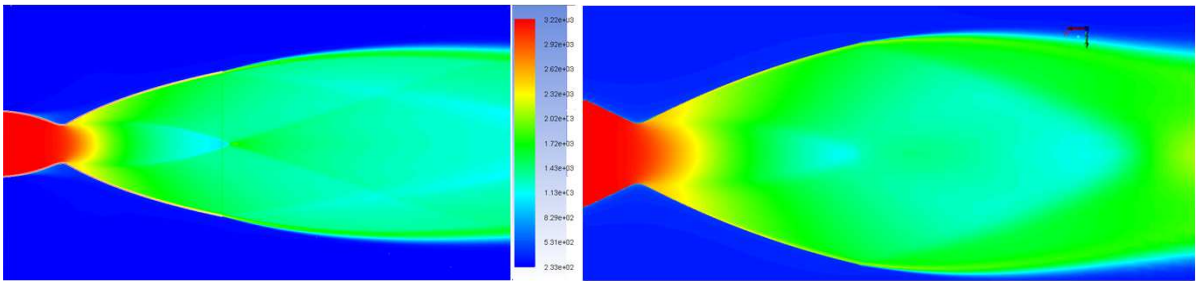


Figura 7 - Comparación de la temperatura de gases de escape entre modelo bidimensional axialsimétrico (izq.) y modelo 3D (der.)

En la Figura 7 se presenta una comparación del campo de temperaturas de la pluma del motor entre el modelo bidimensional axialsimétrico y el modelo tridimensional. Puede observarse, en general, una importante similitud entre ambos resultados, difiriendo especialmente en lo abrupto de los saltos de temperatura y presión que se dan en las ondas de choque del modelo bidimensional. En el modelo 3D se observan ondas de choque con distribuciones similares pero mucho menos marcadas, lo cual estamos analizando que se debe principalmente a que en un modelo 2D la expansión de una onda esta limitada a una línea de manera que es mucho mas notoria que en el caso tridimensional donde una onda debe desarrollarse en el espacio.

CONCLUSIONES

Al comparar los resultados de la simulación 2D axial simétrica con los teóricos del modelo de flujo ideal isoentrópico 1D, se detectan las discrepancias debidas a la configuración bidimensional con ondas de expansión en la sección divergente y en la descarga. El modelo 2D pone en evidencia estas ondas, las ondas de compresión y de choque en la pluma, que conforman la configuración clásica con forma de diamante de las ondas de choque típica de toberas supersónicas. La simulación numérica con el modelo multiespecie fue capaz de reproducir estas estructuras.

La tobera con forma de campana genera un campo de flujo mucho más uniforme a la salida del motor que la equivalente con forma cónica, como se observa en las imágenes tomadas, tanto del campo de velocidades, como los correspondientes de temperatura y presión. De igual manera se verifica, como era de esperarse, una expansión más gradual de los gases de

combustión en la sección divergente de la tobera con forma acampanada en relación a la cónica, esperándose así una notable mejora en la performance de la tobera.

En un trabajo a futuro se buscará optimizar el diseño de la tobera acampanada, debido a que si bien se obtuvo una mejora notable en el impulso, en esta instancia se realizó una aproximación mediante una parábola, lo cual nos brinda la incógnita de si se puede lograr aún un mejor ajuste. También se investigarán los efectos de transferencia térmica en la capa límite de la tobera y el flujo de descarga.

Los resultados de la simulación 3D son todavía preliminares, ya que al momento de realizar este informe aun es necesario realizar algunos ajustes al modelo y refinamientos de mallado en las zonas donde existen gradientes de presión y temperatura altos.

BIBIOGRAFÍA

Bacchi, F., Suarez, S., Scarabino, A., Análisis Numerico del flujo en una tobera supersónica. Primeras Jornadas de Invetgación y Transferencia - Facultad de Ingeniería-UNLP. Abril 2011.
Britton, J. O., 2-D Nozzle Design. *Department of Aero/Astro, Stanford University*. 2007.
Ferziger J.H. y Peric M, Computational Methods for Fluid Dynamics, 3rd ed. Springer, 2002.
Hagemann, G., Immich, H., Van Nguyen, T., Dumnov, G. E., Advanced Rocket Nozzles. *Journal of Propulsion and Power,* Vol. 14, No. 5, Septiembre 1998.
Huzel, D. K., Huang, D. H., Modern Engineering for Design of Liquid-Propellant Rocket Engines. *AIAA, American Institute of Aeronautics and Astronautics,* Washington, USA. 1992.
O'Leary, R. A., Beck, J. E., Nozzle design. *Rocketdyne's engineering journal of power technology, Pratt and Whitney*, No. 8, 1992.
Rao,G. V. R.,Exhaust Nozzle Contour for Optimum Thrust.*Jet Propulsion*, Vol. 28, pp. 377-382, Junio 1958.
Rao,G. V. R., Recent Developments in Rocket Nozzle Configurations.*ARS Journal*, Vol. 31, No. 11, pp. 1488-1494, Noviembre 1961.
Shapiro, A. The dynamics and thermodynamics of compressible fluid flow, Vol I, *Wiley*, 1953.
Shapiro, A. Dynamics and thermodynamics of compressible fluid flow, Vol II, *Krieger Pub Co*, 1983.
Simmons, F. S., Rocket Exhaust Plume Phenomenology. *The Aerospace Press, American Institute of Aerospace and Astronautics,* 2000.
Sutton,G. P., Biblarz, O.,Rocket Propulsion Elements.*John Wiley & Sons.*2001.
Wilcox, D. C., Turbulence Modeling for CFD.*DCW Industries*, La Cañada, USA, 2nd ed.,1998

ANALISIS FLUIDODINAMICO DE INYECTORES BI-PROPELENTES

Haroldo Dabin, Leonardo Armas, Federico Bacchi

UID Grupo Fluidodinámica Computacional, GFC, Depto. Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 e/ 47 y 48
haroldo.dabin@ing.unlp.edu.ar, leonardo.armas@hotmail.com

Palabras Claves: CFD, Inyector, combustible, oxidante.

INTRODUCCIÓN

Debido a que el sistema de propulsión de un cohete opera en ambientes de bajo contenido de oxígeno, se deberá inyectar oxidante junto con el combustible. Esto justifica el uso de inyectores Bi-Propelentes.

Para maximizar la eficiencia de este motor siempre es necesaria la distribución homogénea del combustible y el oxidante y su inyección en proporciones exactas.

Otro problema a afrontar es la pérdida de carga, esto es la pérdida de presión total debida a resistencias y fricciones viscosas, en los fluidos que deben atravesar pequeños orificios a velocidades relativamente altas. Al minimizarse la pérdida de presión de los fluidos se puede minimizar el trabajo implicado en la bomba de combustible aparejando así un mejor rendimiento global del sistema.

El objetivo del presente trabajo es determinar la caída de presión generada en las agujas de estos tipos de inyectores, como así también analizar la interacción entre ambos fluidos en la descarga.

Se presenta primero la discretización del dominio 3D del problema (mallado), luego las características del problema: condición de operación, condiciones iniciales, propiedades de los fluidos que intervienen y características numéricas para la resolución.

Por último, se presentan los resultados obtenidos con campos de velocidades, de presión y fracciones volumétricas de los propelentes. También se grafican las líneas de corriente para comprender mejor la interacción entre los fluidos.

METODOLOGÍA

Geometría

Del dominio completo del inyector sólo se procederá a analizar uno de los cabezales de inyectores debido a la cantidad de recursos que llevaría analizar el dominio en su totalidad.

Modelo y condiciones utilizados

La partición del dominio se realiza en tres grupos principales: Combustible, oxidante y cámara de combustión (Fig. 1) . Estos a su vez en varios volúmenes. La mayoría de los volúmenes se mallaron de manera estructurada a excepción de aquellos que por su complejidad se ha tenido que recurrir a tipos no estructurados. También se ha necesitado la creación de interfaces para permitir el refinamiento en las zonas críticas (o de notables gradientes de presiones y velocidades) y en las zonas de transición de mallas estructuradas a no estructuradas.

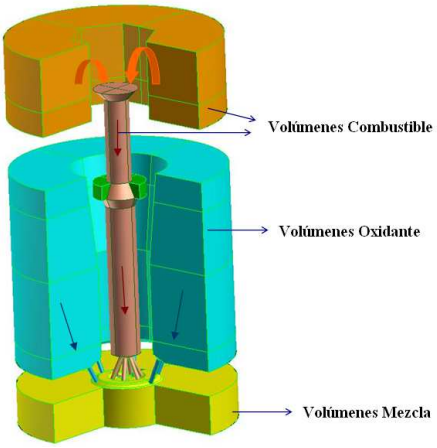


Figura 1. Partición del dominio

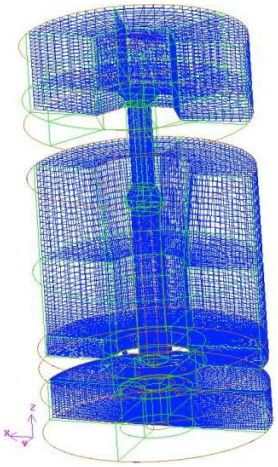


Figura 2. Mallado completo

Mallado del modelo

El dominio completo fue discretizado en aproximadamente 866.000 elementos. En la Figura 2 se presenta una perspectiva en corte de un plano longitudinal del mallado del mismo.

La calidad del mallado no supera un “skewness” de 0.7 en el 99,6 % de los elementos (lo cual es una calidad adecuada para elementos 3D). En la Figura 3 se detallan dicha variación de la calidad en las agujas del inyector.

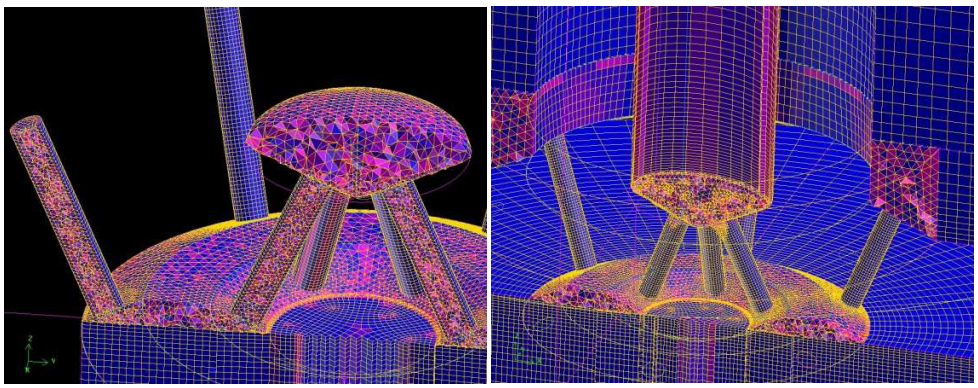


Figura 3. Calidad del mallado

Cálculos realizados

Mediante CFD se determina el campo fluidodinámico de un inyector, cuya posición en el conjunto es genérica, para obtener la distribución de presiones para el estado de carga nominal. También se analiza el comportamiento del los distintos fluidos y la interacción entre los mismos.

Se tuvo en cuenta las tensiones superficiales del combustible y el oxidante con respecto al aire, como así las propiedades de cada uno de ellos en la configuración de los materiales en base a datos de los mismos.

Condiciones de cálculo

El presente análisis se realizó para el estado de carga nominal, es decir, presión en el domo de combustible y oxidante de 42 Bar y descarga en la cámara de combustión con presión de 22,5 Bar.

Flujo multifásico de 3 fases: Combustible, oxidante y aire.

Condiciones de Borde
Presión de Combustible: 42 Bar
Presión de Oxidante: 42 Bar
Presión cámara de combustión: 22,5 Bar

Características físicas de los propelentes
Densidad del Combustible: 1001.6 kg/m^3
Densidad del Oxidante: 1567.4 kg/m^3
Viscosidad dinámica del combustible: 0.0008898 Pa-s
Viscosidad dinámica del oxidante: 0.0015312 Pa-s
Tensión superficial del combustible: 0.065992 N/m
Tensión superficial del oxidante: 0.04113628 N/m

Características del solver:

Para la simulación se empleó el solver basado en presiones con discretizaciones espaciales de segundo orden y un acoplamiento presión-velocidad “PISO”.

Se configuró con un modelo de turbulencia k-epsilon, flujo incompresible (dado que son líquidos y las velocidades son relativamente bajas comparadas con la del sonido correspondiente a tal líquido) y modelo multifásico de 3 fases.

El modelo se resuelve como no-estacionario, (parte de una condición inicial en la cual la cámara se encuentra llena de aire solamente), donde el paso de tiempo (time step) se configura de manera adaptativa de manera tal que el número de Courant no supere el valor de 20. Esto se traduce en pasos de tiempo muy pequeños, del orden de $1x10^{-6}$ segundos, pero se asegura la convergencia de la solución.

Además, por las velocidades de los jets a la salida de las agujas hacen que el tiempo necesario para que se desarrolle por completo y atraviese la totalidad de la cámara de combustión que se definió para este modelo (no el real) es del orden de 2 $x10^{-4}$ segundos. Por ello, con un procesamiento de 7 $x10^{-4}$ segundos se ha considerado suficiente para la presentación de los resultados.

RESULTADOS

Se presenta en principio el campo de presiones en todo el dominio y la variación del mismo a lo largo de las agujas de combustible y del oxidante. Luego se presentan los campos de velocidades, las fracciones volumétricas del combustible y oxidante, y por último las líneas de corriente para comprender la interacción entre los propelentes.

Campo de presiones

En la Figura 4 se visualiza el campo de presiones estática en el dominio completo, donde se puede verificar la correspondencia con los valores fijados como condiciones de borde previamente.

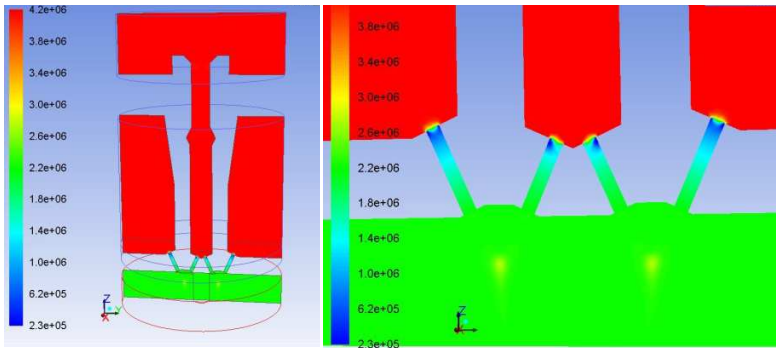


Figura 4. Campo de presiones estática.

Puede verse también la marcada caída de presión en los orificios de inyección debidas a las pérdidas por fricción.

La caída de presión en las agujas de combustible es de aproximadamente 720 KPa en promedio, ya que en toda la cara existen un rango de presiones mientras que la caída de presión en las agujas de oxidante es de aproximadamente 400 KPa.

Se debe aclarar que estos valores son preliminares y que se realizaron cálculos también con una presión de cámara de 1 Bar donde se localizaron posibles fenómenos de cavitación. Los cuales podrían ser analizados en estudios posteriores.

Fracción volumétrica del combustible

En la Figura 5 se visualizan los valores de fracción en volumen del combustible.

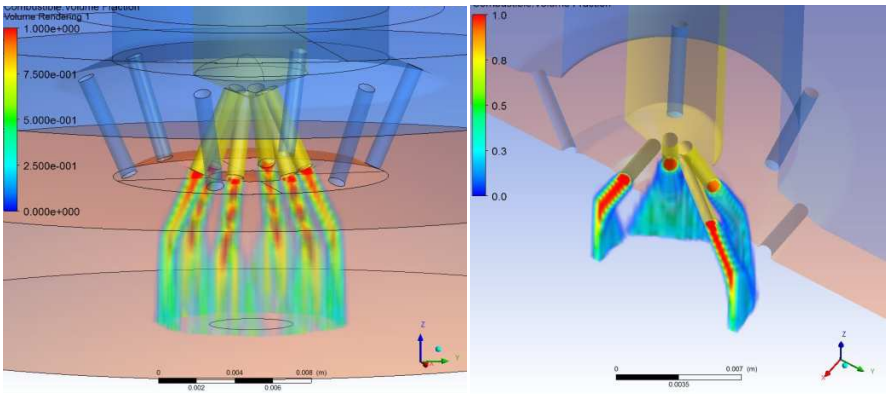


Figura 5. Fracción volumétrica del Combustible 3D, completo y en corte.

Fracción volumétrica del oxidante

En la Figura 6 se visualizan los valores de fracción en volumen del oxidante.

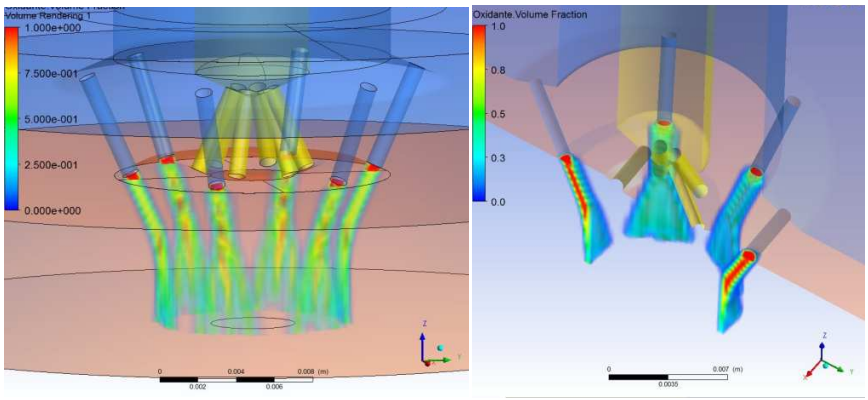


Figura 6. Fracción volumétrica de Oxidante 3D, completo y en corte.

Líneas de corriente

Para entender mejor la interacción entre combustible-oxidante-aire, se muestran las líneas de corrientes (streamlines) coloreadas en función de la velocidad en la Figura 7.

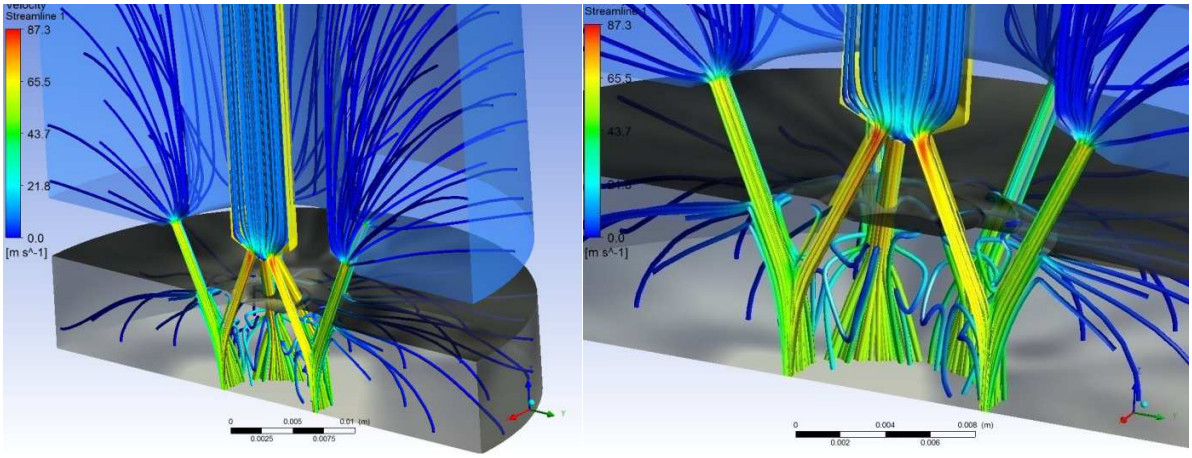


Figura 7. Líneas de corriente general. Y detalle en la descarga.

CONCLUSIONES

Se verificó una caída de presión importante en las agujas de los inyectores, que era de esperar por la gran diferencia de presiones que se presentaban.

Se visualizó como se mezclan los flujos al presentar los porcentajes de fracciones volumétricas de los propelentes.

Se pudo observar, a través de las líneas de corriente, como el aire de la cámara de combustión se ve afectado por los "jets" de combustible y oxidante; provocando vórtices en la cámara de combustión.

Por último, se detectaron posibles regiones de cavitación producto de la caída abrupta de presión (por debajo de la presión de vapor del líquido) a la entrada de las agujas; las cuales pueden llegar a ser analizadas en posibles trabajos futuros.

Bibliografía.

Gill, G. S.; Nurick, W. H., Liquid rocket engine injectors. *NASA* 1976
Sutton,G. P., Biblarz, O.,Rocket Propulsion Elements.*John Wiley & Sons.*2001.
Turner, M., Rocket and Spacecraft Propulsion. *Springer*. 2009
Yang, V., Anderson W., Liquid Rocket Engine Combustion Instability. *AIAA*

Estudios de cargas dinámicas sobre una placa plana oscilante en régimen supersónico mediante CFD

Delgado C. Emilio, Armas Leonardo, Bacchi Federico

Grupo de Fluidodinámica Computacional, Universidad Nacional de La Plata, Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Argentina, carlos.emilio.delgado@gmail.com

carlos.emilio.delgado@gmail.com

Palabras clave: Placa plana, flujo supersónico, oscilaciones, CFD

Introducción: Las cargas aerodinámicas sobre superficies sustentadoras originan deformaciones elásticas sobre las mismas, deformaciones que modifican la distribución de presiones en un proceso que suele realimentarse. Frecuentemente aparecen deformaciones dinámicas en la forma de vibraciones, y esto hace que las fuerzas resultantes varíen en forma periódica y alcancen valores que difieren de aquellos cuasi-estáticos obtenidos con la superficie sin deformar. Las vibraciones autoexcitadas derivadas de fenómenos aeroelásticos pueden ser destructivas (flutter), o, sin llegar a este extremo, pueden afectar la estabilidad o gobernabilidad de un vehículo aéreo o aeroespacial. Resulta de importancia entonces el estudio de estas cargas dinámicas, su comprensión y cuantificación. En el caso particular de flujos transónicos y supersónicos, la aparición de ondas de choque vinculadas a las aceleraciones locales del flujo modifica sustancialmente el campo dinámico de presiones sobre la superficie, requiriendo estudios detallados de su comportamiento variable en el tiempo (Dotson et al, 2000).

Para pequeños ángulos de ataque es posible utilizar la teoría de flujo potencial para determinar la presión y velocidades las regiones cercanas a la placa.Las ecuaciones para analizar esta situación en su forma integral son conocidas, pero su complejidad vuelve dificultosa su interpretación física. Existe también una teoría no lineal de segundo orden para pequeñas oscilaciones aplicable a perfiles de forma arbitraria.Dicha teoría fue desarrollada por Van Dyke (1953).

En este trabajo se analiza el comportamiento del flujo, los coeficientes aerodinámicos resultantes y la distribución de presiones sobre una placa plana oscilando a diferentes frecuencias para ángulos de ataque comprendido entre -2º y 2º. La simulación numérica de flujos supersónicos viscosos presenta dificultades asociadas a la combinación de altos números de Mach y de Reynolds y una capa límite turbulenta de muy pequeño espesor. Esto requiere refinamientos de malla tanto en la capa límite como en la región donde aparecen ondas de choque, debido a los elevados gradientes de velocidad en esas zonas (Bungartz y Schäfer, 2006). La simulación de una placa oscilante introduce la complejidad adicional de que las ondas de choque cambian su posición, requiriendo un mallado dinámico capaz de capturarlas en cada instante de tiempo.

Metodología: Dada la complejidad del fenómeno en estudio se procede a la resolución numérica del mismo. Para calcular el campo de presiones y velocidades se dividió el dominio en dos partes: un dominio exterior fijo con una malla no estructurada y un dominio interior móvil, en el cual se encuentra contenida la placa plana, con una malla no estructurada, y un mallado de capa límite en las cercanías de la misma. Se utilizó un modelo bidimensional, con una malla no estructurada de 150000 elementos. El dominio se divide en un sector fijo y otro, que rodea la placa, que rota alternativamente acompañando las oscilaciones de la misma. Para la resolución del problema se emplearon discretizaciones de segundo orden y temporales de primer orden. El paso de tiempo se ajustó en cada caso al periodo de oscilación, de forma de tener no menos de 2000 pasos temporales por ciclo.

Las oscilaciones de la placa en estudio se generaron de dos formas; mediante la rotación de una sección de la malla en la que se encuentra contenida la placa y mediante la variación de las condiciones de contorno del problema. En ambos casos se supone una oscilación del tipo sinusoidal. Se estudiaron inicialmente los casos correspondientes a una frecuencia reducida $\omega_r = \frac{L*\omega}{U}$ (ω es la frecuencia angular de oscilación, L es la cuerda de la placa y U la velocidad de la corriente libre), mucho menor que 1, donde los resultados aproximan desplazamientos cuasi-estacionarios. Se realizó un estudio teórico para los distintos ángulos de ataque en régimen estacionario de los coeficientes aerodinámicos, que se comparó con las posiciones de la simulación numérica para validar los parámetros del modelo. Luego se compararon los coeficientes aerodinámicos de las posiciones estáticas con los de posiciones no estacionarias. Posteriormente se estudiaron frecuencias reducidas mayores, mediante rotación de la malla solidaria a la placa.

Debido a que no es posible refinar el dominio al utilizar una malla dinámica, se realizó un refinamiento previo (figura 1), en la zona en la cual se espera la presencia de ondas de choque y ondas de expansión, sin modificar el mallado en el las cercanías de la placa para no alterar los parámetros validados anteriormente para el caso estacionario.

En todos los casos se utilizó el modelo *"k-ε realizable*", el cual, como se comprobó, se ajustó adecuadamente para el cálculo de Cd. Se utilizó un paso de tiempo de 1e-6 s para todos los casos, de forma tal de no inducir errores asociados a cambios de un paso de tiempo a otro para cada de estudio. La viscosidad se representa con la ley de Sutherland de tres parámetros.

Para el mallado y cálculos se utilizó la suite Ansys Research, bajo licencia del Grupo Fluidodinámica Computacional, GFC, del Departamento Aeronáutica de la Facultad de Ingeniería de la UNLP´

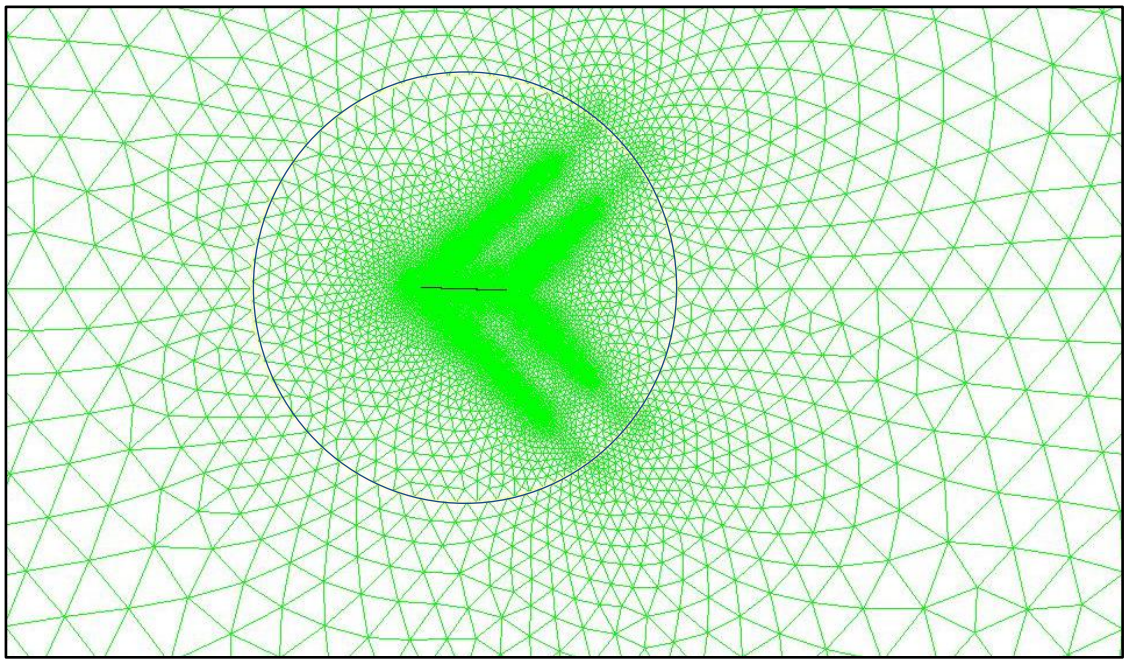


Figura 1: Detalle del refinado realizado para capturar ondas de choque con el movimiento oscilatorio de la placa plana.

Resultados: Todos los casos corresponden a un número de Mach de la corriente incidente igual a 1.5 y un número de Reynolds de 3.4E7. En los casos estudiados de baja frecuencia reducida, no se observan variaciones superiores al 2% en los valores de coeficiente de sustentación, Cl comparando los valores teóricos con aquellos valores obtenidos mediante CFD para una frecuencia de 10Hz(ω_r=0.12), mientras que para los valores correspondientes al coeficiente de resistencia, Cd, la diferencia entre los valores simulados y calculados se encuentra como máximo en 15% para aquellas posiciones correspondientes a ángulos de ataque menores a 1º, discrepancia que se considera aceptable debido a la dificultad de estimar dicho valor teórico en movimientos oscilatorios. La figura 2 presenta Cl vs Cd para movimientos cuasi estacionarios (ω_r<0.12), tanto los valores teóricos como los obtenidos en forma numérica.

Para el caso no estacionario se presentan los valores máximos de Cl máximo (figura 3) y Cd máximo (figura 4). Se puede observar una reducción de los mismos a medida que crece la frecuencia, con una tendencia bien marcada. En la figura 5sobre la columna izquierda se observan la distribución de presión mientras que en la columna derecha se observa la distribución del número de Mach, la primera fila corresponde a ω_r = 0.6, mientras que la segunda ω_r =3.01. En la figura 6 y Figura 7 se presenta la variación de Cl y Cd para frecuencias reducidas próximas a 0 y para las mismas iguales a 6

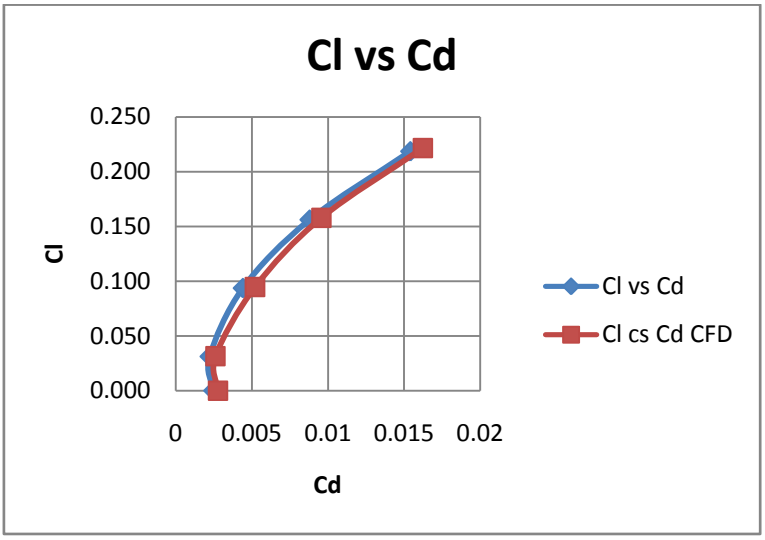


Figura2: Cl vs Cd teórico y numérico (CFD) para el caso estacionario

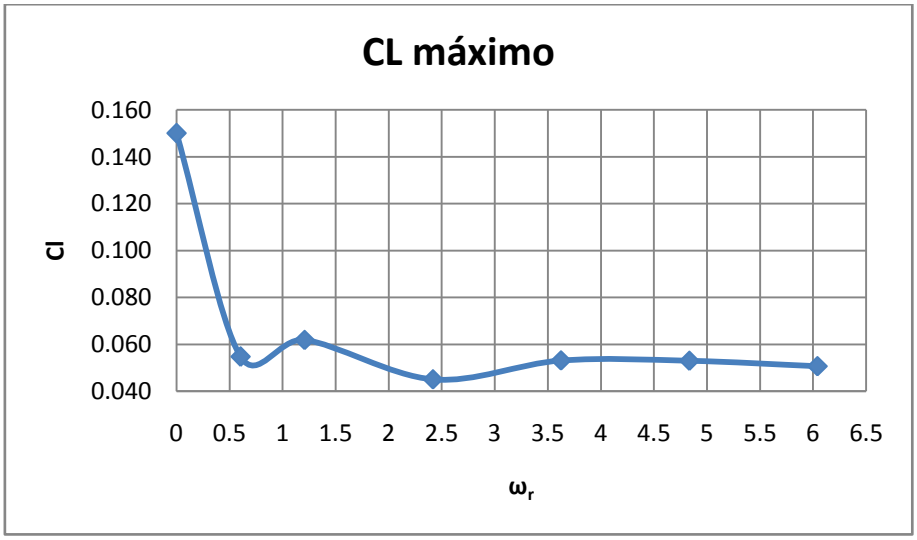


Figura 3: Cl máximo para cada frecuencia reducida

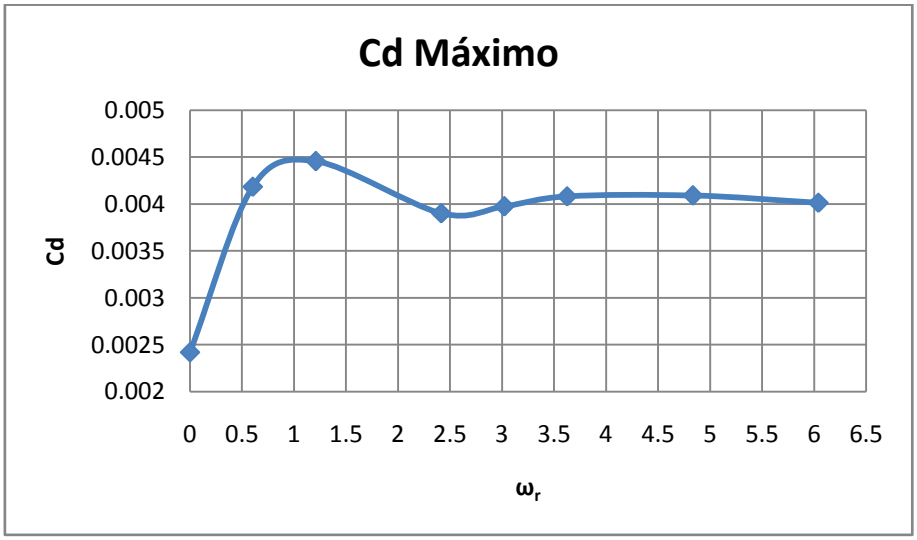


Figura 4: Cd máximos en función de la frecuencia reducida

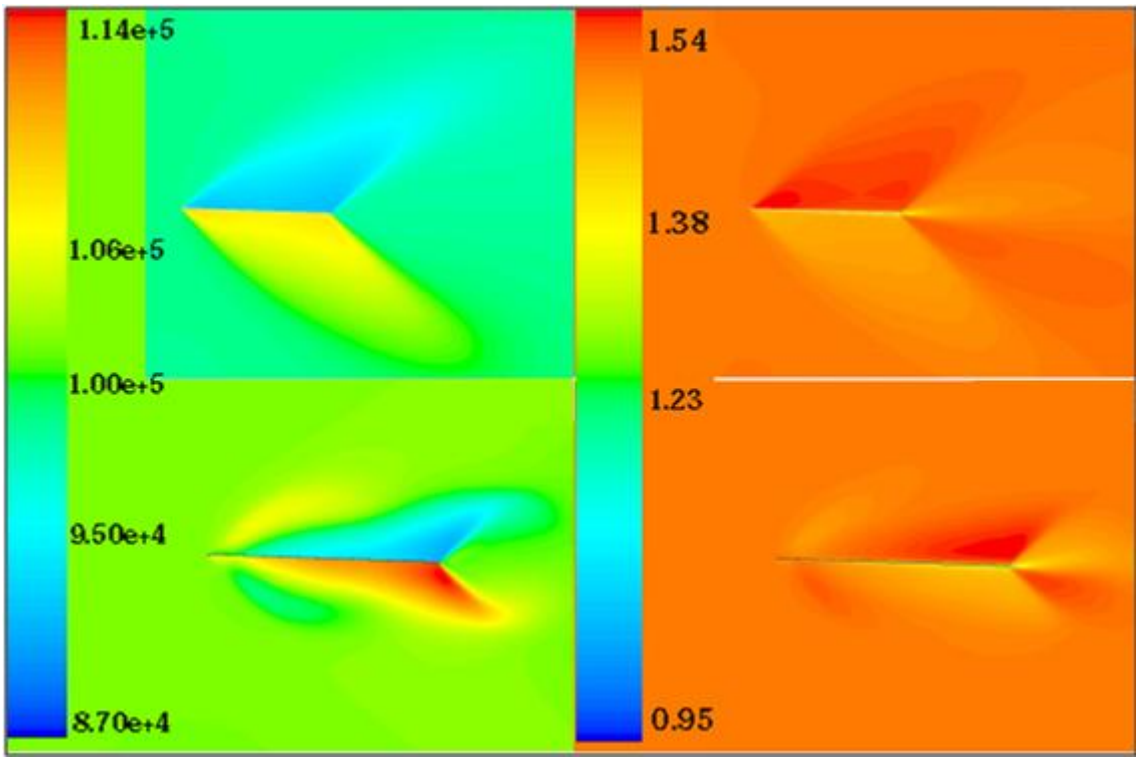


Figura 5: Distribución de presión (izquierda) y número de Mach (derecha) para la misma incidencia 1.9º y ω_r = 0.6 (arriba) y ω_r = 3 (abajo)

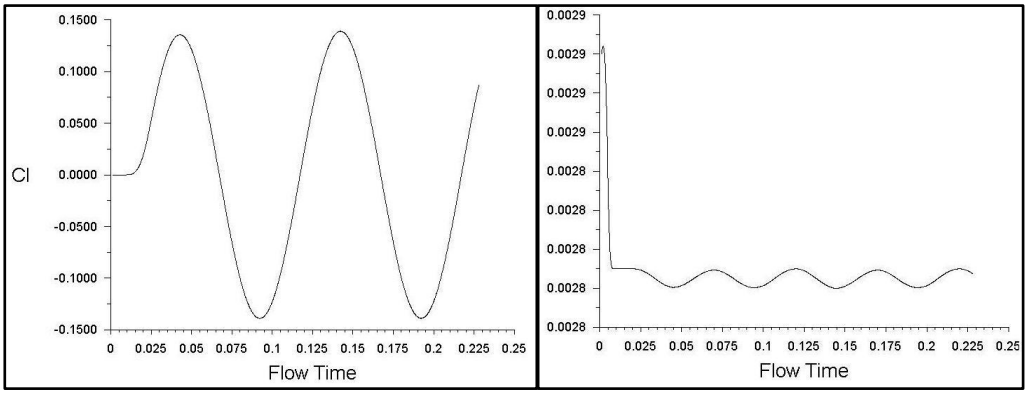


Figura 6: Variación de Cl y Cd en el tiempo para ω_r =0.12

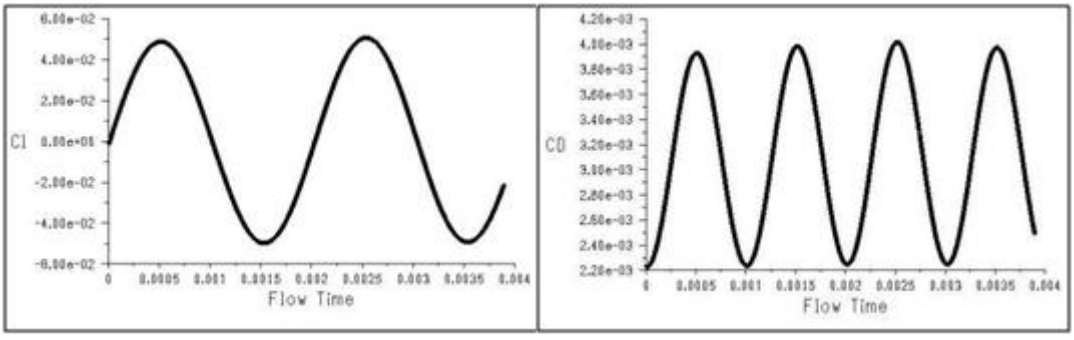


Figura 7: Variación de Cl y Cd en el tiempo para ω_r=6.03

Conclusiones: Se estudiaron en forma numérica el campo fluidodinámico y las fuerzas periódicas que aparecen sobre una placa oscilante en régimen supersónico a pequeños ángulos de ataque. Se concluye que dada una buena discretización del dominio de cómputo, en el caso de una placa en régimen supersónico oscilando con diferentes frecuencias, es posible capturar las ondas de choque y variaciones de presión generadas por dicho movimiento y calcular las fuerzas resultantes con precisión aceptable, mientras las frecuencias reducidas se mantengan por debajo de 0.5. Sin embargo,el mallado realizado resultó inadecuado para ω_r>0.6, ya que el mismo se basó en la suposición de que el campo fluidodinámico obtenido para las frecuencias más bajas sería semejante para las frecuencias mayores. Queda para trabajos futuros realizar un remallado adaptativo para optimizar el tiempo de cálculo y la precisión de resultados para vibraciones torsionales de frecuencias más altas.

Referencias

Shapiro, A. The dynamics and thermodynamics of compressible fluid flow. Ronald Press, 1953.

Van Dyke, Milton D. Supersonic flow past oscillating airfoils including nonlinear thickness effects NACA, Washington Julio 1953

Ashley, H., Landahl, M., "Aerodynamics of Wings and Bodies". Addison-Wesley, 1965.

Bisplinghoff, Raymond L. Ashley, Halt “Principles of aeroelasticity” Dover, 1962

E.H.Dowel “Aeroelasticity of plates and shells”1975NoordhofT International Publishing

Wilcox, D. C., Turbulence Modeling for CFD, DCW Industries, La Cañada, USA, 2nd ed.,1998

Clark, R, Cox, D y otros “A Modern Course in AeroelasticityKluwer Academic Publishers 2004

Dowell, Clark, Cox , Curtiss, Jr. , Edwards, Hall, Peters, Scanlan, Simiu, Sisto: A Modern Course in Aeroelasticity (Solid Mechanics and its Applications), Springer. (2004)

H. Bungartz, M. Schäfer: Fluid-Structure Interaction: Modelling, Simulation, Optimisation. Springer-Verlag (2006)

Dotson K.W., Engblom W.A.: Vortex-induced vibration of a heavy-lift launch vehicle during transonic flight. Journal of Fluids and Structures 19 (2004) 669–680

ESTUDIO DE COEFICIENTES ROTODINÁMICOS EN TURBINAS TIPO FRANCIS QUE PRESENTAN FENÓMENOS DE WHIRLING

Autores: Villar Juan I., Scarabino Ana E.

G.F.C.
Grupo de Fluidodinámica Computacional
Facultad de Ingeniería – Departamento de Aeronáutica
Universidad Nacional de La Plata
Calle 116 y 48
(1900) La Plata
Buenos Aires – Argentina

PALABRAS CLAVE

Whirling, Coeficientes Rotodinámicos, Estabilidad de Rotores, Sellos Anulares Turbulentos, Efecto Lomakin, Sellos Laberínticos.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de investigación es determinar los coeficientes estáticos y dinámicos de los laberintos del rodete través de una simulación numérica tridimensional en CFD, basado en los Papers de referencia y en función de los datos de entrada y condiciones de funcionamiento. Estos enfoques dan la tendencia creciente a que se comiencen a utilizar herramientas CFD para calcular las fuerzas presentes en el sistema sujeto a diversas condiciones de operación. Cada modelos permiten en mayor o menor medida estimar la respuesta dinámica del rotor frente al fenómeno de whirling, debido a las limitaciones y ventajas que este impone, estabilizantes o no, convirtiéndolos críticos para el diseño.

INDICE

Resumen e Indice 1
1 Introducción 2
2 Parte experimental 3
3 Resultados y Discusión ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Conclusiones 6
Bibliografía 6

1. Modelo estructural - TURBINA DE BELO MONTE

En las siguientes figuras se puede observar el diseño de la Turbina Francis, y en detalle el diseño de los anillos laberintos en Corona.

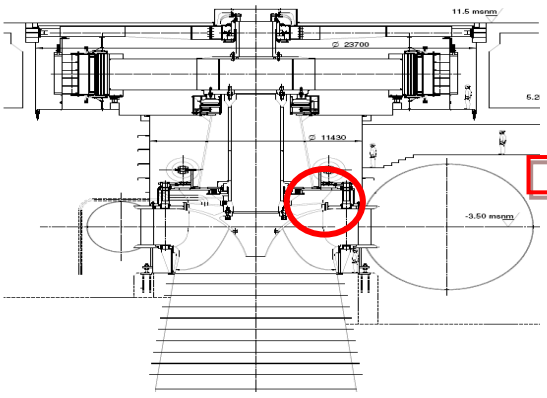


Figura 1. Modelo de Turbina tipo Francis

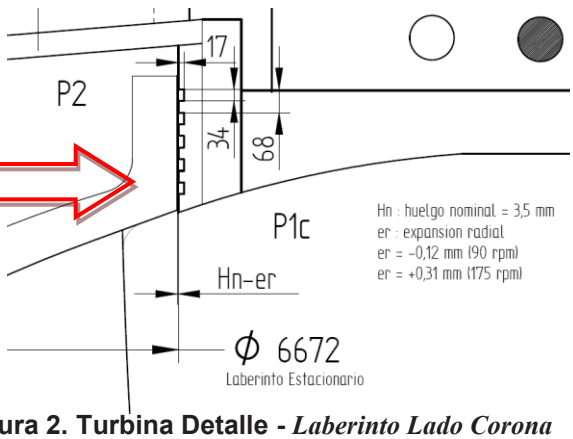
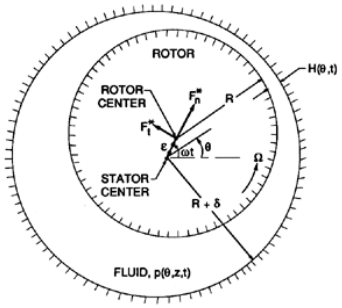
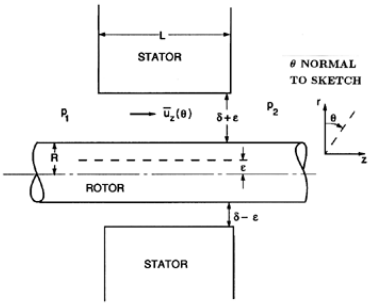


Figura 2. Turbina Detalle - *Laberinto Lado Corona*

1 Introducción

El objetivo de este trabajo de investigación es determinar los coeficientes estáticos y dinámicos de los laberintos del rodete, en banda y corona, a través de una simulación numérica tridimensional en CFD, basado en los Papers de referencia disponibles y en función de los datos de entrada y condiciones de funcionamiento indicados en el presente documento. El estudio de Coeficientes roto dinámicos en turbinas Tipo Francis que presentan fenómenos de whirling, deviene del estudio de las fuerzas roto dinámicas a que se ve sometido el eje de rotación de la turbo máquina como consecuencia del movimiento excéntrico (ε) de dicho eje. Las fuerzas que el fluido imparte al rotor en el plano perpendicular al eje de rotación son las llamadas fuerzas roto dinámicas o fuerzas radiales (referidas a una terna polar local) y son debidas al desplazamiento y movimiento del eje de rotación (consideramos dicho desplazamiento lo suficientemente pequeño como para que un modelo de perturbación lineal sea adecuado). Típicamente el eje rotará con una excentricidad media que produce la aparición de fuerzas fluido dinámicas que contrarrestan el peso del rotor y otras fuerzas radiales. Es importante reconocer que las fuerzas que el fluido impone no solo resultan en fuerzas restitutivas cuando el flujo en el anulo está dominado por efectos viscosos, que predominan a números de Reynolds $Re_\Omega \ll 1$. Dónde $Re_\Omega = \Omega R\delta/\nu$, $Re_V = \mathrm{V}\delta/\nu$ y $Re_\omega = \omega R\delta/\nu$. Lamentablemente no solo esto sucede, en caso de que el signo de las fuerzas fluido dinámicas se revierte, tiende a magnificar la excentricidad en lo que se suele llamar efecto Bernoulli o inercial. La presión en el fluido decrece donde el huelgo H entre rotor y estator o alojamiento es más pequeña $(H = \delta - \varepsilon)$, consecuentemente habrá una fuerza neta en el rotor en la dirección del desplazamiento.





En un sello corto $(L \ll R)$ o rodamiento el efecto predominante de la perturbación es causar variaciones circunferenciales en la velocidad axial del fluido, que causa el efecto Lomakin, donde $\bar{u}(\theta)_z$ es causada por ΔP_{1-2} y $\bar{u}(\theta)_z$ es la velocidad media promediada sobre el huelgo. El efecto Lomakin es causado por variaciones circunferenciales en las perdidas de entrada del flujo, en el lado con menor huelgo las perdidas serán menores debido a que $\bar{u}(\theta)_z$ allí es menor. Consecuentemente la presión será mayor en el lado en que el huelgo es menor resultando en una fuerza restitutiva debido a la distribución de presiones circunferencial. El efecto Lomakin resulta en una fuerza fluidodinámica inducida que conduce a una rigidez positiva $(K > 0)$.Los efectos presentes de Lomakin y Bernoulli compiten entre si para definir la rigidez K del sistema mientras la geometría cambia. .

Mientras el rotor se aparta de su posición nominal, las fuerzas reactivas generadas por el fluido pueden ser vinculadas al desplazamiento, la velocidad y la aceleración usando un sistema de 2 grados de libertad, mediante un modelo masa resorte amortiguador.

$$-\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K & k \\ -k & K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & d \\ -d & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} M & m \\ -m & M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \end{bmatrix} \qquad (1)$$

Donde, $[\boldsymbol{M}]$ Matriz masa; $[\boldsymbol{D}]$ Matriz Amortiguamiento; $[\boldsymbol{K}]$ Matriz rigidez; $\boldsymbol{X}$ e $\boldsymbol{Y}$ movimiento del rotor relativo al estator; $\boldsymbol{F_x}$ y $\boldsymbol{F_y}$ son componentes de la fuerza reactiva aplicada sobre el rotor. Para cada condición de funcionamiento se requiere obtener la rigidez de los sellos para la situación cuasi estática, caracterizado por los coeficientes K y k, y el comportamiento

dinámico caracterizado por los coeficientes de rigidez (K, k) de amortiguamiento (D, d) y de inercia (M, m). En casi todas las mediciones experimentales hechas en turbo máquinas las matrices resultan ser antisimétricas, y por tanto invariantes ante rotaciones. Conocer Las fuerzas del fluido variantes para las distintas condiciones de operación y de movimiento del rotor nos permite describir las matrices $[M]$, $[K]$ y $[D]$ a partir de la ecuación (1).

2 Parte Experimental

El enfoque convencional de este problema cuando $Re_\Omega \ll 1$ es utilizar la ecuación aproximada de Reynolds de fluido dinámica para una película delgada, que para el presente contexto resulta en un fluido contenido entre dos cilindros circulares, de modo que dicha ecuación resulta en

$$\frac{1}{R^2}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(H^3\frac{\partial p}{\partial\theta}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(H^3\frac{\partial p}{\partial z}\right)=6\mu\left\{2\frac{\partial H}{\partial t}+\frac{1}{R}\frac{\partial}{\partial\theta}(HU)\right\}$$

Donde (r, θ, z) son coordenadas radial, circunferencial y axial respectivamente, esta ecuación una vez resuelta tiene por solución la distribución de presiones del fluido sobre el rotor $P(\theta, z, t)$ (promediada en dirección radial sobre el huelgo, para una separación entre rotor y estator dada por $H(\theta, t)$, y una velocidad U del cilindro interior $(U = \Omega R)$.
Una excentricidad, ε, a una frecuencia de whirling ω lleva a una separación H dada por $H(\theta, t) = \delta - \varepsilon\cos(\omega t - \theta)$ de modo que substituyéndola en la anterior queda una expresión para $P(\theta, z, t)$ de forma tal que integrando la misma sobre el rotor se tienen las fuerzas roto dinámicas que el mismo experimenta y a partir de estas los roto dinámicos vinculados a estas por (1).

$$\begin{Bmatrix}F_n\\F_t\end{Bmatrix}=R\int_0^L\int_0^{2\pi} p\begin{Bmatrix}-\cos(\omega t-\theta)\\ sen(\omega t-\theta)\end{Bmatrix}d\theta\,dz$$

Este modelo simple que considera perturbaciones lineales en el cual se asume para $\varepsilon \ll \delta$ el primer término de la ecuación de Reynolds es predominante dado que se asume que las perturbaciones mayormente ocurren en la dirección circunferencial más que en la axial que puede despreciarse junto con los términos de orden superior en ε, mientras que si se asume que las perturbaciones mayormente ocurren en la dirección axial más que en la circunferencial dará como resultado aquellos otro set de valores para p , F_n^*, F_t^* yC^* mientras los valores $K^* = c^* = M^* = m^* = 0$.

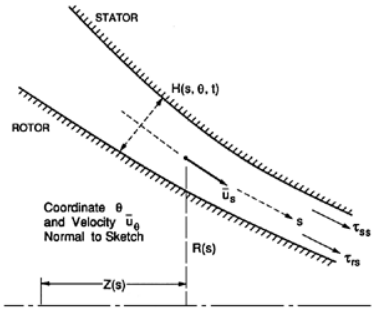
Se ha encontrado que ocurren violentos movimientos del eje cuando la velocidad del eje del rotor Ω alcanza dos veces su valor critico del eje, esta es la respuesta dinámica del sistema cuando F_t se vuelve positiva, Condiciones similares ocurren a elevados Re_Ω. Es decir que si $sign(F_t) = sign(\omega)$, entonces será rotodinámicamente desestabilizante, mientras que si se da el caso contrario el sistema tenderá a la estabilidad. Este primer modelo lineal prueba ser típicamente estable pero resulta estar lejos del rango de operación de la Turbina Francis, para lo cual se considero un otro modelo.

Modelos Semi analíticos: Sellos Anulares turbulentos.

En sellos anulares el flujo es usualmente turbulento debido al alto número de Reynolds Re_Ω en el cual operan. Para identificar y modelar la rotodinámica de sellos turbulentos se usaron modelos similares a las ecuaciones de lubricación de Reynolds. Estas emplean las velocidades $\bar{u}_z(z, \theta)$ y $\bar{u}_\theta(z, \theta)$ que son promediadas sobre el huelgo. Fue Childs en 1983 quien publicó una versión revisada del modelo que surgía de estas consideraciones y utilizó una generalización geométrica del mismo modelo para examinar la roto dinámica de las corrientes de fuga de flujos descarga-succión alrededor de los impulsores de bombas centrífugas y resultó más conveniente incluir una forma más general de análisis.

En la siguiente figura se representa un corte lateral del rotor centrífugo, de forma tal que se describe le movimiento del fluido en coordenadas intrínsecas según el eje meridional del huelgo dadas por $Z(s)$ y $R(s)$ con $0 < s < L$ donde la coordenada s está medida a lo largo del meridiano del huelgo.

La variación del huelgo se describe en términos de $H(s,\theta,t)$ cuyo valor no perturbado es $\delta(s)$. Las ecuaciones que gobiernan el flujo son promediadas sobre el huelgo, esto conduce a las ecuaciones de continuidad de la forma y a las ecuaciones de cantidad de movimiento



$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial s}(H\bar{u}_s) + \frac{1}{R}\frac{\partial}{\partial \theta}(H\bar{u}_\theta) + \frac{H}{R}\frac{\partial R}{\partial s}\bar{u}_s = 0$$

$$-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial s} = \frac{\tau_{ss}}{\rho H} + \frac{\tau_{sr}}{\rho H} - \frac{\bar{u}_\theta^2}{R}\frac{dR}{ds} + \frac{\partial \bar{u}_s}{\partial t} + \frac{\bar{u}_\theta}{R}\frac{\partial \bar{u}_s}{\partial \theta} + \bar{u}_s\frac{\partial \bar{u}_s}{\partial \theta}$$

$$-\frac{1}{\rho R}\frac{\partial p}{\partial \theta} = \frac{\tau_{\theta s}}{\rho H} + \frac{\tau_{\theta r}}{\rho H} + \frac{\partial \bar{u}_\theta}{\partial t} + \frac{\bar{u}_\theta}{R}\frac{\partial \bar{u}_\theta}{\partial \theta} + \bar{u}_s\frac{\partial \bar{u}_\theta}{\partial s} + \frac{\bar{u}_\theta \bar{u}_r}{R}\frac{\partial R}{\partial s}$$

El enfoque usado por Hirs (1973) es empleado para determinar las tensiones de corte turbulentas τ_{SS} y $\tau_{\theta S}$ aplicadas al estator por el fluido en direcciones s y θ respectivamente y las tensiones τ_{sr} y $\tau_{\theta r}$ aplicadas al rotor.

$$\frac{\tau_{ss}}{\rho\bar{u}_s} = \frac{\tau_{\theta s}}{\rho\bar{u}_\theta} = \frac{A_s\bar{u}_s}{2}\left[1 + \left(\frac{\bar{u}_\theta}{\bar{u}_s}\right)^2\right]^{\frac{m_s+1}{2}} (Re_s)^{m_s} \; ; \quad \frac{\tau_{sr}}{\rho\bar{u}_s} = \frac{\tau_{\theta r}}{\rho(\bar{u}_\theta - \Omega R)} = \frac{A_r\bar{u}_s}{2}\left[1 + \left\{\frac{(\bar{u}_\theta - \Omega R)}{\bar{u}_s}\right\}^2\right]^{\frac{m_\theta+1}{2}} (Re_s)^{m_\theta}$$

Donde el valor del número de Reynolds en dirección meridional $Re_S = \frac{H\bar{u}_S}{\nu}$ y las constantes A_S, A_r, m_S y m_θ son elegidos para ajustar la información y los datos disponibles sobre las tensiones de corte turbulentas. Childs elije los siguientes típicos valores para dichas constantes $A_S = A_r = 0{,}0664$; $m_S = m_\theta = -\frac{1}{4}$ .Luego, el huelgo, la presión y las velocidades son modeladas dividiéndolas en componentes medias (de subíndice 0) que se corresponderían con la ausencia de whirling, mas una pequeña componente de perturbación lineal (de subíndice 1) debida a la excentricidad ε, y rotando a una frecuencia de whirling ω:

$$H(s,\theta,t) = H_0(s) + \varepsilon Re\{H_1(s)e^{i(\theta-\omega t)}\} \; ; p(s,\theta,t) = p_0(s) + \varepsilon Re\{p_1(s)e^{i(\theta-\omega t)}\}$$

$$\bar{u}_s(s,\theta,t) = \bar{u}_{s_0}(s) + \varepsilon Re\{\bar{u}_{s_1}(s)e^{i(\theta-\omega t)}\} \; ; \bar{u}_\theta(s,\theta,t) = \bar{u}_{\theta_0}(s) + \varepsilon Re\{\bar{u}_{\theta_1}(s)e^{i(\theta-\omega t)}\}$$

Estas ecuaciones sustituidas en las ecuaciones de continuidad y cantidad de movimiento resultan en un set de ecuaciones para el flujo medio para las cantidades $(p_0, \bar{u}_{S0}, \bar{u}_{\theta 0})$ y un segundo set de ecuaciones para las cantidades $(p_1, \bar{u}_{S1}, \bar{u}_{\theta 1})$; aquellos términos de orden cuadrático u orden superior en ε son despreciados. Luego es necesario resolver ambos sets de ecuaciones numéricamente para poder evaluar las presiones, y luego las fuerzas sobre el rotor. Para una geometría simple de un sello anular plano, se tiene $R(s) = R$, $H_0(s) = \delta$; $s = z$ y $H_1(s) = 1$ y en el cual $\bar{u}_{S0} = \frac{Q}{2\pi R\delta} = V$.

Donde Q es el caudal volumétrico; Childs (1983) fue capaz de obtener soluciones analíticas para ambos sets de ecuaciones tanto las de valor medio como las de la perturbación. La evaluación de las fuerzas roto dinámicas, conduce a los siguientes coeficientes roto dinámicos:

$$K = \left(\frac{2\Delta p^T}{\rho V^2}\right)\phi^2\frac{R}{2\lambda_1 L}\left[\mu_0 - \mu_2\left(\frac{L}{2\phi R}\right)^2\right] ; \quad C = 2k = \left(\frac{2\Delta p^T}{\rho V^2}\right)\frac{\phi\mu_1}{2\lambda_1} ; \quad M = c = \left(\frac{2\Delta p^T}{\rho V^2}\right)\frac{L\mu_2}{2\lambda_1 R}$$

Efecto Lomakin Efecto Bernoulli

Donde ϕ es el coeficiente de flujo ($\phi = \frac{V}{\Omega R} = Re_V/Re_\Omega$), y Δp^T es la caída de presión total a través del sello y dónde $\lambda, \mu_0, \mu_1\ y\ \mu_2$ están dadas por

$$\frac{2\Delta p^T}{\rho V^2} = 1 + C_{EL} + 2\lambda_2\ ; \quad \mu_0 = \frac{5{\lambda_2}^2\mu_5}{2(1+C_{EL}+2\lambda_2)}\ ; \quad \mu_1 = \frac{2\lambda_2\left\{\mu_5+\frac{1}{2}\lambda_2\mu_4\left(\mu_5+\frac{1}{6}\right)\right\}}{1+C_{EL}+2\lambda_2}\ ; \quad \mu_2 = \frac{\lambda_2\left(\mu_5+\frac{1}{6}\right)}{1+C_{EL}+2\lambda_2};$$

$$\mu_4 = \frac{(1+7\phi^2)}{(1+4\phi^2)}\ ; \quad \mu_5 = \frac{(1+C_{EL})}{2(1+C_{EL}+\mu_4\lambda_2)}\ ; \quad \lambda_1 = 0{,}0664(Re_V)^{-\frac{1}{4}}\left\{1+\frac{1}{4}\phi^2\right\}^{\frac{3}{8}}\ ; \quad \lambda_2 = \lambda_1 L/\delta$$

Y Donde C_{EL} es el coeficiente de perdida dado por Yamada (1962).

3. Resultados y Discusión :

Considerando nuestros datos geométricos y de operación los siguientes

$\Omega\ [\frac{rad}{s}]$	$f\ [Hz]$	$\omega = 2\pi f\ [\frac{rad}{s}]$	$\Delta P\ [Pa]$	$L\ [m]$	$R\ [m]$	$\varepsilon\ [m]$	$\delta\ [m]$0,10%
9,424777961	10	62,83185307	405300	70,3901	3	0,000875	0,0035

$\nu\ [m^2/s]$	Q Caudal y [Kg/s]	Área trasversal del sello $[m^2]$	Cel	1+Cel + 2λ2
0,000001003	1013,85	0,065973446	0,1	181,3614728

Así Pues Definido Δp^T , luegoC_{EL} quedan definidos μ_5 y luego $\mu_0, \mu_1\ y\ \mu_2$, estando μ_4 dado por las condiciones de operación, lo mismo que λ_1, λ_2 y ϕ pues.

Parámetros independientes $\mu_4 = f(\phi),\ \lambda_1 = f(Re_V, \phi),\ \lambda_2 = f(\lambda_1, L/\delta),\ \mu_5 = f(C_{EL}, \mu_4, \lambda_2)$

Parámetros dependientes $\mu_2 = f(\lambda_2, \mu_5, C_{EL}),\ \mu_1 = f(\mu_5, \mu_4, C_{EL}, \lambda_2),\ \mu_0 = f(C_{EL}, \mu_5, \lambda_2)$

En definitiva, para nuestras condiciones de operación

Φ	λ_1	λ_2	μ_4	μ_5	μ_6	μ_1	μ_2
0,543515778	0,004482	90,13073638	1,406222	0,004302	0,481752	10,77318	0,084966

Y los coeficientes roto dinámicos serán

m	K	k	C	c	M
0	-0,038684342	1121,151017	2242,302033	763,4369971	763,4369971

Los mismos resultan ser desestabilizantes en dirección radial a la luz del valor $K < 0$, lo cual indica un predominio del efecto de Bernoulli sobre el Efecto de Lomakin. Este es el resultado de aplicar el modelo descripto semi-analítico para las condiciones de operación dadas, que en rigor consideran no las fuerzas rotodinámicas sino las tensiones corte sobre el rotor y estator así como la las presiones existentes entre entrada y salida.

Modelo numérico

Siguiendo el método de cálculo de coeficientes propuesto Por Athavale &Hendricks (1996) la perturbación en la ubicación del rotor es usada para generar fuerzas reactivas en el fluido y subsecuentemente coeficientes rotodinámicos. El modelo considera variaciones del flujo tanto en direcciones axiales como circunferenciales pero los valores en dirección radial son integrados para obtener los valores medios. Luego las ecuaciones de flujo son perturbadas para resultar en un set de ecuaciones para el flujo estático y otro para las perturbaciones en el flujo. Con un movimiento prescripto pequeño del rotor las variables de perturbación son calculadas y las presiones integradas sobre la superficie del rotor para generar una fuerzas

reactivas del fluido mientras que curvas apropiadas se ajustan al grafico de Fuerzas vs Frecuencia de whirling para obtener los coef rotodinámicos.
Se empezó por analizar el diversos casos cuasi-estáticos de desplazamiento del rotor en dirección radial, pudiendo verificar algunos resultados obtenidos experimentalmente y mediante simulación numéricas por otros investigadores citados validando las modelización y consideraciones realizadas.

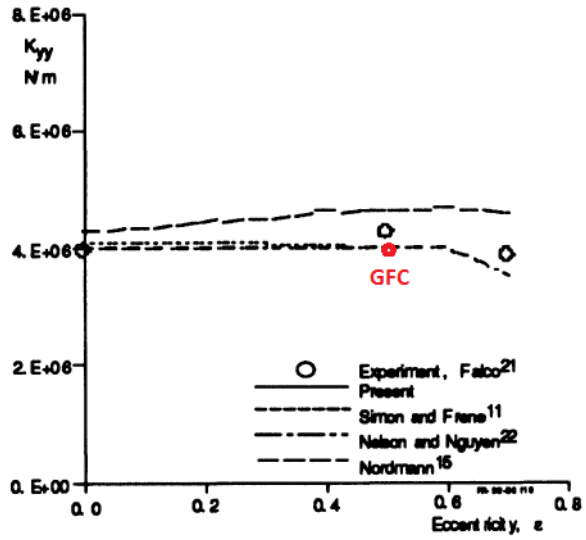


FIGURE 10 Direct stiffness coefficient, K_{yy} eccentric annular seal

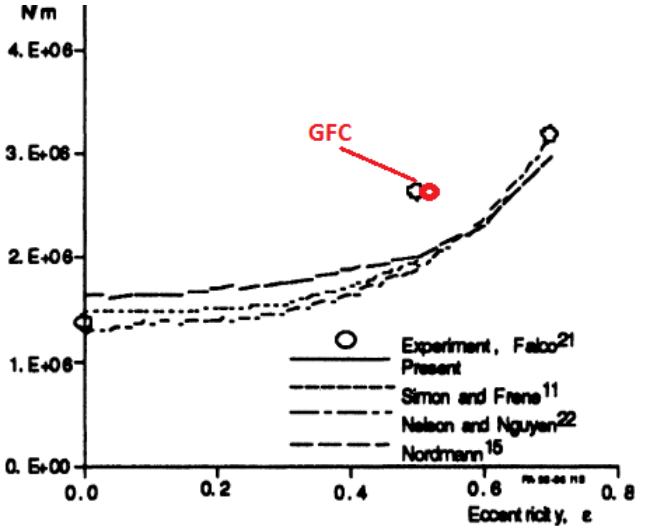


FIGURE 13 Cross coupled stiffness coefficient, K_{zy}, eccentric annular seal

Conclusiones

Queda por modelizar el proceso completo de whirling a diversas relaciones entre Ω y ω.
El proceso de análisis todavía está lejos de concluir dado que solo considera casos de matrices antisimétricas exclusivamente lo cual si bien constituye el caso más general no es el único posible.
Puede verse que también se obtienen valores principales de la componente Hidrostática de la matriz rigidez que son desestabilizantes para el sistema redundando en la posterior interferencia mecánica entre rotor y estator para algunas configuraciones operativas.

6. Referencias

1. M.M.ATHAVALE, R.C.HENDRICKS: “A Small Perturbation CFD Method for Calculation of Seal Rotordynamic Coefficients,1996.
2. K. Graf & T. Staubli, “Comparison of two id models for rotordynamic coefficients of labyrinth seals”. ETH Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 1990.
3. R. Gordon Kirk, “Fluid-Film Bearings, Seals and Rotor Stability” Mechanical Engineering department, Virginia Politechnic Institute and State University; 2000?
4. C. Brennen, Radial and Rotordynamic Forces, Hydrodinamics of pumps, ISBN 0-19-856442-2 (Oxford University Press)



Agrimensura

UTILIZACIÓN DE IMÁGENES LANDSAT Y DE RADAR PARA EL ANÁLISIS DE LAS COSTAS DE LA ISLA MARAMBIO (SEYMOUR), ANTÁRTIDA ARGENTINA.

Sisti, Jorge (*); Villamayor, Virginia; Deluchi, Marta; Romero, Cesar; Cabral, Arturo; Argerich, Analía; Savio, Marcelo; Murisengo, Walter.
(*) Unidad de Investigación y Desarrollo Sistemas de Información Geográfica (UID SIG): Departamento Agrimensura, FI, UNLP, 47 y 116 (1900) La Plata. Jsisti@ing.unlp.edu.ar

Palabras Claves: dinámica costera, Isla Marambio, SAR, interpretación, imágenes satelitales.

INTRODUCCIÓN

En el marco del Anuncio de Oportunidad (AO) para el Desarrollo de Aplicaciones y Puesta a Punto de Metodologías Utilizando Imágenes SAR, banda L, Polarimétricas, realizado por Conae, se presentó este proyecto que se encuentra en ejecución.

El objetivo principal es la observación de las costas de isla Marambio (Seymour) en la secuencia invierno – verano, en los años 2000, 2011 y 2012 y la comparación de las mismas mediante el procesamiento e interpretación de imágenes SAR y ópticas.

La isla Marambio (Seymour) se ubica en la Cuenca de James Ross, al Este de la Península Antártica y al Oeste del Mar de Weddell, a unos 64° de Latitud Sur y los 56° de Longitud Oeste. Es la única isla del área que pierde la cubierta de hielo y nieve durante el verano. El clima es subpolar, con precipitaciones en su mayor porcentaje en forma de nieve, que en general supera los 200 mm anuales y temperaturas medias anuales próximas a los -10ºC.

De acuerdo a los objetivos planteados y la metodología propuesta correspondiente al procesamiento e interpretación de datos satelitales de diferentes sensores, resulta fundamental contar con una amplia disponibilidad de material de diferentes fechas y tipos procurando identificar ventajas y limitaciones de cada sistema. A su vez la utilización de imágenes SAR para monitorear ambientes gélidos ofrece una herramienta que aporta información muy diferente a los satélites ópticos de empleo más ampliamente difundido, ya que operan en el rango de las microondas dentro del espectro electromagnético. (Chuvieco, E. (1996), Lillesand & Kieffer (1987).

Los procesos geomórficos actuales que modelan las costas de la isla Marambio (Seymour) son principalmente marino y fluvial dentro de un entorno periglacial, los cuales han actuado durante el Cuaternario (Malagnino et al, 1981; Nozal et al, 2007). La deflación, a su vez, aporta importantes volúmenes de materiales que son depositados en el mar. La isla se caracteriza por la presencia en superficie de detritos friables y un suelo congelado permanente, permafrost. Si bien no hay una cubierta glacial, durante el invierno el suelo posee una capa de nieve y se encuentra congelado.

Las costas de la isla están conformadas por acantilados que poseen en promedio una altura mayor a los 4 metros, en sectores están expuestos directamente a la acción del oleaje durante el verano y en forma más restringida se desarrollan playas constituidas por la mezcla de material grueso y fino. La amplitud de las mareas determina que el ancho de las mismas varíe entre pocos cm. a 3 o 4 metros

CARACTERISTICAS DEL AREA, MATERIALES Y METODOS

El relieve de la isla Marambio ha sido caracterizado por distintos autores, Ermolin y De Angelis (2002) reconocen 6 unidades en función de los agentes de erosión: meseta, quebradas y valles, terrazas marinas, pendiente escarpada, paisaje de cuestas y lomas y hoyos. Las unidades geológicas aflorantes corresponden a rocas sedimentarias del Terciario y Cretácico.

La isla se emplaza dentro de la zona de permafrost continuo donde se registran procesos de descongelamiento estacional. La capa de suelo congelado tiene un espesor próximo a los 200 m, lo cual ejerce presión suficiente sobre la superficie como para infiltrarse en poros y fracturas preexistentes. Al comenzar el derretimiento de la misma en los meses de octubre y noviembre, el agua penetra profundizando la meteorización.

El agua producto del derretimiento del permafrost escurre superficialmente, activando los procesos de erosión fluvial. Se genera la profundización, casi de inmediato, de los cauces dado que el material sobre el que discurren está disgregado. En general estos chorrillos tienen un caudal de baja velocidad pero les permite transportar gran cantidad de sedimentos, que en la desembocadura de los mismos, ya sea en el Mar de Weddell o en la Cuenca de James Ross, lo depositan en las suaves pendientes de las playas que conforman.

La acción eólica se da en toda la superficie, no solo en las costas. Los vientos pueden llegar a ser huracanados. En general poseen velocidades altas, con gran transporte de material, actúan sobre los primeros centímetros del suelo, salvo en aquellos momentos de muy alta velocidad en que la altura que alcanza el material puede llegar a más de 1-2 metros de la superficie. La temperatura ambiente se ve afectada ampliamente por estos vientos provocando su descenso, como sucede en verano que alcanzando registros térmicos de 10°C, la sensación térmica es por debajo de los – 5°C.

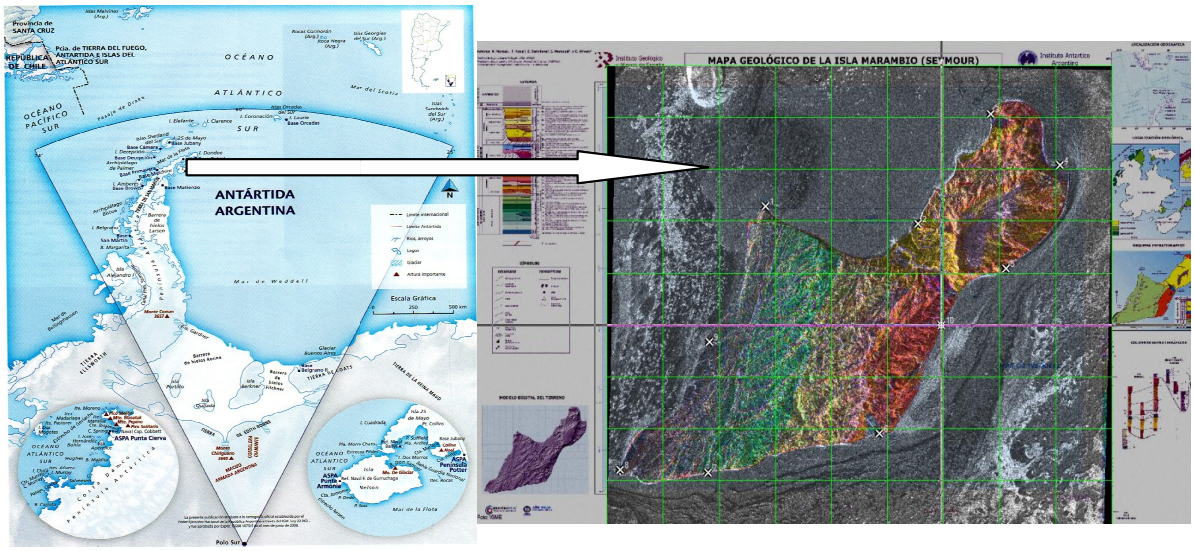


Figura 1. Ubicación del área (izq); Fusión de datos: en *RGB* (mapa Geológico) + I*ntensity* (Alos PalSAR), superpuestos los puntos de control para georreferencia (der.).

En la etapa actual del proyecto se realizó la selección y adquisición de imágenes satelitales y mapa(s) de referencia sobre la Isla Marambio (Seymour). Se procesó dicho material, tarea que consistió en la corrección geométrica y georreferenciación, realces, extracción de línea

de costa (manual / automática), comparación y elaboración de hipótesis. Se analizó el/los sistemas de proyección cartográfica usuales para la elección del más adecuado, teniendo en cuenta las características de las imágenes, la particular posición geográfica y las condiciones extremas del terreno.

Se han analizado imágenes ópticas correspondientes al sensor ETM del sistema LANDSAT (2 escenas, una febr. 2000 y otra sin metadatos); 5 escenas de imágenes radar, SAR (radar de apertura sintética) correspondientes al satélite COSMO-SkyMed provistas por CONAE (tabla 1) y 1 escena Alos Palsar. Se ha utilizado el mapa geológico realizado en 2007 por el Instituto Geológico y Minero de España, y se efectuó la recopilación y selección de bibliografía del área.

Se efectuó el mapeo de la línea de costa y análisis expeditivo de cambios observados en distintas épocas del año y fechas.

Modo	*Polariz. / Toma de Vista*	*T. pixel recibido [m.]*	*Fecha*
Spotlight,	H H / der . desc.	0.5	12 set. 2011
Spotlight,	V V / der . desc.	0.5	14 ene. 2012
Himage,	H H / izq. asc.	2.5	09 set. 2011
Spotlight,	H H / der . desc.	0.5	11 ene. 2012
Himage,	H H / izq. asc.	2.5	08 ene. 2012

Tabla 1. Imágenes COSMO-SkyMed utilizadas

Para las escenas Cosmos, en función del alcance del ajuste posible y para facilitar la manipulación de los datos, se optó por homogenizar el tamaño del pixel en 2.5 m, por lo que las escenas en Modo Spotlight fueron remuestreadas.

Actividades desarrolladas: 1-Definición del Área de Trabajo con coordenadas geográficas; 2-Búsqueda de antecedentes cartográficos; 3-Selección de imágenes satelitales históricas, de radar y ópticas, en ciclos de invierno/verano; 4-Georreferenciación de las imágenes; 5-Realces con adecuación radiométrica y usos de diferentes filtros, interpretación para mapeo de costas y eventos observables. Los programas utilizados han sido principalmente: ERMapper, ENVI e Idrisi; se está comenzando a utilizar NEST; 6-Interpretación comparativa de 2 escenas Landsat TM; 5 imágenes SAR Cosmo polarizadas banda X; 1 imagen Alos PalSAR banda L; 7- Extracción de conclusiones; 8-Capacitación.

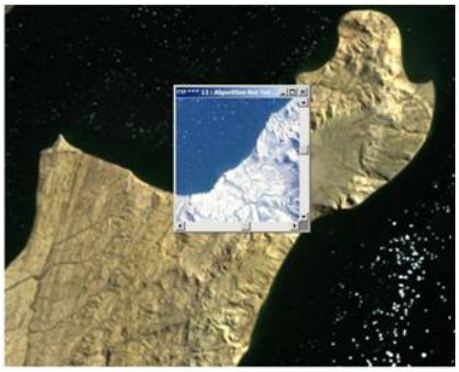
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El trabajo se encuentra en ejecución, no obstante, los primeros resultados obtenidos han sido: a) *Generales*: dificultad de obtener diversidad de escenas satelitales en latitudes extremas, Importancia de la disponibilidad de los metadatos de las imágenes, Correlación posible entre tratamiento digital para las imágenes ópticas, con los procesos que realizamos en otros ambientes geográficos, particularmente en la extracción de información por clasificación espectral. b) *Particulares*: diferente modo de analizar y procesar las escenas SAR con las ópticas como Landsat; dificultad en lograr ajustes buenos en los procesos de georreferenciación y corrección geométrica; buena posibilidad para obtención de líneas de costa utilizando el método "*scattergram*"; validez del método de superposición/ transparencia / *merge* de datos, para analizar los cambios, en imágenes ópticas; importancia en el origen de la iluminación y de la polarización en SAR.

Se definió la conveniencia de trabajar con proyección cartográfica Transversa Mercator Universal, zona 21 - Sur (SUTM21), aunque fueron consideradas inicialmente la

estereográfica polar (de uso para continente antártico) y Gauss Krüger (utilizada en Argentina – parte continente Americano).

Imágenes ilustrativas de los procesos realizados:



Imágenes Landsat ETM superpuestas.

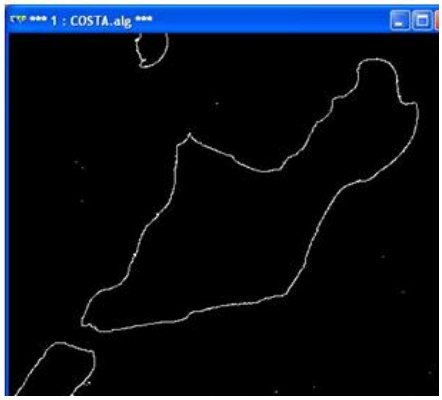


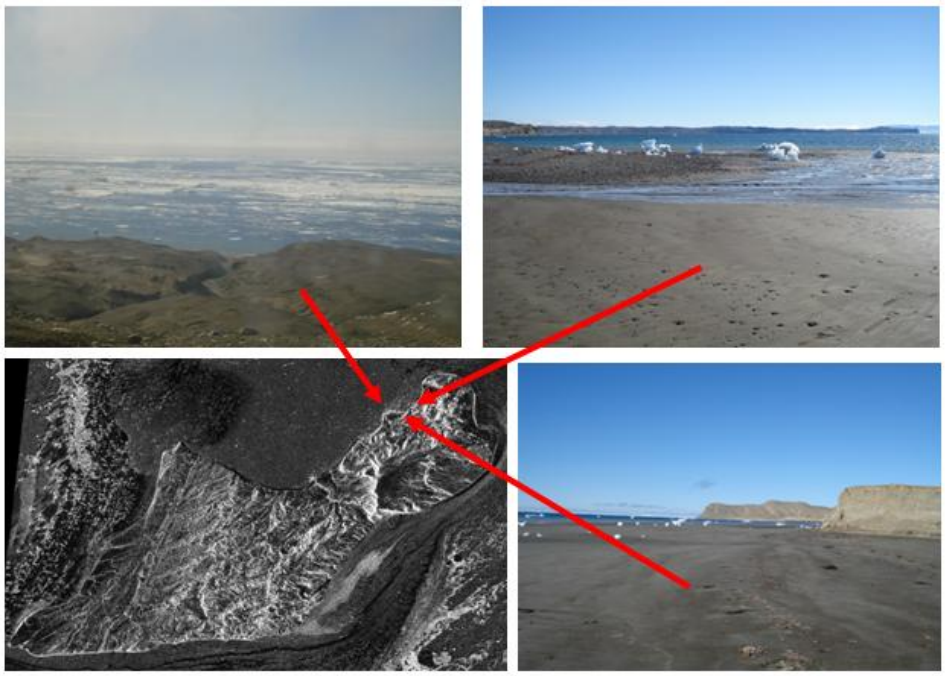
Scatterarama realzando isla.

Scatterarama realzando agua.

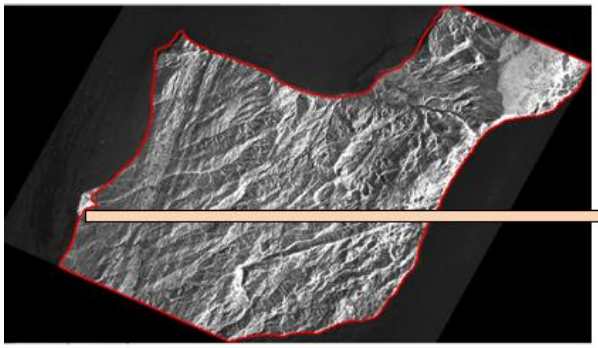


Vector de costa de la Isla Marambio.

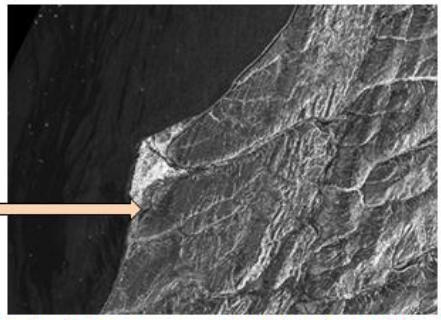




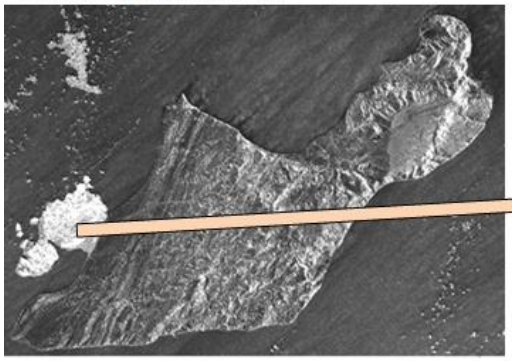
En las imágenes se observa: en la superior, un chorrillo que ha dejado su impresión erosiva, al profundizar su lecho. Abajo a la izquierda: la playa, con los témpanos y el acantilado que la limita en su espalda. A la derecha: el chorrillo en su desembocadura. La margen izquierda del mismo presenta el depósito de material fino, mientras que la margen derecha presenta depósitos de mezcla. La margen izquierda queda al abrigo de un pequeño acantilado, mientras que la derecha queda expuesta.



Delimitación de línea de costa. Característica particular un elevado contraste tonal sobre la costa, hacia el suroeste. Corresponde a sedimentos aportados por uno de los valles principales, conformando un delta. Este rasgo tan marcado, no evidenciado de igual manera en las otras imágenes podría obedecer a la polarización VV.



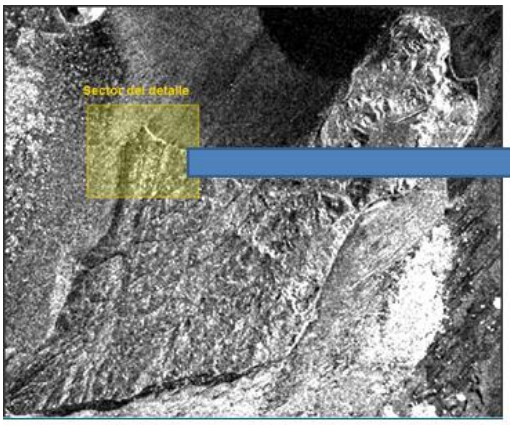
En el mar: bandas de tono negro en parte dispuestas paralelas a la costa y hacia el sur en forma oblicua a la costa y de menor longitud. Correspondería a hielo aceitoso y/esponjoso con tonos oscuros "alisan" la superficie del agua. Conforma una capa de hielo aguado en fase de formación, el agua que lo circunda tiene tonos claros dado por el oleaje. Se observan puntos brillantes que corresponden a trozos de hielo.



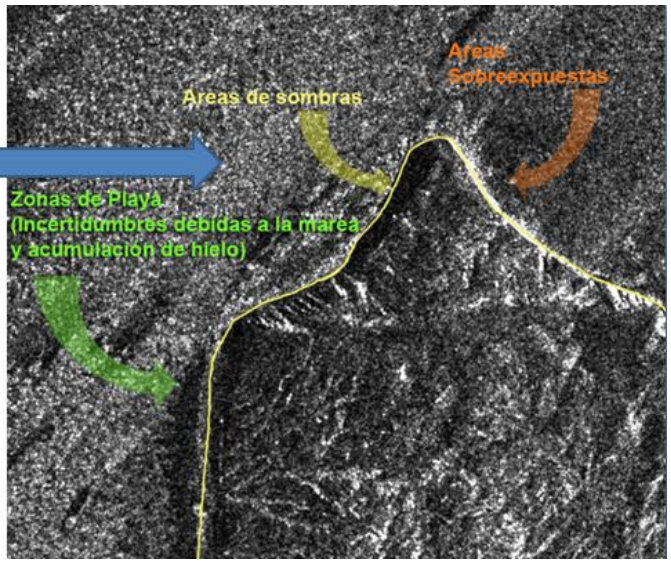


Se observa en contacto con la costa, una superficie de tono casi blanco, muy contrastante con su entorno. Correspondería a hielo de primer año, medio a grueso (ESA). La superficie de estos grandes témpanos es rugosa, se puede ver el desprendimiento de hielo en tonos brillantes también y con distintas superficies.

Detalle sobre sectores de costa particulares:



Vector interpretado sobre imagen SAR.
Dificultades de interpretación.→



CONCLUSIONES

Los ajustes geométricos de las imágenes pueden considerarse de unos 50 m o eventualmente algo menores. Debe ser considerado muy especialmente que la definición de puntos de control en el proceso de corrección geométrica se ve afectada notoriamente por

las peculiaridades del paisaje y particularidades de clima, mareas, ángulo de tomas de vista que afecta la calidad del ajuste.

La comparación de las líneas de costa obtenidas mediante superposición, permitió identificar sectores de coincidencia y de apartamiento de la línea de costa. Los sectores de apartamiento son del orden de 50 m. Esta diferencia se debe en parte: a) altura de la marea, que deja al descubierto playas o material acarreado por los chorrillos y están iniciando la formación de deltas; b) Indefinición de la costa por el modo de iluminación y la geometría de la escena SAR, sumado a la presencia de hielos acumulados en la costa y/o patrones de ondas que replican la forma de la costa sobre la superficie marina.

La fusión de datos a través de la integración de imágenes ópticas (landsat) y radar, permitió obtener productos híbridos que facilitaron el análisis visual.

Importancia en el origen de la iluminación y de la polarización en SAR, utilizados para determinar líneas de costa, ya que es muy sensible a la orientación de las pendientes, los desniveles topográficos y las ondas marinas.

Decisiva importancia para definición sobre las imágenes de la línea de costa, la altura de la marea (que hace variar la emergencia de playas y deltas) y la estación del año (sobre todo por la presencia de hielos flotantes).

Se encontró dificultad en la obtención de imágenes en zonas extremas del globo terráqueo con la consecuente poca variedad de fechas y rango de años para analizar, lo que no se correlaciona con la expectativa inicial de análisis cuando se formuló el proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

Lillesand ,T. M. y Kiefer, R. W. (1987) Remote Sensing and Image Interpretation. Cuarta Edición, New York, John Wiley and Sons

Chuvieco, E., 1996, Fundamentos de Teledetección Espacial. Edit. Rialp, Madrid. España.

Ermolin, E. y De Angelis, H. 2002. Procesos exógenos en el permafrost de la Isla Marambio (Seymour), Península Antártica. Actas XV Congreso Geológico Argentino, Buenos Aires. T. II: 463-469 pp.

Malagnino, E.C., Olivero, E., Rinaldi, C. y Spikermann, J., 1981. Aspectos geomorfológicos de la isla vicecomodoro Marambio, Antártida. VIII Congreso Geológico Argentino, San Luis, Actas 2:883-896.

Nozal, F., Montes, M., Santillan, S. y Martín Serrano, A., 2007, VI Simposio Argentino y III Lationamericano sobre investigaciones Antárticas, Buenos Aires.

VERIFICACIÓN DE UN NIVEL ÓPTICO

Gil Francisco[2], Paez Bruno [2], Paús Pablo S.[1,2], San Martín José, Aldasoro Roberto[2,3], Soto Jaime[2,4]

[1] *Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, UNLP – Calle 1 y 47, (1900) La Plata*
[2] *Departamento de Agrimensura, Facultad de Ingeniería, UNLP – Calle 1 y 47, (1900) La Plata*
[3] *INIFTA, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP – Diag. 113 y 64, (1900) La Plata*
[4] *ESNM, Instituto Universitario Naval, Armada Argentina – Rio Santiago, Ensenada*

Unidad de Investigación y Desarrollo en GPS y Metrología (UIDGPSyM)
Dpto. Agrimensura - Facultad de Ingeniería – UNLP
Contacto: Ing. Roberto Aldasoro - Calle 23 Nº 290 - (1896) City Bell
robertoaldasoro@gmail.com

Palabras Claves: nivel, ensayo, verificación, colimación, precisión

Resumen

El objetivo de este trabajo consiste en implementar y analizar un método de campo para verificar si el instrumento se encuentra apto para la realización de una determinada tarea según la Norma ISO 4463-1. Se utilizó el procedimiento simplificado de la Norma ISO 17123-2 (Óptica e instrumentos ópticos-Procedimientos de campo para pruebas de instrumentos topográficos y geodésicos – Parte 2 Niveles). Durante la ejecución del trabajo y por cuestiones prácticas se utilizó el Nivel Automático Sokkia C28 (disponible en el Departamento de Agrimensura) cuya desviación estándar establecida en el Manual del Fabricante es de 2 mm en una nivelación de 1 km ida y vuelta.

1. Introducción

Un Nivel es un instrumento topográfico que permite determinar el desnivel entre dos puntos mediante visuales horizontales. Está constituido por un nivel tubular adosado a un anteojo astronómico, de forma tal que el eje de colimación de éste, sea paralelo al eje del nivel. El conjunto va montado sobre un trípode mediante un tornillo ad-hoc y gira alrededor de un eje vertical de rotación.

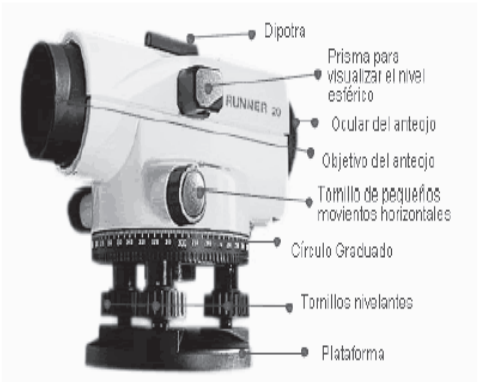


Figura 1

El anteojo se encuentra rígidamente unido a la plataforma nivelante y la horizontalidad del eje de colimación se consigue mediante el mecanismo compensador situado en el interior del anteojo, que de forma automática proporciona la visual horizontal.

Miras de nivelación

Son reglas graduadas en metros y decímetros, generalmente fabricadas de madera, metal o fibra de vidrio. Usualmente, para trabajos normales, vienen graduadas con resolución de 1 cm y apreciación de 1 mm. Comúnmente, se fabrican con longitud de 4 m divididas en 4 tramos plegables para facilidad de transporte y almacenamiento. Existen también miras telescópicas de aluminio que facilitan el almacenamiento de las mismas.

A fin de evitar los errores instrumentales que se generan en los puntos de unión de las miras plegables y los errores por dilatación del material, se fabrican miras continuas de una sola pieza, con graduaciones sobre una cinta de material constituido por una aleación de acero y níquel, denominado INVAR por su bajo coeficiente de dilatación longitudinal.

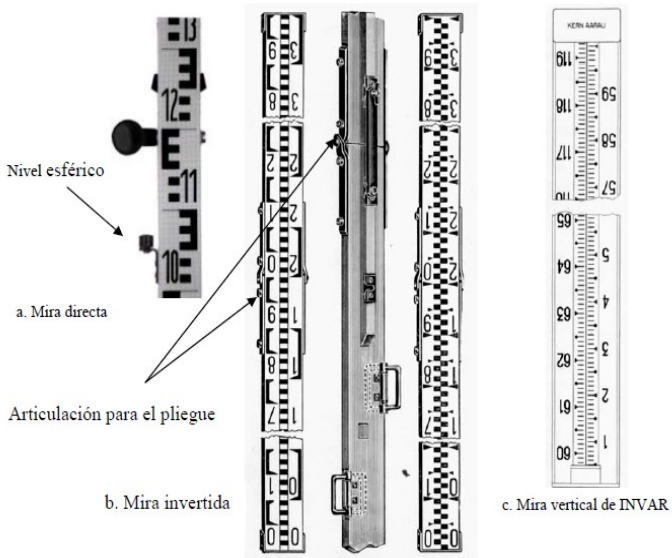


Figura 2: Diferentes tipo de miras

Nivelación entre dos puntos

Para encontrar la diferencia de nivel entre dos puntos cualesquiera del terreno se utilizan un nivel y dos miras. En la Figura 3, tenemos dos puntos A y B distantes unos 60 metros y se desea conocer la diferencia de niveles o distancia vertical entre ambos puntos. El nivel se coloca aproximadamente en el centro entre los puntos, se cala la burbuja con precisión para asegurar la horizontalidad de la línea de colimación. Se toma una lectura de la mira mantenida verticalmente en A de 2,500 m, y luego una lectura de la mira mantenida verticalmente en B de 0,500 m.

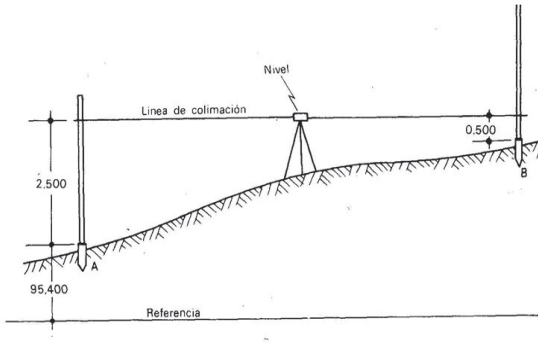


Figura 3

Por el dibujo es claro que el punto B está mas alto que el A en 2,500 m – 0,500 m = 2,000 m. Es decir que, la diferencia de lecturas en la mira atrás-adelante es igual a la distancia vertical entre los puntos visados.

2. Parte experimental

Procedimiento de ensayo simplificado

El procedimiento de ensayo simplificado proporciona una estimación de si la precisión de un equipo de nivelación dado está dentro de la desviación permitida especificada según la norma ISO 4463-1 (Métodos de medición para edificios – Replanteos y medición. Parte 1: Planificación y organización, procedimientos de medición, criterios de aceptación).

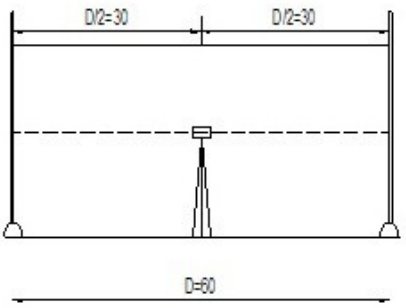


Figura 4

Según este procedimiento se llevan a cabo dos conjuntos de lecturas. Para el primer conjunto, el nivel se establece aproximadamente equidistante entre los puntos A y B de

nivelación (D / 2 = 30 m). Esta configuración minimiza la influencia de la refracción y el desplazamiento del eje colimación (Fig.4). Un conjunto de diez medidas deben llevarse a cabo con cada medición que consiste en una lectura hacia atrás, XAj, a la mira de la nivelación en el punto A y una lectura hacia adelante, XBj, a la mira de nivelación en el punto B (j = 1, 2 .... 10). Entre cada par de lecturas el instrumento ha de ser levantado, y se coloca en una posición ligeramente diferente. Después de cinco mediciones (XA_1; XB_1 ... XA_5; XB_5) las lecturas hacia atrás y hacia adelante se invierten por otras cinco mediciones (XB_6; XA_6 .... XB_{10}; XA_{10}).
Obsérvese que, aunque haya error de colimación éste no afecta al desnivel hallado, puesto que la equidistancia entre instrumento y miras hace que dicho error sistemático de colimación incida con igual signo y magnitud en ambas lecturas.

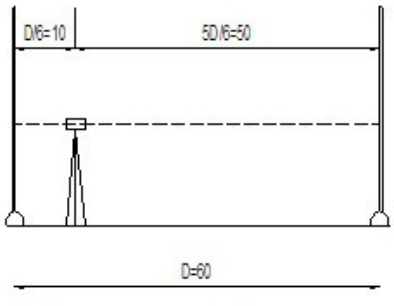


Figura 5

Para la segunda serie de lecturas, el nivel se coloca aproximadamente en D / 6 = 10 m desde el punto A y 5D / 6 = 50 m desde el punto B (Fig.5). Luego, otras diez mediciones (XA_{11}; XB_{11} ..... XA_{15}; XB_{15}; XB_{16}; XA_{16} ....., XB_{20}: XA_{20}) se toman de la misma manera como se definió para el primer conjunto de medidas (J = 11, 12, ...20). Si la diferencia de altura obtenida en ambas medidas es distinta existe error de colimación y el mismo es un error sistemático.

3. Resultados

Primeramente se utilizó el Nivel Automático Sokkia C28 con sus respectivas miras de nivelación graduadas con resolución de 10 mm y apreciación de 1 mm.

Una vez situadas las miras en los vértices se procedió a estacionar el aparato en el punto medio, dejándolo adaptarse a la temperatura ambiente algunos minutos y se efectuaron las lecturas hacia ambas miras en el sentido que especifica la norma (tomando lectura primero al punto A y luego al B durante cinco pares de lecturas y luego invirtiéndolo durante las restantes cinco) obteniendo así un desnivel **d1** que representa la diferencia de altura entre los puntos A y B, lo que se acepta como un valor verdadero. Las medidas se encuentran en la tabla a).

A continuación se trasladó el equipo a la estaca que se encuentra a 10 metros del vértice B y se volvieron a tomar las lecturas de la misma manera que en el caso anterior, obteniendo un desnivel **d2** de las segundas mediciones. Los valores medidos se encuentran en la tabla b).

j	XAj (mm)	XBj (mm)
1	1950	1350
2	1950	1350
3	1951	1351
4	1950	1351
5	1951	1350
6	1950	1351
7	1950	1351
8	1950	1350
9	1950	1350
10	1950	1351

Tabla a)

j	XAj (mm)	XBj (mm)
1	2128	1526
2	2129	1527
3	2128	1527
4	2128	1526
5	2128	1528
6	2128	1527
7	2129	1528
8	2128	1527
9	2128	1527
10	2128	1527

Tabla b)

Finalizada las mediciones se procedió a los cálculos determinados por la norma, para verificar el error de colimación del nivel óptico.

CÁLCULO DE DESNIVELES Y PROMEDIO PARA LA POSICIÓN 1:

Sea **d1** la media aritmética de las diferencias de altura d_j *de la primera serie de medidas.*

$$d1 = \frac{1}{10}\sum_{j=1}^{10} d_j$$ con $d_j = X_{A\,j} - X_{B\,j}$ las diferencias para cada par de lecturas.

CALCULO DE LOS RESIDUOS

Se calculan los residuos r_j como: $r_j = d1 - dj$ con j= 1, 2, ...10.

Donde r_j es el residuo de la correspondiente diferencia de altura d_j de la primera serie de mediciones entre los dos puntos de nivelación A y B. Como una verificación aritmética, la suma de los residuos de conjunto 1 será igual a cero (excepto por los errores de redondeo).

	Posición 1				
	XAj (mm)	**XBj (mm)**	**dj (mm)**	**rj (mm)**	**rj^2 (mm^2)**
1	1950	1350	600	-0,30	0,09
2	1950	1350	600	-0,30	0,09
3	1951	1351	600	-0,30	0,09
4	1950	1351	599	0,70	0,49
5	1951	1350	601	-1,30	1,69
6	1950	1351	599	0,70	0,49
7	1950	1351	599	0,70	0,49
8	1950	1350	600	-0,30	0,09
9	1950	1350	600	-0,30	0,09
10	1950	1351	599	0,70	0,49
Suma	19502	13505	5997	**0,00**	
N	**10**	**d1**	**599,70**		

Tabla c)

CALCULO DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR

$$S = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \frac{r_j^2}{v}}$$

Los grados de libertad **v** resultan igual a **n-1**, donde **n** es el numero de observaciones realizadas para cada serie.
Así **v** = 9 y **S** = 0,675 para la primer serie de medidas.

CALCULO DE DESNIVELES Y PROMEDIO PARA LA POSICIÓN 2:

De la misma manera que para la posición 1 ahora calculamos para la posición 2 **d2:** la media aritmética de las diferencias de altura d_j *de la segunda serie de medidas.*

$d2 = \sum_{j=11}^{20} d_j$ con $d_j = X_{A\,j} - X_{B\,j}$ las diferencias para cada par de lecturas.

j	Posición 2		
	XAj (mm)	XBj (mm)	dj (mm)
11	2128	1526	602
12	2129	1527	602
13	2128	1527	601
14	2128	1526	602
15	2128	1528	600
16	2128	1527	601
17	2129	1528	601
18	2128	1527	601
19	2128	1527	601
20	2128	1527	601
Suma	21282	15270	6012
N	**10**	**d2**	**601,20**

Tabla d)

El valor de D= |d1-d2| representa fundamentalmente la influencia del error de colimación.
El error de Colimación es inherente al instrumento; ocurre cuando en éste se ha perdido el paralelismo entre el eje óptico y el eje horizontal del nivel.
En nuestro caso:

$D = |d_1 - d_2| = 1{,}50$ mm

VERIFICACIÓN:

El valor $|d_1 - d_2|$ tiene que estar dentro de la desviación permitida (+/- p) especificada en la norma ISO 4463-1 para la tarea de medición prevista. Si no se dispone de dicho valor, la diferencia deberá ser $\mathbf{|d_1-d_2| < 2{,}5xS}$, donde **S** es la desviación típica experimental calculada. Si la diferencia $\mathbf{|d_1-d_2|}$ es demasiado grande, esto indica una incertidumbre excesiva de la medición a través de la distancia larga (50m), provocado por un error de lectura, la refracción y fundamentalmente el desplazamiento del eje de colimación.

Así resulta 2,5x*S* = 1,69 mm y en consecuencia 1,50 mm < 1,69 mm. Como se puede observar el instrumento cumple con la verificación especificada por la Norma ISO 17123-2.

Posteriormente se realizó el mismo ensayo en la base materializada para la experiencia anterior con el mismo nivel, pero utilizando las miras geodésicas del Departamento de Agrimensura. Dichas miras son de INVAR, tienen una graduación mínima de 2,5 mm y un largo de 3 m.

Con los valores obtenidos en el campo se hicieron las tablas y los cálculos correspondientes de la desviación estándar (del mismo modo que para el primer ensayo) dando los siguientes resultados:

$d_1 = 600{,}95\,mm$, $d_2 = 603{,}08\,mm$, su diferencia $\left(\overline{d_1} - \overline{d_2}\right) = 2{,}13\,mm$ y $s = 0{,}456\,mm$

También se verificó el cumplimiento de la Norma $\left(\overline{d_1}-\overline{d_2}\right)<2{,}5\cdot s$ que da $2{,}13<1{,}14$ y vemos que dicha condición **no se cumple.**

En este punto podemos destacar el importante viento a ráfagas que hubo ese día y el peso de dichas miras, lo que dificultó mantener la verticalidad de las mismas.

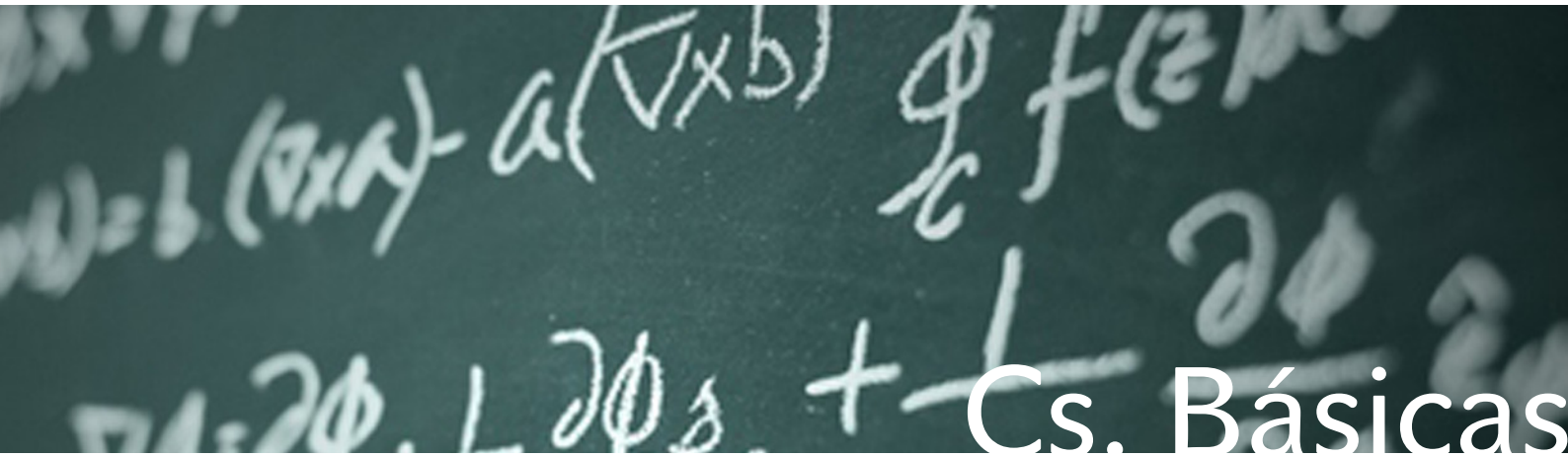
Por último se verificó el buen funcionamiento del nivel utilizado en ambas experiencias en el laboratorio de la división de metrología del INTI donde se realizaron las mismas medidas con dicho nivel en la base del laboratorio. Dicha base tiene una distancia aproximada de 30 metros y las miras están conformadas por unas regletas milimetradas fijadas en la pared. Estas medidas realizadas en el INTI permitieron corroborar que el nivel utilizado en las experiencias de campo verificaba la especificación del fabricante.

4. Conclusiones

- ✓ La primera experiencia realizada en el campo con las miras de aluminio graduadas con una división mínima de 10 mm arrojó resultados positivos en cuanto a que el nivel cumplió con la exigencia de la norma.
- ✓ Si se desea trabajar con mayor resolución en el campo se deben utilizar miras geodésicas. En este trabajo se utilizaron miras graduadas con una división mínima de 2,5 mm y una longitud de 3 m. La verificación de la Norma no se cumplió debido a una importante dispersión de las medidas. Esta experiencia no arrojó los resultados esperados, ya que por el buen estado del nivel comprobado en el INTI el instrumento cumplía con las especificaciones establecidas.
- ✓ Con las miras geodésicas se dificulta la lectura en la distancia larga (50 m) debido a la resolución del anteojo y adquiere relevancia el factor climático, dada la altura y peso de las miras, para mantener la verticalidad de las mismas por lo que para obtener una mejor resolución e independizarse de estos factores negativos se aconseja realizar la experiencia en un ambiente cerrado con una base más corta (30 m) y utilizar como miras regletas milimetradas fijas a la pared y con una buena iluminación de sus escalas.
- ✓ Se comprobó que con las miras y las resoluciones que trabajamos no es necesario tomar en cuenta las variaciones de temperatura para compensar las dilataciones de los materiales.
- ✓ Si bien el procedimiento analizado en el presente trabajo está basado en un número limitado de medidas, y por lo tanto, no puede ser obtenida una desviación estándar significativa, es un método de campo relativamente simple de implementar y que permite realizar una verificación rápida de la precisión de un nivel óptico/electrónico y estimar su error de colimación, con las limitaciones expuestas en este trabajo en cuanto a las miras a utilizar.

Bibliografía:

- ISO 17123-4:2001: Optics and optical instruments -- Field procedures for testing geodetic and surveying instruments -- Part 4: Electro-optical distance meters (EDM instruments).
- ISO 4463-1:1989: Measurement methods for building -- Setting-out and measurement -- Part 1: Planning and organization, measuring procedures, acceptance criteria.
- Apuntes de la Cátedra Fundamentos de Instrumental, Dto. de Agrimensura, FIUNLP.
- Apunte: Incertidumbre de Medición, Ing. Marcelo Iglesias - Ing. Flavio Piotto – Ing. Jorge Stella, Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).
- Evaluación de la incertidumbre de medida de ángulos, distancias y desniveles medidos con instrumentación topográfica, José Luis García Balboa, Antonio Miguel Ruiz Armenteros, José Luis Mesa Mingorance, *Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Universidad de Jaén. 23071 Jaén, España.*



Cs. Básicas

CREENCIAS DE ESTUDIANTES PRÓXIMOS A INGRESAR A LA FACULTAD DE INGENIERÍA SOBRE "LA MATEMÁTICA" Y "QUÉ ES HACER MATEMÁTICA"

Patricia M. Cademartori, Viviana A. Costa

IMApEC, Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, UNLP, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
vacosta@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: sistema de creencias, Matemática, estudiantes ingresantes a la universidad.

INTRODUCCIÓN

Numerosas investigaciones abordan la problemática de la enseñanza y aprendizaje de la Matemática en todos los niveles educativos y desde diversos aspectos, en particular la problemática del paso del alumno de la escuela media a la universidad. Esta presentación pretende colaborar con esta última problemática contribuyendo con una mirada centrada en las voces de los estudiantes.

En este trabajo se expone un estudio acerca de los *sistemas de creencias* que tienen estudiantes próximos a ingresar a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata (FI UNLP) acerca de "la Matemática", "qué es hacer Matemática" y de su "propia actividad y/o experiencia con la Matemática". Las creencias inciden, de modo decisivo, en el proceso de enseñanza y aprendizaje, "para la actuación del profesor las creencias de los estudiantes son tan relevantes como los conocimientos" (Gomes Chacón, 2007). Dada esta influencia es importante conocer algunas de las creencias de los estudiantes acerca de la matemática.

Siguiendo a Gomes Chacón (2007) tomamos la definición de *creencias* de García, Azcárate y Moreno (2006). Según estos autores "*las creencias son ideas poco elaboradas, generales o específicas, que forman parte del conocimiento que poseen las personas e influyen de manera directa en su desempeño*".

Se entiende por *estructuras de creencias* a un "*conjunto de creencias en el individuo que se refuerzan y apoyan mutuamente, que son primordialmente de tipo cognitivo pero que a menudo incorporan lo afectivo*". Un *sistema de creencias* es una estructura de creencias extensiva que es compartida social o culturalmente (Goldin, 2002). Además, debe considerarse que las personas no siempre son concientes de sus creencias y que las mismas pueden cambiar con el tiempo.

Para abordar esta investigación adoptamos además como marco referencial las investigaciones de Op't Eynde, De Corte y Verschaffel (2002). Estos presentan un marco unificador para las investigaciones en *creencias* de los estudiantes que permite una mejor comprensión de las interacciones entre el "*yo*", "*el contexto social*" y "*el objeto".*

En el ámbito de la Educación Matemática, el *sistema de creencias* del estudiante se categorizan en términos del *objeto de creencia*: creencias acerca de la Matemática (el objeto); acerca de uno mismo (el yo) y acerca de la enseñanza de la Matemática y en el contexto en el cual sucede (contexto social). Estas dimensiones se observan en la Figura 1.

El objetivo de esta investigación es el de caracterizar el sistema de creencias según la clasificación (figura 1) que tienen estudiantes ingresantes a la FI UNLP, sobre "la Matemática", "que es hacer Matemática" y de su "actividad matemática".

Es importante señalar que, como se ha mencionado anteriormente, las *creencias de los estudiantes* son tan relevantes como los conocimientos, por tanto es importante estimular investigaciones que permitan una mayor comprensión y desarrollo de la influencia de los sistemas de creencias en el aprendizaje de la Matemática.

Este trabajo es parte de uno más amplio, aun en investigación, que busca indagar y a partir de allí comparar los sistemas de creencias de estudiantes ingresantes a distintas facultades de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) donde la Matemática jugará distintos roles en su formación y futura actuación profesional.

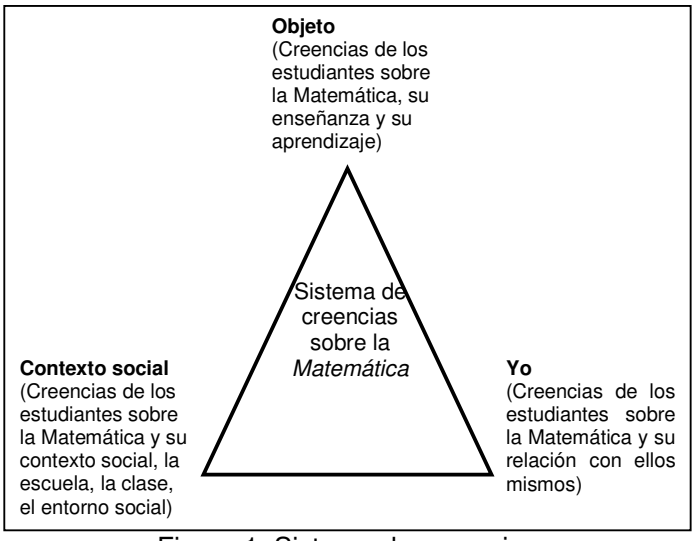


Figura 1. Sistema de creencias

ASPECTOS METODOLÓGICOS

Dado que la investigación es de carácter exploratorio-descriptivo se utilizó la técnica del *focus-group* (FG) ya que la misma es un recurso interesante para explorar sobre un tema en particular en el cual es de interés conocer y comparar distintas posiciones de los actores, en este caso los estudiantes. El FG "permite establecer un espacio de comunicación donde se puede observar y analizar las interacciones. Las informaciones, conocimiento, actitudes, memorias, representaciones y emociones se ponen en juego en este espacio" (Documento metodológico orientador para la investigación educativa. Ministerio de Educación. INFD. Organización de los estados Iberoamericanos y UNICEF, 2008).

Las mismas investigadoras realizaron dos FG, uno en febrero de 2012 y otro en febrero de 2013 a ocho y seis ingresantes respectivamente. Cabe mencionar que durante el mes de febrero se desarrolla el Curso de Nivelación de la FI UNLP. Los diálogos fueron registrados en una grabadora de audio en su totalidad. Los estudiantes que participaron tienen edades entre los 18 a 20 años, son oriundos tanto de la ciudad de La Plata como de otras ciudades de la Argentina, de distintos géneros, y egresados de escuelas públicas y/o privadas. Las selecciones de los estudiantes la realizaron sus profesores del Curso de Nivelación y para la misma se hizo especial hincapié en que dicha selección no debía basarse en que fueran los mejores estudiantes en cuanto a su desempeño académico o por lo contrario, los estudiantes de menor desempeño académico, sino que, de alguna manera, los estudiantes seleccionados debían representar al alumno medio del curso, aunque con capacidad de comunicación.

En el FG, luego de una breve presentación de las investigadoras-entrevistadoras y de los estudiantes, se relató la finalidad de la misma y se remarcó su carácter anónimo. En el espacio de discusión generado se trabajó sobre tres preguntas que giraron en torno a los tres ejes anteriormente mencionados y en el orden en que se exponen en la tabla 1. La actitud de las investigadoras-entrevistadoras fue amable, sin emitir juicios sobre los diálogos de los estudiantes entrevistados, permitiendo que entre ellos se expresaran, debatieran, sin tiempos pre-establecidos para el dialogo e interviniendo de ser necesario para permitir la participación de todos los estudiantes.

Pregunta	Enunciado de la pregunta
1	¿En el Secundario, qué idea tenias de lo que es la Matemática? ¿Y ahora que crees que es la Matemática? ¿Cómo es tu relación con la Matemática (buena, mala, te gusta, te cuesta, la estudias porque no te queda otra, la aprendes de memoria, te gusta por que, no te gusta por que)?
2	¿Qué es para vos hacer Matemática? ¿Cuándo crees que estás haciendo Matemática? ¿Crees que todas las personas pueden hacer Matemática o que hay algunas con más facilidad que otras?
3	Ya pensando en vos como profesional, ¿Qué pensás que será para vos "hacer Matemática"?.

Tabla 1. Protocolo de la entrevista

El primer FG estuvo conformado por dos aspirantes a ingresar a la carrera de Ingeniería Aeronáutica, cuatro aspirantes a la de Ingeniería Mecánica y dos estudiantes a la de Ingeniería Electrónica. El segundo FG estuvo conformados por tres aspirantes a ingresar a la carrera de Ingeniería Aeronáutica y tres aspirantes a ingresar a la carrera de Ingeniería Electrónica. Los estudiantes no se conocían demasiado ni los investigadores tampoco a ellos y cada FG se realizó en la última semana del Curso de Nivelación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se transcriben parte de los diálogos de los estudiantes en los FG en relación a las tres preguntas que se propusieron. Las respuestas expuestas, son los que se consideraron relevantes destacar para un posterior análisis de las entrevistas que permitan inferir acerca de las *creencias de los estudiantes* en relación a la Matemática, que es hacer Matemática y de sus relaciones o experiencias con la Matemática. Los FG fueron dinámicos, ágiles, hubo interacción fluida entre los jóvenes y entre los entrevistadores.

Pregunta	Transición audio de los diálogos de los estudiantes
1	*"[…] sumar y restar, aburrida, muy básico, no es lo mismo que la facultad, […] relativo sumar y restar, relativo al colegio, al principio la odiaba (primaria), aplicar teoremas, profesores, personas que les cuesta más que otra […]: es la forma de razonar, colegios: nunca te enseñan a estudiar, estudias de memoria, te olvidas […] la matemática es necesaria, está en todos lados, dar vueltos, […] formas de justificar, diferencia en que te dan lo mismo que te toman (en la secundaria). Te obligan, alumnos más maduros (en la universidad), en la secundaria te copias […] elegí ingeniería por la matemática, no me cuesta, no es para estudiar […] es algo práctico, no leer mucho […] desde chico me gustaron la matemática, la matemática ahora (en la universidad) te la muestran desde otro punto de*

	vista, ahora es más placentero […] antes como una materia más […] antes ecuaciones, números, formulitas. Ahora solucionar problemas, se puede aplicar. Antes más mecánico […] en materias como taller usas la Matemática […] algunas fórmulas básicas te las tenés que saber de memoria y luego vas deduciendo todo. Tenés que saber de donde proviene. […] La Mat. te agiliza la cabeza. Como todo viene de algo lógico no hay que memorizar. […] Muy mecánico, pero la del secundario es la Matemática más básica. Después deja de ser mecánica. Todo depende del profesor. […] es distinta la relación con los profesores ahora. Acá te exigen, aunque les llores si te tienen que hacer de goma lo hacen […] es Importante el trabajo en grupo".
2	*"[…] hacer matemática es, música, baterista, la música es matemática, compases, contar musas, negras, estás pensando, acordes, en todos lados, desde que te levantás, es la base de todo, todo depende de la matemática, cosas empíricas […] no es de uso cotidiano, ciencia que sirve para el progreso, hay distintas matemáticas […] no, si. Hay que estudiar por más que sean genios es más que memoria, no hay que estudiar tanto, historia no se razona, matemática si, hay que acordarse cosas, pero no muchas, buscar solución a algo. Algunos lo hacen por sentimiento. Si les cuesta es porque no le gusta, hay que entender, es evolutiva (una cosa va con la otra). Un abuelo no entiende, ni nunca. (Risas). Por necesidad o porque querés se aprende. Cuando más chico se empieza mejor. Es algo progresivo el aprendizaje de la matemática. Te vas acordando. Va en la capacidad, con la misma base. Personas que fundaron las bases, desde la nada: ellos no se ven así, esas personas son una luz, entonces hay diferencia entre las personas. Personas que asimilan más fácil una materia que otra. El que sirve para la matemática sirve para cualquier cosa? No. La matemática te ayuda en todo. Te da capacidad de ver las cosas de otra manera, pensás de donde vienen las cosas. Hay relación entre la Matemática y la Filosofía […] pintar una pared, gastos, ingresos, la gente de la calle no hace matemática. Se necesita matemática para poder vivir, es una capacidad que se desarrolla […] hay distintos niveles, básico (discuten) […] la matemática está en todos lados […] la música tiene Matemática […] no se puede ver, pero en si la estás usando cuando cocinás: ¾ de […] un partido, cómo dar vuelto […] en la economía familiar, ofertas, interés, iva, […] la matemática es para todos […] algunos tienen más facilidad, pero el que quiere puede. Como en otras ciencias, pero está al alcance de todos […] el desarrollo es progresivo, vas aprendiendo de a poco. Pero todos pueden".*
3	*"[…] resolver problemas y tratar de seguir avanzando. Tanto en la práctica como en la teoría […] diseño (aeronáuticos) […] sin idea (electrónicos). En los sistemas es más difícil ver más la matemática […] (hacen referencia a cada carrera específica) […] si nos gustara la matemática seriamos matemáticos […] es la base fundamental, la Matemática, te va a llevar para adelante. Te va a hacer crecer como persona e ingeniero […] Inevitablemente vas a usar matemática […] la ingeniería se relaciona con la Física. Pero para dominar la física necesitas Matemática […] a mí la matemática y la filosofía me cambiaron la forma de pensar, la matemática te dá el razonamiento y la filosofía la forma de ser".*

Tabla 2.

A partir de los diálogos de los FG se hace un análisis que permite caracterizar el sistema de creencias de estos grupos de alumnos ingresantes a la FI UNLP.

En cuanto a:

- creencias sobre la Matemática y su relación con ellos mismos (el yo): todos los estudiantes, expresaron su gusto por la Matemática y que no les es "difícil" aprenderla.
- creencias sobre la Matemática y su entorno social, la escuela y la clase (contexto social): todos los estudiantes expresaron, la gran diferencia entre estudiar Matemática en la escuela y en la universidad; "*en la escuela es memorístico y algorítmico y en la universidad hay que pensar*", la importancia que juega el rol del profesor en la clase en la motivación de los estudiantes y valoraron el trabajo en grupo. Aunque con respecto a esto último señalaron una diferencia: para practicar cálculos es mejor hacerlo solo, pero para aprender un tema o empezar es mejor hacerlo en grupo.
- creencias sobre la Matemática, su enseñanza y su aprendizaje (objeto): todos los estudiantes coinciden en que la Matemática está en todos lados, que siempre están haciendo Matemática, constantemente, que la Matemática los ayudará en la vida personal y en la profesional, que hacer Matemática es principalmente resolver problemas, que es la base de todo y que los ayuda a razonar. Está la idea de que la Matemática es para todos, aunque mencionan que algunas personas pueden tener más facilidad que otras para aprender.

CONCLUSIONES

De las preguntas y el dialogo, surgieron ideas muy interesantes y de pensamiento profundo para sus edades. De un primer análisis de la entrevista se desprende el interés de los jóvenes por su futuro cercano y profesional, como también una profunda capacidad de análisis acerca del rol que juega la Matemática en la resolución de problemas en la vida cotidiana. Los estudiantes perciben la presencia de la Matemática en distintos órdenes de la vida desde las compras y los vueltos hasta la música, considerándola incluso como la ciencia que es la base de todo.

Encontramos diferencias, según las especialidades en las que están inscriptos los alumnos, entre como perciben su relación con la Matemática a futuro en su rol profesional. Los alumnos inscriptos en las carreras de aeronáutica "imaginan" a futuro la Matemática como una herramienta para la resolución de problemas, a la que utilizarán constantemente. Por su parte los alumnos inscriptos en las otras carreras aun no tienen una idea muy formada al respecto, pero si manifiestan que la usarán.

Los estudiantes que participaron en los FG tienen *creencias positivas* en relación al propio "yo", expresan que "les gusta la Matemática". En relación al "contexto social", consideran que la "forma" en que han estudiado Matemática en la escuela y en "cómo" les han enseñando es "distinta" a la que están experimentando en la Universidad. Manifiestan profundas diferencias en este sentido y destacan en todo momento la relación entre la enseñanza de la Matemática y el rol del profesor en la clase, y en como esta puede influir, positivamente o no, en el aprendizaje de los estudiantes.

Por último y en relación al "objeto" está presente la idea de una Matemática que es la base de todo y que, a diferencia de otras ciencias no hay que memorizar, ya que "como es lógica" alcanza con razonar. Se llega incluso a relacionarla con la Filosofía, "*la matemática te dá el razonamiento y la filosofía la forma de ser*".

Se considera que este trabajo permite hacer una primera aproximación a la cuestión de las creencias de los alumnos ingresantes a la Facultad de Ingeniería, tema del cual las autoras no tienen conocimiento que haya sido previamente estudiado. Se vislumbra en la profundización del tema, centrado en las voces de los alumnos, cuestiones de interés que pueden aplicarse para la mejora de la práctica docente.

BIBLIOGRAFÍA

Documento metodológico orientador para la investigación educativa. Ministerio de Educación. INFD. Organización de los estados Iberoamericanos y UNICEF (2008).

GARCÍA, L., AZCÁRATE, C. Y MORENO, M. (2006). Creencias, concepciones y conocimiento profesional de profesores que enseñan cálculo diferencial a estudiantes de ciencias económicas. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*. Disponible en http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=33590105&iCveNum=3968

GOLDIN, G. (2002). Affect, meta-afecct, and mathematical belief structures. En G. Leder, E. Pehkonen y G. Törner (Eds.), Beliefs: A hidden variable in Mathematics Education? (pp. 59-72). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

GÓMEZ-CHACÓN, I. (2007). Sistema de creencias sobre las matemáticas en alumnos de secundaria. Revista Complutense de Educación. Vol. 18, Núm. 2, 125-143. Disponible en http://revistas.ucm.es/edu/11302496/articulos/RCED0707220125A.PDF

OP'T EYNDE, P., DE CORTE, E., & VERSCHAFFEL, L. (2002). Framing students' mathematicsrelated beliefs: A quest for conceptual clarity and a comprehensive categorization. In G.C. Leder, E. Pehkonen, & G. Törner (Eds.), Beliefs: A hidden variable in mathematics education? (pp. 13-38). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

EL USO DE VIDEOJUEGOS EN UN LABORATORIO DE FÍSICA

Juana I. Gallego Sagastume[1,2], Eugenio Devece[1,2],
Patricia Torroba[1,2], Fabián Videla[2,3]

[1]IMApEC. Ciencias Básicas. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata.
Calle 1 y 47. La Plata. (chinchiya@gmail.com)
[2]Cátedra de Física I, Facultad de Ingeniería, UNLP
[3]CIOp, CICBA La Plata

Resumen. En las clases de la Cátedra de Física I de la Facultad de Ingeniería, UNLP, se utilizan con frecuencia videos y TIC´s, para ilustrar fenómenos físicos y las leyes que los rigen.
En el presente trabajo, se propone el empleo de un popular juego llamado Angry Birds® en el diseño de una práctica de laboratorio para el tratamiento de la conservación de la cantidad de movimiento de un sistema físico modelado como sistema de partículas. En esta actividad se utilizan TIC's, que contienen programas de toma, análisis y procesamiento de datos y el popular juego.
En relación al impacto de este recurso, se realizó una encuesta previa y una posterior a la experiencia. Ambas encuestas contienen una selección de preguntas cualitativas y cuantitativas, destinadas tanto a facilitar la comprensión de los conceptos físicos asociados con la conservación de la cantidad de movimiento como a evaluar el progreso en la incorporación de los conceptos abordados, luego de realizar el laboratorio.
Por último, se analizan los resultados obtenidos en las encuestas. Estos indicarían que el empleo de este juego resultaría beneficioso para lograr los objetivos propuestos.

Introducción.

En la cátedra de Física I desde hace algunos años se diseñan y utilizan experiencias didácticas basadas en TIC´s[1-4]. Estas nuevas tecnologías incluyen el uso de instrumental cuya particularidad es la de generar en los alumnos, habilidades que deben estar presentes en la formación del ingeniero actual. Estas herramientas permiten obtener datos en tiempo real, facilitar su interpretación y análisis, y a su vez contrastar los aspectos teóricos con los experimentales. En consecuencia, las actividades planteadas pretenden que el futuro profesional se acerque a las problemáticas reales.

En este trabajo proponemos hacer uso de TIC´s, videos y juegos conocidos como "toons", como complemento a las cursadas teórico-prácticas, con el fin de captar más efectivamente la atención del estudiante, recurriendo a la familiaridad que posee con estas tecnologías. El juego elegido, Angry Birds®, ya ha sido analizado por diversos autores [5-6] como una interesante manera de estudiar los tiros oblicuos, y analizarlos desde el punto de vista de la cinemática, al mismo tiempo que los alumnos experimentan en el juego qué es lo que sucede si varían los ángulos iniciales de tiro y la velocidad con que salen los proyectiles.

En este trabajo se describe en primer lugar la metodología empleada en el desarrollo de las actividades. Se detallan las situaciones que deberán analizar los alumnos así como las encuesta. Se incluye también una breve descripción del laboratorio y las TIC´s empleadas. Luego se introduce una representación gráfica de los resultados en forma de histograma que permite su interpretación a simple vista.

Finalmente, se discuten los resultados a fin de evaluar los beneficios del empleo combinado de estas TIC´s, los juegos y los conceptos físicos adquiridos en la clase teórico prácticas

Metodología de trabajo

Objetivos

En este trabajo se propone el empleo de un popular juego llamado Angry Birds® en el diseño de una práctica de laboratorio para el tratamiento de la conservación de la cantidad de movimiento de un sistema físico modelado como sistema de partículas. El grado de avance en la comprensión del tema se evalúa mediante una encuesta previa y otra posterior al laboratorio.

Desarrollo de las actividades

Por medio de una serie de encuestas pretendemos evaluar las consecuencias del uso de esta herramienta didáctica en la mejora en la comprensión de conceptos asociados con la conservación de la cantidad de movimiento. Las actividades destinadas a esta evaluación pueden ser divididas en cuatro partes:

a) Realización de una encuesta previa a la práctica del laboratorio (Pretest).
b) Realización del laboratorio
c) Realización de una encuesta posterior a la práctica del laboratorio (Postest).
d) Análisis de los resultados.

a) Realización de la encuesta previa

La realización de la encuesta previa (pretest) consistió en una selección de preguntas [7] cualitativas y cuantitativas, destinada a facilitar la comprensión de temas asociados con la conservación de la cantidad de movimiento. Esta selección también tuvo en cuenta actividades experimentales desarrolladas en la cátedra. La encuesta pretest fue

Situación I
Dos carritos, de idéntica masa, se ponen uno en contacto con el otro encima de una pista sin roce. El carrito A tiene un resorte adosado. Cuando el resorte se libera, empuja al carrito B y entonces:

1) A se mueve pero B se queda quieto
2) Los dos carritos se mueven con A a mayor velocidad que B
3) Los dos carritos se mueven en direcciones opuestas y a la misma velocidad
4) Los dos carritos se mueven con B a mayor velocidad que A
5) B se pone en movimiento pero A permanece quieto

Situación II
Dos carritos, con masa $m_A=2\ m_B$, se ponen uno en contacto con el otro encima de una pista sin roce. El carrito A tiene un resorte adosado. Cuando el resorte se libera, empuja al carrito B y entonces:

1) $|P_A|>|P_B|$, V_{CM} en dirección a V_A
2) $|P_A|>|P_B|$, $V_{CM}=0$
3) $|P_A|<|P_B|$, V_{CM} en dirección a V_B
4) $|P_A|<|P_B|$, $V_{CM}=0$
5) $P_A=-P_B$, V_{CM} en dirección a V_A
6) $P_A=-P_B$, $V_{CM}=0$
7) $P_A=P_B$, V_{CM} en dirección a V_A
8) $P_A=P_B$, $V_{CM}=0$

b) Realización del laboratorio

La realización del laboratorio tiene como objetivo verificar la conservación de la cantidad de movimiento en 2 dimensiones para un sistema físico modelado como sistema de partículas [8]. Se utiliza una filmación de la aplicación Angry Birds y el software LoggerPro® para el análisis de videos. Esta herramienta permite luego de haber filmado con una web cam un fragmento del juego, medir las variables cinemáticas de interés. La idea es tomar una filmación del juego Angry Birds y analizar el comportamiento de los proyectiles (pajaritos), en el caso en que el proyectil se divide en tres partes (ver Figura 1). Como resultado de este análisis se puede determinar si las velocidades de los distintos pájaros nos permiten verificar la conservación, de la cantidad de movimiento del centro de masas del sistema físico [9]



Figura 1. Angry Birds® consiste en atinarle a unos cerdos (o en otras versiones, jaulas de pájaros) por medio del tiro de pájaros usados en forma de proyectil, con una gomera.

c) Realización de la encuesta posterior

La selección de las situaciones para la encuesta posterior (postest) tuvo como objetivo la evaluación de la comprensión del tema entre dos grupos, uno de los cuales realizó el laboratorio. La encuesta postest es la siguiente:

Situación I
Un carrito que se mueve a velocidad v choca con otro carrito idéntico inmóvil en una pista horizontal con roce despreciable. Después de la colisión ambos carritos se mueven juntos. ¿Cuál es la velocidad del conjunto después del choque?

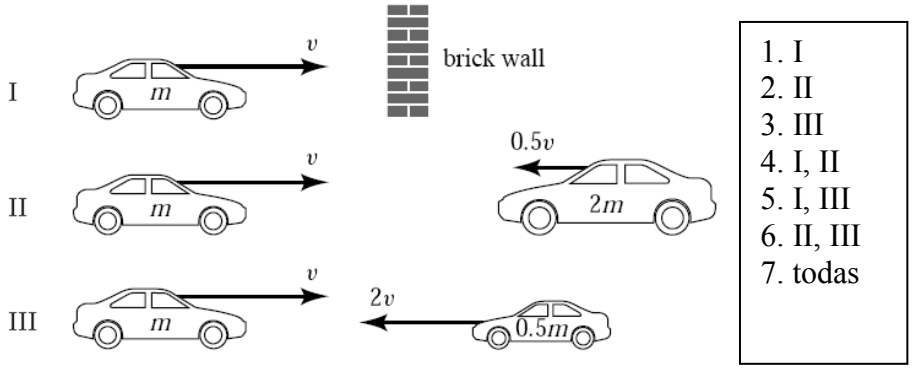
1. v
2. 0,5 v
3. cero
4. -0,5 V
5. -v
6. Se necesita más información.

Situación II
Un cuerpo se mueve sobre una superficie horizontal con roce despreciable y colisiona con otro cuerpo que se encuentra en reposo Es posible que el cuerpo que inicialmente está en reposos adquiera un momento lineal mayor que el momento lineal del cuerpo que se mueve inicialmente.

1) Si
2) No, debido a que esta afirmación violaría la ley de conservación de la cantidad de movimiento.

Situación III

Si todas las colisiones indicadas en la figura son totalmente inelásticas ¿en cuál o cuales es cero la velocidad del sistema luego del impacto?

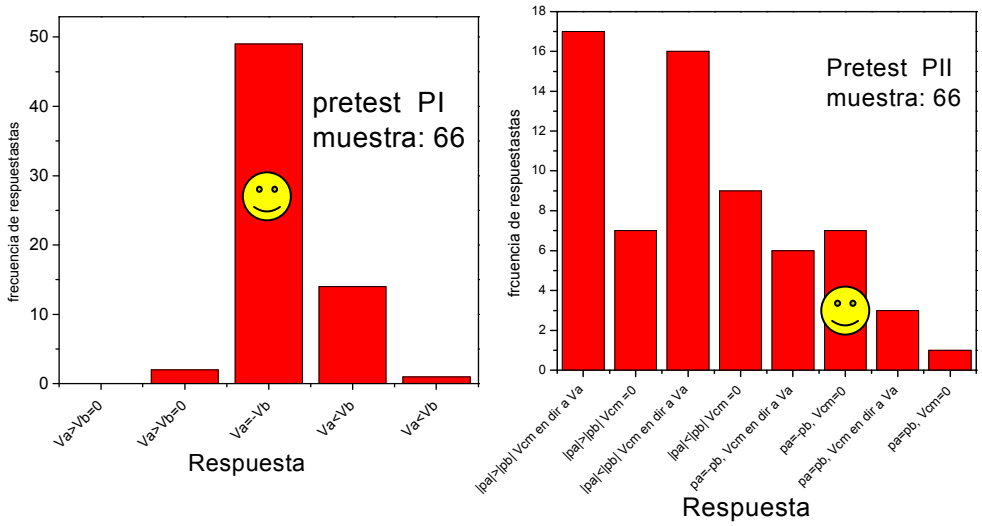


1. I
2. II
3. III
4. I, II
5. I, III
6. II, III
7. todas

d) Análisis de los resultados

Los resultados de las encuestas se representaron mediante histogramas para facilitar su análisis (ver Figura 2.). En el eje horizontal se indican las opciones propuestas en la encuesta (respuestas). Se ha indicado con un ícono la respuesta correcta. Los histogramas A) y B) representan los resultados de las encuestas Pretest correspondientes a las situaciones I y II respectivamente. El número de encuestados para los casos pretest fue de 66 alumnos. Para los casos Postest los histogramas están presentados en forma similar, pero correspondientes a la situación I y a la III pero en este caso los resultados asociados con la Figura 2 C) y D) se realizaron sobre 36 alumnos que hicieron el laboratorio mientras que las encuestas correspondientes a E) y F) se realizaron sobre 31 que no lo hicieron

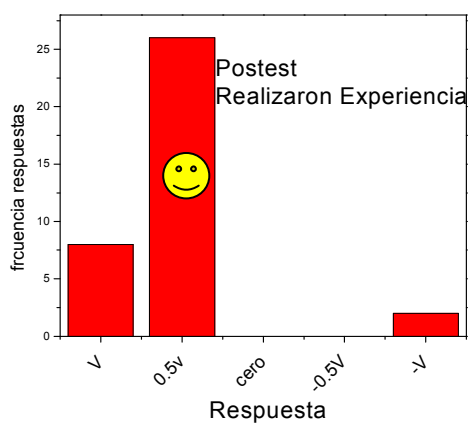
Representación gráfica de los resultados
Histogramas CASOS PRETEST

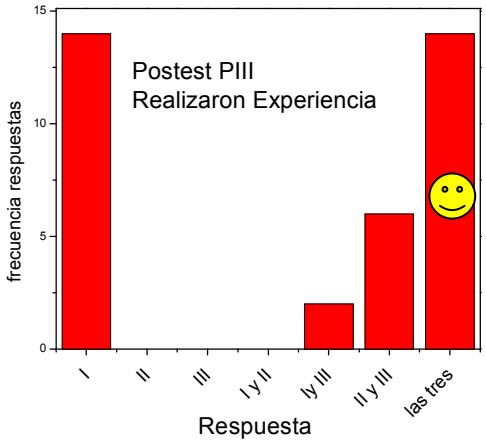


A **B**

Figura 2

Histogramas CASOS POSTEST.
Total de casos 36

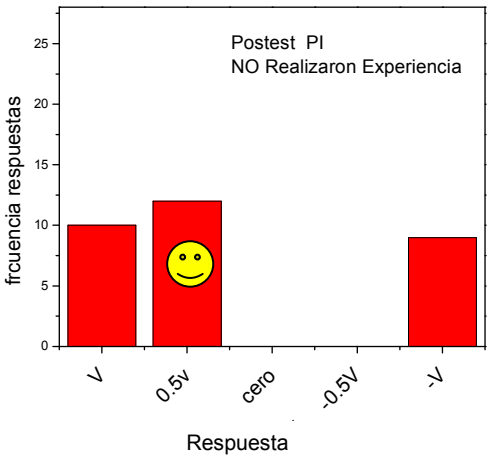


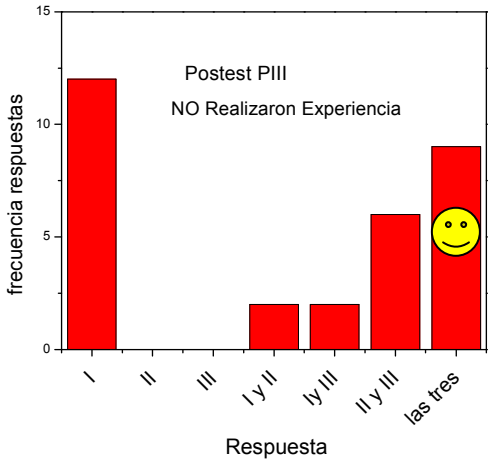


C **D**

Figura 2

Total de casos 31





E **F**

Figura 2

Discusión y Conclusiones

Resultados del Pretest.

Comparando las dos situaciones planteadas se observa que:
En la primera situación hay más respuestas correctas (48/66) respecto de la segunda (7/66). Se podría inferir, por la simetría de la situación planteada (masas iguales), que las respuestas sean de carácter intuitivo. Además, es posible que no hayan tenido en cuenta fundamentos teóricos. Se destaca que las respuestas se deben dar en función de velocidades, magnitudes habituales en la vida cotidiana.
La segunda situación contiene en las opciones de las respuestas, la magnitud cantidad de movimiento. Esto implica el empleo inevitable del los fundamentos teóricos y por lo tanto un aumento en la complejidad de la pregunta. Por otra parte, en la situación 1, la mayor cantidad de aciertos no permitiría afirmar el correcto uso del fundamento teórico.

Con el objetivo de evaluar el empleo del laboratorio de Angry Birds como herramienta para tratar el concepto de conservación de cantidad de movimiento se realizó un postest.

Resultados del Postest

Las encuestas se hicieron en dos grupos de alumnos, uno había realizado el laboratorio y el otro no. Se plantearon tres situaciones con distinto grado de complejidad y para facilitar el análisis se construyeron histogramas correspondientes a las situaciones 1 (ver Figura 2 C y E) y 3 (ver Figura 2 D y F).

El análisis del histograma correspondiente a la primera situación presenta un porcentaje de respuestas correctas mayor en caso de aquellos que realizaron el laboratorio 25/36=69% frente a 10/31=32% que no lo hicieron. El histograma para el caso de los que no asistieron al laboratorio presenta una mayor dispersión, lo que indicaría una mayor cantidad de respuestas al azar

Para la situación 3 el porcentaje de respuestas correctas es menor 14/36 =38% que hicieron la experiencia frente a 9/31= 29% que no la hicieron. Esto implica una mejora de 10 %

En la situación 2 las respuestas correctas fueron 18/36 para los encuestados que realizaron el laboratorio y 9 /31 para aquellos que no lo hicieron. Esto permitiría inferir que el uso del laboratorio fue útil para la comprensión del tema.
El uso de un juego popular entre los alumnos provocó una reacción favorable en ellos y ayudó a despertar no sólo el interés por el tema, sino la curiosidad por buscar otros casos para analizar.

Bibliografía

[1] Torroba P., Bordogna, C., Gagliardi P., Punte, G. “El empleo de las TIC´s como herramienta didáctica complementaria en cursos introductorios de Física”. Current Developments in Technology-Assisted Education. Vol III, páginas 2052-2056, 2006. Publisher: FORMATEX, Badajoz (Spain). Spain.
[2] Gallego J., Devece E. , Bordogna C.., Torroba, P. “ El empleo de las TIC´s en la conceptualización de la Tercera Ley de Newton”. II Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. UNLP, La Plata, octubre de 2009.
[3] Bordogna C., Torroba P. “The use of TIC´s for teaching energy transfer processes in courses of General Physics”. Reaserch, Reflection and Innovations in Integrating ICT in Education, Badajoz (Spain) 2009. VolIII
[4] Gallego J, Devece E., Torroba P.y Punte G. Experiencias con soporte de TIC´s en un marco de aprendizaje constructivista y colaborativo sobre la dinámica y la cinemática circular. Congreso Mundial y Exposición de Ingeniería 2010. Buenos Aires. Argentina. Octubre2010.http://www.ingenieria2010-rgentina.info/programa/programaExtendido.php?sala_=20&dia_=11
[5] Aplicación del Tracker a la física de los Angry Birds y otros videos. http://difusion.df.uba.ar/ConectarIgualdad/tracker-angrybirds.pdf.
[6] La física de Angry Birds de Michel Harms: http://thescienceguru.com/?p=173
[7] Eric Mazur. Peer Instruction: A User's Manual. Publisher by Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River, N J 07458,1 edition (August 8, 1997)
[8] http://www.ing.unlp.edu.ar/catedras/F0303
[9] Gallego J., Devece E., Torroba P. Videla F. Angry Physics: El uso de juegos para enseñar física. Juana I. XXVCONGRESO CHILENO DE EDUCACIÓN EN INGENIERÍA . Octubre de 2012. Antofagasta.Chile http://sochedi.ucn.cl/lib/exe/fetch.php/trabajos.4.pdf

EL CÁLCULO VECTORIAL EN LA FORMACIÓN DEL INGENIERO. UNA PERSPECTIVA DE ALUMNOS DE LOS ÚLTIMOS AÑOS DE LAS CARRERAS: AERONÁUTICA Y CIVIL

Viviana A. Costa[1], Francisco Landerreche[1], Jorge Colman Lerner[2]

[1]IMApEC, Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, UNLP, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
vacosta@ing.unlp.edu.ar
[2]Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, UNLP, La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Palabras claves: Enseñanza en carreras de ingeniería, Cálculo Vectorial, práctica docente, estrategias didácticas.

Resumen

Esta investigación aborda la problemática de la enseñanza y aprendizaje del Cálculo Vectorial en carreras de Ingeniería. Su estudio y comprensión es esencial para alumnos de estas carreras. Les proporciona herramientas matemáticas básicas que les servirán en la modelización de diversos fenómenos físicos y naturales que podrán ser descriptos matemáticamente por una representación vectorial.

En este trabajo presentamos el análisis de una encuesta realizada a alumnos del último año de las carreras Ingeniería Aeronáutica[1] e Ingeniería Civil (Costa, Landerreche y Colman Lerner, 2012). Seleccionamos la encuesta como instrumento para evaluar la relevancia que estos alumnos le proporcionan a los contenidos del Cálculo Vectorial durante el trayecto de su carrera. Los resultados de la misma nos permiten reflexionar sobre la práctica docente en la enseñanza de esos conceptos.

Introducción

La sociedad actual se encuentra ante una serie de cambios asociados al avance de la tecnología, de la industria y de los requerimientos de la humanidad. Estos están marcando cambios educativos en las distintas disciplinas y en los distintos niveles de enseñanza. En particular, en las últimas décadas, han crecido las numerosas investigaciones que abordan la problemática de la *educación en carreras de ingeniería* y la *enseñanza de la matemática* en estas carreras. Una variedad de congresos, simposios y jornadas, propician un escenario de reflexión sobre la innovación en la formación del ingeniero, para mediar procesos conducentes a la materialización de su perfil académico.

Una rama de las matemáticas que se estudia en las carreras de ingeniería es el *Cálculo Vectorial.* Su origen se encuentra a fines del siglo XVIII y a principios del siglo XIX, fuertemente ligados con los inicios de la *física-matemática*, la *termodinámica*, la *hidrodinámica*, la *mecánica de los fluidos,* la *electricidad,* el *magnetismo,* la *teoría del potencial y* la *Ecuación de Laplace* (Crowe, 1994; Wussing, 1998; Mankiewicz, 2005). La comprensión de los conceptos que involucra, es esencial para alumnos de carreras de ingeniería. Les proporcionará herramientas básicas que los ayudarán en la modelización matemática de diversos *fenómenos físicos* de los sistemas en ingeniería que podrán ser analizados a partir de una representación *vectorial* (Feynman, 1987). Sin embargo, la enseñanza y aprendizaje de los conceptos del *Cálculo Vectorial* no es sencilla debido a la

[1] Parte de este trabajo fue presentado y seleccionado para su exposición en el Congreso Argentino de Ingeniería, Mar del Plata, 2012.

complejidad y alto grado de abstracción de los objetos matemáticos de estudio, por lo que el alumno requerirá de un *pensamiento matemático avanzado* (Azcárate Giménez y Camacho Machín, 2003). Numerosas investigaciones abordan esta problemática, en general desde un contexto más simple como es el *Cálculo* a nivel universitario. Una reseña de estas investigaciones se encuentra en Costa y Arlego (2011). Algunos de los investigadores expresan que la enseñanza tradicional, mecanicista, descontextualizada y técnica, obstaculiza la comprensión de los significados de los objetos matemáticos de estudio y sus vínculos con otras ciencias. Otros presentan diversas *estrategias didácticas* con diversos objetivos y que mejor acompañen el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Una forma de comprender y mejorar este proceso es reflexionar sobre nuestra *práctica docente.* La reflexión sobre la propia práctica docente es la mejor vía posible de formación permanente. Con este fin, hemos considerado conocer la opinión de los alumnos sobre la relevancia que ellos le conceden a los contenidos del Cálculo Vectorial a lo largo de su carrera. Seleccionamos la *encuesta* como instrumento para evaluarla, realizando ésta a grupos de alumnos que estén cursando el último año de las carreras *Ingeniería Aeronáutica* e *Ingeniería Civil*.

El Cálculo Vectorial en el escenario académico de una Facultad de Ingeniería

Nos centramos en la enseñanza y aprendizaje del *Cálculo Vectorial* en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata (FI UNLP), en particular en las carreras de *Ingeniería Aeronáutica* e *Ingeniería Civil*. Estas carreras son unas de las 12 especialidades que se dictan en la FI UNLP. En cuanto a la formación del ingeniero aeronáutico en esta facultad, se espera que tenga competencias, entre otras, en las siguientes áreas: Estructuras, Mecánica de Fluidos y Aerodinámica, Mecánica de vuelo, Propulsión, Aviónica y Sistemas del avión, y Aeropuertos y Operaciones; poniendo énfasis en: proyecto estructural, mantenimiento de aeronaves y mecánica de fluidos. Del i*ngeniero civil* se espera que tenga competencias en las siguientes áreas: estudio, factibilidad, proyecto, dirección, inspección construcción, operación y mantenimiento de edificios, obras civiles y de arte, instalaciones hidromecánicas, obres viales y ferroviarias y previsión sísmica. Se busca que sea capaz de desarrollar aptitudes que le permitan atender los problemas de la ingeniería optimizando el uso de los recursos humanos y materiales, respetando el medio ambiente.

En el contexto de la FI UNLP, las asignaturas se distribuyen en tres Áreas y una Complementaria. El Área Básica (CB), conformada por las materias básicas de *matemática*, *física* y *química*; el Área Tecnológica Básica (TB); el Área Tecnológica Aplicada (TA) y asignaturas complementarias (CO). En particular, los contendidos relativos al *Cálculo Vectorial*, se comienzan a estudiar en el CB en un curso llamado Matemática B en el segundo semestre del primer año de todas las carreras. El eje conceptual de Matemática B y su secuenciación, es el proceso de integración, en una y varias variables, series numéricas, ecuaciones diferenciales ordinarias de primer orden y Cálculo Vectorial. Estos últimos se estudian en las dos últimas unidades de la asignatura y sus contenidos son los de: funciones vectoriales de una variable, representación paramétrica de curvas, estudio de la variación de una curva, campos vectoriales, rotor, divergencia, propiedades, campo gradiente, integral de línea, trabajo, circulación, teorema de Green, independencia del camino de la integral de línea, campos conservativos, superficies, área de una superficie, integral sobre una superficie, integral de flujo, teoremas de Stokes y Gauss, y sus aplicaciones.

Encuesta: análisis y discusión

Seleccionamos la *encuesta* como instrumento que tiene por objetivo el de evaluar la relevancia que los alumnos le proporcionan a los contenidos del Cálculo Vectorial, durante el

trayecto de su carrera y cuales conceptos de este campo ellos consideran que han sido fundamentales.
Realizamos la encuesta a dos grupos de alumnos. El grupo G1, formado por alumnos del último año de la carrera Ingeniería Aeronáutica (N1=25), y el grupo G2, formado por alumnos del ultimo año de la carrera Ingeniería Civil (N2=4). La realización de la encuesta fue en ambos casos: presencial, escrita, voluntaria y anónima. Para contestar la encuesta los alumnos dispusieron de una hoja en la que estaban impresos las preguntas y un anexo, con los contenidos del Cálculo Vectorial y del plan de estudios de sus carreras respectivas como guía para la selección de las respuestas. La encuesta consta de cuatro preguntas abiertas y de un ítem final para comentarios (Tabla 1). Para el análisis de los resultados de la encuestas, éstas se numeraron y dado que las preguntas son abiertas, se clasificaron las respuestas en categorías para luego armar una matriz de datos en el software Excel.

Nro. de pregunta	Pregunta
1	¿Cuáles conceptos del Cálculo Vectorial, considera que fueron relevantes, para usted, al abordar los contenidos de las materias siguientes a Matemática B en su carrera?
2 a	¿Cuáles contenidos del Cálculo Vectorial que se enseñaron en Matemática B, son los que más utilizó, como herramienta matemática en otras asignaturas?
2 b	¿En cuáles asignaturas, y en que medida (mucho, poco)?
3	¿Cuáles contenidos del Cálculo Vectorial que se enseñaron en el curso de Matemática B, hubiese necesitado que se enseñaran con mayor profundidad?
4	¿Para la enseñanza de esos contenidos, cuáles metodologías de enseñanza considera que favorecerían la comprensión de los conceptos?

Tabla 1. Modelo de la encuesta.

Pregunta 1

La primer pregunta de la *encuesta* tiene por objetivo el conocer por parte de los estudiantes cuáles conceptos estudiados en Matemática B relativos al Cálculo Vectorial consideran que fueron relevantes al abordar las materias posteriores. Para contestar esta pregunta los alumnos subrayaron en el anexo que disponían con la encuesta los conceptos por ellos seleccionados, que naturalmente podían ser más de uno. Las respuestas del grupo de los alumnos del G1, se agruparon en las categorías mostradas en la Figura 1.

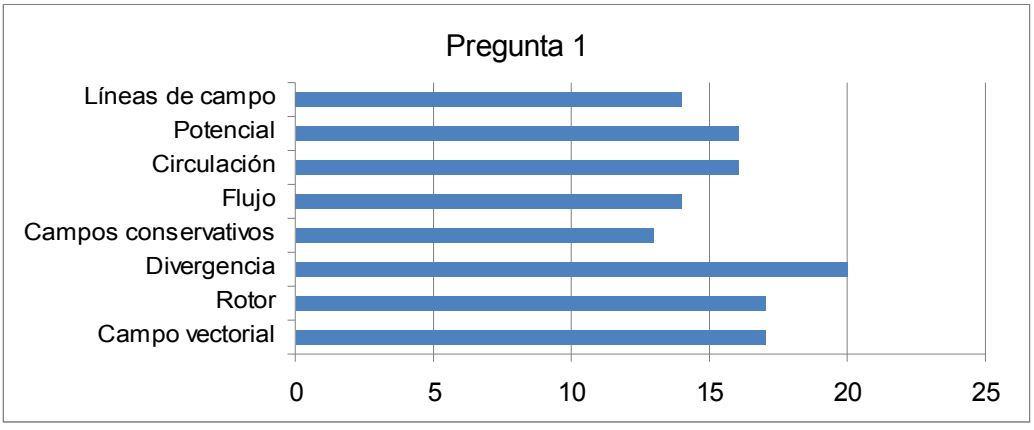


Fig. 1. Respuestas del G1 a la pregunta 1. Cantidad de alumnos versus concepto elegido.

Los alumnos del G2 seleccionaron el concepto, estudio de la *variación de una curva: curvatura.*

Pregunta 2

En cuanto a la pregunta 2a), se consulta, sobre cuáles contenidos del Cálculo Vectorial que se estudiaron en Matemática B, son los que más utilizó como *herramienta matemática* en otras asignaturas. Las respuestas se agruparon en las categorías observadas en la Figura 2, para el G1. En la categoría "*cálculo de integrales*" agrupamos las respuestas correspondientes a "*integrales de flujo"* e *"integrales de línea".* Los alumnos del grupo G2, sólo seleccionaron: *cálculo de integrales y líneas de campo*.

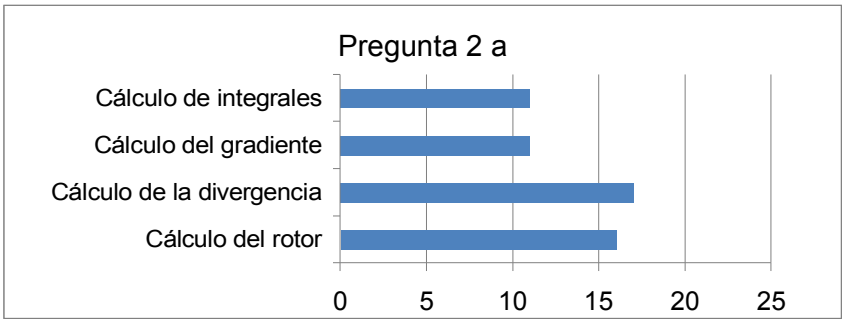


Fig. 2. Respuestas del G1 a la pregunta 2a). Cantidad de alumnos versus herramienta matemática.

En relación a la pregunta 2b), los alumnos seleccionan las asignaturas de la carrera en las que consideran utilizaron los conceptos del Cálculo Vectorial y además indicaban si los habían utilizado "mucho" o "poco". En la Tabla 2 se observan estos resultados. En negrita se hallan las respuestas en las que más del 50% de los alumnos marcó con "mucho".

Área	Grupo 1	Grupo 2
CB	**Física II**, Física III y Estadística	**Física II**
TB	**Mecánica de los Fluidos I y II**, **Vibraciones**, **Mecánica Racional**, Motores alternativos, Estructuras I, Estructuras II, Estructuras III, Termodinámica, Electrotecnia	**Topología, Estructuras, Hidráulica I y II**
TA	**Aerodinámica General I y II**, Estructuras IV, Estructuras V, Control y Guiado, y Mecanismos y sistemas de aeronaves	**Hormigón Armado I y II** **Obras Hidráulicas** **Construcciones Metálicas**

Tabla 2. Respuestas a la pregunta 2b). Cantidad de alumnos versus asignatura donde utilizaron los conceptos.

Pregunta 3

La pregunta 3 se refiere a *¿Cuáles contenidos del Cálculo Vectorial que se enseñaron en el curso de Matemática B, hubiese necesitado que se enseñaran con mayor profundidad?*

El 75% de los alumnos menciona que "*los contenidos del Cálculo Vectorial estudiados en Matemática B fueron dados en profundidad y les permitieron abordar las asignaturas siguientes".* El 20% de esos alumnos además mencionó que los conceptos de "rotor" y "divergencia" deberían estudiarse en mayor profundidad. El resto de los alumnos, no responde.

Pregunta 4

La pregunta 4 tiene por objetivo conocer la opinión de los alumnos sobre su valoración de cuales *estrategias didácticas* implementadas en un curso favorecerían la comprensión y vinculación de los conceptos estudiados. Los resultados de este punto de la encuesta servirían de reflexión para mejorar la *práctica docente.* Para el G1, las respuestas a esta pregunta fueron diversas y las agrupamos en tres categorías que se observan en la Figura 3. Todos los alumnos del G2, respondieron que preferiría como *estrategia didáctica* para el estudio de los conceptos mencionados, ejemplos aplicados a la física e ingeniería.

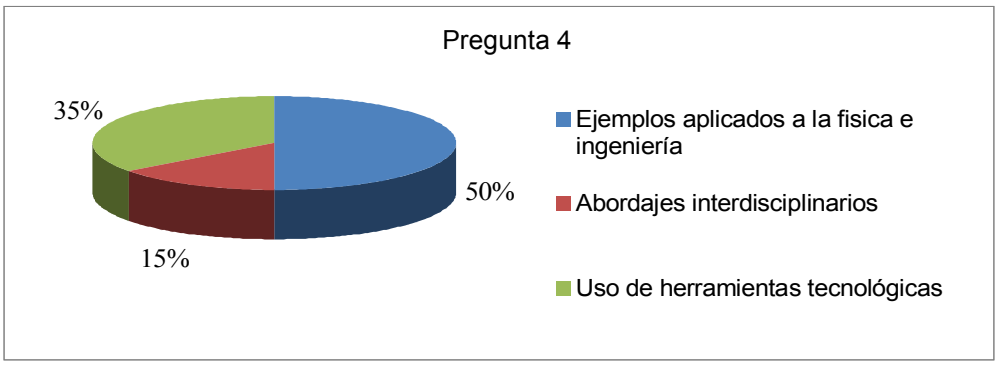


Fig. 3. Porcentajes de las estrategias didácticas seleccionadas por los alumnos del G1.

Comentarios expresados por los alumnos

En cuanto al punto correspondiente a comentarios, algunos alumnos expresaron: "*Aplicaciones a la ingeniería. Más énfasis y por ende práctica en los temas de más uso en la carrera", "Más ejemplos concretos, los cuales sean útiles en materias posteriores", "Luego de dar un tema, invitar a un profesor de la materia donde se aplica lo visto y que dé ejemplos de aplicación", "Mostrar cuales aplicaciones tendrá dicha herramienta en la ingeniería, explicar el concepto y el manejo y desarrollo práctico enseñarlo en software", "Aplicación práctica continua y a gran escala. No se puede pretender que alguien palpe lo que es la ingeniería a través de un montón de cuadernos, fotocopias y PDF's. La ingeniería es una disciplina fundamentalmente práctica. Sin esto no se puede aspirar a una gran calidad de ingenieros", "Demostrar que el rotor/divergencia, entre otros, se pueden aplicar a algo que existe y que es una herramienta de uso y no un tema más de examen".*

Conclusiones

Las opiniones de los alumnos encuestados pone de manifiesto la importancia que tienen los conceptos del Cálculo Vectorial en sus trayectos académicos. En particular para los alumnos de ingeniería aeronáutica el estudio de las herramientas que involucra esta rama de la matemática es esencial para ellos, y así lo presentan. Esto se observa en la cantidad de conceptos por ellos seleccionados y la cantidad de asignaturas donde los utilizaron. En particular las asignaturas de Mecánica Racional y Mecánica de los Fluidos, que conforman la base de la formación del ingeniero aeronáutico en una de sus áreas de competencia.

En cuanto a las *estrategias didácticas* elegidas por los alumnos en la encuesta, que los ayudarían en la comprensión de los conceptos, más de la mitad de ellos mencionan la importancia de vincular los temas de estudio con ejemplos concretos de la *física* e *ingeniería.*

De lo expuesto en este trabajo, consideramos importante que los actores encargados de la enseñanza e investigación educativa de los conceptos matemáticos, en particular en este caso los vinculados al Cálculo Vectorial, reflexionen sobre su *práctica docente*. Se

pregunten, como expresa Gascón (2010) en un contexto más amplio: *¿Cuáles conceptos del Cálculo Vectorial son de mayor importancia en la formación del alumno de ingeniería? ¿Cómo enseñar esos conceptos, para conseguir que los alumnos elaboren por sí mismos estrategias de resolución de problemas no rutinarios? ¿Cómo diseñar estrategias didácticas que permitan vincular los conceptos relativos al Cálculo Vectorial entre las diferentes áreas? ¿Cómo organizar un proceso de estudio que provoque la vinculación de las diferentes dimensiones de la actividad matemática universitaria, desde el trabajo más rutinario hasta la resolución de problemas "abiertos" y "creativos"?* La reflexión es un de punto de partida para el desarrollo de *estrategias didácticas* acordes y atentas a las necesidades actuales del alumno de ingeniería, según sea su especialidad, y de lo que de éste se espera.

Agradecimientos. Este trabajo ha sido desarrollado dentro del marco del Proyecto de Incentivos de la Universidad Nacional de La Plata: "Estrategias didácticas en Ciencias Básicas. Investigación de nuevos escenarios educativos basados en TICs". 11/I148. Agradecemos a los alumnos que participaron voluntariamente de la encuesta.

Referencias

AZCÁRATE JIMÉNEZ C. y CAMACHO MACHÍN M. (2003). Sobre la Investigación en Didáctica del Análisis Matemático. Boletín de la Asociación Matemática Venezolana, Vol. X, No. 2, 135.

COSTA V. A. y ARLEGO M. (2011). *Enseñanza del cálculo vectorial en el contexto de la ingeniería: una revisión bibliográfica.* Actas del I Congreso Internacional de Enseñanza de las Ciencias y la Matemática - ICIECyM. II Encuentro Nacional de Enseñanza de la Matemática - II ENEM . Tandil: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, pp. 88-94. http://iciecymiienem.sites.exa.unicen.edu.ar/actas

COSTA V. A., LANDERRECHE F. y COLMAN LERNER J. (2012). *El Cálculo Vectorial en la formación del ingeniero aeronáutico: una perspectiva de alumnos del último año de la carrera*. Libro de Trabajos Seleccionados del Primer Congreso Argentino de Ingeniería. Mar del Plata.

CROWE M. (1994). *A history of vector analysis: The Evolution of the Idea of a Vectorial System*. Courier Dover Publications.

FEYNMAN R. P. (1987). *Física, Volumen II (Electromagnetismo y materia).* Massachusetts: Addison-Wesley Iberoamericana.

GASCÓN J. (2010). Del Problem Solving a los Recorridos de Estudio e Investigación. Crónica del viaje colectivo de una comunidad científica. *Revista Iberoamericana de educación matemática*. Nro. 22. 8-35.

MANKIEWICZ R. (2005). *Historia de las Matemáticas, del cálculo al caos*. Editorial Paidós, colección orígenes, en rústica. 141-147

WUSSING H. (1998). *Lecciones de historia de las matemáticas*. Siglo XXI de España Editores. 226-229.

ACTIVIDADES DE COMPRENSIÓN DE LOS LABORATORIOS UTILIZANDO OBJETOS DE APRENDIZAJE SOBRE LA PLATAFORMA MOODLE

A. M. Tocci[(1)], A. E. Fertitta[(2)] y A. Visintin[(3)], anamariatocci@gmail.com

[(1)]IMAPEC, Facultad de Ingeniería, 1 y 47

[(1) (2) (3)] Facultad de Ciencias Exactas, 47 y 115, UNLP

RESUMEN

El agregado de una actividad específica ayuda a los alumnos a deducir lo que posteriormente comprobaran en el laboratorio, lo que está ocurriendo, haciendo que el tiempo dedicado en el laboratorio, y asi poder aprovecharlo completamente. Por ese motivo son interesantes las presentaciones multimedia que les permitan promover los procesos cognitivos necesarios para un aprendizaje significativo.

INTRODUCCION

La decisión de implementar tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la enseñanza superior obedece a un cambio de paradigma que comenzó a visualizarse hace tiempo. Las exigencias crecientes de capacitación y los nuevos desafíos competitivos hacen de las TIC una herramienta preponderante para enfrentar estos cambios. Así es como las instituciones educativas se van adaptando a las nuevas formas de aprendizaje, donde se logra un mayor compromiso de los alumnos, con mayor independencia en su propia formación y con una abundancia de información.

Esta nueva visión de la educación hace surgir nuevos modelos pedagógicos donde el proceso de enseñanza – aprendizaje no se fundamenta en la cantidad de información, desde el mundo exterior hacia el interior del alumno, sino que se basa en el desarrollo de su propia capacidad de comprensión y análisis, con el objeto de adquirir los conceptos y contenidos mínimos para la aprobación del curso. Este proceso debe proveer situaciones de aprendizaje que permitan no sólo adquirir información sino comprenderla y aplicarla funcionalmente.

La web 2.0 nos permite un escenario bidireccional, y tener con los alumnos un intercambio de conocimientos y de ideas combinando el uso del aula presencial y el aula virtual, lo que se ha convenido en denominar de forma generalizada «aprendizaje combinado» (b-learning). En este escenario formativo combinado, surge un conjunto de cuestiones por resolver, como por ejemplo el manejo de una plataforma virtual, las competencias tecnológicas del profesorado y el alumnado, gestionar el espacio de trabajo y el tiempo educativo, el diseño de los contenidos y el tipo de actividades formativas[1].

Este trabajo se realizó con alumnos de la Cátedra de Química General correspondiente al primer año de la carrera de Ingeniería Química e Ingeniería en Materiales de la Universidad Nacional de La Plata. La materia consta de clases teóricas con seminarios en los cuales

realizan ejercicios relacionados con el tema de la clase y laboratorios en los cuales pueden ver en forma experimental los conceptos adquiridos en forma teórica. Se realizaron cinco laboratorios en la cursada, a saber:

- reacciones químicas y preparación de soluciones
- calorimetría,
- equilibrio Químico y Equilibrio Iónico,
- Celdas galvánicas y electrolíticas,
- Titulación y Electrólisis de agua.

Los alumnos, en general, suelen tener dificultades para relacionar las clases teóricas con lo que se les presenta en el laboratorio, lo que hace que no alcancen a interpretar lo que están viendo. El agregado de una actividad específica los ayuda a deducir, previamente a verlo en el laboratorio, lo que está ocurriendo, haciendo que el tiempo dedicado en el laboratorio sea aprovechado completamente. Por ese motivo son interesantes las presentaciones multimedia que les permitan promover los procesos cognitivos necesarios para un aprendizaje significativo.
Una de las aplicaciones más generalizadas de las TIC en los materiales de contenido son los denominados objetos de aprendizaje. Este debe ser un material accesible desde una base de datos y que se pueda abrir desde diferentes plataformas, además deberá tener un contenido mínimo de información y preparado como para guiar al estudiante para que complete su actividad formativa[2].
Este tipo de material en soporte digital, nos da la posibilidad de poder ser transmitidas, y por tanto accesibles, mediante Internet. Esta característica las hace interesantes pero deben ir acompañadas de propuestas de actividades de aprendizaje contextualizadas por el profesor que incluso, podrían incluir una interacción con los compañeros como medio para favorecer el aprendizaje individual.

DESARROLLO DEL TRABAJO

La actividad se llevó a cabo en un período de duración de no más de una semana, la cual fue anterior al desarrollo de la actividad de laboratorio correspondiente; y en simultáneo con el dictado de las clases teórico prácticas convencionales para cada tema. Se desarrolló como una actividad educativa virtual, en la que se persiguieron objetivos educativos específicos.

El objetivo del presente trabajo es mostrar una experiencia donde se conjugó el uso de objetos de aprendizaje presentados en forma virtual, con la enseñanza tradicional. Además se intentó correlacionar el uso de esa herramienta con el aprendizaje efectivo de los conocimientos involucrados. La animación es una muy buena herramienta, pero su uso debe basarse en la teoría cognitiva. Luego de la clase presencial donde se presentó a los alumnos el tema en cuestión, se realizaron clases de seminarios donde los estudiantes resolvieron problemas relacionados con dicho tema. Posteriormente se les ofreció una presentación multimedia de un calorímetro, un peachímetro (que ya fue probado con otros cursos de alumnos de ingeniería) y de una celda electrolítica donde ellos mediante pruebas virtuales podían contestar una serie de preguntas y que luego comprobarían en el laboratorio.
Las presentaciones multimedia son en formato flash, y se presentan asi:



Esta película flash es acompañada por una guía de preguntas que orientan al alumno hacia la realización del trabajo de laboratorio, de tal manera que cuando lo comprueban en la realidad entienden claramente lo que está ocurriendo.

Para iniciar el trabajo se le explica que es un calorímetro similar al que van a utilizar en el laboratorio, que se trata de un sistema adiabático y que esta condición en la práctica puede estar muy cerca de lograrse ya que si se trabaja con un buen calorímetro, la cantidad de calor que se intercambia con el exterior es despreciable. Además el calorímetro de esta película es ideal porque sus partes (como paredes, agitador y termómetro) no absorben calor. Esta condición en la práctica no se obtiene nunca, ya que siempre las partes constitutivas del calorímetro absorberán calor. Es necesario saber cuánto calor absorbe cada calorímetro. Para ello se determina su capacidad calorífica, entonces,

$Q_{termo} = C_{termo} \Delta t$ donde C_{termo} es la capacidad calorífica del calorímetro

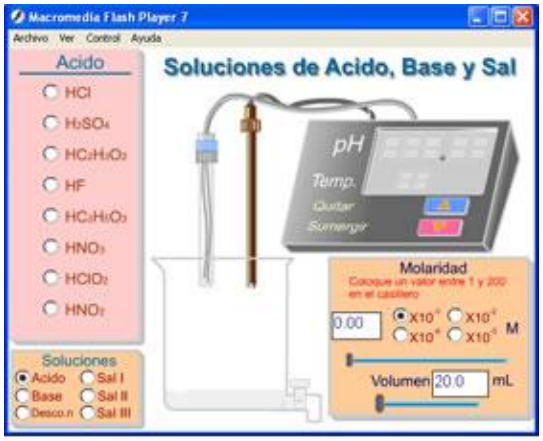
Se los hace escoger dos metales del menú y trabajar con ellos. Se les hace asignar masas a los mismos y deducir cual de ellos aumenta mas el calor del agua que se encuentra dentro del calorímetro.

Posteriormente se les hace calcular la temperatura final del agua y compararla con sus predicciones y con el valor obtenido en forma ¨experimental¨ con el aparato virtual.

Se completa el trabajo con preguntas sobre la teoría sobre la ley de conservación de la energía o que ocurriría si se duplicaran las masas del agua o del metal involucrado. Una vez que se familiarizaron con el calorímetro, se les incorpora una reacción química dentro del calorímetro (que es lo que realmente realizan en el laboratorio). Esto facilita el entendimiento del procedimiento experimental.

Como podemos ver el docente tiene un rol fundamental para desarrollar estrategias que permitan al alumno pensar y comprender los contenidos, haciendo una adecuada selección de las actividades en función de cuáles son los conocimientos o habilidades que se pretende que el alumno adquiera.

En el caso del Phimetro se realizó un cuestionario del mismo tenor, de manera de orientar al alumno para que piense y deduzca lo que ocurre en base a las observaciones que aparecen en la animación virtual.



El trabajo con el mismo es similar al anterior, se sube la animacion a la plataforma y se los hace trabajar con diferentes ácidos y bases, indicar la concentración elegida, cambiarla, cambiar el volumen de la solución, y luego con el resultado obtenido por el pHimetro virtual, hacer los cálculos teóricos y compararlos con los experimentales. Aprovechamos también para introducirles el concepto de indicadores y que resultados esperarían obtener si utilizaran alguno de ellos. Trabajo que también realizarán en forma experimental en el laboratorio real.

DISCUSION

En años anteriores se utilizaron diferentes alternativas para ayudar a los alumnos a comprender las actividades de laboratorio. Algunas de ellas fueron tomarles un interrogatorio antes de entrar al mismo, pero no fueron fructíferos debido a que muchos de ellos no conocen los equipos y como se instalan, por lo tanto tampoco entienden la técnica de trabajo. Otra alternativa era tomarles luego de realizado el mismo, ya sea en forma de informe, pero no dieron los resultados esperados ya que al tomar el laboratorio en el parcial no responden de manera fructífera. Las actividades virtuales fueron subidas a una plataforma Moodle que es sostenida por la Facultad de Ingeniería UNLP donde los alumnos ingresan y pueden bajar esos objetos de aprendizaje y responder las preguntas que se le proponían. La plataforma además permite a los docentes responder las preguntas que el alumno formula mediante los foros e ir guiándolos en su aprendizaje. El trabajo no fue obligatorio, y se estableció un plazo de una semana para la entrega del trabajo en forma impresa, el mismo se corrigió y se les devolvió a los estudiantes para que vieran los aciertos y los errores cometidos. La calificación de los mismos se realizó en forma conceptual y no numérica. Estimamos que ayudo en el conocimiento debido a que al realizar la tarea de laboratorio los alumnos ya habían visto como era el equipo de trabajo y conceptualmente habían formado una idea de lo que ocurre en la realidad.

CONCLUSIONES

La plataforma ayudo al entendimiento de los temas realizados en el laboratorio, debido que aquellos alumnos que realizaron el trabajo respondieron en el laboratorio como si ya lo hubieran realizado con anterioridad, a diferencia de aquellos que veían el equipo por primera vez. Además, la tarea mostró integración entre los aspectos teóricos y prácticos, permitiendo una mayor comprensión de los temas involucrados.

Los alumnos se afianzaron en el uso de la plataforma, pero muchos todavía se mostraron reacios a utilizarla, pero aquellos que lo hicieron tuvieron un trato con el docente en todo momento (aun fuera del horario del curso). Esperamos poder incorporar nuevos trabajos durante los próximos cursos y que los alumnos se adapten a esta modalidad de trabajo que nos ha dado satisfacción en cuanto a las respuestas esperadas.

BIBLIOGRAFIA

[1] Alcira Vallejo, Jubert A. y Col. Implementación de un Curso de Química de Nivel Universitario Básico para Alumnos de Ingeniería. II Congress on Technology in Education and Education in Technology. La Plata, Argentina. (2007).
[2] Didáctica de la Química. Grupo de Innovación Educativa, Universidad Politécnica de Madrid. Herramientas Audiovisuales.

EXPERIENCIA EN UN CURSO DE ALUMNOS RECURSANTES DE MATEMÁTICA

Altamirano, Natalia [1]; Bertero, María F.; Di Domenicantonio, Rossana M.[1];
García, Mabel M.; Langoni, Laura B.; Trípoli, María de las M.

Departamento de Ciencias Básicas - Facultad de Ingeniería – U.N.L.P. - 115 y 50 – CP: 1900
[1] IMApEC, Facultad de Ingeniería

laura.langoni@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: Alumnos recursantes – Ingeniería – Matemática – Estrategia

Introducción

Este trabajo tiene como objetivo general relatar una propuesta de actividades complementaria a la existente en el material de la asignatura Matemática A de la Facultad de Ingeniería de la UNLP, que contribuya a mejorar el rendimiento académico de los alumnos recursantes, contemplando estrategias pedagógicas y didácticas que incluyan algunas características de los mismos. La propuesta corresponde a una elaboración conjunta de tres comisiones de la cátedra mencionada y fue dirigida a alumnos de todas las carreras que se cursan en la Facultad, durante el segundo semestre de 2011. En este trabajo se relata una de estas actividades a modo de ejemplificación.

Los alumnos recursantes son aquellos que reinciden y cursan nuevamente la materia, ya sea porque no aprobaron los parciales en el primer semestre del año en curso o anteriores, o abandonaron antes de rendir, trayendo aparejada frustración académica, lentificación en sus estudios e incluso, en algunos casos, decepción y por ende, el posterior abandono de la carrera. Este grupo de alumnos es motivo de preocupación entre los docentes de esta asignatura y como consecuencia de esta inquietud surge el diseño de nuevas actividades, como estrategia didáctica.

Marco teórico

Al ingresar a la Universidad, el alumno no sólo se encuentra con los conocimientos propios de la carrera elegida, sino también con una cultura particular, de la que hay que aprender sus códigos, sus costumbres, sus lenguajes y lugares. Lleva tiempo ir conociendo y reconociendo esta nueva cultura y pensarse a sí mismo como partícipe o no de ella.

Los cursos de matemática son, en general, complejos en contenidos y demandan a los alumnos mucho tiempo para comprender, integrar y aplicar el conocimiento. Es por ello que debemos proveer experiencias de aprendizaje que permitan a los estudiantes, interactuar, demostrar, practicar, preguntar y/o reflexionar. Y, en el caso particular de los alumnos recursantes, es sumamente necesario proveerlos de ejercitación nueva, que los induzca a nuevos razonamientos, que los motive, aunque sin dejar de lado, por supuesto, las actividades propuestas en la primera instancia de cursada.

Analizando las dificultades que presentan los alumnos para su adaptación al primer año universitario, éstas podrían considerarse las principales causas de un bajo rendimiento académico que, en muchos casos, lleva a la repetición y/o la deserción. Generalmente, los programas de la asignatura matemática de los distintos años de la escuela media son extensos en cuanto a contenidos y los profesores intentan cumplir con ellos. Por tal motivo, a menudo dejan de lado la profundización en el desarrollo de ciertas capacidades tal como es la aplicación

de los nuevos conceptos a diferentes situaciones. Los alumnos están acostumbrados a resolver ejercicios repetitivos, situación que podría considerarse como obstáculo en la adaptación a los métodos de trabajo en su primer año de vida universitaria. Si bien hay problemas de base, exclusivamente de índole educativo, que vienen con los alumnos, también existen factores externos que influyen sobre ellos. No puede dejar de tenerse en cuenta el hecho de que muchos alumnos provienen del interior y están por primera vez alejados de sus familias. La adaptación a la nueva ciudad no les resulta sencilla por lo que, en cuanto tienen oportunidad, viajan a sus lugares de origen y se ausentan a clase. Dada la importante carga horaria de esta materia, retomar el ritmo y cumplir con el cronograma les es dificultoso. Algunos alumnos captan cómo son las reglas de juego fácilmente, lográndose adaptar en forma positiva a la nueva vivencia, mientras que a otros la adaptación les lleva tanto tiempo que esto los conduce a recursar la materia. Es sabido que muchos jóvenes que comienzan sus estudios universitarios carecen de hábitos de estudio y que su actitud ante el conocimiento escolarizado es pasiva o receptiva; el imprescindible cambio de actitud difícilmente es inmediato. Pero no hay un perfil único, cada alumno viene con su impronta; es tarea de los docentes guiarlos para que puedan apropiarse de los conocimientos considerados mínimos necesarios para la aprobación de la materia. Por todo ello, la tarea de los docentes de primer año trasciende lo meramente disciplinar, pues deben hacerse cargo de la ambientación y la enseñanza de normas, costumbres y reglamentaciones, entre otras.

En la metodología teórico-práctica que se utiliza en la cátedra Matemática A, el rol del docente es guiar a los alumnos entre los contenidos disciplinares y la actividad de construcción que deben realizar para asimilarlos a su estructura cognitiva. Si bien cada grupo o cohorte va dibujando un perfil del alumno recursante, algunos rasgos van conformando características o tendencias de los mismos. Se podrían establecer primeramente algunos puntos a tener en cuenta:

- existen alumnos recursantes que trabajan y estudian a la vez,
- otros no realizaron adecuados estudios medios para enfrentar las exigencias académicas universitarias,
- algunos no adquirieron buenas estrategias de estudio.

También, y de acuerdo a la experiencia de trabajo con aquellos que reinciden en la misma materia, se observa que se “adelantan” y tienen tendencia a creer que “ya saben” y muchas veces “saltean” ejercitaciones, lecturas o razonamientos, sin discernir lo que realmente saben de lo que no. Se observa que llevan sus apuntes del cuatrimestre anterior y simplemente van “repasando” los ejercicios ya hechos y cometiendo los mismos errores. En otras ocasiones suele verse a los alumnos intentando resolver parciales anteriores en lugar de cumplir con las consignas pautadas para esa clase. Una motivación para este grupo de alumnos sería la propuesta de aprender por aproximaciones sucesivas. Es decir, frente a un problema, no es tan importante, al principio, conseguir su solución pero sí dejarlo abierto para que con un entrenamiento guiado y gradual se logre arribar a la misma.

Marco contextual

Con la reforma del Plan de Estudios 2002, acaecida en la Facultad de Ingeniería, surge la materia Matemática A, cuyo eje conceptual es el cálculo diferencial. Es la primera materia de matemática que cursan los estudiantes que ingresan a la Facultad y, como consecuencia de esta reforma, ha sido reestructurada desde muchos puntos de vista: en cuanto a la organización de sus contenidos, la conformación y el funcionamiento de sus equipos docentes, como también a la metodología de la enseñanza y a la infraestructura áulica; constituyendo, esta reestructuración, un posicionamiento innovador en el contexto de las Carreras de Ingeniería. Actualmente las clases son concebidas como espacios de actividad donde se ha desplazado el

foco: del profesor como centro, a la clase como una totalidad, en la cual todos trabajan. Se utilizan diferentes recursos y medios que han sido diseñados para contribuir a un aprendizaje constructivo, cooperativo y orientado a la resolución de problemas. El método propuesto incorporó el trabajo grupal y colaborativo entre los alumnos y entre éstos y sus docentes, lo cual implicó el diseño de estrategias apropiadas para las distintas situaciones: en algunos temas es suficiente con una guía de actividades, en otros casos se recurre a la construcción de un procedimiento en la computadora, frecuentemente el docente interviene con la finalidad de propiciar un debate y/o institucionalizar los conocimientos relevantes de cada tema.

Sin embargo, no se establece un esquema rígido sino una planificación "general" que, sirviendo de marco al proceso, pueda adaptarse a la realidad de cada curso particular. A cargo de cada comisión está un equipo docente, el cual es el responsable de la marcha del proceso y de su adaptación a las condiciones especiales, tales como: alumnos ingresantes, alumnos recursantes, alumnos que realizaron más de una vez el curso de nivelación, cantidad de alumnos en el aula, horario de cursada y especialidad en la cual están inscriptos.

Los referentes teóricos construidos por los docentes que realizaron la reforma a medida que la experiencia fue avanzando son:

- El aprendizaje es un proceso constructivo interno.
- La interacción social favorece el aprendizaje.
- La motivación es un elemento esencial para una buena marcha del aprendizaje.
- Se aprende mejor aquello que se comprende. [1]

Una cuestión muy importante en esta innovación tiene que ver con el espacio físico: las aulas son planas y con el mobiliario adecuado para favorecer el trabajo en grupo. Además, cuentan con equipamiento informático adecuado a las necesidades de la asignatura y para uso de los alumnos y con una biblioteca con los libros de texto recomendados por la cátedra. [4], [5], [6], [7].[2]

Descripción de la propuesta de práctica

Matemática A corresponde al primer semestre de los planes de estudio de todas las carreras de Ingeniería. Aquellos alumnos que no alcanzan la aprobación de la materia, tienen la oportunidad de cursarla nuevamente, convirtiéndose así, en alumnos recursantes. La carga horaria es de doce horas semanales repartidas en tres días de cuatro horas cada uno[3].

¿Quiénes conformaron la experiencia? El grupo de alumnos recursantes y docentes de tres comisiones de la cátedra Matemática A del segundo semestre de 2011.
Considerando que los alumnos han cursado la materia, con las implicaciones que ello conlleva (asistencia a los cursos teóricos-prácticos, lectura del material bibliográfico, asistencia a exámenes parciales), la propuesta presentada parte de los conocimientos y vivencias previas que los recursantes ya tienen y de experiencias de práctica de enseñanza y aprendizaje realizadas en cursos de años anteriores. Es en este contexto, de interés personal de docentes de la cátedra para el segundo semestre de 2011 y en un ambiente compartido de organización de cronograma, planificación de temas para las clases y ejercitación dirigida a los alumnos en temas dificultosos, que surge la revisión del material utilizado y, en particular, de la primera actividad que inicia el mismo.

[1] Para una explicación de estos referentes teóricos construidos consultar [2]
[2] Los interesados en ampliar información sobre Matemática A pueden consultar [1]
[3] En el segundo semestre de 2011 se dicta la materia Matemática A en seis comisiones, de las cuales cuatro son de alumnos recursantes y otras dos son de alumnos que cursan por primera vez la materia.

Situación 1: Se quiere construir un depósito de base cuadrada (sin techo) y 36 m^3 de capacidad.

Resuelvan:

1. ¿Qué altura debe tener el depósito si el lado de la base tiene una longitud de 2m?

2. ¿Cuál es la longitud del lado de la base si la altura es de 4m?

3. ¿Es cierto que dado un número l es posible construir un depósito de manera que el lado de la base mida l?

4. Llamemos l a la longitud del lado de la base y h a la altura del depósito. ¿Es válida la siguiente expresión?
$h = 36/l^2$

5. Por ejemplo, si l = 223 cm ¿Cuánto indica la expresión anterior que debe valer h?. ¿Qué debe aclarar para que la expresión anterior sea correcta?.

Continuando con la Situación 1, supongan ahora que el costo de construir el depósito se cotiza a $100 por metro cuadrado de pared ó piso construido.

Resuelvan:

6. ¿Cuánto costará construir un depósito cuya base mida 5 metros de lado?

7. Determine el costo de construir un depósito de altura h y lado de la base l (ambas medidas en metros).

8. ¿Cuánto costará construir un depósito con l = 1m? ¿Y con l = 1,5m ?

9. Exprese el costo de construir un depósito cuya base mide l metros de lado. ¿Para qué valores de l es válida la expresión obtenida?

10. ¿Es más barato construir un depósito de base pequeña y altura grande, o bien uno de base grande y altura pequeña?

11. ¿Cómo haría para decidir las medidas del depósito para gastar lo menos posible?

Fig. 1. Actividad actual, guía teórico-práctica, Matemática A.

En Matemática A se trabaja en clase en base a una guía teórico-práctica[4]. Aunque el material constituye el "eje troncal" de las clases, no se establece un esquema rígido para las mismas sino que cada equipo docente puede ir realizando una planificación que se adapte a la realidad de cada curso en particular y lo enriquezca. El material que proporciona la cátedra comienza abordando un problema que no tiene solución con las herramientas que ellos conocen en ese momento. El mismo sirve de motivador para el desarrollo de los temas de la materia, ya que en la última unidad logran su resolución (Fig.1).

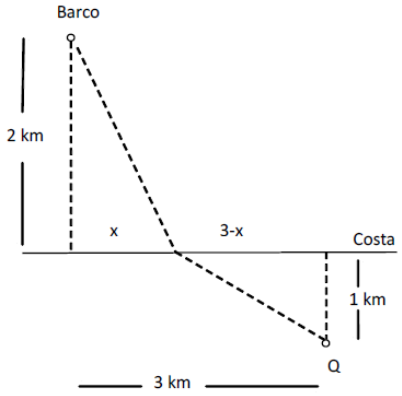
Para alumnos recursantes, este problema pierde el "misterio" pues ya han sido enfrentados al mismo cuando iniciaron la cursada de la materia (para algunos en más de una vez). A fin de paliar este problema e intentar evitar la "fatiga" al contacto con el problema y debido a la sobreexposición, especialmente en los alumnos que ya la cursaron en más de una oportunidad, es que se decidió proponer como actividad inicial, una situación semejante. Este nuevo problema no debía perder la finalidad que tenía la situación anteriormente descripta, pero se buscó que promoviera en los alumnos el poner en juego herramientas y conceptos que traían de haber cursado la materia anteriormente. Se pretendió que sintieran que, aunque no habían aprobado y estaban realizando nuevamente la materia, se podían rever conceptos y prácticas de manera novedosa. Además, esta actividad propuesta promueve utilizar el software Maple[5], disponible en las aulas, para graficar, corroborar y contestar algunos ítems, que no estaba

[4] Guía teórico práctica de Matemática A, edición 2011, autor: Néstor Búcari
[5] Maple es un software de cálculo, manipulación y visualización matemática diseñado para resolver en forma simbólica o numérica problemas del área de Ciencias e Ingeniería http://www.maplesoft.com/

contemplado en el material proporcionado originalmente y cuya importancia es relevante a la hora de visualizar problemas futuros. En la figura 2 se describe la actividad propuesta entregada a cada mesa el primer día de clase, para ser resuelta en forma grupal y con los docentes guiando la actividad.

Actividad 1

Suponga que se encuentra un bote a 2 kilómetros del punto más próximo de la costa, y se dispone a ir a un punto Q, situado a 3 kilómetros de recorrido por la costa y 1 kilómetro tierra adentro (ver figura). Si rema a 4km por hora y camina a 2km por hora, exprese la duración total T del viaje como función de x.



1. ¿Cuánto tardó en llegar el bote al punto Q ubicado en la tierra si x = 1? ¿y si x = 4?
2. ¿Cuál es el dominio de la función *T(x)*?
3. Grafique la función *T(x)* (Utilizar el comando *plot* del Maple)
4. Si el bote tardó 2 horas en llegar al punto Q, ¿cuánto vale x? (Comando *fsolve*) ¿Puede hacer el trayecto en 1 hora?
5. ¿Cuál es el rango de horas que pudo haber tardado? ¿Puede determinarlo?
6. ¿Cuál es la imagen de la función *T(x)*?

Fig.2. Actividad complementaria, alumnos recursantes

¿Cómo fue la dinámica de trabajo? Los docentes, en sus respectivos cursos, desarrollaron y explicaron el fundamento de esta nueva iniciativa, en busca de generar intercambio de ideas y debates en base a conceptos que ellos ya tenían, ya sea porque habían cursado o simplemente por el uso de sentido común. Se trabajó con el error, como instancia de aprendizaje, abordándose especialmente las dificultades conceptuales que surgiesen de la lectura del problema disparador. La actividad desarrollada en el aula fue bien aceptada por los alumnos y muy productiva, mostrándose muy entusiasmados en realizar una actividad distinta a la conocida actividad “del tanque”. Los grupos participaron activamente y surgieron comentarios a partir de los cuales se iban discutiendo diferentes conceptos tales como: dominio, qué quiere decir que “no tenga solución” para un determinado t y determinación de imagen, entre otros.

En la puesta en común se rescató la idea del esquema en el planteo de un problema, de la modelización, de las restricciones impuestas, en este caso, por contexto (y no algebraicas, como casi todos intentaron ver) y de la gráfica de una función. La interpretación del esquema de la Fig. 2 trajo dificultades al inicio, pero después de que entendieron el dibujo y dedujeron cómo era el recorrido, lograron empezar a resolver las preguntas. Se hizo hincapié en la utilización del recurso digital como complemento al análisis, se propusieron algunos comandos básicos del software Maple y se puntualizó que se utilizará esta herramienta durante la cursada.

Cuando se debatió la pregunta referida a la imagen, surgió gráficamente el concepto del mínimo, quedando en "espera" su resolución analítica una vez que se desarrollara el tema de optimización, al final de la materia.

Conclusiones:

La problemática del alumno recursante permite reflexionar sobre la forma de abordar los contenidos a estudiantes que no cursan por primera vez la materia. Siempre en la perspectiva de favorecer el aprendizaje, se buscaron actividades alternativas al material proporcionado por la cátedra. Entre ellas presentamos la utilizada en la primera clase de la materia.

Esta estrategia, compartida por tres grupos de docentes y de alumnos recursantes, favoreció la motivación de los alumnos y la utilización de herramientas matemáticas para lograr una mayor explotación de un recurso visual informático, como es el Maple. Además fue de utilidad para hacer de la clase un espacio de reflexiones conscientes, que motiven y favorezcan el pensamiento analítico y crítico para la búsqueda de una solución a un problema. En los grupos, formados por los mismos alumnos, se discutían y confrontaban las posibles respuestas, se iban ajustando los gráficos para una mejor visualización del problema y, al momento de la puesta en común en el pizarrón, se rescataron los conceptos e ideas relativos al tema propuesto. Rescatar y valorizar el trabajo grupal en la construcción de las respuestas a problemas propuestos, lograr que en la clase todos participen sin perder el objetivo de la modelización matemática y dejar planteado un problema que no tenga solución inmediata, eran algunos de los efectos que se querían lograr y sobre los cuales se habían reflexionado en las reuniones del equipo docente, realizadas previo al inicio del semestre.

Es de interés destacar la importancia que tienen para este grupo docente las reuniones periódicas realizadas. En un marco de reflexión, se cuestionan y plantean hipótesis que se vuelven nuevas acciones, para recorrer de nuevo la clase en calidad de experimentación hasta ver los resultados o simplemente dejarlas como son y volver a empezar. En este espacio de intercambio y deliberación con pares, se plantean problemas comunes, se comparten dudas, cronograma, se dialoga sobre la implementación de nuevas herramientas que favorezcan y motiven el aprendizaje del alumno y se enfrenta a nuevos modos de desarrollar las clases, luego de establecer coordinaciones con sus pares.

Bibliografía:

[1] Bucari, N.; Abate, S.; Melgarejo, A.; (2004); **"Un cambio en la enseñanza de las Matemáticas en las carreras de Ingeniería de la UNLP: propuesta, criterios y alcance",** Anales del IV Congreso Argentino de Enseñanza de la Ingeniería, Buenos Aires, Argentina.
[2] Bucari, N.; Abate, S.; Melgarejo, A.; (2007); **"Estructura Didáctica e Innovación en Educación Matemática"**. Revista Argentina de Enseñanza de la Ingeniería (ISSN 1515-5838) Año 8, Nº 14.
[3] Bucari, N.; Abate S.; Melgarejo A.; (2005); ***"Las clases de Matemática y la construcción de un contrato didáctico diferente"***. Anales del INMAT, Buenos Aires.
[4] Larson; (2002); ***"Cálculo I".*** Editorial Hougliton Miffin.
[5] Smith y Minton; (2000); ***"Cálculo"***. Tomos I y II. Editorial Mac Graw Hill.
[6] Stewart; (1998); ***"Cálculo, conceptos y contextos".*** Editorial Thompson.
[7] Thomas y Finney; (2000); ***"Cálculo, una variable".*** Editorial Pearson.
[8] Tori, Cora I.; Trípoli, María de las Mercedes; Badano, Vanesa E.; Vallejo, Diego F. (2008) **"Dos poblaciones de recursantes de cálculo diferencial en primer año de ingeniería"**. Anales de la REM. Mendoza

ECUACIÓN EN DERIVADAS PARCIALES DE POISSON COMO PROBLEMA INVERSO DE MOMENTOS

Pintarelli María B.† y Vericat Fernando ‡

Grupo de Aplicaciones Matemáticas y Estadísticas de la Facultad de Ingeniería (GAMEFI), Universidad Nacional de La Plata
† Departamento de Matemática, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina,
mariabea@mate.unlp.edu.ar
‡ Instituto de Física de Líquidos y Sistemas Biológicos(IFLYSIB) CONICET-La Plata, Argentina.

Resumen: Usando la identidad de Green mostramos que encontrar soluciones de la ecuación de Helmholtz y la ecuación de Poisson no lineal bajo condiciones de contorno de Cauchy es equivalente a resolver una ecuación integral de Fredholm de primera clase, la cual puede ser tratada como un problema de momentos bidimensional de Hausdorff en el caso lineal y como un problema inverso de momentos generalizado en el caso no lineal. En ambos casos encontramos soluciones aproximadas de los problemas de momentos obtenidos y cotas para los errores correspondientes. Ilustramos los diferentes casos con ejemplos.

Palabras claves: *problema de momentos, densidad bi-dimensional, estabilidad de la solución, ecuaciones diferenciales parciales.*
2010 AMS Subjects Classification: 44A60 – 35Qxx

1. INTRODUCCIÓN

El problema de momentos de Hausdorff bidimensional consiste en recobrar una función $f(x,y)$ dados sus momentos

$$\mu_{ij} = \iint_I x^i y^j f(x,y)dxdy \qquad i,j = 0,1,2,.... \qquad \text{donde } I = (0,1)\times(0,1).$$

Existe solución cuando $\sum_i \sum_j a_{ij}\mu_{ij} > 0$ para todo polinomio $P(x,y) = \sum_i \sum_j a_{ij} x^i y^j$ tomando valores no negativos para todo $(x,y) \in I$ ([2],cap. 1, teorema 1.1).

2. ECUACIÓN DE HELMHOLTZ O ECUACIÓN CON AUTOVALOR.

Consideramos la ecuación

$$u_{tt}(x,t) + u_{xx}(x,t) = au(x,t) + bf(x,t) \quad x > 0 \quad t > 0 \qquad (1)$$

Tomamos la función auxiliar $h(x,t,r,s) = e^{-x(r+1)}e^{-t(s+1)}$ que verifica

$$h_{rr}(x,t,r,s) + h_{ss}(x,t,r,s) = (x^2+t^2)h(x,t,r,s) \qquad (2).$$

En la región $D = [0,M]\times[0,M]$ aplicamos la identidad de Green

$$\iint_D u\nabla^2 h dA = \oint_{\partial D} u(\nabla h).nd\ell - \iint_D (\nabla u).(\nabla h)dA$$

Reemplazando aquí *h* y usando (2) junto con (1) obtenemos

$$\int_0^M \int_0^M [(x^2+t^2)h(x,t,r,s)u(r,s) - au(r,s)h(x,t,r,s)]drds = \phi(x,t) \qquad (3)$$

donde

$$\phi(x,t)=\int_0^M h(x,t,r,M)[u_s(r,M)+tu(r,M)]dr-\int_0^M h(x,t,M,s)[u_r(M,s)+xu(M,s)]ds-$$
$$\int_0^M h(x,t,r,0)[u_s(r,0)+tu(r,0)]dr+\int_0^M h(x,t,0,s)[u_r(0,s)+xu(0,s)]ds+b\int_0^M\int_0^M f(r,s)drds$$

Asumimos que cuando $M\to\infty$

$$\lim_{M\to\infty}\int_0^M h(x,t,r,M)[u_s(r,M)+tu(r,M)]dr=0 \qquad \text{y} \qquad \lim_{M\to\infty}\int_0^M h(x,t,M,s)[u_r(M,s)+xu(M,s)]ds=0$$

Entonces haciendo $M\to\infty$:

$$\int_0^\infty\int_0^\infty (x^2+t^2-a)h(x,t,r,s)u(r,s)drds=\underbrace{-\int_0^\infty h(x,t,r,0)[u_s(r,0)+tu(r,0)]dr+\int_0^\infty h(x,t,0,s)[u_r(0,s)+xu(0,s)]ds+b\int_0^\infty\int_0^\infty f(r,s)drds}_{\phi 1(x,t)} \qquad (4)$$

Reemplazando $x=m$ y $t=n$ $(m,n\in N)$ obtenemos

$$\int_0^\infty\int_0^\infty e^{-mr}e^{-ns}u(r,s)drds=\underbrace{\frac{\phi 1(m,n)\,e^{m+n}}{(m^2+n^2-a)}}_{\mu_{mn}} \qquad m,n=0,1,2,...$$

Esto puede ser visto como un problema de momentos bidimensional generalizado de Stieltjes. Haciendo el cambio de variable $(r,s)\to(z_1,z_2)$ donde $z_1=e^{-r}$ y $z_2=e^{-s}$ se tiene un problema de momentos de Hausdorff dado por

$$\int_0^1\int_0^1 z_1^{\,m}\,z_2^{\,n}\,w(z_1,z_2)d\,z_1\,d\,z_2=\overline{\mu}_{mn} \qquad m,n=0,1,2,... \qquad (5)$$

con $\overline{\mu_{mn}}=\phi 1(m+1+\alpha_1,n+1+\alpha_2)$ y $w(z_1,z_2)=u(-\ln z_1,\ln z_2)\,z_1^{\alpha_1}z_2^{\alpha_2}$ (6)

Aquí α_1 y α_2 son elegidos convenientemente para que los momentos $\overline{\mu_{mn}}$ estén bien definidos.

Las ecuaciones (5) y (6) representan un problema de momentos de Hausdorff bidimensional para $w(z_1,z_2)$.

Hemos estudiado este problema en referencia [4].

Consideramos el problema de momentos finito tomando $\overline{\mu_{mn}}$ $m,n=0,1,2,...N$.

Estimamos $w(z_1,z_2)$ por la expansión truncada

$$w_N(z_1,z_2)=\sum_{i=0}^N\sum_{j=0}^N\lambda_{ij}P_{ij}(z_1,z_2)$$

donde $P_{ij}(z_1,z_2)=P_i(z_1)P_j(z_2)$ con $P_i(z)$ $(i=1,2,...)$ son los polinomios de Legendre definidos en $[0,1]$ y los coeficientes λ_{ij} son

$$\lambda_{ij}=\sum_{k_1=0}^i\sum_{k_2=0}^j c_{ik_1}c_{jk_2}\mu_{k_1k_2} \qquad i,j=0,1,2,....,N \qquad c_{ik}=\sqrt{2i+1}\,(-1)^k\binom{i}{k}\binom{i+k}{k}$$

Para que el método de la expansión truncada [3] sea válido se requiere que [4] $\phi 1(x,t)\in L^2[[0,\infty)\times[0,\infty)]$ y $\int_0^\infty\int_0^\infty[x\,u_x^2(x,t)+t\,u_t^2(x,t)]e^{x+t}\,dxdt<\infty$

Teorema 1 *Llamando* $u_N(x,t)=w_N(e^{-x},e^{-t})$ *y si* $u(x,t)=w(e^{-x},e^{-t})$ *verifica que* $u(x,t)e^{\frac{1}{2}x}e^{-\frac{1}{2}t}\in L^2(R_+^2)$; $u_x(x,t)e^{\frac{1}{2}x}e^{-\frac{1}{2}t}\in L^2(R_+^2)$; $u(x,t)e^{-\frac{1}{2}x}e^{\frac{1}{2}t}\in L^2(R_+^2)$; $u_t(x,t)e^{-\frac{1}{2}x}e^{\frac{1}{2}t}\in L^2(R_+^2)$

y se define la norma $\left\|f(x,t)\right\|_w^2 = \int_0^\infty\int_0^\infty \left|f(x,t)\right|^2 e^{-(1+2\alpha_1)x} e^{-(1+2\alpha_2)t}\,dxdt$, *entonces*

$$\left\|u_N(x,t)-u(x,t)\right\|_w^2 \le \frac{1}{4(N+1)^2}(I_1+I_2)$$

donde

$$I_r = \int_0^\infty\int_0^\infty \alpha_r^2 u(x,t)^2 e^{-2(\alpha_1+\frac{(-1)r}{2})x} e^{-2(\alpha_2-\frac{(-1)r}{2})t}\,dxdt + \int_0^\infty\int_0^\infty [u_x(x,t)^{2-r}+u_t(x,t)^{r-1}]^2 e^{-2(\alpha_1+\frac{(-1)r}{2})x} e^{-2(\alpha_2-\frac{(-1)r}{2})t}\,dxdt$$

con $r=1,2$. *Si los momentos* $\overline{\mu_{mn}} = \phi 1(m+1+\alpha_1, n+1+\alpha_2)$ *tienen error tal que*

$\sum_{m=1}^{N}\sum_{n=1}^{N} \mu_{mn}{}^2 \le \varepsilon^2$ *entonces* $\left\|u_N(x,t)-u(x,t)\right\|_w^2 \le \frac{1}{4(N+1)^2}(I_1+I_2)+\varepsilon^2 c^2$

con $c = (2N+1)(N+1)^2 2^{6N}\frac{2^8}{2^6-1}$.

Ejemplo Numérico

Consideramos la ecuación

$$u_{tt}(x,t)+u_{xx}(x,t) = u(x,t) - e^{-x-t}2x + e^{-(t+x)}t(x-2)$$

con condiciones iniciales $u(x,t=0)=0 \quad u_t(x,t=0)=xe^{-x}$
y condiciones de contorno (Cauchy) en el origen: $u(x=0,t)=0 \qquad u_x(x=0,t)=te^{-t}$
La solución es $u(x,t)=(xt)e^{-x}e^{-t}$
En la Figura 1 se superponen los gráficos de $u_N(x,t)$ *(gris claro) y* $u(x,t)$ *(gris oscuro)*

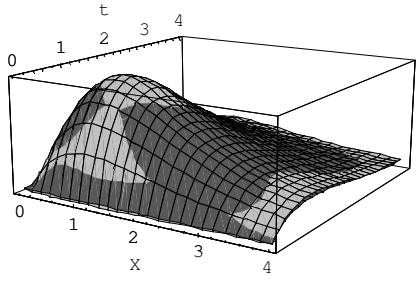


Figura 1

El Teorema 1 provee una estimación de la "exactitud" de la solución aproximada. Calculamos para el ejemplo dado

$$\left(\int_0^\infty\int_0^\infty \left|u_N(x,t)-u(x,t)\right|^2 dxdt\right)^{1/2} = 0.000556895$$

$$\phi 1(x,t) = \frac{1}{(1+t)^2}+\frac{1}{(1+x)^2}-\frac{3+2t+2x}{(1+t)^2(1+x)^2}$$

3. Ecuación de Poisson no lineal

Consideremos ahora la ecuación

$$u_{tt}(x,t)+u_{xx}(x,t) = ag(u(x,t))+bf(x,t) \qquad \text{con} \quad (x,t)\in I=[a1,b1]\times[a2,b2] \qquad (7)$$

Asumimos que la función $u(x,t)$ está sujeta a condiciones iniciales:

$u(x,t=a2)=\varphi 1(x)$; $u(x,t=b2)=\varphi 2(x)$; $u(x=a1,t)=\varphi 3(x)$; $u(x=b1,t)=\varphi 4(x)$;
$u_t(x,t=a2)=\varphi 5(x)$; $u_t(x,t=b2)=\varphi 6(x)$; $u_x(x=a1,t)=\varphi 7(x)$; $u_x(x=b1,t)=\varphi 8(x)$

En este caso tomamos la función auxiliar:

$$h(x,t,r,s) = e^{-x(r+1)}\cos(t(s+1)) \qquad (8)$$

que verifica

$$h_{rr}(x,t,r,s) + h_{ss}(x,t,r,s) = (x^2 - t^2)h(x,t,r,s) \qquad (9)\,.$$

Al tomar $x = t$ en (9) se tiene que

$$h_{rr}(t,t,r,s) + h_{ss}(t,t,r,s) = (t^2 - t^2)h(t,t,r,s) = 0$$

Aplicamos la identidad de Green en la región $D = [a1,b1]\times[a2,b2]$ y obtenemos:

$$\int_{a1}^{b1}\int_{a2}^{b2} g(u(r,s))h(t,t,r,s)dsdr = -\frac{1}{a}\phi(t,t) \qquad (10)$$

con

$$\phi(t,t) = \int_{a1}^{b1} h(t,t,r,b2)[u_s(r,b2) + tu(r,b2)]dr - \int_{a2}^{b2} h(t,t,b1,s)[u_r(b1,s) + tu(b1,s)]ds -$$
$$\int_{a1}^{b1} h(t,t,r,a2)[u_s(r,a2) + tu(r,a2)]dr + \int_{a2}^{b2} h(t,t,a1,s)[u_r(a1,s) + tu(a1,s)]ds + b\int_{a1}^{b1}\int_{a2}^{b2} f(r,s)dsdr$$

Se debe resolver

$$\int_{a1}^{b1}\int_{a2}^{b2} g(u(r,s))\,K_m(r,s)drds = \mu_m \quad m = 0,1,2,\ldots\,,$$

con $K_m(r,s) = \int_{a2}^{b2} K(t,r,s)\,\Psi_m(t)dt$ $\qquad$ $\mu_m = -\frac{1}{a}\int_{a2}^{b2}\phi(t,t)\,\psi_m(t)dt$

donde $K(t,r,s) = e^{-(r+1)t}\cos((s+1)t)$ y $\Psi_m(t)$ una base de $L^2(I)$.
Si las funciones $K_m(r,s)$ $m = 0,1,2,\ldots$ son linealmente independientes el problema de momentos generalizado definido por las ecuaciones anteriores puede ser resuelto como se detalla en [5]: encontrando la solución $\psi(r,s) = g(u(r,s))$ para el correspondiente problema finito con $m = 0,1,2,\ldots,N$.
Así si $g(u)$ tiene inversa continua, entonces $g^{-1}(\psi(r,s))$ será una estimación de $u(r,s)$.
Consideramos la base $\varphi_i(r,s)$ $i = 0,1,2,\ldots$ obtenida por aplicar el proceso de ortonormalización de Gram-Schmidt sobre $K_m(r,s)$ $m = 0,1,2,\ldots,N$ y adicionando al conjunto resultante las funciones necesarias hasta alcanzar una base ortonormal.
Aproximamos la solución $\psi(r,s) = g(u(r,s))$ con [5]:

$$\psi_N(r,s) = \sum_{i=0}^{N}\lambda_i\varphi_i(r,s) \qquad \text{donde} \qquad \lambda_i = \sum_{j=0}^{i} C_{ij}\,\mu_j \quad i = 0,1,2,\ldots,N$$

y los coeficientes C_{ij} verifican

$$C_{ij} = \left(\sum_{k=j}^{i-1} (-1) \frac{\left\langle K_i(r,s) \,|\, \varphi_k(r,s) \right\rangle}{\left\| \varphi_k(r,s) \right\|^2} C_{kj} \right) \cdot \left\| \varphi_i(r,s) \right\|^{-1} \qquad 1 < i \le N \;\; ; \;\; 1 \le j < i$$

Los términos de la diagonal son $C_{ij} = \left\| \varphi_i(r,s) \right\|^{-1} \qquad i = 0,1,\ldots, N$

Teorema 2 *Sea el conjunto de números reales* $\{\mu_k\}_{k=0}^{N}$ *y sean* ε *y* E *dos números positivos tales que*

$$\sum_{k=0}^{N} \left| \int_0^\infty \int_0^\infty K_k(r,s)\psi(r,s)drds - \mu_k \right|^2 \le \varepsilon^2 \qquad y \qquad \int_0^\infty \int_0^\infty (r\psi_r^2 + s\psi_s^2) e^r e^s drds \le E^2$$

y además

$$r^k \psi(r,s) \to 0 \quad \text{para} \quad r \to \infty \quad \forall s, \;\; k \in N \qquad\qquad s^k \psi(r,s) \to 0 \quad \text{para} \quad s \to \infty \quad \forall r, \;\; k \in N$$

entonces

$$\int_0^\infty \int_0^\infty \left| \psi_N(r,s) - \psi(r,s) \right|^2 drds \le \left\| C^T C \right\|^2 \varepsilon^2 + \frac{E^2}{2(N+1)}$$

Si $g^{-1}(x)$ *es Lipschitz en* R^2 *, es decir si* $\left\| g^{-1}(x) - g^{-1}(y) \right\| \le \lambda \left\| x - y \right\|$ *para algún* λ *y* $\forall x, y \in R^2$ *entonces de acuerdo al teorema previo*

$$\int_0^\infty \int_0^\infty \left| u_N(r,s) - u(r,s) \right|^2 drds \le \lambda \left(\left\| C^T C \right\|^2 \varepsilon^2 + \frac{E^2}{2(N+1)} \right)$$

Ejemplo Numérico

Consideramos la ecuación con condiciones iniciales $u_{tt}(x,t) + u_{xx}(x,t) = e^{u(x,t)}$ en $(0,3)\times(0,1)$

$$u(x,t=0) = \ln\left(\frac{4}{(1+x)^2} \right) \qquad u_t(x,t=0) = -\frac{2}{1+x}$$

$$u_t(x,t=1) = -\frac{2}{2+x} \qquad u(x,t=1) = \ln\left(\frac{4}{(2+x)^2} \right)$$

y condiciones de contorno (Cauchy)

$$u(x=0,t) = \ln\left(\frac{4}{(1+t)^2} \right) \qquad u_x(x=3,t) = -\frac{2}{4+t}$$

$$u(x=3,t) = \ln\left(\frac{4}{(4+t)^2} \right) \qquad u_x(x=0,t) = -\frac{2}{1+t}$$

La solución es

$$u(x,t) = \ln\left(\frac{4}{(x+t+1)^2} \right)$$

En la Figura 2 se superponen los gráficos de $u_N(x,t)$ *(gris claro) y* $u(x,t)$ *(gris oscuro)*
El Teorema 2 provee una estimación de la "exactitud" de la solución aproximada. Calculamos para el ejemplo dado

$$\left(\int_0^{\infty}\int_0^{\infty}\left|u_N(x,t)-u(x,t)\right|^2 dxdt\right)^{1/2} = 0.317865$$

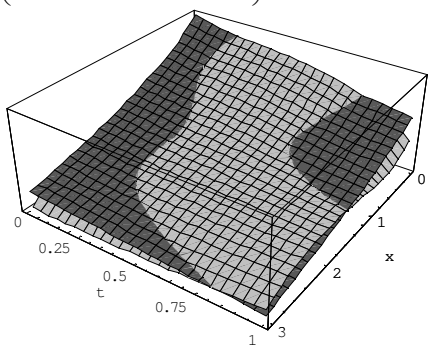


Figura 2

CONCLUSIONES

Aplicando la identidad de Green se puede llevar una ecuación en derivadas parciales a una ecuación integral. Si la ecuación integral es de la forma

$$\int_{a1}^{b1}\int_{a2}^{b2} K(x,t,r,s)g(u(r,s))drds = \varphi(x,t)$$

donde $K(m,n,r,s)$ con $m,n = 0,1,2,...$ son linealmente independientes entonces se podría resolver la ecuación integral con las técnicas de problema inverso de momentos.
Análogamente si $K(x,t,r,s)$ es tal que

$$K_{mn}(r,s) = \int_{a2}^{b2}\int_{a1}^{b1} K(x,t,r,s)\,\Psi_{mn}(x,t)dxdt \quad m.n = 0,1,2.,...$$

son linealmente independientes siendo $\Psi_{mn}(x,t)$ una base de $L^2([a1,b1]\times[a2,b2])$.

REFERENCIAS

[1] D.D. ANG, R. GORENFLO, V.K. LE and D.D. TRONG, *Moment theory and some inverse problems in potential theory and heat conduction*, Lectures Notes in Mathematics, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2002.
[2] J.A. SHOHAT and J.D. TAMARKIN, *The problem of Moments*, Mathematic Surveys, Am. Math. Soc., Providence, RI, 1943
[3] G. TALENTI, *Recovering a function from a finite number of moments,* Inverse Problems 3 (1987), pp.501- 517.
[4] M. B. PINTARELLI and F. VERICAT, *Bi-dimensional inverse moment problems*, Far East Journal of Mathematical Sciences 54 (2011), pp. 1-23.
[5] M. B. PINTARELLI and F. VERICAT, *Stability theorem and inversion algorithm for a generalized moment problem*, Far East Journal of Mathematical Sciences 30 (2008), pp. 253-274.

DETERMINACIÓN DE ESTRUCTURAS TURBULENTAS MEDIANTE ALGORITMOS NUMÉRICOS

Calandra, Maria V.[a], Marañón Di Leo, Julio[b,c] y Delnero, Juan S.[b,c]

[a] Grupo de Aplicaciones Matemáticas y Estadísticas de la Facultad de Ingeniería, Dto de Ciencias Básicas, Fac. Ingeniería, UNLP, calle 115 y 50, 1900, La Plata.
[b]Laboratorio de Capa Límite y Fluidodinámica Ambiental, Dto de Aeronáutica, Fac.Ingeniería, UNLP, calle 116 entre 47 y 48, 1900, La Plata.
[c]Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Av. Rivadavia 1917, C1033AAJ, CABA.
mava@mate.unlp.edu.ar

Palabras Claves: punto de cambio, algoritmos, turbulencia, vórtices, frecuencias.

Introducción.

Este trabajo tiene como objetivo principal el análisis y la evaluación de una metodología para la detección de variaciones significativas (Puntos de Cambio[(1)(3)]) en una señal de serie de tiempo de la velocidad de un flujo turbulento corriente abajo del borde de fuga de un perfil aerodinámico, con un dispositivo de control pasivo de flujo (mini-flap de Gurney). El efecto global de este elemento es producir un aumento significativo en la sustentación, acompañado de un incremento relativamente menor en la resistencia del perfil. Su geometría genera desprendimientos vorticosos de escala espacial, aproximadamente h (altura del mini-flap), que modulan la estela e influyen así en la configuración global del flujo.

Se trata de evaluar el empleo de dicha metodología para la detección de eventos característicos en flujos de este tipo que, en un futuro, podrán ser empleados como un sistema de control para la adquisición de datos en el funcionamiento de un anemómetro de hilo caliente. Esta metodología permitiría realizar evaluaciones más precisas con el fin de determinar las diferentes estructuras vorticosas presentes en un flujo de estas características. Con este fin se implementó un algoritmo específico, para la detección de Puntos de Cambio, el cual emplea el método de remuestreo Bootstrap[(2)], sobre una señal medida previamente, con el fin de cotejar los resultados obtenidos mediante herramientas convencionales de análisis. Y otra metodología basada en el Cociente de Verosimilitud.

Metodología de Los Estimadores de Punto de Cambio

Generalidades

Los primeros estudios realizados sobre el estimador de Punto de Cambio datan de 1950. Son numerosos los artículos publicados en revistas y congresos sobre la aplicabilidad del mismo en distintos tópicos[(3)].

En general en estos casos uno tendería a hacerse las siguientes preguntas: ¿ha ocurrido un cambio en la serie de tiempo? ¿Ha ocurrido más de un cambio? ¿Cuándo han ocurrido dichos cambios? ¿Con qué nivel de confianza?. Todas estas preguntas podrían responderse mediante la aplicación del estimador de Punto de Cambio[(1)]. Este estimador permite obtener una detallada información incluyendo el nivel de confianza de la probabilidad de que se produzca un cambio y un intervalo de confianza indicando cuando ocurre.

Métodos utilizados

Para la aplicación de estos métodos supondremos que contamos con una muestra X_1, X_2, …, X_N ordenada en el tiempo donde,

$$X_i = \mu_i + \varepsilon_i \qquad (1)$$

donde μ_i es la media en el tiempo *i*.

Generalmente, $\mu_i = \mu_{i-1}$ excepto para un número finito de valores de *i* llamados Puntos de Cambio, ε_i es el error aleatorio asociado con el i-ésimo valor. Se asume que los ε_i son independientes con media cero e idénticamente distribuidos[4].

Sumas Acumulativas

Este concepto para análisis estadístico de los datos[5] se puede emplear para detectar pequeñas desviaciones del promedio de la muestra. Para obtener el diagrama de las sumas acumulativas, se procede de la siguiente manera. Primero se determina el valor medio de la muestra,

$$\overline{X} = \frac{X_1 + X_2 + ... + X_{N-1} + X_N}{N} \tag{2}$$

donde N es el número total de valores de la muestra, X_i son los valores correspondientes. Para obtener la sucesión de valores de las sumas acumulativas, se considera el primer valor $S_0 = 0$, luego se comienza a determinar las sumas sucesivas empleando para ello la siguiente fórmula de recurrencia,

$$S_i = S_{i-1} + \left(X_i - \overline{X}\right) \text{ para i = 1, 2, …, N.} \tag{3}$$

Posteriormente, se puede confeccionar el gráfico de sumas acumulativas de los S_i versus el período correspondiente para detectar los puntos de cambio, los cuales se corresponden con el cambio de pendiente en el mismo. A pesar que, de los gráficos de sumas acumulativas se podría obtener la detección de posibles cambios en la media, para realizar un análisis detallado del nivel de confianza con que ocurre el cambio, se emplea el estadístico de una suma acumulativa, S_{dif}. Dicho valor se obtiene de la siguiente expresión,

$$S_{dif} = S_{\text{máx}} - S_{\text{mín}} \tag{4}$$

siendo,

$$S_{\text{máx}} = \max_{i=1...N} S_i \tag{5}$$

$$S_{\text{mín}} = \min_{i=1...N} S_i \tag{6}$$

Este estadístico es un estimador de la magnitud del cambio. Definido éste se realiza un remuestro bootstrap, que consiste en obtener nuevas muestras generadas a partir de los X_i originales. Las cuales pueden ser obtenidas reordenando aleatoriamente los X_i originales o extrayendo observaciones X_i de la muestra original con reemplazo. En general se recomienda hacer bootstrap M veces, entre 1000 y 10000 veces. Luego contamos el número de bootstrap en los cuales S^0_{dif} es menor que S_{dif} y lo denotamos con *Y*. Entonces el nivel de confianza con que el cambio ocurre se calcula de la siguiente manera,

$$\text{Nivel de confianza} = 100\frac{Y}{M}\% \tag{7}$$

En general se recomienda un 90% o 95% de nivel de confianza para establecer la existencia de un Punto de Cambio. Por otro lado se puede determinar un intervalo de confianza bootstrap para cada cambio encontrado desarrollado por Efron y Tibshirani[2]. Para ello nos basamos en el intervalo de confianza para la media de una distribución Normal,

$$\left[\overline{X} - t_{N-1;\alpha/2}\frac{S}{\sqrt{n}}, \overline{X} + t_{N-1;\alpha/2}\frac{S}{\sqrt{n}}\right] \tag{8}$$

donde $\overline{X}$ es la media muestral, *S* es el desvío típico muestral y *t* es el cuantil *α/2* de la distribución t-Student de *N-1* grados de libertad, donde *1 - α* es el nivel de confianza del intervalo. El mismo es estimado mediante réplicas de la muestra obtenidas por bootstrap.

Una vez detectado un cambio en la pendiente del gráfico de sumas acumulativas se procede a estimar el lugar donde ocurre dicho cambio. Sea m tal que,

$$|S_m| = \max_{i=0,\ldots,N} |S_i| \tag{9}$$

S_m es el punto más alejado del cero en el gráfico de sumas acumulativas. Este punto m estima el último punto antes de que el cambio ocurra, y el punto m+1 estima el primer punto después del cambio. Una vez detectado el primer cambio se divide la muestra en dos partes, una antes del cambio y otra después, y se repite el procedimiento antes descripto para detectar otros posibles cambios.

Método del cociente de máxima verosimilitud

Para este caso se considera el modelo antes indicado en el que se asume a los ε_i independientes con media cero y con distribución Normal,

$$x_i \sim N(0, \sigma_i^2) \tag{10}$$

El objetivo es testear las siguientes hipótesis:

$$H_0 : \sigma_1^{\,2} = \sigma_2^{\,2} = \ldots = \sigma_c^{\,2} = \sigma^{\,2} \text{ (desconocido)}$$

vs.

$$H_1 : \sigma_1^{\,2} = \ldots = \sigma_k^{\,2} = \sigma^{\,2} \neq \sigma_{k+1}^{\,2} = \ldots = \sigma_c^{\,2} = \sigma^{\,2'}$$

En caso de rechazar H_0, se dirá que hay un cambio en el período *k*. Para este test se plantea el estadístico basado en Cociente de Verosimilitud. El estadístico se corresponde con el criterio de información de Schwarz (SIC)[6], mediante el cual se puede establecer en que posición se produce un cambio. Se compara el valor del estimador para la muestra completa y el de la muestra hasta el valor k-esimo. Las expresiones son las siguientes,

$$SIC(n) = n \log 2\pi + n \log \hat{\sigma}^2 + n + \log n \tag{11}$$

$$SIC(k) = n \log 2\pi + k \log \hat{\sigma}_1^2 + (n-k) \log \hat{\sigma}_n^2 + n + 2 \log n \tag{12}$$

donde,

$$\hat{\sigma}_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^{k} (x_i - \mu)^2}{k} \quad \text{y} \quad \hat{\sigma}_n^2 = \frac{\sum_{i=k+1}^{n} (x_i - \mu)^2}{n-k} \tag{13}$$

Se considera que existe un cambio en *k* cuando se comprueba que,

$$SIC(n) < \min_{2 \le k \le n-2} SIC(k) + C_\alpha \tag{14}$$

En el cual C_α es un valor crítico que introduce el nivel de significación α que uno desee al cálculo (en nuestro caso se utilizó 0,05). Una vez detectado un cambio se procede como fue explicado en el método anterior.

APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS.

En análisis de flujos turbulentos es común emplear herramientas como el espectro de densidad de potencia, las autocorrelaciones, la transformada wavelet, aplicadas a los valores de la velocidad obtenida de los ensayos, para encontrar las características particulares de las estructuras turbulentas del flujo. Pudiendo determinar la aparición de eventos presentes en el flujo, escalas temporales y espaciales de dichos eventos, etc.[7]. Compararemos los resultados obtenidos mediante estas metodologías del estimador de Punto de Cambio con aquellos encontrados con las herramientas convencionales.

Características de la medición experimental

Como datos experimentales se tomó una medición, realizada en un túnel de viento de capa límite del Laboratorio de Capa Límite y Fluidodinámica Ambiental del Dto. de Aeronáutica (Fac. Ingeniería - UNLP). El modelo fue una pequeña ala de 45 cm. (C) de cuerda y 80 cm. de envergadura construida con un perfil aerodinámico NACA 4412 con el

agregado de un dispositivo pasivo de control de flujo (mini-flap Gurney) de longitud h = 2%C, ubicado en el borde de fuga del perfil a 90º respecto a la cuerda (ver Figura 1). Se midió a una velocidad media del flujo de 10m/seg. con un ángulo de ataque del perfil de 0°, con un número de Reynolds para el ensayo de 300.000. Este dispositivo genera un aumento de sustentación acompañado por un aumento de la resistencia no tan significativo. Estos efectos están asociados con el desprendimiento de vórtices en la estela del mini flap. Las velocidades se midieron con un anemómetro de hilo caliente de temperatura constante, obteniendo dos componentes de la velocidad (longitudinal u y vertical v). Dicha medición se corresponde a un punto de la estela generada por el perfil aerodinámico a una distancia corriente abajo del borde de fuga de 1h, a la altura de la cuerda del perfil, con la presencia del mini flap. Al conocerse el campo del flujo producido por la presencia de este dispositivo y sabiendo que genera estructuras vorticosas que se desprenden del perfil, como vórtices contrarrotantes periódicos (ver Figura 2), se consideró la posibilidad de implementar estas metodologías con el fin de detectar los eventos esperados en la estela, los cuales fueron cuantificados mediante un espectro de densidad de potencia, el cálculo de los coeficientes de autocorrelación y la aplicación de la transformada wavelet a la señal.

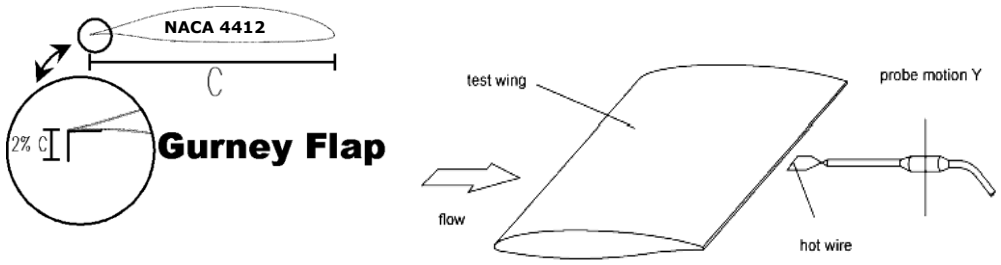


Figura 1. Esquema del modelo y la medición realizada.

Las wavelets están localizadas tanto en el espacio como en la frecuencia, por lo tanto la transformada wavelet analiza una señal localmente en los dominios de frecuencia y el espacio o tiempo[8]. La característica de localización de frecuencia en el tiempo de la transformada wavelet da una gran posibilidad de descubrir las posiciones de singularidades y discontinuidades en una señal, algo que es imposible de alcanzar en el análisis ordinario de Fourier[9]. Se compararon dichos resultados con los arrojados por las metodologías del estimador de Punto de Cambio.



Figura 2. Esquema de las estructuras vorticosas contrarrotativas.

Se presentan los resultados encontrados en los cálculos para la componente vertical de la velocidad (v) de la señal analizada. En la Figura 3 se muestra el mapa de wavelets utilizando una onda del tipo Mexican Hat, mediante la cual se pueden rastrear los máximos de la señal[9]. Allí se observa la aparición de un evento turbulento periódico asociado a uno de los vórtices contrarrotativos que se desprenden corriente abajo del dispositivo. En dicha Figura 3 el valor de ordenadas correspondiente a Escalas se define con la siguiente expresión:

$$Escala = \frac{\ln(t)}{\ln(10)} \qquad (15)$$

Donde *t* corresponde al tiempo en segundos de la longitud en el tiempo de la onda correspondiente. Las estructuras marcadas en el mapa de wavelets concuerdan con la frecuencia del pico de energía encontrado mediante el análisis realizado por el cálculo del

espectro de densidad de potencia (Figura 4). Se observa un pico de energía para una frecuencia de 141,6Hz. el cual se corresponde con la periodicidad encontrada en los máximos secundarios con un intervalo de tiempo de 0,007 segundos.

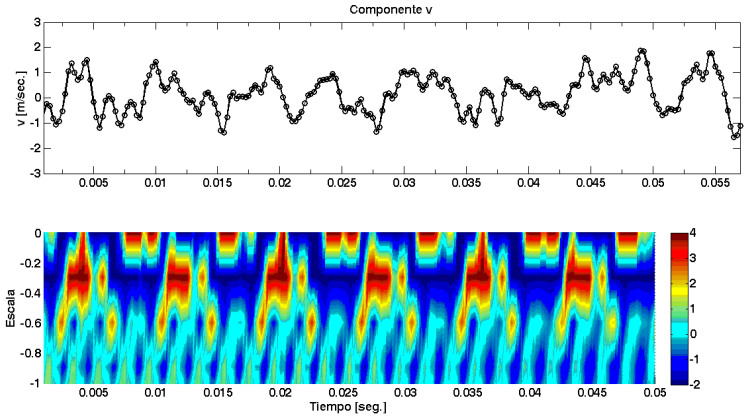


Figura 3. Mapa de wavelets y valores de la fluctuación de la componente vertical de la velocidad.

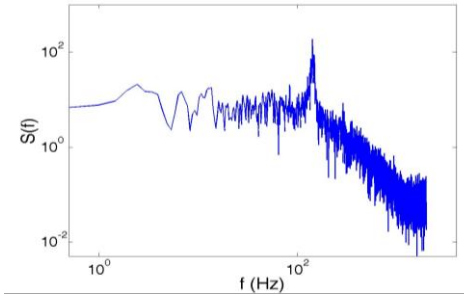


Figura 4. Espectro de densidad de potencia.

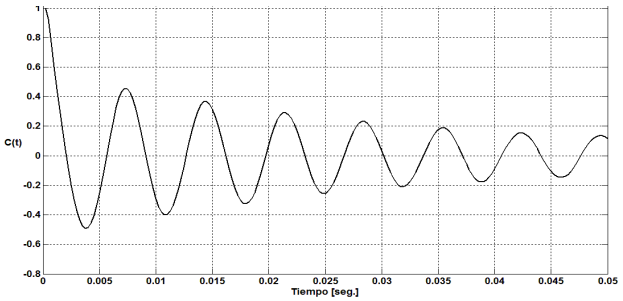


Figura 5. Coeficiente de autocorrelación (C(t)) de la componente v de la velocidad.

De la autocorrelación de las fluctuaciones (Figura 5), y considerando la teoría del primer corte por cero, se establece para la componente v una escala temporal de 0,002 segundos, lo cual se traduce mediante la teoría de "flujo congelado" en una escala espacial de 0,02m (0,002seg.*10m/seg.=0,02m, igual a la longitud del miniflap). Por consiguiente las estructuras detectadas se corresponden con los eventos turbulentos generados por el dispositivo. Para el caso del método de las sumas acumulativas, se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 1, se observan tres columnas, la primera indica el instante de tiempo en el que se produce el cambio (nivel de confianza del 99%), la segunda el intervalo de confianza en el cual se ubica el cambio (nivel de confianza del 90%), y los valores de la media acumulada antes y después del cambio. El intervalo de tiempo promedio entre cambios es 0,0032 segundos. Los puntos de cambio encontrados se aproximan a los máximos del mapa de wavelets para la escala de -0,3, con una periodicidad de 0,007 segundos, que se corresponden con las estructuras vorticosas contrarrotantes conocidas. El algoritmo de Punto de Cambio detecta los valores máximos y mínimos que se observan en el mapa de wavelets, por ello es que se encuentra una periodicidad de la mitad del valor

obtenido mediante las otras metodologías. El remuestreo bootstrap utilizado es de 1000 muestras. En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos por el método SIC con el cual se logran detectar cambios secundarios de escala -0,9 en el mapa de wavelets (Figura 3).

TABLA 1: CAMBIOS CON SUMAS ACUMULATIVAS.

Tiempo [seg.]	Intervalo de confianza (90%)	Cambio de la media acumulada
0,0025	(0,0025; 0,0025)	de 1,2714 a 2,8689
0,00475	(0,00475; 0,0050)	de 2,8689 a 1,3889
0,009	(0,00875; 0,0090)	de 1,3889 a 2,6116
0,01225	(0,01225; 0,0125)	de 2,6116 a 1,5018
0,01575	(0,01525; 0,0160)	de 1,5018 a 2,2889
0,020	(0,0195; 0,0200)	de 2,2889 a 1,3487
0,022	(0,0220; 0,0220)	de 1,3487 a 2,4285

TABLA 2: CAMBIOS CON EL MÉTODO SIC.

Puntos de Cambio - SIC			
Posición	Tiempo [seg.]	Posición	Tiempo [seg.]
1	0	11	0,0105
2	0,0013	12	0,011
3	0,0025	13	0,012
4	0,0035	14	0,0127
5	0,0047	15	0,0138
6	0,006	16	0,0143
7	0,0065	17	0,0147
8	0,0077	18	0,016
9	0,0088	19	0,0173
10	0,0092	20	0,0182

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran una buena aproximación de los eventos detectados por las metodologías tradicionales, en comparación con la aplicación del estimador de Punto de Cambio. Los cambios detectados concuerdan con la aparición de los eventos esperados en la estela, para el dispositivo. El estimador de Punto de Cambio se presenta como una herramienta factible para ser empleada en la adquisición de datos experimentales. Se prevé seguir analizando la aplicación de estos estimadores, generando un software que lo incluya y permita el control del equipo.

BIBLIOGRAFÍA

1- Taylor, W.A., Change-Point Analysis: A Powerful New Tool For Detecting Changes, Quality Engineering (2000).
2- Efron, B.y Tibshirani, R., An introduction to the Bootstrap, Chapman & Hall, New York (1993).
3- Chen, J. y Gupta, A.K., Parametrical statistical change point analysis, Birkhauser Boston (2000).
4- Krishnaiah, P,R, y Miao, B.Q., Review About Estimation of Change Points, Handbook of Statistics, 7,(1988).
5- Miller, I., Freund, J.E. y Johnson, R.A., Probabilidad y Estadística para Ingenieros, Prentice-Hall Hisp. S.A. (1992).
6- Schwarz, G., “Estimating the Dimension of a Model”, Annals of Statistics, 6, 461–464. (1978),
7- Hinze, J. O., Turbulence. Mc Graw-Hill, New York (1975).
8- Farge, M., Annu, Rev, Fluid Mech, 24: 395-457 (1992).
9- Giacopinelli, P.E.L., Scarabino, A.E., Delnero, J.S. y Bacchi, F.A. Detección y análisis con wavelets de estructuras organizadas en la estela de un perfil aerodinámico, 2do. Congreso Argentino de Ingeniería Aeronáutica, Córdoba, 24 al 29 de noviembre de 2010.

ESTUDIO DE LAS LIMITACIONES DE LOS DISPOSITIVOS DE ENCRIPTACIÓN ÓPTICA MÚLTIPLE

Myrian Tebaldi[1], John Fredy Barrera[2], Néstor Bolognini[1], Roberto Torroba[1]

[1]UID OPTIMO, Facultad de Ingenieria, Universidad Nacional de La Plata y Centro Investigaciones Ópticas (CONICET La Plata-CIC), La Plata, Argentina

[2]Grupo de Óptica y Fotónica, Instituto de Física, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

Email: robertot@ciop.unlp.edu.ar

Palabras Claves: encriptación, óptica, 4f, ruido, solapamiento

Resumen

En los últimos años ha aumentado notablemente el número de transacciones financieras realizadas por internet y conjuntamente se han incrementado los problemas de seguridad. En este contexto, se han propuesto e implementado sistemas ópticos para el cifrado de datos, los cuales han demostrado que el procesamiento óptico permite una manipulación segura de la información. Entre ellos, los dispositivos más usados y desarrollados se basan en el empleo de máscaras aleatorias de fase para transformar los datos en una distribución de ruido blanco (imagen encriptada). El proceso de desencriptación se realiza con la máscara de fase correcta (llave de seguridad), sin la cual se hace imposible recuperar el dato original.

En la actualidad se buscan nuevas estrategias para aumentar la cantidad de datos codificados a ser almacenados. Los resultados obtenidos en arreglos de encriptación múltiple permitieron verificar que a medida que se incrementa el número de datos, en esa misma medida se degradan los datos recuperados en la etapa de decodificación. Este deterioro se debe al solapamiento y al ruido generado por los datos no desencriptados. Este hecho representa una gran limitación para la aplicación práctica de los sistemas ópticos de seguridad cuando se involucran múltiples datos. En ese sentido, se esboza una solución que permite eliminar el deterioro a través del reposicionado de la información asociada a cada uno de los datos de entrada.

1. Introducción

Los datos convencionales de uso masivo trasmitidos a traves de los sistemas informáticos son factibles de ser falsificados. La idea de los dispositivos codificación es que permitan que la información a ser transmitida y almacenada sea accesible solo a personas autorizadas. A los procedimientos ópticos usados para cifrar información se les conocen como técnicas de encriptación. La encriptación es la transformación de los datos e imágenes de forma que sea imposible recuperarlos sin el adecuado conocimiento de la llave de seguridad con la cual se codificado. A la transformación del dato encriptado de nuevo en una forma inteligible se la conoce con el nombre de desencriptación. Cabe destacar que para acceder a la información el usuario autorizado debe poseer la imagen encriptada y la llave de seguridad. Las técnicas ópticas evidencian un gran potencial para el desarrollo de sistemas de seguridad basados en la encriptación [1-3].

Los sistemas de cifrado de información comercialmente disponibles son digitales. Sin embargo, se ha mostrado la vulnerabilidad de estos sistemas. Un sistema encriptador es seguro si a pesar de que un usuario no autorizado tiene conocimiento del sistema encriptador, pero desconoce las llaves de seguridad, le es imposible acceder a la información cifrada por este sistema u obtener por algún método las llaves de seguridad. Justamente, en estos aspectos de seguridad se ha demostrado en los últimos años que el procesamiento óptico provee ventajas en aplicaciones que involucren técnicas de encriptación en comparación con los sistemas digitales. La seguridad en un sistema de

encriptación se centra en la seguridad de la llave. En los últimos años, se diseñaron varios ataques para vulnerar dicha llave [8]. A pesar de esto, los sistemas ópticos de seguridad son más seguros dado que para romper un sistema óptico, un hacker necesita utilizar sofisticadas técnicas menos accesibles y flexibles en comparación con métodos digitales.
Los sistemas ópticos de encriptación más usados son los que emplean dos máscaras aleatorias de fase, los cuales son usualmente llamados sistemas de encriptación de doble máscara de fase. Los arreglos ópticos están basados fundamentalmente en correladores 4f [3, 4] y de transformada conjunta (JTC) [5]. Ademas de la seguridad ya mencionada, debemos mencionar que los sistemas ópticos ofrecen muchos grados de libertad para codificar los datos de forma segura (longitud de onda [6], polarización de la luz [7], etc). Asimismo, los sistemas ópticos implican procesos que transmiten una gran cantidad de información en paralelo y aumentando en consecuencia la velocidad del procesamiento en comparación con los sistemas electrónicos que se limitan, en general, al procesamiento en serie. Todos estas caracteristicas permiten advertir que las arquitecturas opticas representan una alternativa de lograr sistemas que compitan en la tarea de otorgar seguridad a la información a ser transmitida.

En la actualidad se buscan estrategias para aumentar la cantidad de datos codificados a ser almacenados. En ese sentido es de interés desarrollar técnicas de multiplexado que permitan almacenar muchos datos en un único bloque de información que contiene la suma de todos los datos encriptados. El multiplexado se puede implementar modificando la llave de codificación y/ó los parámetros ópticos del sistema [9], por ejemplo desplazando la máscara llave [10], cambiando al longitud de onda [11], etc.

Los sistemas de encriptación múltiple presentan la ventaja de que a partir de un único bloque de datos, un usuario que recibe diferentes llaves en diferentes momentos pueda recuperar diferentes datos. Asimismo, estos sistemas permiten el manejo de múltiples usuarios cada uno de los cuales a través de una llave diferente podrán acceder a diferente información. En el procedimiento de desencriptación, la información del multiplexado es enviada a todos los usuarios, lo que asegura un manejo eficiente de la información ya que se evita el envío por separado de un dato encriptado por cada uno de los usuarios. Asimismo, por separado, a cada usuario se le envía la llave de seguridad y/ó los parámetros del sistema que le permiten, a partir del multiplexado, recuperar el dato de interés. Aunque un usuario no autorizado pueda interceptar la información del multiplexado, si no tiene acceso a la llave de seguridad y/o los parámetros del procesador, no podrá acceder a la información de ninguno de los datos encriptados.

Cabe mencionar que a la ventaja antes mencionada debemos agregar que la seguridad de los datos encriptados aumenta gracias al multiplexado por ejemplo mediante el multiplexado encubierto [12].

En la Sección 2 de este trabajo, se mostrará que en los arreglos de encriptación múltiple a medida que se incrementa el número de datos almacenados en un único bloque, en esa misma medida se degradan los datos recuperados. El mencionado deterioro se debe al solapamiento y al ruido generado por los datos no desencriptados. Este hecho representa una gran limitación para la aplicación práctica de los sistemas ópticos de encriptación de múltiples datos. En ese sentido, se esboza una solución que permite eliminar el deterioro a través del reposicionado de la información asociada a cada uno de los datos de entrada.

2. Encriptación múltiple de datos

En el sistema de encriptación de doble máscara de fase basado en la arquitectura 4f, el dato a ser encriptado se adosa a una máscara aleatoria de fase R_1 (ver Figura 1). Luego se realiza una transformada de Fourier de este producto y en el plano de Fourier se coloca una

segunda máscara aleatoria de fase ó llave de seguridad del sistema R_2. Finalmente se realiza otra transformada de Fourier para obtener el dato encriptado [3],

$$E = O_1 R_1 * \Im[R_2] \quad (1)$$

donde $*$ denota la operación de convolución, $\Im$ la transformada de Fourier, O_1 el objeto de entrada.

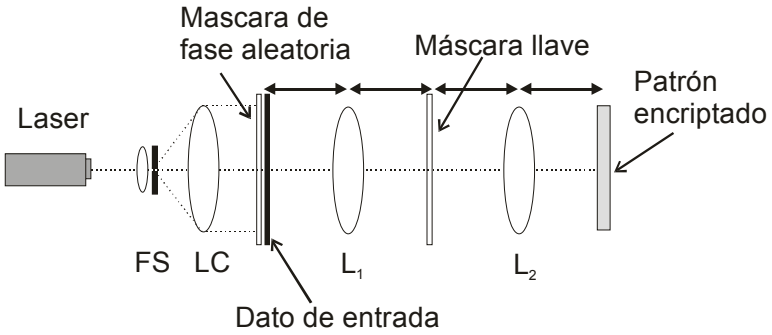


Figura 1. Esquema del sistema óptico de encriptación (FS: filtro espacial; LC: lente colimadora, L_1 y L_2: lente).

Este patrón encriptado multiplexado es enviado al usuario final junto con la máscara llave R_2. Para recuperar el dato de entrada, se realiza la transformada de Fourier del complejo conjugado de la imagen encriptada y se lo multiplica por la llave del sistema R_2.

$$\Im[E^*]\, R_2 = \Im[(O_1 R_1)^*]\, R_2{}^* R_2 \quad (2)$$

Luego, se realiza una segunda transformada de Fourier obteniéndose el dato desencriptado (ver esquema del dispositivo de desencriptación de la Figura 2).

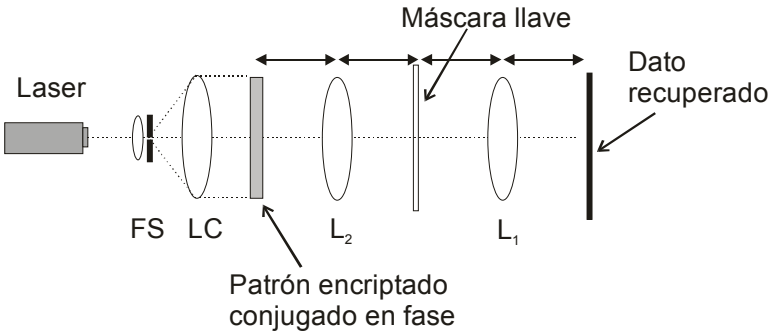


Figura 2. Esquema del sistema óptico de desencriptación (FS: filtro espacial; LC: lente colimadora, L_1 y L_2: lente).

Las técnicas de multiplexado permiten que múltiples datos encriptados sean almacenados en un único medio de almacenamiento que contiene la suma de todos los datos (ver el esquema presentado en la Figura 3). Para llevar a cabo el mencionado proceso, en primer lugar se encripta uno de los datos de entrada O_1 con la máscara llave R_2, posteriormente se encripta un segundo dato O_2 cambiando la llave de seguridad o algún parámetro del sistema (dicha máscara la denotaremos como R_3) y luego se suma este patrón encriptado con el primero; obteniéndose el multiplexado entre el primer y segundo dato encriptado. A continuación se encripta el tercer dato con una máscara llave R_4 y se suma con el multiplexado del primero y el segundo, repitiéndose el procedimiento con el resto de datos a

procesar. Entonces, una operación de multiplexado implica generar un patrón multiplexado resultante $M = E_1 + E_2 + E_3$.

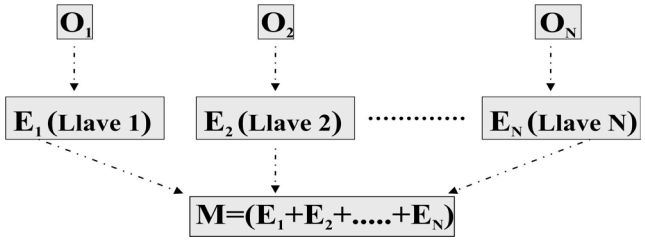


Figura 4 Esquema multiplexado

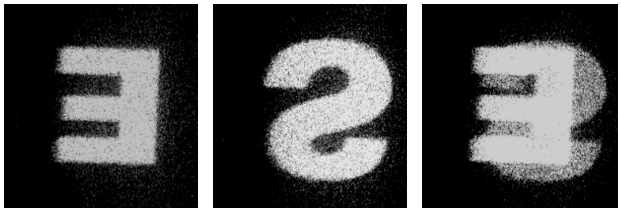
Una característica novedosa y singular de nuestras propuesta, es la presencia simultánea en el frente de onda de todas las señales encriptadas. Para la desencriptación en la configuración de multiplexado, a los usuarios finales autorizados se les envía la información del multiplexado y por separado se les envía la llave de seguridad, por ejemplo R_2 y el conjunto de parámetros ópticos empleados durante la encriptación. Para desencriptar la información, el usuario realiza la transformada de Fourier del dato multiplexado conjugado en fase y multiplica por la llave R_2, resultando:

$$\Im\left[M^*\right] R_2 = \Im\left[\left(O_1 R_1\right)^*\right] R_2{}^* R_2 + \Im\left[\left(O_2 R_1\right)^*\right] R_3{}^* R_2 + +\Im\left[\left(O_3 R_1\right)^*\right] R_4{}^* R_2 \qquad (3)$$

Cuando se emplea la máscara de fase R_2, el usuario recupera el objeto O_1 y el ruido asociado a los datos encriptados correspondientes a los objeto O_2 y a O_3 que no fueron desencriptados. Entonces, luego de una nueva transformada de Fourier se obtiene,

$$\begin{aligned} K &= \Im\left[\left(O_1 R_1\right)^*\right] + \Im\left[\left(O_2 R_1\right)^*\right] R_3{}^* R_2 + \Im\left[\left(O_3 R_1\right)^*\right] R_4{}^* R_2 \\ \Rightarrow \quad \Im^{-1}[K] &= \left(O_1 R_1\right)^* + N_3 + N_4 \Rightarrow \quad O_1 R_1 \end{aligned} \qquad (4)$$

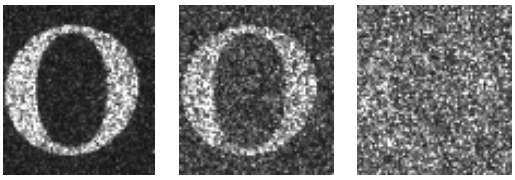
Donde N_3 y N_4 representan el ruido adicionado por los objetos no desencriptados. Un sistema de encriptación múltiple adecuado debe permitir recuperara aisladamente cada dato almacenado. Entendemos por solapamiento a la superposición de datos correctamente decodificados. La presencia de solapamiento se traduce en la incorrecta visualización de la información recuperada. En la Figura 3 a) y 3 b) se muestran los datos recuperados aisladamente mientras que en la Figura 3 c) se muestra la información recuperada cuando hay solapamiento entre los datos correspondientes a diferentes registros. El solapamiento se puede eliminar eligiendo mascaras llave estadísticamente independientes o seleccionando adecuadamente los parámetros ópticos, como se puede ver en las Ref. [6, 7, 10]. En suma, en todos los casos que se utilice el cambio de algún parámetro óptico para le multiplexado es requerido un adecuado estudio de la sensibilidad del sistema al cambio de los parámetros ópticos permite almacenar información múltiple eliminando el solapamiento.



(a) (b) (c)

Figura 3: a) y (b) Imágenes desencriptadas correspondientes a datos encriptados con mascaras llave estadísticamente independientes (c) Imagen desencriptada correspondientes a datos encriptados con la misma máscara llave

El cambio adecuado del parámetro óptico permite recuperar aisladamente la información de cada registro. Sin embargo, como se puede ver en la ecuación (4) los datos no desencriptado correspondientes a O_2 y O_3 pueden ser considerado como ruido de fondo sobre la información de O_1. Entonces, por ruido entendemos la contribución de imágenes no desencriptadas sobre una imagen correctamente recuperada. El origen de este ruido se debe básicamente a que el frente de onda contiene toda la información almacenada como ay fue mencionado. Entonces, una imagen no desencriptada se comporta sobre ruido blanco sobre los datos de interés. Cuando el número de imágenes a ser multiplexadas en un único bloque de datos es pequeño el peso de estos términos no es importante. Sin embrago, a medida que se incrementa el número de datos en el proceso de multiplexado, aumenta el número de términos que contribuyen al ruido en el plano de desencriptación, hasta llegar un momento en que no se puede discriminar el dato desencriptado debido al ruido generado por los no desencriptados. Esto se puede confirmar en los resultados presentados en la Figura 4, donde se observa que cuando se almacenan 30 imágenes el ruido supera a la información. Lo anterior implica que para cierto número de datos multiplexados, a pesar de que se use una de las llaves de seguridad correcta, no se podrá discriminar el dato desencriptados.



(a) (b) (c)

Figura 4: Imagen desencriptada cuando se almacenaron en un único medio de registro (a) 4 imágenes, (b) 10 imágenes y (c) 30 imágenes.

Cabe mencionar que tanto el ruido debido a los datos no desencriptados como el solapamiento pueden aparecer simultáneamente. Si bien los estudios presentados en als Ref. [6, 7,10] permiten eliminar el solapamiento, aparece en la reconstrucción ruido de fondo debido a la presencia de los datos no desencriptados. En ese sentido, recientemente hemos desarrolado para la arquitectura 4f una técnica basada en la "tetha modulation" para eliminar este ruido y por lo tanto aumentar la capacidad de procesamiento de los sistemas ópticos de encriptación. La técnica propuesta consiste en modular cada uno de los datos encriptados con una red con diferente frecuencia y/o orientación [13-15]. Este procedimiento permite separar cada uno de los datos encriptados y filtrarlos adecuadamente en la etapa de desencriptación, obteniéndose cada uno de los datos de entrada libres del ruido.

3. Conclusiones

Las técnicas de encriptación múltiple permiten que la información de varios de datos de entrada sea almacenada en un único medio que contenga la suma de todos los datos individuales. En este trabajo se muestra que si bien se ha verificado la aplicabilidad de los sistemas ópticos en procesos de seguridad, sin embargo los procesos de multiplexado presentaban una gran limitación debido al solapamiento y al ruido debido a los datos no desencriptados. Ambos hechos pueden aparecer simultáneamente. Entonces, a medida que se incrementa el número de datos en el proceso multiusuario, aumenta el número de términos que contribuyen al ruido en el plano de recuperación, hasta llegar un momento en que no se puede discriminar el dato desencriptado debido al ruido generado por los no desencriptados. Para eliminar el ruido generado por los datos no desencriptados y por lo tanto aumentar la capacidad de procesamiento de los sistemas ópticos de encriptación

basados en la arquitectura 4*f*, recientemente se propuso la implementación de la técnica "tetha modulation". Esta técnica se basa en un reposicionado inteligente al momento de desencriptar la información multiplexada, mediante mecanismos accesorios al montaje encriptador básico.

Bibliografía

1. A. Alfalou, C. Brosseau. Optical image compression and encryption methods. Adv. Opt. Photon. **1**, 589–636 (2009).
2. O. Matoba, T. Nomura, E. Perez-Cabre, M.S. Millan, B. Javidi. Optical techniques for information security. Proc. of IEEE 97, 1128-1148 (2009).
3. P. Refregier, B. Javidi. Optical image encryption using input and Fourier plane random phase encoding. Opt. Lett. 20, 767-769 (1995).
4. G. Unnikrishnan, J. Joseph, K. Singh, Optical encryption by double-random phase encoding in the fractional Fourier domain, Opt. Lett. 25, 887-889 (2000).
5. T. Nomura, B. Javidi. Optical encryption using a joint transform correlator architecture. Opt. Eng. 39, 2031-2035 (2000).
6. D. Amaya, M. Tebaldi, R. Torroba, N. Bolognini. Wavelength multiplexing encryption using JTC architecture. Appl. Opt., 48, 2099-2104 (2009).
7. J. F. Barrera, R. Henao, M. Tebaldi, N. Bolognini, R. Torroba. Multiplexing encrypted data by using polarized light. Opt. Commun., 260, No.1, 109-112 (2006).
8. Y. Frauel, A. Castro, T.J. Naughton, B. Javidi. Resistance of the double random phase encryption against various attacks, Opt. Express 15, 10253-10265 (2007).
9. D. Amaya, M. Tebaldi, R. Torroba, N. Bolognini. Multichanneled puzzle-like encryption. Opt. Commun., 281, 3434–3439 (2008).
10. J. F. Barrera, R. Henao, M. Tebaldi, N. Bolognini, R. Torroba. Multiplexing encryption-decryption via lateral shifting of a random phase mask. Opt. Commun., 259, No. 2, 532-536 (2006)
11. D. Amaya, M. Tebaldi, R. Torroba, N. Bolognini. Digital color encryption using a multi-wavelength approach and a joint transform correlator. J. Opt. A: Pure Appl. Opt., 10, 104031 (5pp) (2008)
12. J. F. Barrera, R. Henao, M. Tebaldi, R. Torroba, N. Bolognini. Multiple-encoding retrieval for optical security. Opt. Commun., 276, 231–236 (2007).
13. F. Mosso, J. F. Barrera, M. Tebaldi, N. Bolognini, R. Torroba. All-optical encrypted movie. Opt. Express, 19, 5706-5712 (2011).
14. F. Mosso, M. Tebaldi, J. F. Barrera, N. Bolognini, R. Torroba. Pure optical dynamical color encryption. Opt. Express, 19, 13779- 13786 (2011).
15. J. F. Barrera, M. Tebaldi, C. Ríos, E. Rueda, N. Bolognini, R. Torroba. Experimental multiplexing of encrypted movies using a JTC architecture. Opt. Express **20**, 3388–3393 (2012).

LA CURVA DE DIMENSIÓN FRACTAL EN FUNCIÓN DEL NIVEL DE INTENSIDAD COMO DESCRIPTOR DE IMÁGENES: APLICACIONES EN PATRONES DE SPECKLE LASER

Agostina Longarzo(*), Eduardo Grumel, Nelly L. Cap, Héctor Rabal, Marcelo Trivi

UID Óptimo, Departamento Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de la Plata y Centro de Investigaciones Ópticas (CONICET La Plata-CIC)
1 y 47 La Plata.
e-mail: hrabal@ing.unlp.edu.ar

El speckle[1] es un fenómeno de granularidad óptica debido a interferencia aleatoria entre ondas provenientes de un objeto iluminado con luz laser (coherente) y cuya rugosidad es comparable a la longitud de onda. Cuando la superficie que lo origina varía con el tiempo, el resultado es una imagen llamada de “speckle dinámico” o “biospeckle” cuya dinámica depende del comportamiento de la superficie que le da origen. El speckle tiene numerosas aplicaciones en metrología y permanentemente se buscan nuevos algoritmos para describirlo aplicados a distintas situaciones.
En este trabajo proponemos utilizar el formalismo de la dimensión fractal como descriptor de imágenes de diagramas de speckle dinámico.
La dimensión fractal, cuando se la aplica a imágenes a través de su medida llamada “box fractal”[2] sirve para caracterizar el grado en el que una imagen, convenientemente umbralizada, cubre el plano. Este resultado, que en este caso es un número entre cero y 2, depende fuertemente del valor del umbral elegido para binarizar la imagen. Al variar el umbral de forma continua, la dimensión box fractal que se obtiene describe una curva acumulativa que es característica de la distribución de grises sobre la imagen. En el caso de una imagen de speckle, se observa que se trata de una curva sigmoidea que se asemeja a la distribución estadística de Fermi Dirac, pudiéndose utilizar esta función para ajustar dicha curva y definir de esta forma un parámetro descriptor equivalente a una “temperatura”. Esta temperatura caracteriza la pendiente de la curva y vale cero si la imagen original es binaria.

Se presentarán aplicaciones del presente formalismo a imágenes de patrones de speckle que describen situaciones simuladas numéricamente en base a un modelo teórico, situaciones experimentales controladas y en el estudio de procesos dinámicos de interés biomédico e industrial.

Referencias:

1. H. Rabal, R. Braga Eds. *Dynamic Laser Speckle and Applications*. CRS Press, Taylor and Francis Publisher. (USA) (ISBN 978-1-4200-6015-7). (2009).
2. Weisstein, Eric W. *"Box Fractal."* From MathWorld--A Wolfram Web Resource. http://mathworld.wolfram.com/BoxFractal.html

(*) Becario Investigación Facultad Ingeniería UNLP

FINALES DE PRIMER AÑO: ESTRATEGIAS DE AYUDA

Guardarucci, María T. – Langoni, Laura B.
Depto de Cs. Básicas - Facultad de Ingeniería – UNLP – calle 1 esq. 47, La Plata
laura@mate.unlp.edu.ar

Palabras claves: acreditar materia, evaluación, examen final.

Introducción

La Reforma del Plan de Estudios 2002 de la Facultad de Ingeniería supuso un proceso de análisis y debate acerca del significado del cambio curricular y la revisión de la enseñanza de las materias básicas. "El análisis de los aspectos específicos, llevado a cabo a partir de nuestra propia experiencia y de la percepción que tenían otros sectores de la Facultad, "usuarios" de la Matemática que nosotros enseñábamos, indicó la necesidad de diseñar una propuesta de cambio curricular que aportara, entre otras, solución al fracaso de los estudiantes en el primer año de sus carreras, asociado con su bajo rendimiento en las asignaturas de matemática" [2]. La experiencia se inició con la premisa básica de construir y no de imponer conocimiento; esto llevó a replantearse el currículo de las materias de Matemática, tanto en el aspecto de la selección y organización de contenidos como en la manera de concebir a la actividad en el aula, en el convencimiento de que el protagonista no debe ser el profesor expositor, sino que debe conformarse un espacio en el cual *todos* trabajen.

En Matemática A la actividad áulica se orientó hacia el desarrollo de clases teórico-práctica, tipo consulta, en reemplazo de las clases magistrales. Entre los aspectos que se definieron se destacan: la necesidad de favorecer el trabajo colaborativo entre los estudiantes, el uso de métodos constructivos para la apropiación de los saberes matemáticos y la conveniencia de desarrollar clases teórico-prácticas sin esquema fijo de uso de pizarrón, respetando los tiempos de aprendizaje del alumno sin por ello dejar de ajustarse a un cronograma.

En la opinión mayoritaria de los docentes que concibieron la propuesta, la enseñanza de la matemática debe ser principalmente constructiva y es por ello que se desarrolló material didáctico coherente con esa posición [5]. El material de clase, por lo tanto, se preparó con el propósito de posibilitar que el alumno adquiera autonomía, se cuestione situaciones, pueda inferir resultados y por último esté en condiciones de abordar los temas con un grado creciente de formalismo. Las actividades también contemplaron una interacción con el uso de PC, como una manera de visualizar geométricamente las aseveraciones realizadas y acostumbrar al alumno a que los resultados obtenidos no son un mero manipuleo de fórmulas sino que tienen una concepción tangible que puede ser escrita y trabajada en lenguaje matemático. Con este fin se ha destinado para el dictado aulas planas dotadas de 10 mesas con PC (con soft matemático) y una biblioteca con varios ejemplares de la bibliografía recomendada por la cátedra.

Fundamentación y desarrollo

Contribuir a la formación matemática de los estudiantes de las carreras de Ingeniería no sólo tiene como objetivo que el alumno se apropie de una cultura matemática per se, sino que significa mucho más: desarrollar un pensamiento científico, crítico, algorítmico, lógico, heurístico, que le permita una actuación profesional independiente y creadora. No se puede separar el *saber* del *saber hacer* porque siempre saber es saber hacer algo. No puede haber un conocimiento sin una habilidad, sin un saber hacer. En la labor de enseñar Matemática aparece como un imperativo el trabajo con las habilidades generales pues éstas permiten acometer una multitud de problemas de diferente índole. No asumirlas y concebir sólo la formación de acciones particulares conlleva a un conocimiento fraccionado, no generalizado y poco perdurable en el conocimiento del estudiante. La tarea es determinar las características que deben ir tomando nuestros cursos, de manera de convertirse en

espacios de aprendizaje activo. El aprendizaje debe ser colaborativo y debe darse en un espacio en el que el docente no es la única ni la más importante fuente de conocimientos.

El parcial es la instancia que acredita formalmente la condición del alumno respecto de los objetivos planteados por la materia. La evaluación es un contrato entre el docente y el alumno en el que deben estar explícitamente definidos los objetivos perseguidos así como las condiciones que permitirán la aprobación de la materia. A los fines de realizar las evaluaciones, la materia está dividida en módulo 1 (Cálculo Diferencial en una variable) y módulo 2 (Cálculo Vectorial y en varias variables). De acuerdo a la ordenanza que rige las evaluaciones en nuestra Facultad, cada parcial tiene asociado un recuperatorio y al final del curso habrá una posibilidad de recuperación adicional de uno solo de los módulos (examen flotante). Un alumno debe tener un promedio mayor o igual a 6 (seis) para poder tener una promoción directa. Las evaluaciones parciales han sido diseñadas de manera tal que cada parcial consta de dos partes, A y B, cada una de las cuales suma 5 puntos. La parte A sólo contiene ejercicios de cálculo y ejercicios de aplicación directa de conceptos. La parte B contiene problemas con el objetivo de evaluar si el alumno ha logrado incorporar los conocimientos de tal manera que le permita hacer integración de conceptos. La parte A es *obligatoria* para aprobar (es necesario resolver correctamente el 80% de la misma). Los alumnos que alcancen el 50% del puntaje en esta parte, y un mínimo de 4 puntos en total, podrán recuperar los temas en los que fallaron con la modalidad que el profesor disponga. El alumno que promociona acredita tener un muy buen desempeño en la resolución "mecánica" de ejercicios (ya que obtuvo al menos 4 puntos en la parte A) y al menos un buen desempeño al momento de integrar conocimientos para poder llegar a tener un mínimo de 6 puntos en total. Los alumnos que aprueban ambos parciales con un promedio mayor o igual a 4 y menor que 6, aprueban los trabajos prácticos quedando habilitados para rendir examen final.

La configuración de nuestros parciales lleva a que un alumno que debe rendir final ha mostrado manejar las técnicas básicas pero no ha incorporado habilidades que le permitan resolver problemas integradores. A nuestro entender el trabajo colaborativo de la cursada le ha permitido rescatar las técnicas de la materia pero al momento de tener que enfrentar solo la resolución de ejercicios que se le plantean en el parcial, no logra superar los objetivos propuestos en la parte B. Estos alumnos cursan las materias correlativas quedando pendiente de rendir el examen final. Haciendo una mirada retrospectiva, la situación habitual era la siguiente: el alumno solía tener aprobado el módulo 1, no había aprobado el módulo 2 en las fechas previstas, aprobaba los trabajos prácticos usando la opción del examen flotante y se presentaba inmediatamente a rendir examen final. Un altísimo porcentaje de ellos desaprobaba el examen. En una primera lectura los docentes atribuíamos esa situación al corto período transcurrido entre ambas instancias ya que considerábamos que si un alumno no había logrado integrar en forma comprensiva los conocimientos durante una cursada semestral realizada en forma colaborativa difícilmente revirtiera la situación en tan corto plazo. A lo largo de las mesas de exámenes la situación se repetía con el agravante de que el alumno agotaba las tres oportunidades de rendir y que en el tiempo transcurrido había cursado correlativas que en muchos casos estaba en condiciones de promocionar pero que no podía acreditar por no tener aprobada nuestra materia.

En vista de cómo evolucionaba la situación, la cátedra decidió que debía intervenir con acciones más directas. El primer análisis realizado por los docentes de la cátedra fue revisar los criterios utilizados para decidir dar una aprobación de trabajos prácticos a los alumnos[1]. Debido a la configuración de nuestros cursos, los docentes tienen conocimiento de los progresos alcanzados por los alumnos y por tanto, más allá del resultado de las

[1] El curso de Matemática A se redicta en el segundo semestre por lo que el alumno que recursa sigue en "actividad" alentando así su permanencia en la facultad.

evaluaciones parciales, cuando el docente establece que el alumno está en condiciones de aprobar la materia lo hace fundando su opinión en la evaluación de varios factores que ha ido analizando a lo largo de la cursada y difícilmente haga un diagnóstico equivocado. Un alumno que aprueba la materia y adeuda el examen final está en condiciones de incorporar los conocimientos de las materias correlativas pues ha incorporado los conocimientos básicos y sabe usarlos técnicamente en forma apropiada pero le falta interpretar el proceso de construcción subyacente en la resolución de problemas. Prueba de ello es que un alto porcentaje de los alumnos que desaprobaban el examen final de Matemática A expresaban tener retenida la nota para promocionar materias correlativas. Todo esto indicaba que no era equivocado haberles permitido cursar las materias correlativas pues las aprobaban como tampoco no haberlos promocionado dado su desempeño en el examen final.

La cátedra brinda consultas para los alumnos que deben rendir final durante la semana previa al mismo. En éstas se detectaba que el alumno no estaba preparando el examen con la debida anticipación y que en el momento de prepararlo recurría a incorporar tecnicismo (eran habituales las consultas con ejercicios tomados en mesas anteriores) sin percatarse de que debía comprender los contenidos de la materia y aprender a integrarlos. El examen final plantea tres situaciones a resolver cuyo objetivo es evaluar si el alumno es capaz de construir la modelización de un problema y resolverlo integrando los conocimientos adquiridos. Los problemas son similares a los evaluados en la parte B de un examen parcial por lo que si el alumno repite sus hábitos de estudio, repite las consecuencias que lo llevaron a no promocionar. Los pocos alumnos que aprobaban el examen final lo hacían con notas muy bajas, lo cual también preocupaba a los docentes de la materia[2]. Llegada esta instancia el diagnóstico era: preparan con poca antelación el examen, no tienen con quien compartir un intercambio de ideas acerca de cómo resolver un problema, tienen en general una actitud pasiva ya que no intentan investigar cómo resolverlo y buscan la solución a partir de “recetas”. Era importante entonces accionar en forma directa en busca de una solución.

A consecuencia de esta valoración la cátedra decidió intervenir generando un proceso en que el alumno “aprendiera a preparar finales”, esto es: empezar a estudiar en forma anticipada, ordenada, respetando un programa y comprendiendo que no alcanza con tener una mirada superficial de los contenidos para poder acreditar que se alcanzaron los objetivos propuestos por la cátedra. Se buscó crear un espacio de intercambio entre alumnos que adeudaban el final tratando de promover en ellos una actitud de participación activa y colaborativa. En este marco surgió entonces la idea de implementar un “Curso para preparar Finales”. Existían en nuestra Facultad y en las facultades de Exactas e Informática experiencias con cursos de verano extracurriculares destinados a resolver la situación de aquellos alumnos que habían desaprobado el curso regular mientras que para apoyar la preparación de exámenes finales, en la Facultad de Informática se dictan cursos especiales de una semana de duración[3].

Transcurridos cinco ciclos lectivos desde la última reforma del plan de estudios y en el marco de un esquema de retención de alumnos, se implementó por primera vez el dictado de un curso especial para preparar finales de Matemática A. El curso es de tipo optativo, está a cargo de un profesor de la materia y se dicta en el 2º semestre del año. Se inicia en el mes de setiembre y tiene una duración de 8 semanas, con la intención de preparar a los alumnos para que se presenten a la mesa del mes de noviembre. Se cursa dos veces a la semana en clases de dos horas. Los alumnos conocen el cronograma del curso desde el momento en el que se inscriben y se les solicita que asistan a cada encuentro con una lectura previa del tema correspondiente. Teniendo en cuenta que los alumnos ya han

[2] En la mesa previa a la decisión de implementar el curso aprobó el 33% de los alumnos y todos con nota 4.

[3] http://www.info.unlp.edu.ar/articulo/2012/7/11/apref_2012___cursos_de_apoyo_para_rendir_examen_final

transitado por el programa de la materia, las clases del curso se inician con un resumen del docente a cargo, quién sintetiza el tema a abordar en un contexto de construcción del conocimiento. El docente prepara actividades tratando de promover el trabajo colaborativo, el pensamiento crítico y mostrar el hilo conductor entre los temas.

Los temas de la materia se dividen en cinco unidades las cuales son evaluadas a lo largo de este curso especial. Los problemas planteados en dichas evaluaciones son del mismo estilo que los de la parte B de las evaluaciones parciales y por ende del examen final. Desde el año 2010, con el objetivo de alentar una preparación anticipada del examen, se establece que los alumnos quedarán eximidos de rendir en el examen final aquellos temas aprobados en las evaluaciones de este curso. La entrega de las evaluaciones corregidas se realiza en la clase inmediata posterior a fin de que el alumno tenga una pronta devolución con el doble objetivo de lograr que pueda ir ajustando su relación con el aprendizaje y los tiempos establecidos así como enfatizar que hay una tarea dinámica que debe ser respetada por ambas partes y a la que el docente está comprometido con el fin de ayudarlo a preparar su examen. La nota final engloba lo aprobado en el curso y lo realizado en la evaluación final.

Resultados y discusión

Los resultados del curso impactan tanto en lo referente a los cambios en las actitudes como en las aptitudes de los alumnos. El alumno inicia el curso con una actitud totalmente pasiva, esperando que en el desarrollo de las clases se realicen ejercicios en el pizarrón con el profesor como único protagonista activo de la clase. En las primeras clases no muestran haber interpretado la consigna acerca de asistir con el material leído para lograr un tratamiento colectivo y comprensivo de los temas a tratar en el día. Esta actitud va cambiando a lo largo del curso y en los últimos encuentros los alumnos traen inquietudes acerca de ejercicios que han logrado interpretar, plantear pero cuya resolución no concluyeron; entregan al docente tareas para que se las corrijan; hacen consulta acerca de cuestiones leídas y no interpretadas y además comienzan a integrase como grupo valorando el trabajo colaborativo.

En cuanto a las aptitudes, se va notando una evolución favorable a lo largo del curso. La materia tiene contenidos cuya dificultad de comprensión va en aumento. El alumno que aprobó la cursada tiene en general un manejo aceptable de los contenidos desarrollados en una variable pero desde una concepción más técnica que conceptual y por ello no siempre aprueban la evaluación asociada a cada una de las dos primeras unidades. A lo largo del curso la guía del docente, en procura de incentivar la comprensión de los temas, va fomentando en los alumnos un estudio comprensivo y promoviendo un mejor desempeño. Se nota una evolución favorable en la aptitud para interpretar y resolver problemas. Aproximadamente el 50% de los alumnos que concurren al curso aprueban alguna unidad.

El cambio de actitud fomentado por el docente del curso, el énfasis puesto en dar prioridad a la comprensión por sobre la técnica, el concientizar de que el final se prepara con tiempo y que hay un proceso asociado a estudiar para rendir un final, fomenta en el alumno un hábito de estudio y desarrollo de aptitudes que conlleva a que aprueben el examen final el 80% de los alumnos que realizaron el curso (gráfico 3). Los alumnos son incentivados a realizar este curso especial por los profesores que han estado a cargo de la comisión en la que realizaron su cursada regular. Los alumnos valoran positivamente el apoyo que el curso les da y esto impacta en que año a año sube la cantidad de asistentes al mismo, pues alumnos de años superiores transmiten su experiencia y alientan a sus compañeros a realizar el curso. En 2007 el curso tuvo 29 inscriptos mientras que en 2011 realizaron el curso 54 alumnos.

Por ser las cursadas semestrales y existir cursos de repetición, las mesas de marzo y septiembre son las mesas inmediatas a los cierre de curso. En ellas suelen presentarse los alumnos que habiendo aprobado la materia intentan rápidamente aprobar el final y que en la mayoría de los casos no han realizado un proceso que les permita revertir la causa que los

llevó a no promocionar la materia. La mesa de noviembre es la inmediata a la finalización del curso de finales y el desempeño de los alumnos en esa mesa es un parámetro para evaluar los resultados del mismo. Los gráficos que se adjuntan resumen estos resultados.

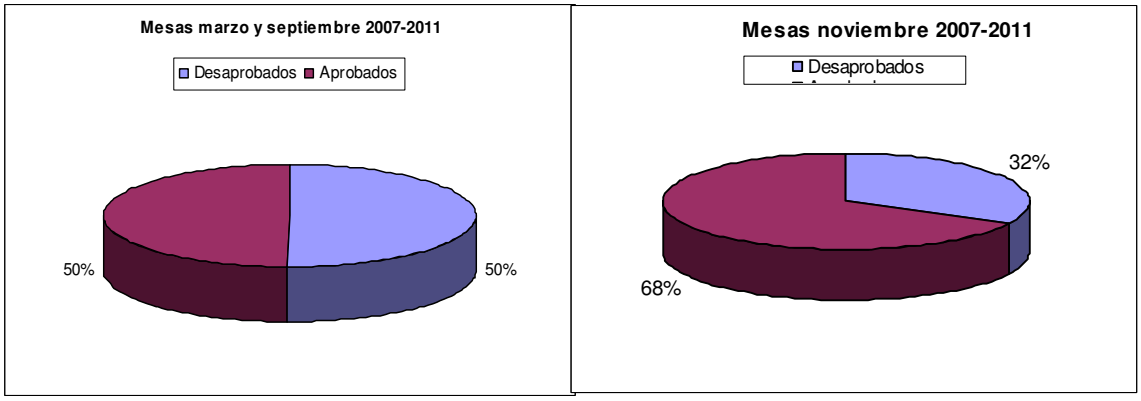


Grafico 1: se puede observar que la cantidad de desaprobados en el llamado de noviembre (131 presentados) es significativamente menor a la de los otros llamados (75 presentados).

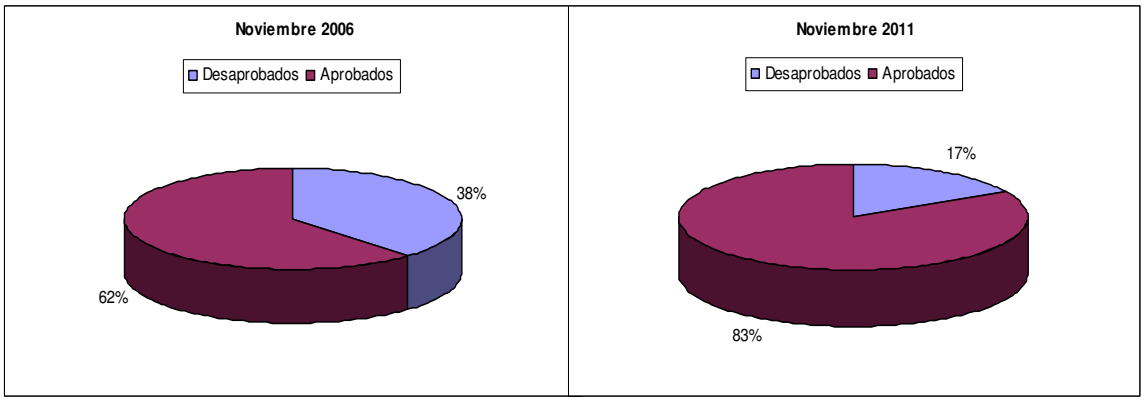


Gráfico 2: muestra los resultados obtenidos antes y después a la implementación del curso (noviembre 2006, 21 presentados) - (noviembre 2011, 53 presentados).

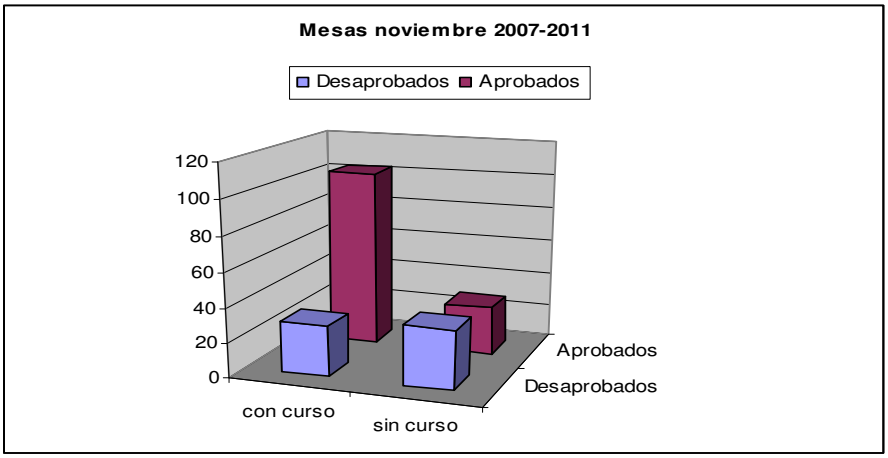


Grafico 3: el porcentaje de aprobados en alumnos del curso especial es significativamente mayor.

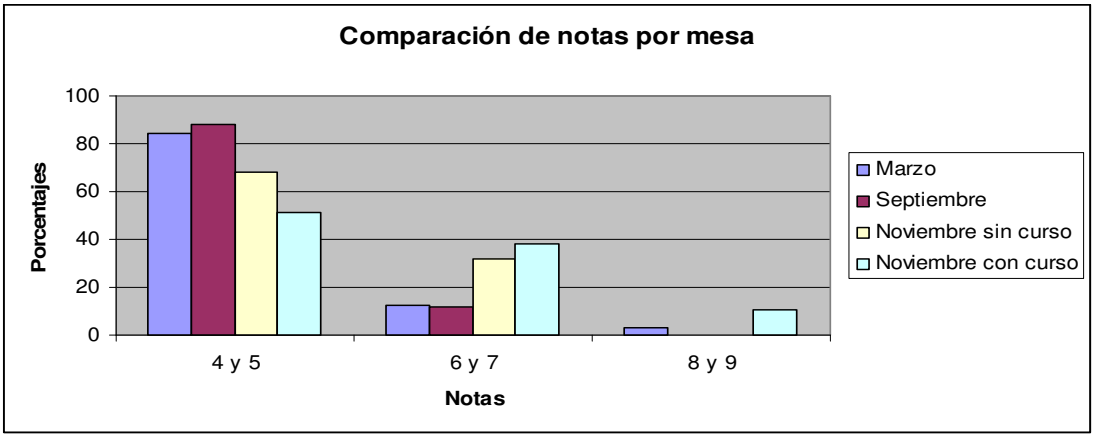


Gráfico 4: los alumnos que realizan el curso obtienen mejores notas en los exámenes finales (2007 a 2011).

Conclusiones

El ingresante a la Facultad debe aprender el "oficio" de ser alumno. Algunos de ellos se adaptan rápidamente al sistema y salvan sin inconveniente las distintas instancias que le van apareciendo a lo largo de su trayectoria. Otros encuentran escollos que les resultan difíciles de salvar sin que ello signifique que resignen su vocación de Ingenieros. Las cátedras, las de primer año en particular, deben tener siempre una mirada atenta hacia esas situaciones, replantearse su funcionamiento y tratar de llevar adelante acciones tendientes a la retención de alumnos. Estas acciones deben estar dirigidas a solucionar problemas y ayudar al alumno sin que ello signifique resignar los objetivos planteados por la cátedra. En el caso del primer curso de Matemática para los alumnos de las carreras de Ingeniería de la UNLP, la instancia de examen final se había transformado en un escollo difícil de superar. En la búsqueda de soluciones al problema detectado, la cátedra propuso un curso especialmente diseñado para apoyar a los alumnos que debían aprobar el examen final. La respuesta obtenida nos permite afirmar que el curso especial para preparar finales se ha transformado en una instancia válida y positiva.

Bibliografía

[1] Bucari N., Guardarucci M., *Diseño de un curso inicial de matemática basado en un eje conceptual-* Anales UMA, Córdoba, 2007.
[2] Bucari N. , Abate S., Melgarejo A, *Un cambio en la enseñanza de las matemáticas en las carreras de Ingeniería de la UNLP* – Anales del IV CAEDI, Buenos Aires, 2004.
[3] Bucari N., Abate S., Melgarejo A., *Estructura Didáctica e innovación en educación Matemática*, - Revista Argentina de Enseñanza de la Ingeniería, año 8, Nº 14, 2007.
[4] Bucari N., Guardarucci M., *La variación funcional como eje temático del curso inicial de matemática*. – Jornadas de intercambio de experiencias de innovación en la enseñanza de las ciencias básicas, 2007.
[5] Bucari N., *Matemática A, guía teórico-práctica*, Apunte de Cátedra de la Facultad de Ingeniería de la UNLP, 2012.
[6] De la Torre S., Barrios O., *Estrategias didácticas innovadoras*. Octaedro, Madrid, pp 296-301, 2000.
[7] Díaz Barriga A., *Error y acierto: una relación compleja en el ámbito de la enseñanza* (Cap. 5), en Pensar la Didáctica, Amorrortu, Buenos Aires, 2009.
[8] Litwin, E., *El oficio de enseñar. Condiciones y contextos*. Paidós, Buenos Aires, 2008.

ANSATZ PARA OBTENER LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES DE FISHER DE POTENCIALES CONVEXOS

Flego, Silvana P.

Grupo de Investigación Teórica y Aplicada en Teoría de la Información (GTyATI).
Área Departamental de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería,
Universidad Nacional de La Plata (UNLP).
1 y 115 s/n, (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina.
flego@fisica.unlp.edu.ar

Resumen

La Medida de Información de Fisher (FIM) y la Ecuación de Schröedinger (SE) están íntimamente conectadas. De hecho, la FIM trabaja como una "acción" desde la cual puede construirse una lagrangeana cuya variación conduce a una SE. Luego, existe una estructura de Legendre conectando ambas teorías. La existencia de una tal estructura permite formular un ansatz, libre de parámetros, para la función de distribución de probabilidades de Fisher cuando intervienen *potenciales convexos pares*. En esta comunicación generalizamos el procedimiento para abordar situaciones en las que intervienen potenciales más generales.

Palabras claves: Teoría de la Información, Medida de Fisher, Estructura de Legendre, PDF-ansatz.

1. Introducción

Una fuerte motivación para usar la mecánica estadística es el hecho de usar un pequeño conjunto de valores de expectación relevantes para describir las principales propiedades de un sistema físico [1]. La conexión entre la Teoría de la Información (TI) y la Mecánica Estadística fue establecida por Jaynes [2,3] sobre la base de un abordaje variacional. Este implica extremar la medida de información de Shannon restringida a las condiciones impuestas por el conocimiento previo concerniente al sistema de interés. Jaynes ha mostrado que, si se elige la constante de Boltzmann como la unidad de información y se identifica la medida de Shannon con la entropía termodinámica, toda la mecánica estadística puede ser elegantemente reformulada sin hacer referencia a la noción de ensamble. La concomitante metodología es conocida como el Principio de Máxima Entropía [2,3]. Por otra parte, tal procedimiento no siempre conduce a una adecuada función de distribución [4]. Este hecho dio coraje para formular entropías alternativas. Surge así la medida de Fisher como candidata para reemplazar a la de Shannon [4-6]. Luego, la Medida de Información de Fisher (FIM), introducida en la literatura como un estimador estadístico, es ahora considerada como la contraparte *local* de la medida *global* de Shannon [5]. Una característica importante es el hecho que la optimización condicionada de la FIM conduce a una ecuación de Schrödinger (SE) [7-9]. Surgen así, intrigantes relaciones entre varias cantidades características del escenario cuántico con otras que caracterizan la termodinámica [8-11]. Una conexión sumamente interesante es el hecho que dos teoremas puramente cuánticos pueden ser re-interpretados como relaciones de reciprocidad de Legendre [12], permitiendo concluir que una nueva estructura de Legendre (LS) está contenida en la SE no relativística [12]. Este hecho, que permite conectar ambos escenarios, ha dado a luz una serie de nuevos e importantes resultados [13-21]. Destacamos entre ellos, por su relación con la presente comunicación, la inferencia de un ansatz, en términos de cuadraturas, para la función de onda del estado fundamental de la SE con potenciales convexos pares [20]. La potencialidad predictiva del ansatz y el hecho que solo unos pocos modelos cuánticos admiten soluciones exactas, justifica explorar nuevas propiedades que pueden ser utilizadas para ampliar el rango de aplicabilidad a potencia les más generales. En esta comunicación mostramos el procedimiento a seguir cuando se relaja la condición que el potencial sea par.

2. Preliminares

La Medida de Información de Fisher

Revisaremos brevemente aquí el formalismo pertinente [5]. Considere un sistema especificado por un parámetro físico θ y sea $f(x,\theta)$ la función de distribución de probabilidades normalizada (PDF) para este parámetro. Si un observador hace una medida de x y dispone de la mejor manera de inferir θ desde esa medida, llamando a la estimación resultante $\tilde{\theta} = \tilde{\theta}(x)$, uno podría preguntarse qué tan bien pudo determinar θ. La Teoría de la Estimación [5] afirma que el *estimador óptimo* $\tilde{\theta}(x)$, después que se examinan un número muy grande de x-muestras, sufre un error medio cuadrático e^2 desde θ obedeciendo la regla $e^2 I = 1$, donde I es la Medida de Información de Fisher (FIM), una funcional de la PDF, dada por

$$I = \int dx\, f(x,\theta) \left\{ \frac{\partial}{\partial \theta} \ln[f(x,\theta)] \right\}^2 . \qquad (1)$$

Cualquier otro estimador debe tener mayor error medio cuadrático (los estimadores deben ser sosegados, es decir, deben satisfacer $\langle \tilde{\theta}(x) \rangle = \theta$). Así, la FIM tiene un límite inferior. No importa cuál sea el parámetro μ del sistema, I debe obedecer la llamada *cota de Cramer-Rao* [5]

$$I\, e_\mu^2 \geq 1 \qquad (2)$$

El caso particular de familias translacionales merece consideración especial. Estas son familias de distribución mono-paramétricas de la forma $f(x,\theta) = f(x-\theta)$, conocidas hasta el parámetro de desplazamiento θ. Todos los miembros de la familia presentan idéntica forma. Después de introducir la amplitud ψ tal que la PDF se expresa a través de $f = |\psi|^2$, la FIM para *sistemas invariantes por translación*, adopta el aspecto [5]

$$I = \int f(x) \left[\frac{\partial \ln f(x)}{\partial x} \right]^2 dx = 4 \int \left| \frac{\partial \psi(x)}{\partial x} \right|^2 dx \; ; \qquad f = |\psi|^2 . \qquad (3)$$

Consideremos un sistema especificado por un conjunto de M parámetros físicos μ_k.

$$\mu_k = \langle A_k \rangle = \int dx\, A_k(x) f(x), \qquad k = 1,\ldots,M. \qquad (4)$$

El conjunto de los valores μ_k es considerado como el conocimiento previo (información empírica disponible). La PDF *físicamente relevante* minimiza la FIM condicionada al "conocimiento previo" (4) y a la condición de normalización $\int dx\, f(x) = 1$. Consecuentemente, introduciendo $(M+1)$-multiplicadores de Lagrange λ_k ($\lambda_0 = \alpha$), el problema de optimización

$$\delta \left(I - \alpha \int dx f(x) - \sum_{k=1}^{M} \lambda_k \int dx\, A_k(x) f(x) \right) = 0, \qquad (5)$$

conduce a una ecuación diferencial para la deseada $f(x)$ la cual, escrita en términos de la amplitud $\psi(x)$ es de la forma [8]

$$f(x) = |\psi(x)|^2 \quad \rightarrow \quad \left[-\frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + U(x) \right] \psi(x) = \frac{\alpha}{8} \psi(x), \qquad con \quad U(x) = -\frac{1}{8} \sum_{k=1}^{M} \lambda_k A_k(x), \qquad (6)$$

y es interpretada como una Ecuación de Schrödinger (SE) para una partícula de masa unidad ($\hbar = 1$) moviéndose en un *pseudo-potencial informacional efectivo* $U(x)$ en el cual el multiplicador de Lagrange asociado a la normalización juega el rol de un autovalor de energía ($E = \alpha / 8$) y los λ_k son determinados por medio de la información disponible [8-11].
Para escenarios unidimensionales, $\psi(x)$ es real [22] y se tiene

$$I=\int \psi^2\left(\frac{\partial \ln\psi^2}{\partial x}\right)^2 dx=4\int\left(\frac{\partial\psi}{\partial x}\right)^2 dx=-4\int\psi\frac{\partial^2}{\partial x^2}\psi\, dx \qquad (7)$$

Luego, usando las expresiones (6) y (7) se encuentra una simple y conveniente expresión para la FIM,

$$I=\alpha+\sum_{k=1}^{M}\lambda_k\langle A_k\rangle. \qquad (8)$$

La conexión entre la FIM y la termodinámica fue establecida en términos de las típicas relaciones de reciprocidad (RR) de Legendre [5]. Estas constituyen el formal y esencial ingrediente termodinámico [23] y pueden ser re-derivadas '*a la Fisher'* escribiendo (8) en una forma que enfatice el rol de las variables independientes relevantes,

$$I(\langle A_1\rangle,\ldots,\langle A_M\rangle)=\alpha+\sum_{k=1}^{M}\lambda_k\langle A_k\rangle. \qquad (9)$$

La transformada de Legendre cambia la identidad de las variables independientes relevantes. Así, para el multiplicador de Lagrange α, que juega el rol de una autoenergía en (6), tenemos

$$\alpha(\lambda_1,\ldots,\lambda_M)=I-\sum_{k=1}^{M}\lambda_k\langle A_k\rangle. \qquad (10)$$

Luego, desde estas preliminares, se encuentran de forma trivial, las tres RR

$$\frac{\partial\alpha}{\partial\lambda_k}=-\langle A_k\rangle\ ; \qquad \frac{\partial I}{\partial\langle A_k\rangle}=\lambda_k\ ; \qquad \frac{\partial I}{\partial\lambda_i}=\sum_{k}^{M}\lambda_k\frac{\partial\langle A_k\rangle}{\partial\lambda_i}, \qquad (11)$$

siendo la última una generalización del teorema de Euler.

La conexión entre la FIM y la mecánica cuántica emerge cuando el proceso variacional de la FIM da origen a una SE. Este hecho de suma importancia se emplea para ir mucho más allá de la termodinámica y permite construir intrigantes relaciones con celebrados teoremas de la mecánica cuántica [12-21]. En un escenario unidimensional, uno de los resultados más sorprendentes aparece cuando los teoremas de Hellmann-Feynman y del Virial, consecuencias fundamentales de la SE, pueden ser reinterpretados en términos de un tipo especial de relaciones de reciprocidad (RR) entre relevantes magnitudes físicas [12]. Estas RR son similares a las exhibidas por el formalismo de la termodinámica. Este hecho muestra que una nueva estructura de Legendre (LS) subyace en la SE no relativista [12].

La LS que subyace la SE conduce, en forma natural, a una ecuación diferencial parcial para la FIM [13]. Tal ecuación puede ser analíticamente resuelta. La solución codifica el *conocimiento previo* disponible sobre el sistema que nos ocupa, en términos de los valores esperados adecuadamente seleccionados [13]. Apelando a la cota de Cramer-Rao (2), es posible inferir la solución particular que conduce a la FIM extrema I_{min}. Así, dicha solución añade a la literatura sobre la FIM una expresión general, explícita para esa particular FIM extrema que surge del problema de optimización restringido, llenando así el 'gap' existente en la literatura de la Teoría de la Información (TI). Note que, una vez que se posee esta I_{min}, no es necesario realizar una optimización explícita ni resolver la SE asociada a la FIM.

Por otra parte, la conexión a través de la SE, entre la FIM y el teorema de Hellmann-Feynman permite inferir que muchos problemas cuánticos tienen asociada una FIM [14]. La LS subyacente en la SE permite obtener una ecuación diferencial de primer orden que los autovalores de energía deben necesariamente satisfacer [15]. De esta ecuación particular, se puede obtener una solución completa para las autoenergías de la SE. Apelando a la relación de Heisenberg (cota de Cramer-Rao en términos cuánticos), es posible inferir, sin resolver explícitamente la SE, la solución particular que conduce a las autoenergías. Cabe destacar que, en contraste con los estándar enfoques variacionales a la SE, el presente procedimiento no implica ningún parámetro libre[15]. La potencia predictiva de esta ecuación fue explorada en [16,17], donde el formalismo fue aplicado al oscilador anarmónico cuártico.

Por otra parte, el estudio del comportamiento de la teoría bajo transformaciones de escala, dio un poco de luz sobre las intrigantes relaciones entre la FIM y la SE. En ref. [18] se demuestra que la FIM, así como la relación de Cramer-Rao, surgen como una consecuencia directa de las propiedades de escala de la SE. En ref.[19] se investiga la transformación de escala de la FIM y se encuentra que importantes resultados de la mecánica cuántica se pueden derivar en forma directa desde la TI. En ambos casos, la conexión fue establecida mediante una transformada de Legendre.

Otra importante consecuencia de la subyacente LS es la formulación de un ansatz para la PDF, libre de parámetros, cuando el potencial interviniente es una función convexa par [20]. Por su directa conexión con la presente comunicación, ampliaremos este punto.

Ansatz para inferir la PDF cuando interviene un potencial convexo par

Cuando el potencial informacional es una función convexa par, una solución ansatz para la PDF puede ser derivada conectando la definición de la FIM con el teorema del Virial [20]. El procedimiento es el siguiente.

Para cualquier sistema cuántico en estado estacionario, descrito por una SE de la forma

$$\hat{H}\psi_n = E_n \psi_n \,, \qquad con \quad \hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m}\vec{\nabla}^2 + U(\vec{x}) \tag{12}$$

el teorema del Virial establece que [22]

$$\left\langle -\frac{\hbar^2}{m}\vec{\nabla}^2 \right\rangle = \left\langle \vec{x}\,.\,\vec{\nabla}U(\vec{x}) \right\rangle \tag{13}$$

donde los valores de expectación son tomados entre estados estacionarios del $\hat{H}$. Luego, en un escenario unidimensional, la FIM (7) puede ser expresada “virialmente” como

$$I = -4\left\langle \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right\rangle = 4\left\langle x\frac{\partial U}{\partial x} \right\rangle \,, \tag{14}$$

Esta relación, en el escenario Fisher, es dada por

$$\int dx f(x)\left(\frac{\partial \ln f(x)}{\partial x}\right)^2 = 4\int dx f(x) x\frac{\partial}{\partial x}U(x) \,, \tag{15}$$

Luego,

$$\int dx f(x)\left[\left(\frac{\partial \ln f(x)}{\partial x}\right)^2 - 4x\frac{\partial}{\partial x}U(x)\right] = 0. \tag{16}$$

Dado que para potenciales convexos pares se verifica que

$$\forall x \in Dom(U), \qquad x\frac{\partial}{\partial x}U(x) \geq 0. \tag{17}$$

se puede inferir, un ansatz f_A que, por construcción verifica (16). Simplemente se pide que

$$\left(\frac{\partial \ln f_A(x)}{\partial x}\right)^2 - 4x\frac{\partial}{\partial x}U(x) = 0. \tag{18}$$

de donde se obtienen dos soluciones independientes

$$f_A^{\pm}(x) = A\, exp\left(\pm 2\int dx \sqrt{x\frac{\partial}{\partial x}U(x)}\right), \tag{19}$$

siendo A una constante de integración. La ec. (19) proporciona una herramienta para construir un ansatz para la PDF.

En Ref.[20] este ansatz fue utilizado para tratar al oscilador armónico (HO) y al oscilador anarmónico cuártico (AHO). En el primer caso la solución-ansatz coincide con la solución exacta y en el segundo caso la aproximación es “muy buena”.

3. Ansatz para inferir la PDF de potenciales convexos

El procedimiento presentado en la sección anterior trata con potenciales convexos pares [20]. La naturaleza del ansatz para la PDF deriva de la estructura informacional incorporada a través de las propiedades de Legendre. En esta sección se discuten nuevos aspectos que deben ser tenidos en cuenta y pueden ser utilizados para ampliar el rango de aplicabilidad de la técnica a potenciales más generales.

Potenciales convexos simétricos

El hecho que la conexión Fisher-Schrödinger surge en el proceso de optimización (condicionada) de la FIM sugiere que la expresión (18) es físicamente aceptable en un apropiado sistema referencial. Luego, se debe incorporar la información concerniente a los extremos del potencial. Si el potencial es convexo y se asume que alcanza su valor mínimo en el punto crítico $x_c = \xi$,

$$U'(\xi)=0\,, \qquad U_{min}=U(\xi), \tag{24}$$

efectuamos una transformación de translación $u = x - \xi$. Denotando con barra las magnitudes referidas al nuevo referencial, el potencial y la PDF son dados por

$$\bar{U}(u)=U(u+\xi)=U(x)\,, \qquad \bar{f}(u)=f(u+\xi)=f(x), \tag{25}$$

Debido a la invariancia translacional de la FIM, $I = \bar{I}$, podemos expresarla virialmente como,

$$I=-4\left\langle\frac{\partial^2}{\partial u^2}\right\rangle=4\left\langle u\frac{\partial\bar{U}}{\partial u}\right\rangle \quad\rightarrow\quad \int du\,\bar{f}(u)\left(\frac{\partial \ln\bar{f}(u)}{\partial u}\right)^2=4\int du\,\bar{f}(u)\,u\frac{\partial}{\partial u}\bar{U}(u) \tag{26}$$

Si $U(x)$ es un potencial convexo simétrico respecto de $x_c = \xi$, se tiene que en el nuevo referencial, $\bar{U}(u)$ es un potencial convexo par. Luego, se infiere el ansatz $\bar{f}_A$ que, por construcción, verifica (26). Simplemente se pide que

$$\left(\frac{\partial \ln\bar{f}_A(u)}{\partial u}\right)^2=4\,u\frac{\partial}{\partial u}\bar{U}(u) \tag{27}$$

y se obtienen dos soluciones independientes

$$\bar{f}_A^{\pm}(u)= A\,exp\left(\pm 2\int du\sqrt{u\frac{\partial}{\partial u}\bar{U}(u)}\right), \tag{28}$$

siendo A una constante de integración. Si regresamos al referencial original mediante la transformación $x = u + \xi$, obtenemos

$$f_A^{\pm}(x)= A\,exp\left(\pm 2\int dx\sqrt{(x-\xi)\frac{\partial}{\partial x}U(x)}\right) \tag{29}$$

La ec.(29) proporciona una herramienta para construir un ansatz para la PDF relatada a *potenciales convexos simétricos* respecto del punto crítico $x_c = \xi$.

Las consideraciones citadas en esta sección, aplicadas a versiones trasladadas del oscilador armónico (HO) y del oscilador anarmónico cuártico (AHO) permiten obtener exitosos resultados, comparables a aquellos obtenidos en [20] para tratar al HO y al AHO.

Potenciales convexos no-simétricos

Cuando el potencial es simétrico, es de esperar que la PDF sea simétrica y presente su valor máximo donde el potencial es mínimo. Este concepto intuitivo nos permite aceptar de forma natural la relación local (27) e inferir el ansatz. Cuando el potencial no es simétrico, la (27) no es aceptable. La propuesta ahora, es introducir un potencial efectivo $U_{ef}(x)$ y seguir el procedimiento indicado en la sección anterior. Luego si U_{ef} alcanza el mínimo absoluto en $x = \eta$, tenemos

$$f_A^{\pm}(x) = A\ exp\left(\pm 2 \int dx \sqrt{(x-\eta)\frac{\partial}{\partial x} U_{ef}(x)} \right) \tag{33}$$

Si se dispone de información adicional del sistema en estudio, es posible proponer un adecuado U_{ef} y utilizar (33) para construir un ansatz para la desconocida PDF.

4. Conclusiones

A partir de la conexión Fisher-Schröedinger es posible obtener un ansatz, libre de parámetros, para la función de distribución de probabilidades cuando intervienen potenciales convexos simétricos. En relación a los potenciales convexos no-simétricos, la potencialidad de la técnica está sujeta a una conveniente elección del potencial efectivo, estando así limitada a situaciones para las que se disponga de una conveniente información adicional. Esperamos que la estructura de Legendre subyacente en la teoría nos revele el camino a seguir para que desde la conocida asimetría se pueda generar un apropiado potencial efectivo. Estamos trabajando en esta línea.

Finalmente, destaquemos que, una vez que se dispone de un ansatz para la función de distribución de probabilidades, se dispone de un ansatz para la autofunción del estado fundamental de la asociada ecuación de Schröedinger. Sin duda, los resultados presentados aquí permitirán que muchos profesionales, no familiarizados con la teoría cuántica, puedan utilizar esta poderosa herramienta para abordar situaciones en las distintas áreas del conocimiento.

Bibliografía

1. L. Brillouin, *Science and information theory* (Academic, New york, 1956).
2. E. T. Jaynes. Phys. Rev. **106** (1957) 620–630.
3. A. Katz, A. Principles of Statistical Mechanics: The Information Theory Approach; Freeman and Co.: San Francisco, CA, USA, 1967.
4. B. R. Frieden. Phys. Rev. A **41** (1990) 4265–4276.
5. B. R. Frieden, *Science from Fisher Information: A Unification* (Cambridge, University Press; Cambridge,2004).
6. B. R. Frieden; B. H. Soffer Phys. Rev. E 1995, 52, 2274–2286. Entropy **13** (2011) 194
7. M. Reginatto, Phys. Rev. E **58** (1998)1775.
8. B. R. Frieden, A. Plastino, A. R. Plastino, B. H. Soffer, Phys. Rev. E **60** (1999) 48-53.
9. S. P. Flego, A. Plastino and A.R. Plastino: Condensed Matter Theories 18. Nova Science Publishers. Inc.USA.(2003) 245-258, and ref. cited therein.
10. S. P. Flego, B. R. Frieden, A. Plastino, A. R. Plastino, B. H. Soffer, Phys. Rev. E **68** (2003) 016105.
11. S. P. Flego, F. Olivares, A. Plastino and M. Casas. Entropy, **13** (2011) 184
12. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino, Physica A **390** (2011) 2276-2282.
13. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino, Physica A **390** (2011) 4702-4712.
14. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino, Ann. Phys. (N.Y.) **326** (2011) 2533-2543.
15. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino, J. Math. Phys. **52** (2011) 082103.
16. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino, J. Modern Phys. **2** (2011) 1390.
17. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino. IRJPC **2** (1) (2011) 25-54.
18. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino. Entropy **13** (2011)2049-2058.
19. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino: Cent. Eur. J. Phys. **10**(2) (2012) 390-397.
20. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino, Phys. Scr. **85** (2012) 055002(7pp).
21. A. Plastino, A. R. Plastino, M. Casas, S. P. Flego. Nova Science Publishers, New York, USA (2012, 1st quarter) and ref. cited therein..
22. W. Greiner and B. Müller, *Quantum mechanics. An Introduction*. (Springer, Berlin, 1988).
23. A. Desloge , *Thermal Physics* (Holt, Rinehart and Winston, New York, 1968).

ANSATZ LIBRE DE PARÁMETROS PARA INFERIR EL ESTADO FUNDAMENTAL DE LA ECUACIÓN DE MATHIEU

Flego, Silvana P. y Palacio, Luis E.

Grupo de Investigación Teórica y Aplicada en Teoría de la Información (GTyATI).
Área Departamental de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería,
Universidad Nacional de La Plata (UNLP).
1 y 115 s/n, (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina.
flego@fisica.unlp.edu.ar

Resumen

Recientemente fue introducida en la literatura un procedimiento, basada en la conexión existente entre la medida de Información de Fisher y la ecuación de Schröedinger, que permite formular un ansatz para la solución del estado fundamental de aquellas SE que incorporan *potenciales convexos simétricos.* Por medio de esta técnica obtenemos una solución-ansatz, libre de parámetros, para el estado fundamental de la Ecuación de Mathieu.

Palabras claves: Teoría de la Información, Medida de Fisher, Ecuación de Mathieu.

1. Introducción

La Ecuación de Mathieu (EM) es un excelente paradigma para el estudio de resonancias (o inestabilidad) paramétricas, porque ejemplifica la respuesta de un sistema a perturbaciones periódicas forzadas encontradas en muchos sistemas naturales. Un modelo simple, no lineal, que da origen a este ecuación es el que se utiliza para describir el movimiento que se origina al perturbar un péndulo cuyo punto pivote oscila periódicamente en la dirección vertical [1,2]. En la dinámica de fluidos se pueden encontrar muchos ejemplos de ondas que se excitan por resonancias paramétricas. La EM describe la estabilidad lineal de las ondas de Faraday que se producen cuando un contenedor de líquido se hace oscilar periódicamente en la dirección vertical [3,4], la estabilidad lineal de la Inestabilidad Kelvin-Helmholtz con el tiempo-periódico [5]... La EM es utilizada además, en el estudio de la mecánica celeste [6,7], de las inestabilidades acústicas en llamas[06], de la convección de Rayleigh-Bénard [9,10]. La EM también es importante en la descripción de las ondas que viajan en un medio espacialmente uniforme. La ecuación temporal que determina la evolución de cada componente de la onda es *de la forma* de la EM [11]. De aquí que esta EM generalizada puede interpretarse como siendo la que rige la evolución de la amplitud de una onda particular, moviéndose a través de un medio que está variando estocásticamente en el tiempo [12].

Es necesario notar que, a pesar de su amplia aplicabilidad, no se conoce su solución analítica exacta y es necesario recurrir a cálculo numérico computacional o a expresiones aproximadas obtenidas con técnicas perturbativas o ansatz que incorporan parámetros de ajuste para obtener una descripción del sistema en estudio.

Por otra parte, la conexión existente entre la Medida de Fisher (FIM) y la ecuación de onda de Schrödinger (SE) [13-16], solidificada por una subyacente estructura de Legendre [17], ha permitido introducir en la literatura una serie de importantes resultados [18-25]. En particular, fue introducido un procedimiento, el cual permite de forma simple, obtener una elegante expresión, en términos de cuadraturas, para la función de onda del estado fundamental de la SE asociada a potenciales convexos [24,25]. En esta comunicación aplicando la técnica presentada en [25] hallamos una solución-ansatz para el estado fundamental de la EM.

1. La Medida de Fisher.

En lo que sigue, se trata con sistemas invariantes por traslación. Sea *x* una variable estocástica y sea $f(x)=|\psi(x)|^2$ la función densidad de probabilidad (PDF) para esta variable. En este contexto, la expresión de la FIM es dada por [13]

$$I=\int f(x)\left[\frac{\partial \ln f(x)}{\partial x}\right]^2 dx = 4\int \left|\frac{\partial \psi(x)}{\partial x}\right|^2 dx \; ; \qquad f=|\psi|^2 . \tag{1}$$

Consideremos un sistema especificado por un conjunto de *M* parámetros físicos μ_k.

$$\mu_k = \langle A_k \rangle = \int dx\, A_k(x) f(x), \qquad k=1,\ldots,M. \tag{2}$$

El conjunto de los valores μ_k es considerado como el primer conocimiento (información empírica disponible). La PDF *físicamente relevante* minimiza la FIM condicionada al "primer conocimiento" (2) y a la *condición de normalización* $\int dx\, f(x)=1$. Consecuentemente, introduciendo (*M+1*)-multiplicadores de Lagrange λ_k ($\lambda_0=\alpha$), el problema de optimización

$$\delta\left(I-\alpha\int dx f(x) - \sum_{k=1}^{M}\lambda_k \int dx\, A_k(x) f(x)\right)=0, \tag{3}$$

conduce a una ecuación diferencial para la deseada $f(x)$ la cual, escrita en términos de la amplitud $\psi(x)$ es de la forma [14,15]

$$\left[-\frac{1}{2}\frac{\partial^2}{\partial x^2}+U(x)\right]\psi(x)=\frac{\alpha}{8}\psi(x), \qquad f(x)=|\psi(x)|^2, \qquad U(x)=-\frac{1}{8}\sum_{k=1}^{M}\lambda_k A_k(x), \tag{4}$$

y es interpretada como una SE para una partícula de masa unidad ($\hbar=1$) moviéndose en un "pseudo-potencial informacional" efectivo $U(x)$ en el cual el multiplicador de Lagrange asociado a la normalización juega el rol de un autovalor de energía ($E=\alpha/8$) y los λ_k son determinados por medio de la información disponible [15,16].

Para escenarios unidimensionales, $\psi(x)$ es real [27] y se tiene

$$I=\int \psi^2\left(\frac{\partial \ln\psi^2}{\partial x}\right)^2 dx = 4\int\left(\frac{\partial\psi}{\partial x}\right)^2 dx = -4\int \psi\frac{\partial^2}{\partial x^2}\psi\, dx \tag{5}$$

Luego, usando las expresiones (4) y (5) se encuentra una simple y conveniente expresión para la FIM,

$$I=\alpha+\sum_{k=1}^{M}\lambda_k\langle A_k\rangle. \tag{6}$$

La conexión entre la solución variacional *f* y la termodinámica fue establecida en términos de las típicas relaciones de reciprocidad (RR) de Legendre [15,16]. Estas constituyen el formal y esencial ingrediente termodinámico [28] y pueden ser re-derivadas '*a la Fisher*' escribiendo (6) en una forma que enfatice el rol de las variables independientes relevantes,

$$I(\langle A_1\rangle,\ldots,\langle A_M\rangle)=\alpha+\sum_{k=1}^{M}\lambda_k\langle A_k\rangle. \tag{7}$$

La transformada de Legendre cambia la identidad de las variables independientes relevantes. Así, para el multiplicador de Lagrange α, que juega el rol de una autoenergía en (6), tenemos

$$\alpha(\lambda_1,\ldots,\lambda_M)=I-\sum_{k=1}^{M}\lambda_k\langle A_k\rangle. \tag{8}$$

Luego, desde estas preliminares, se encuentran de forma trivial, las tres RR [15]

$$\frac{\partial \alpha}{\partial \lambda_k} = -\langle A_k \rangle \; ; \qquad \frac{\partial I}{\partial \langle A_k \rangle} = \lambda_k \; ; \qquad \frac{\partial I}{\partial \lambda_i} = \sum_k^M \lambda_k \frac{\partial \langle A_k \rangle}{\partial \lambda_i} , \tag{9}$$

siendo la última una generalización del teorema de Euler.

Resulta muy interesante el hecho que las RR pueden ser re-derivadas a partir de fundamentos puramente cuánticos [17] a partir del teorema del Virial y del teorema de Hellmann-Feynman, mostrando que una estructura de Legendre subyace la unidimensional SE [17].

Una serie de importantes resultados han sido derivados a partir de este resultado, (ver por ejemplo [18-25]). Es nuestro interés actual hacer referencia a la inmediata consecuencia de poder inferir, para una amplia variedad de potenciales, un ansatz para la PDF y por tanto, para la función de onda del estado fundamental de la SE [24,25].

2. Ansatz para inferir la PDF de potenciales convexos simétricos

Una de las consecuencias directas de la estructura de Legendre subyacente en la SE, es que cuando el potencial que interviene en la teoría es una función *convexa simétrica*, es posible inferir un ansatz, libre de parámetros, para la PDF y por tanto para la autofunción correspondiente al estado fundamental de la asociada SE [25]. El procedimiento es el siguiente.

Sea $U(x)$ un potencial convexo simétrico que alcanza su valor mínimo en el punto crítico $x_c = \xi$. Efectuando una transformación de traslación ($u = x - \xi$) y denotando con barra las magnitudes referidas al nuevo referencial, tenemos

$$\bar{U}(u) = U(u+\xi) = U(x) , \qquad \bar{f}(u) = f(u+\xi) = f(x), \tag{10}$$

Debido a la invariancia traslacional de la FIM [13] $I = \bar{I}$, esta se puede expresar virialmente como,

$$I = -4\left\langle \frac{\partial^2}{\partial u^2} \right\rangle = 4\left\langle u \frac{\partial \bar{U}}{\partial u} \right\rangle \qquad \rightarrow \qquad \int du \bar{f}(u) \left(\frac{\partial \ln \bar{f}(u)}{\partial u} \right)^2 = 4 \int du \bar{f}(u)\, u \frac{\partial}{\partial u} \bar{U}(u) \tag{11}$$

Note que, si $U(x)$ es un potencial convexo simétrico respecto de $x_c = \xi$, se tiene que en el nuevo referencial, $\bar{U}(u)$ es un potencial convexo par,

$$\forall u \in Dom(\bar{U}), \qquad u \frac{\partial}{\partial u} \bar{U}(u) \geq 0. \tag{12}$$

Luego, se infiere el ansatz $\bar{f}_A$ que, por construcción, verifica (11). Simplemente se pide que

$$\left(\frac{\partial \ln \bar{f}_A(u)}{\partial u} \right)^2 = 4\, u \frac{\partial}{\partial u} \bar{U}(u) \tag{13}$$

y se obtienen dos soluciones independientes

$$\bar{f}_A^{\pm}(u) = A \exp\left(\pm 2 \int du \sqrt{u \frac{\partial}{\partial u} \bar{U}(u)} \right) , \tag{14}$$

siendo A una constante de integración. Regresando al referencial original mediante la transformación $x = u + \xi$, se obtiene

$$f_A^{\pm}(x) = A \exp\left(\pm 2 \int dx \sqrt{(x-\xi) \frac{\partial}{\partial x} U(x)} \right) \tag{15}$$

La ec.(25) proporciona una herramienta para construir un ansatz para la PDF relatada a *potenciales convexos simétricos* respecto del punto crítico $x_c = \xi$.

3. Autofunción-Ansatz para el estado fundamental de la Ecuación de Mathieu

La Ecuación de Mathieu (EM) es una ecuación de Schrödinger (SE) unidimensional, dada por

$$\left[-\frac{1}{2}\frac{\partial^2}{\partial x^2}+q^2\cos 2x\right]\psi(x)=E\,\psi(x)\,,\qquad \psi(0)=\psi(\pi) \tag{16}$$

Dado que no se dispone de una expresión explícita para las autofunciones de esta ecuación, utilizando el procedimiento relatado en la sección anterior, buscamos una autofunción-ansatz para el estado fundamental $\psi_o(x)$ de la EM.

Comenzamos asociando a la EM (16) una FIM [18] y establecemos que el estado fundamental tiene asociada una PDF $f(x)=\psi_o^{\,2}(x)$. Luego, procedemos a estudiar el potencial,

$$U(x)=q^2\,cos\,2x\,,\qquad 0\le x\le\pi \tag{17}$$

Comenzamos obteniendo los puntos críticos

$$U'(x_c)=0\qquad\rightarrow\qquad -2q^2\,sen\,2x_c=0 \tag{18}$$

En el intervalo de definición $[0,\pi]$ hallamos $x_c=0,\pi/2,\pi.$ Usando el criterio de la derivada segunda, estudiamos la naturaleza de estos puntos

$$U''(x)=-4q^2\,cos\,2x\qquad\rightarrow\qquad U''(0)=-4q^2<0\;,\quad U''(\pi/2)=4q^2>0\,,\quad U''(\pi)=-4q^2<0$$

y encontramos que el mínimo del potencial ocurre en $\xi=\pi/2$. Realizamos una transformación de translación $u=x-\pi/2$ y tenemos

$$U(x)=U(u+\pi/2)=\bar{U}(u)\qquad\rightarrow\qquad \bar{U}(u)=-\,q^2\,cos\,2u\qquad con\;\;-\pi/2\le u\le\pi/2$$

En el intervalo de definición, $\bar{U}$ es una función par

$$\forall u\in[-\pi/2,\pi/2],\qquad \bar{U}(-u)=\bar{U}(u)$$

y se verifica la condición (12),

$$\forall u\in[-\pi/2,\pi/2],\qquad u\,U'(u)=2\,q^2u\,sen\,2u\ge 0$$

Luego, podemos utilizar (14) para inferir un ansatz para la autofunción trasladada $\bar{\psi}_o(u)$,

$$\bar{\psi}_A^2(u)=\bar{f}_A(u)\qquad\rightarrow\qquad \bar{\psi}_A^{\pm}(u)=A\;exp\left(\pm\int du\sqrt{u\bar{U}'(u)}\right)\,, \tag{19}$$

$$\bar{\psi}_A^{\pm}(u)=A\;exp\left(\pm\int du\sqrt{2q^2u\;sen\,2u}\right)\,,\qquad -\pi/2\le u\le\pi/2 \tag{20}$$

La integral definida contenida en (20) no es trivial, no conocemos su primitiva. Dado que el interés es disponer de una expresión analítica explícita, expandimos el potencial en la base $\{u,u^2,u^3,\ldots\}\in\mathcal{L}_2$ y consideramos una aproximación hasta el cuarto orden. Con un poco de álgebra, obtenemos

$$u\bar{U}'(u)\simeq u\bar{U}'_{aprox}(u)=4q^2u^2\left(1-\frac{2}{3}u^2\right) \tag{21}$$

El nuevo dominio de definición generado por la aproximación del potencial es determinado a partir de la condición que U_{aprox} sea una función convexa par en el intervalo $[-\eta,\eta]$, donde η es determinado a partir de la condición que

$$\forall u \in [-\eta,\eta] \qquad u\bar{U}'_{aprox}(u) \geq 0. \tag{22}$$

la cual conduce a

$$\eta = \sqrt{3/2} < \pi/2 \tag{23}$$

Finalmente, substituyendo (21) en (19) y realizando una integración elemental, obtenemos

$$\bar{\psi}_A(u) = A\ exp\left[q\left(1 - \frac{2}{3}u^2\right)^{3/2}\right], \qquad -\sqrt{\frac{3}{2}} \leq u \leq \sqrt{\frac{3}{2}} \tag{24}$$

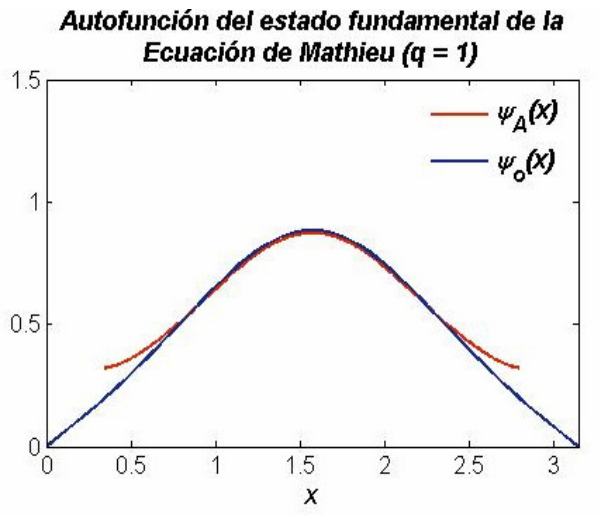
Si regresamos al referencial original mediante la transformación $x = u + \pi/2$, la autofunción-ansatz es dada por

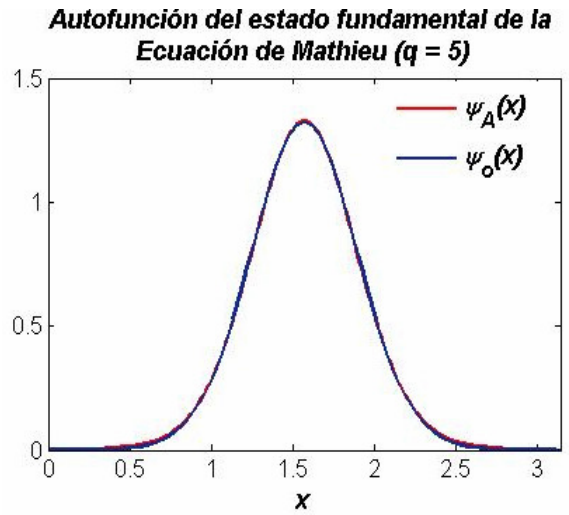
$$\psi_A(x) = N\ exp\left\{ q\left[1 - \frac{2}{3}\left(x - \frac{\pi}{2}\right)^2\right]^{3/2}\right\}, \qquad \frac{\pi}{2} - \eta \leq x \leq \frac{\pi}{2} + \eta \tag{25}$$

donde el signo de la exponencial fue elegido de manera de satisfacer condiciones de contorno *y N* es la constante de normalización, determinada a partir de la condición

$$\int_{\pi/2-\eta}^{\pi/2+\eta} |\psi_A|^2\, dx = 1 \tag{26}$$

El valor del parámetro *q* depende del sistema en estudio. En la figuras son graficadas la autofunción del estado fundamental de la EM, obtenida por cálculo numérico-computacional (se utilizó el programa Matslise) y la autofunción-ansatz (25) para *q=1* y *q=5*. Como el lector puede observar, para valores grandes de *q*, el ansatz se confunde con la solución numérica. Este resultado nos muestra que el procedimiento propuesto en [25] conduce a un excelente ansatz. Consideramos que el hecho que para valores pequeños de *q* aparezcan discrepancias en torno a $\pi/2 \pm \eta$ es una consecuencia directa del orden de aproximación utilizado para tratar el potencial.





4. Conclusiones

A partir de la conexión Fisher-Schröedinger es posible obtener un ansatz para la PDF con potenciales convexos simétricos [25], los cuales constituyen una amplia familia de potenciales. Mostramos en esta comunicación que, el ansatz que surge de la estructura de Legendre contenida en la ecuación de Schrödinger, da muy buenos resultados, no solo en el caso de potenciales pares [24,26] sino también en el caso de potenciales convexos simétricos como es el caso de la ecuación de Mathieu.

Por otra parte, una vez que disponemos de un ansatz para el estado fundamental de la EM, el cual no incorpora parámetros libres, es de esperar que se puedan inferir nuevos resultados teóricos para aquellas situaciones físicas en las que esta ecuación desempeña un rol importante. Estamos trabajando en esa linea.

Bibliografía

1. J. Stoker: *Nonlinear vibrations in mechanical and electrical systems*. (New York, NY: Interscience Publishers.1950).
2. A.H.Nayfeh, D.T. Mook, *Nonlinear oscillations.* (New York, NY: Wiley Interscience, 1995.)
3. T. B. Benjamin, F. Ursell. Proc. R. Soc. A **224** (1954) 505–515. (doi:10.1098/rspa.1954.0218)
4. M. Faraday. Phil. Trans. R. Soc. Lond. **121** (1931) 299–340. (doi:10.1098/rstl.1831.0018)
5. R. Kelly. J. Fluid Mech. **27** (1967) 656–689. (doi:10.1017/S0022112067002538)
6. J. J. Binney, Mon. Not. R. Astron. Soc. **183** (1978) 779–797.
7. J. J. Binney, Mon. Not. R. Astron. Soc. **196** (1981) 455–467.
8. P. Sammarco, H.H. Tran, O. Gottlieb. J. Fluid Mech. **349** (1997) 327. (doi:10.1017/S0022112097006836)
9. P. Hall, G. Seminara. J. Fluid Mech. **101** (1980) 423. (doi:10.1017/S0022112080001735)
10. G. Vittori. J. Hydraul. Eng. **124** (1998) 406. (doi:10. 1061/(ASCE)0733-9429)
11. S. Fauve. *Pattern forming instabilities. In Hydrodynamics and nonlinear instabilities* (eds C. Godreèche & P. Manneville), (1998) 387–491. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
12. F. J. Poulin, G. R. Flierl. Proc.R. Soc. A **464** (2008)1885-1904 doi:10.1098 /rspa.2008.0007
13. B. R. Frieden, *Science from Fisher Information: A Unification* (Cambridge, University Press; Cambridge,2004).
14. M. Reginatto, Phys. Rev. E **58** (1998)1775.
15. B. R. Frieden, A. Plastino, A. R. Plastino, B. H. Soffer, Phys. Rev. E **60** (1999) 48.
16. S. P. Flego, B. R. Frieden, A. Plastino, A. R. Plastino, B. H. Soffer, Phys. Rev. E **68** (2003) 016105.
17. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino, Physica A **390** (2011) 2276-2282.
18. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino, Ann. Phys. (N.Y.) **326** (2011) 2533-2543.
19. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino, Physica A **390** (2011) 4702-4712.
20. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino, J. Math. Phys. **52** 082103 (2011).
21. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino, J. Modern Phys. **2** (2011) 1390.
22. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino. Entropy, 13 (2011)2049-2058.
23. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino: Cent. Eur. J. Phys. **10**(**2**) (2012) 390-397.
24. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino, Phys. Scr. **85** (2012) 055002(7pp).
25. Flego, Silvana P.: "*Ansatz libre de parámetros para obtener la función de distribución de probabilidades de Fisher de potenciales convexos"* en: *Actas de las Segundas Jornadas de Investigación y Transferencia*, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de la Plata (UNLP), Abril de 2013.
26. Flego, Silvana P., Uriona, Hugo N.: *"Autofunción-ansatz para el estado fundamental de la ecuación de Coffey-Evans"* en: *Actas de las Segundas Jornadas de Investigación y Transferencia*, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de la Plata (UNLP), Abril de 2013.
27. W. Greiner and B. Müller, *Quantum mechanics. An Introduction*. (Springer, Berlin, 1988).
28. A. Desloge, *Thermal Physics* (Holt, Rinehart and Winston, New York, 1968).

AUTOFUNCIÓN-ANSATZ PARA EL ESTADO FUNDAMENTAL DE LA ECUACIÓN DE COFFEY-EVANS

Flego, Silvana P. y Uriona, Hugo N.

Grupo de Investigación Teórica y Aplicada en Teoría de la Información (GTyATI).
Área Departamental de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería,
Universidad Nacional de La Plata (UNLP).
1 y 115 s/n, (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina.
flego@fisica.unlp.edu.ar

Resumen

La conexión existente entre la medida de Información de Fisher (FIM) y la ecuación de Schröedinger (SE) permite formular un ansatz, libre de parámetros, para la solución del estado fundamental de aquellas SE que incorporan *potenciales convexos pares*. En la presente comunicación mostramos que, entre otras posibles aplicaciones, esa técnica proporciona un método eficaz para tratar con problemas definidos en dominios finitos. Específicamente, obtenemos una solución-ansatz, libre de parámetros, para el estado fundamental de la Ecuación de Coffey-Evans, la cual está en muy buena concordancia con los resultados existentes en la literatura.

Palabras claves: Teoría de la Información, Medida de Fisher, Ecuación de Coffey-Evans.

1. Introducción

Uno de los trabajos pioneros para tratar, a escala microscópica, la interacción dipolo-dipolo en líquidos polares o cristales plásticos, fue presentado por Budó [1] en 1949. Él investigó el efecto de interacciones dipolo-dipolo sobre la polarizabilidad compleja microscópica de moléculas consistentes con dos grupos dipolares, $\vec{\mu}_1$ y $\vec{\mu}_2$, con libertar para rotar intra-molecularmente. Las expresiones que elegantemente obtuvo, eran sumas de autovalores del problema de Sturn-Lioville emergente de su modelo. Ante las dificultades para obtener esos autovalores, utilizó potenciales muy simples como el del oscilador armónico. Las expresiones resultantes no reproducían las resonancias en el infrarrojo lejano observadas experimentalmente. Coffey incluye correcciones inerciales al modelo de Budó, pero esto no resuelve el problema de las resonancias. Coffey y Evans, haciendo uso de un algoritmo desarrollado por Price [2] para resolver el problema de autovalores, consideran una expresión mas realística del potencial y lo modelan como $V(x) = -V_o \cos 2x$, con $(2x)$ siendo el ángulo entre las proyecciones de $\vec{\mu}_1$ y $\vec{\mu}_2$ sobre un plano perpendicular al eje de la molécula (eje determinado por el movimiento browneano). Introduciendo este V en la ecuación de Sturn-Lioville del modelo propuesto por Budó, son conducidos a una ecuación de Schrödinger (SE), actualmente conocida como la ecuación de Coffey-Evans (CEE), la cual contiene un potencial de la forma

$$U(x) = -\beta \cos 2x + \frac{1}{2}\beta^2 \operatorname{sen}^2 2x$$

donde $\beta = V_o / (k_B T)$ (T denota la temperatura absoluta de la muestra y k_B la constante de Boltzmann). Actualmente, la CEE es uno de los modelos utilizados para tratar con cristales líquidos polarizables (tales como los displays de cristal líquido (LCD)) debido al hecho que en estos sistemas predominan las oscilaciones longitudinales permitiendo tratar al sistema como unidimensional.

Es de destacar que la CCE es una de las SE '*difíciles*' de resolver y por tanto, cuando es propuesto un método (perturbativo o numérico-computacional) para abordar la resolución de una SE, la CCE es una de las ecuaciones habitualmente utilizada para testar el rendimiento numérico del mismo.

Por otra parte, la conexión existente entre la Medida de Fisher (FIM) y la ecuación de onda de Schrödinger (SE) [3-8], solidificada por una subyacente estructura de Legendre [9], ha permitido introducir en la literatura una serie de importantes resultados [10-16]. En particular, fue presentado un procedimiento, el cual permite obtener, en forma simple y elegante, un ansatz para la función de onda del estado fundamental de aquellas SE que incorporan potenciales convexos pares [16]. En esta comunicación, utilizando esa técnica [16] hallamos una solución-ansatz para el estado fundamental de la CEE. En otras palabras, testamos la potencialidad del procedimiento en un problema definido en un dominio finito con un potencial convexo par catalogado en la literatura computacional como '*difícil*'.

2. Conexión Fisher-Schröedinger. Ideas Básicas

2.1. La ecuación de Schrödinger para estados estacionarios

El hamiltoniano $\hat{H}$ de un sistema cerrado (o en un sistema que no se encuentra en un sistema exterior variable) no contiene el tiempo explícitamente [17],

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m}\vec{\nabla}^2 + U(\vec{x}) \tag{1}$$

En estos sistemas, $\hat{H}$ se conserva, es decir su valor medio (valor de expectación) es constante y a este valor se le llama energía. Los estados en los cuales la energía tiene valores determinados se llaman estados estacionarios del sistema. Estos estados se describen por medio de funciones de onda que son funciones propias del operador de Hamilton, es decir, satisfacen la ecuación conocida como Ecuación de Schrödinger (SE) para estados estacionarios,

$$\hat{H}\,\psi_n = E_n\,\psi_n \tag{2}$$

donde E_n son los valores propios de energía (autoenergías). El estado que posee el menor de todos los posibles estados de energía es llamado el estado fundamental del sistema.

La distribución de las probabilidades de las coordenadas en un estado estacionario viene determinada por $|\psi_n|^2$ y los valores de expectación de cualquier magnitud A (cuyo operador no dependa explícitamente del tiempo) se obtienen como

$$\langle A \rangle = \int \psi_n^*\, \hat{A}\, \psi_n\, dv \tag{3}$$

donde *dv* indica que la integral es extendida a todo el espacio.

El espectro de los valores propios de la energía puede ser tanto discreto como continuo. Un estado estacionario del espectro discreto corresponde siempre a un movimiento finito del sistema, o como suele decirse, el sistema se encuentra en un estado ligado. En este caso, la probabilidad de que las coordenadas tomen valores infinitos es nula. Luego, para las funciones propias de un espectro discreto, la integral de las distribuciones de probabilidad extendida a todo el espacio, es finita. Luego, *normalizando* las autofunciones se tiene

$$\int |\psi_n|^2\, dv = 1 \tag{4}$$

El Teorema del Virial Cuántico

Para cualquier sistema cuántico en estado estacionario, el teorema del Virial establece que [17]

$$\left\langle -\frac{\hbar^2}{m}\vec{\nabla} \right\rangle = \left\langle \vec{x}\,.\,\vec{\nabla}U(\vec{x}) \right\rangle \tag{5}$$

donde los valores de expectación son tomados entre estados estacionarios del hamiltoneano.

2.2. La medida de Fisher

En lo que sigue, se trata con sistemas invariantes por traslación. Sea *x* una variable estocástica y sea $f(x)=|\psi(x)|^2$ la función densidad de probabilidad (PDF) para esta variable. En este contexto, la expresión de la FIM es dada por [3]

$$I=\int f(x)\left[\frac{\partial \ln f(x)}{\partial x}\right]^2 dx = 4\int \left|\frac{\partial \psi(x)}{\partial x}\right|^2 dx \; ; \qquad f=|\psi|^2 . \tag{6}$$

Consideremos un sistema especificado por un conjunto de *M* parámetros físicos μ_k.

$$\mu_k = \langle A_k \rangle = \int dx\, A_k(x) f(x), \qquad k=1,\ldots,M. \tag{7}$$

El conjunto de los valores μ_k es considerado como el primer conocimiento (información empírica disponible). La PDF *físicamente relevante* minimiza la FIM condicionada al "primer conocimiento" (7) y a la *condición de normalización* $\int dx\, f(x)=1$. Consecuentemente, introduciendo (*M+1*)-multiplicadores de Lagrange λ_k ($\lambda_0=\alpha$), el problema de optimización

$$\delta\left(I-\alpha\int dx f(x) - \sum_{k=1}^{M}\lambda_k \int dx\, A_k(x) f(x)\right)=0, \tag{8}$$

conduce a una ecuación diferencial para la deseada $f(x)$ la cual, escrita en términos de la amplitud $\psi(x)$ es de la forma [3-5]

$$\left[-\frac{1}{2}\frac{\partial^2}{\partial x^2}+U(x)\right]\psi(x)=\frac{\alpha}{8}\psi(x), \qquad f(x)=|\psi(x)|^2, \qquad U(x)=-\frac{1}{8}\sum_{k=1}^{M}\lambda_k A_k(x), \tag{9}$$

y es interpretada como una SE (2) para una partícula de masa unidad ($\hbar=1$) moviéndose en un "pseudo-potencial informacional" efectivo $U(x)$ en el cual el multiplicador de Lagrange asociado a la normalización juega el rol de un autovalor de energía ($E=\alpha/8$) y los λ_k son determinados por medio de la información disponible [5,7].

Para escenarios unidimensionales, $\psi(x)$ es real [17] y se tiene

$$I=\int \psi^2\left(\frac{\partial \ln\psi^2}{\partial x}\right)^2 dx = 4\int\left(\frac{\partial\psi}{\partial x}\right)^2 dx = -4\int \psi\frac{\partial^2}{\partial x^2}\psi\, dx \tag{10}$$

Luego, usando las expresiones (9) y (10) se encuentra una simple y conveniente expresión para la FIM,

$$I=\alpha+\sum_{k=1}^{M}\lambda_k\langle A_k\rangle . \tag{11}$$

La conexión entre la solución variacional y la termodinámica fue establecida en términos de las típicas relaciones de reciprocidad (RR) de Legendre [3]. Estas constituyen el formal y esencial ingrediente termodinámico [18] y pueden ser re-derivadas '*a la Fisher*' escribiendo (11) en una forma que enfatice el rol de las variables independientes relevantes,

$$I(\langle A_1\rangle,\ldots,\langle A_M\rangle)=\alpha+\sum_{k=1}^{M}\lambda_k\langle A_k\rangle . \tag{12}$$

La transformada de Legendre cambia la identidad de las variables independientes relevantes. Así, para el multiplicador de Lagrange α, que juega el rol de una autoenergía en (9), tenemos

$$\alpha(\lambda_1,\ldots,\lambda_M)=I-\sum_{k=1}^{M}\lambda_k\langle A_k\rangle . \tag{13}$$

Luego, desde estas preliminares, se encuentran de forma trivial, las tres RR [3]

$$\frac{\partial\alpha}{\partial\lambda_k}=-\langle A_k\rangle \; ; \qquad \frac{\partial I}{\partial\langle A_k\rangle}=\lambda_k \; ; \qquad \frac{\partial I}{\partial\lambda_i}=\sum_{k}^{M}\lambda_k\frac{\partial\langle A_k\rangle}{\partial\lambda_i}, \tag{14}$$

siendo la última una generalización del teorema de Euler.

Resulta muy interesante el hecho que las RR pueden ser re-derivadas a partir de fundamentos puramente cuánticos [10] a partir del teorema del Virial y del teorema de Hellmann-Feynman, mostrando que una estructura de Legendre subyace la unidimensional SE [10].

Una serie de importantes resultados han sido derivados a partir de este resultado, (ver por ejemplo [11-16]). Es nuestro interés actual hacer referencia a la inmediata consecuencia de poder inferir, para una amplia variedad de potenciales, un ansatz para la PDF y por tanto, para la función de onda del estado fundamental de la SE [16].

Ansatz para inferir la PDF de potenciales convexos pares

Cuando el potencial informacional es una función convexa par, una solución ansatz para la PDF puede ser derivada conectando la definición de la FIM (10) con el teorema del Virial (5) [16]. El procedimiento es el siguiente. La FIM puede ser expresada "virialmente" como

$$I=-4\left\langle \frac{\partial^2}{\partial x^2}\right\rangle = 4\left\langle x\frac{\partial U}{\partial x}\right\rangle \ , \tag{15}$$

Esta relación, en el escenario Fisher, es dada por

$$\int dx f(x)\left(\frac{\partial \ln f(x)}{\partial x}\right)^2 = 4\int dx f(x) x\frac{\partial}{\partial x}U(x) \ , \tag{16}$$

Luego,

$$\int dx f(x)\left[\left(\frac{\partial \ln f(x)}{\partial x}\right)^2 - 4x\frac{\partial}{\partial x}U(x)\right]=0. \tag{17}$$

Dado que para potenciales convexos pares se verifica que

$$\forall x\in Dom(U), \qquad x\frac{\partial}{\partial x}U(x)\geq 0. \tag{18}$$

se puede inferir, para tales potenciales, un ansatz f_A que, por construcción verifica (17). Simplemente se pide que

$$\left(\frac{\partial \ln f_A(x)}{\partial x}\right)^2 - 4x\frac{\partial}{\partial x}U(x)=0. \tag{19}$$

de donde se obtienen dos soluciones independientes

$$f_A^{\pm}(x)= A\ exp\left(\pm 2\int dx\sqrt{x\frac{\partial}{\partial x}U(x)}\right), \tag{20}$$

siendo A una constante de integración. La ec. (20) proporciona una herramienta para construir un ansatz para la PDF.

En Ref.[16] este ansatz fue utilizado para tratar al oscilador armónico y al oscilador anarmónico cuártico. En el primer caso la solución-ansatz coincide con la solución exacta y en el segundo caso la aproximación es "muy buena".

3. Autofunción-Ansatz para el estado fundamental de la CEE

La Ecuación de Coffey-Evans (CEE) es una SE unidimensional, dada por

$$\left[-\frac{1}{2}\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \beta\cos 2x + \frac{1}{2}\beta^2 sen^2 2x\right]\psi_n(x) = E_n\psi_n(x), \qquad \begin{cases} -\pi/2\leq x\leq \pi/2 \\ \psi(-\pi/2)=\psi(\pi/2)\end{cases} \tag{21}$$

Como ya fue comentado antes, no existe en la literatura una expresión explícita de las autofunciones de esta ecuación. Siguiendo de cerca ref.[16], mostramos como obtener una autofunción-ansatz para el estado fundamental $\psi_o(x)$ de esta SE. Comenzamos asociando a la SE (21) una FIM [10] y establecemos que el estado fundamental tiene asociada una PDF, tal que $f(x)=\psi_o^2(x)$. Dado que el potencial,

$$U(x) = -\beta \cos 2x + \frac{1}{2}\beta^2 \, sen^2 2x \tag{22}$$

en el rango de definición, satisface que

$$\forall x \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right] \qquad x\frac{\partial}{\partial x}U(x) \geq 0. \tag{23}$$

podemos utilizar (20) para inferir un ansatz para $\psi_o(x)$. Obtenemos así

$$\psi^{\pm}{}_A(x) = A\,exp\left(\pm\int dx\sqrt{x\frac{\partial}{\partial x}U(x)}\right), \qquad -\frac{\pi}{2} \leq x \leq \frac{\pi}{2} \tag{24}$$

Substituyendo (22) en (24) y operando, tenemos

$$\psi^{\pm}{}_A(x) = A\,\boldsymbol{exp}\left[\pm\int\sqrt{2\beta\, x\, sen\, 2x\left(1+\beta\cos 2x\right)}\,dx\right], \qquad -\frac{\pi}{2} \leq x \leq \frac{\pi}{2} \tag{25}$$

La integral definida contenida en (25) no es trivial y no conocemos su primitiva. Dado que el interés es disponer de una expresión analítica explícita, es necesario expandir el potencial en la base $\{x, x^2, x^3, \ldots\} \in \mathcal{L}_2$ y asumir que los primeros términos de la serie conducen satisfactoriamente a la representación de $U(x)$. Considerando una aproximación del potencial hasta el cuarto orden y con un poco de álgebra, obtenemos

$$x\frac{\partial}{\partial x}U(x) \simeq x\frac{\partial}{\partial x}U_{aprox}(x) = 4\beta(1+\beta)x^2\left[1 - \frac{2}{3}\frac{(1+4\beta)}{(1+\beta)}x^2\right] \tag{26}$$

Note que, la aproximación del potencial no nos permitirá obtener un ansatz para todo el dominio de definición original, ya que U_{aprox} satisface ser una función convexa par en el intervalo $[-\eta, \eta]$, donde η es determinado a partir de la condición que

$$\forall x \in [-\eta, \eta] \qquad x\frac{\partial}{\partial x}U_{aprox}(x) \geq 0. \tag{27}$$

de donde se obtiene

$$\eta = \sqrt{\frac{3(1+\beta)}{2(1+4\beta)}} \approx 0.6 \qquad para \;\; \beta = 10, \ldots, 50 \tag{28}$$

Finalmente, substituyendo (26) en (24) y realizando una integración elemental, la autofunción-ansatz es dada por

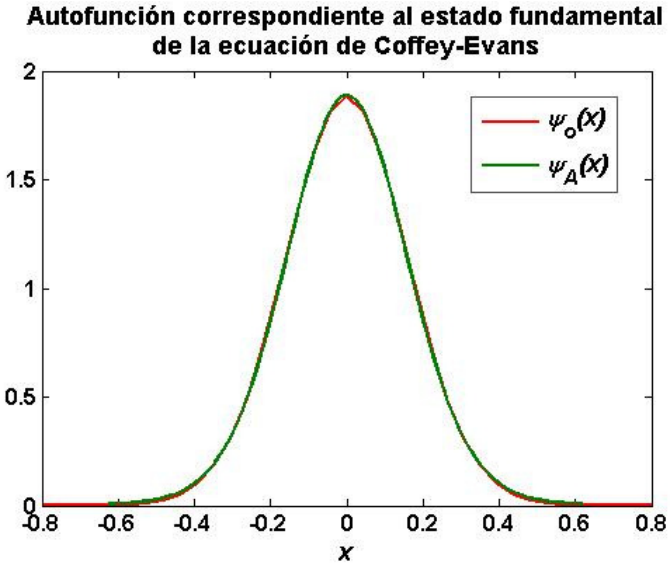
$$\psi_A(x) = N\;\boldsymbol{exp}\left[\frac{1+\beta}{1+4\beta}\sqrt{\beta(1+\beta)}\left(1 - \frac{2}{3}\frac{(1+4\beta)}{(1+\beta)}x^2\right)^{3/2}\right], \qquad -\eta \leq x \leq \eta \tag{29}$$

donde el signo de la exponencial fue elegido de manera de satisfacer condiciones de contorno *y N* es la constante de normalización, determinada a partir de la condición

$$\int_{-\eta}^{\eta}|\psi_A|^2\,dx = 1 \tag{30}$$

Para valores de β del orden de los utilizados en la literatura, el ansatz, libre de parámetros, esta en muy buena concordancia con los resultados existentes en la literatura.

En la figura son graficadas la autofunción del estado fundamental de la CCE, obtenida por cálculo numérico-computacional (se utilizó el programa Matslise) y la autofunción-ansatz (29) para $\beta = 20$. Como el lector puede observar, las gráficas se confunden, por lo que podemos concluir que estamos frente a un excelente ansatz.



4. Conclusiones

A partir de la conexión Fisher-Schröedinger es posible obtener un ansatz para la PDF con potenciales convexos pares [16], los cuales constituyen una amplia familia de potenciales. Mostramos en esta comunicación que, el ansatz, el cual no incorpora ningún parámetro libre, da muy buenos resultados, no solo en el caso de potenciales pares definidos en un rango infinito [16] sino también en situaciones de rango finito como es el caso de la ecuación de Coffey-Evans. Por otra parte, una vez que disponemos de un ansatz para el estado fundamental es posible construir las autofunciones de los estados excitados y calcular las correspondientes autoenergías. Luego, es de esperar que se puedan inferir nuevos resultados teóricos que contribuyan al desarrollo tecnológico de dispositivos donde la interacción dipolo-dipolo desempeña un rol importante. Estamos trabajando en esta línea.

Bibliografía

1. A. Budó. Phys. Z. **39** (1938) 706; J. Chem. Phys. **17** (1949) 686.
2. M. W. Evans, W. T. Coffey and J. D. Price,. Chem. Phys. Lett. **63** (1979) 133.
3. B. R. Frieden, *Science from Fisher Information: A Unification* (Cambridge, University Press; Cambridge,2004).
4. M. Reginatto, Phys. Rev. E **58** (1998)1775.
5. B. R. Frieden, A. Plastino, A. R. Plastino, B. H. Soffer, Phys. Rev. E **60** (1999) 48.
6. S. P. Flego, A. Plastino and A.R. Plastino: Condensed Matter Theories 18. Nova Science Publishers. Inc.USA.(2003) 245-258, and ref. cited therein.
7. S. P. Flego, B. R. Frieden, A. Plastino, A. R. Plastino, B. H. Soffer, Phys. Rev. E **68** (2003) 016105.
8. S. P. Flego, F. Olivares, A. Plastino and M. Casas. Entropy, **13** (2011) 184
9. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino, Physica A **390** (2011) 2276-2282.
10. S. P. Flego, A. Plastino and A.R. Plastino, Ann. Phys. (N.Y.) **326** (2011) 2533-2543.
11. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino, Physica A **390** (2011) 4702-4712.
12. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino, J. Math. Phys. **52** 082103 (2011).
13. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino, J. Modern Phys. **2** (2011) 1390.
14. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino. Entropy, **13** (2011)2049-2058.
15. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino: Cent. Eur. J. Phys. **10**(**2**) (2012) 390-397.
16. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino, Phys. Scr. **85** (2012) 055002(7pp)
17. W. Greiner and B. Müller, *Quantum mechanics. An Introduction*. (Springer, Berlin, 1988).
18. A. Desloge, *Thermal Physics* (Holt, Rinehart and Winston, New York, 1968).

CURVATURA ESCALAR RIEMANNIANA EN UN GAS DE ELECTRONES UNIDIMENSIONAL

Autores: Augusto Melgarejo, Cora I. Tori, Ma. de las Mercedes Trípoli

Lugar de trabajo: Departamento de Ciencias Básicas - Calles 115 y 50 (1900) La Plata - mercedes.tripoli@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: Geometría Diferencial, Termodinámica Estadística, Electrones altamente correlacionados.

Introducción

Distintos enfoques geométricos de la termodinámica han sido tratados por numerosos autores. En particular Ruppeiner incluyó la teoría de fluctuaciones en los axiomas de la termodinámica, lo que permitió definir una métrica Riemanniana sobre el espacio de estados de equilibrio [1]. En este sentido, el tensor métrico queda asociado a los segundos momentos de las fluctuaciones de los parámetros termodinámicos. Por otro lado, a partir del estudio de la curvatura escalar R en varias situaciones, se encontró que R era un indicador de los volúmenes de correlación en los entornos de los puntos críticos [2]. En este sentido, conocer R permite estudiar la longitud de correlación como una función de los parámetros que que identifican los estados de equilibrio del sistema.

Así mismo, el concepto de Variedad Estadística fue formalizado por Amari [3]. En la teoría geométrica de variedades estadísticas el tensor métrico está identificado por los valores de expectación de las derivadas segundas de una función de densidad de probabilidad con respecto a sus parámetros naturales. Resulta pertinente resaltar que los enfoques de Ruppeiner y Amari son equivalentes cuando consideramos la función de densidad de probabilidad en el equilibrio termodinámico.

Se puede ver que para el gas ideal clásico, la curvatura escalar es cero, en este sentido, la curvatura escalar $R \neq 0$ puede ser vista como una medida del potencial de interacción entre la partículas del sistema. Sin embargo, cuando los efectos cuánticos son tomados en cuenta, $R \neq 0$ aun en el caso del ideal. En particular, para el gas de electrones ideal en dos, tres y una dimensión, $R < 0$ divergiendo a bajas temepraturas [4].

En este trabajo, nos enfocamos en sistemas unidimensionales no ideales. Siguiendo esta línea, y para considerar el efecto de la interacción entre electrones en la curvatura escalar, usamos el modelo de Tomonaga-Luttinger. En general, este modelo hace una buena descripción de las excitaciones de baja energía en líquidos de Fermi cuasi unidimensionales conocidos como cables o hilos cuánticos. Los líquidos unidimensionales de Fermi son un sistema singular porque las excitaciones elementales están caracterizadas por fluctuaciones bosónicas colectivas de carga.

Como mencionamos antes, aun cuando el modelo de Tomonaga-Luttinger realiza una buena descripción de las excitaciones elementales, introduce una dependencia inusual con la densidad de partículas del sistema. Esta dependencia puede ser vista en la parte cinética del hamiltoniano,

lo que permite encontrar una solución no perturbativa del modelo. En este sentido, el estudio de aspectos geométricos de este modelo no será necearimente consistente con los resultados hallados para sistemas en dos y tres dimensiones.

El trabajo está organizado de la siguiente manera. Comenzamos dando una revisión corta de variedades estadísticas y continuamos mencionando las cuestiones relevantes del modelo y de la función de partición. Luego, estudiamos la curvatura escalar para interacciones electrón-electrón de corto alcance y para un potencial de tipo Coulombiano de largo alcane. En el último caso, usamos estrictamente el potencial Coulombiano unidimensional $v(x) \sim |x|$, el cual tiene la característica de no ser repulsivo para longitudes de onda cortas. Sin embargo, el uso de este potencial aunque irreal, nos permite entender el comportamiento del sistema para longitudes de onda largas.

Variedades estadísticas

En esta sección resumimos brevemente el concepto de variedad estadística que es usado para analizar geométricamente una familia de funciones de densidad de probabilidad (FDP) y su aplicación a la termodinámica. Sea $p(x,\theta)$ una FDP descripta por una variable de probabilidad x y parámetros $\theta = \{\theta_1, \theta_2, ..., \theta_n\}$ que caracterizan el sistema. Un conjunto de FDPs

$$S = \{p(x,\theta)/\theta \in \Omega\} \qquad \theta = \{\theta_1, \theta_2, ..., \theta_n\} \tag{1}$$

es una variedad estadística n-dimensional con coordenadas θ_i y Ω es un subconjunto de $\mathbb{R}^n$. De acuerdo a la teoría de variedades estadísticas, podemos considerar un tensor métrico g_{ik}

$$g_{ik}(\theta) = -E[\partial_i \partial_k l(x,\theta)] \tag{2}$$

donde $l(x,\theta) := \ln p(x,\theta)$ y $E[\,]$ denota la expectación con respecto a $p(x,\theta)$. La última expresión se obtiene aplicando la condición de normalización $E[\partial_i l(x,\theta)] = 0$.

Ahora restringimos nuestra atención a un tipo especial de FDPs, llamada una “familia exponencial”. Éstas son de la forma

$$p(x,\theta) = \exp\left[c(x) + \sum_{i=1}^{n} \theta_i f_i(x) - \Psi(\theta)\right] \tag{3}$$

donde $c(x)$ y $f_i(x)$ son funciones arbitrarias de x, y $\Psi(\theta)$ es una función de las coordenadas θ_i. Por ejemplo, una función de distrbución normal proviene de esta familia. El tensor métrico de la familia exponencial es obtenido directamente de la ecuación (2) como

$$g_{ik}(\theta) = \frac{\partial^2 \Psi(\theta)}{\partial\theta_i \partial\theta_k} \tag{4}$$

y los coeficientes de conexión (símbolos de Christoffel) están dados por

$$\Gamma_{ijk}(\theta) = \frac{1}{2}(\partial_k g_{ij} + \partial_j g_{ik} - \partial_i g_{jk}) = \frac{1}{2}\frac{\partial^3 \Psi(\theta)}{\partial\theta_i \partial\theta_j \partial\theta_k}. \tag{5}$$

En el caso en que el espacio de parámetros es bidimensional, la R se reduce a [5]

$$R = -\frac{1}{2}\begin{vmatrix} \Psi_{,11} & \Psi_{,12} & \Psi_{,22} \\ \Psi_{,111} & \Psi_{,112} & \Psi_{,122} \\ \Psi_{,112} & \Psi_{,122} & \Psi_{,222} \end{vmatrix} \tag{6}$$

donde los subíndices $,i$ denotan la derivada con respecto a θ_i $(i=1,2)$. Notamos que en este caso R está expresada en términos las primeras tres derivadas del tensor métrico o las primeras tres derivadas de $\Psi(\theta)$ por la simetría del tensor métrico y de los coeficientes de conexión.

En nuestro problema usamos la distribución de equilibrio como un caso especial de la familia exponencial (3)

$$p(x,\theta)=\frac{\exp[-\beta E]}{Z}=\exp[-\beta E-\ln Z] \tag{7}$$

donde $\beta=-1/T$, T es la temperatura y Z es la función de partición del sistema que es una función de β y ρ (densidad del sistema).

De (4) y (7) obtenemos el tensor métrico

$$g_{ij}=\frac{\partial^2 \ln Z}{\partial\theta_i\partial\theta_j},\ \theta_i=\beta,\rho. \tag{8}$$

Modelo y potencial termodinámico

Modelo

El modelo de Tomonaga-Luttinger posee dos ramas de fermiones sin masa ni spin que se mueven sobre una línea de longitud L. Los fermiones en la rama 1, descriptos por el campo $\psi_1(x)$, se mueven en la dirección positiva de x con velocidad v_F mientras que la rama 2 de fermiones $\psi_2(x)$ se mueve en la dirección opuesta con velocidad $-v_F$. En otras palabras, hemos linealizado la relación de dispersión para el caso de fermiones libres. Permitimos que cada rama tenga ambos, momento positivo y negativo, para tener un mar estados de energía negativa que puede ser llenado. El hamiltoniano es $H=H_0+H_I$ donde

$$H_0=v_F\int_0^L dx\psi^\dagger(x)\left(\sigma_3 p-p_F\right)\psi(x) \tag{9}$$

$$H_I=\int_0^L dx\int_0^L dy\psi_a^\dagger(x)\psi_a(x)v(x-y)\psi_b^\dagger(y)\psi_b(y) \tag{10}$$

siendo $p=-i\partial_x$, $\psi^\dagger(x)=\left(\psi_1^\dagger(x),\psi_2^\dagger(x)\right)$ y $a,b=1,2$. Hemos llevado el origen de la escala de energía a $v_F p_F$ para asegurar que todos los estados por debajo del estado de Fermi están ocupados en el estado de no interacción.

Esta interacción H_I representa la dispersión de los fermiones en la medida que interaccionan entre sí.

Solución del modelo y potencial termodinámico

El modelo puede resolverse exactamente por una transformación unitaria e^{iS}. Describimos aquí los aspectos más importantes [6]

$$e^{iS}He^{-iS} \tag{11}$$

donde

$$S=\frac{2\pi i}{L}\sum_{p>0}\frac{\varphi(p)}{p}\rho_1(p)\rho_2(-p) \tag{12}$$

y $\rho_i(p)$ es el operador densidad.

Considerando $\varphi(p)$ como

$$\varphi(p) = -\frac{1}{4}\ln\left[1 + \frac{2v(p)}{\pi v_F}\right] \tag{13}$$

tenemos

$$e^{iS}He^{-iS} = \sum_{p>0}\varepsilon(p)\left[A_p^\dagger A_p + B_{-p}^\dagger B_{-p}\right]. \tag{14}$$

En la ecuación (14) A_p y B_p describen fluctuaciones de carga colectiva bosónica del sistema con una relación de dispersión

$$\varepsilon(p) = v_F p\sqrt{1 + \frac{2v(p)}{\pi v_F}} \tag{15}$$

donde $v(p)$ es la transformada de Fourier del potencial $v(x)$.

De la solución del modelo podemos calcular la función de partición del sistema y el potencial termodinámico [7] y [8]

$$\Psi(\beta,\rho) = \ln Z = -2\sum_{p>0}\ln\left[1 - \exp\left(-\beta\varepsilon(p)\right)\right] \tag{16}$$

donde $\beta = 1/T$ y $v_F \propto \rho$.

También consideramos una interacción local $\lambda\delta(x)$. Encontramos que

$$\Psi_{sr}(\beta,\rho) = -2\int_0^\infty \frac{dp}{2\pi}\ln\left[1 - \exp\left(-\beta p\tilde{v}_F\right)\right] \tag{17}$$

donde $\tilde{v}_F = v_F\sqrt{1 + \frac{2\lambda}{\pi v_F}}$ se interpreta como la velocidad de Fermi renormalizada.

Curvatura escalar

En esta sección estudiamos la curvatura escalar en diferentes situaciones dependiendo de la interacción potencial considerada.

Potencial de corto alcance

Considerando una interacción de corto alcance de la forma $\lambda\delta(x)$ (como en la sección previa) y usando (6) y (17), calculamos la curvatura escalar

$$R_{sr}(\beta,\rho) = -\frac{12\kappa^2\lambda^2\beta\sqrt{\pi + \frac{2\lambda}{\kappa\rho}}\rho^2\left(2\lambda + \kappa\pi\rho\right)}{\pi^{3/2}\left(5\lambda^2 + 6\kappa\pi\lambda\rho + 3\kappa^2\pi^2\rho^2\right)^2} \tag{18}$$

donde consideramos $v_F = \kappa\rho$.

De este resultado podemos ver que para $\lambda \neq 0$ la curvatura $R_{sr}(\beta,\rho) \to -\infty$ a bajas temperaturas y es cero cuando $\lambda = 0$. Si asociamos la curvatura escalar con la longitud de correlación concluimos que la presencia de interacción correlaciona fuertemente al sistema cuando la temperatura decae, aun en el caso de interacción de corto alcance. Por otro lado, si $\lambda = 0$ la longitud de correlación es cero independientemente de la temperatura. Este último resultado aparece a primera vista como inconsistente con otros previamente encontrados para gas ideal de fermiones [4], en donde la curvatura escalar diverge a bajas temperaturas.

En estos casos esta divergencia está asociada con el efecto de intercambio mecánico cuántico. El efecto de intercambio es una consecuecncia de la indistinguibilidad entre partícules masivas. Por otro lado nuestro modelo linealizado, como dijimos en la sección previa, caracteriza partículas sin masa donde el efecto de intercambio no es relevante.

Potencial Coulombiano

En el régimen de bajas temperaturas y para la interacción Coulombiana $v(q) = \lambda/q^2$, el potencial termodinámico (17) se comporta como [8]

$$\Psi_{lr}(\beta,\rho) \simeq -\left(\frac{2\lambda}{\pi^3\kappa\rho}\right)^{1/2} K_1\left(\beta\left(\frac{2\lambda\kappa\rho}{\pi}\right)^{1/2}\right) \tag{19}$$

donde $K_1(x)$ es la función de Bessel modificada de segundo tipo.

Si usamos el resultado (6) encontramos que la curvatura escalar para bajas temperaturas

$$R(\beta,\rho) \simeq -\left(\frac{1}{\beta}\right)^{1/2} \frac{(\kappa\rho)^{1/4}}{\lambda^{3/4}} \exp\left[\beta\left(\frac{2\lambda\kappa\rho}{\pi}\right)^{1/2}\right] \tag{20}$$

donde supusimos $\lambda \neq 0$.

De la ecuación (20)vemos (a diferencia del resultado de corto alcance) que la curvatura escalar crece exponencialmente con λ. En términos de la longitud de correclación podemos decir que el sistema está más fuertemente correlacionado que en el caso de un potencial de corto alcance. Este último resultado es de esperar porque los electrones “pueden verse unos a otros” para cualquier separación.

Por otro lado observamos un comportamiento similar con la densidad. Esto no es de esperar dado que altas densidades del sistema deberían comportarse como ideales. Este resultado nos permite decir que cuando los electrones interactúan mediante una interacción de largo alcance, la densidad ρ no caracteriza el estado macroscópico del sistema, dado que el comportamiento de la curvatura escalar está determinado por la interacción entre partículas.

Conclusiones

En este trabajo estudiamos aspectos geométricos de un gas de electrones unidimensional. Consideramos dos situaciones, cuando los electrones interactúan con un potencial de corto alcance y cuando lo hacen con un potencial de largo alcance. En ambos casos nos concentramos en comportamientos a baja temperatura. En particular para largas longitudes de onda, consideramos el potencial coulombiano unidimensional el cual no es repulsivo a corto alcance.

Como mencionamos en la introducción, si asociamos la curvatura escalar con la longitud de correlación del sistema, encontramos que en ambas situaciones la mera presencia de interacción causa la correlación electrónica. En el caso de interacción de largo alcance notamos el crecimiento exponencial (20) en la longitud de correlación con temperatura decreciente e intensidad de interacción creciente.

Una consecuencia interesante de este resultado es que para un sistema unidimensional de electronos interactuando por un potencial de largo alcance, la densidad de electrón ρ no caracteriza el estado macroscópico por lo tanto no es un buen parámetro en la descripción termodinámica

del sistema. Este resultado podría ser relevante en el estudio de estados macroscópicos y transiciones de fase de sistemas unidimensionales como cables cuánticos. En este sentido nuestras conclusiones son consistentes con resultados previos, que muestran que en presencia de interacción de largo alcance, el sistema muestra un estado altamente correlacionado (cristal de Wigner) independientemente de la densidad [9].

Bibliografía

[1] G. Ruppeiner, Rev. Mod. Phys. **67** 605 (1995).
[2] G. Ruppeiner, Phys. Rev. E **57** 5135 (1998).
[3] S. Amari. Differential Geometrical Methods in Statistics (Lectures Notes in Statistics vol 28) ed D Brillinger et al (New York: Springer) 1985.
[4] H. Oshima, T. Obata and H. Hara, J. Phys. A: Math. Gen. 32 6373 (1999).
[5] Janyszek and Mrugala, Phys. Rev. A **39**, 6515 (1989).
[6] D. Mattis and E. Lieb, J. Math. Phys. **6** 304 (1965).
[7] F. Haldane, J. Phys. C: Solid State Phys **14** 2585 (1981).
[8] D. Lee and Y. Chen, J. Phys. A: Math. Gen. **21** 4155 (1988).
[9] H: Schulz, Phys. Rev. Lett. 71 (1993) 1864.

Método de proyecciones oblicuas incompletas para resolver el problema de Mínimos Cuadrados con restricciones de caja

Echebest,Nélida E. Guardarucci,María T. Scolnik,Hugo

Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, UNLP,47 esq.1, La Plata,
marite.guardarucci@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: sistemas inconsistentes,proyecciones oblicuas

INTRODUCCIÓN

En varias aplicaciones de reconstrucción de imágenes, mecánica computacional , problemas de optimización, etc. aparecen problemas que requieren resolver sistemas de ecuaciones lineales, grandes y esparsos, que a menudo son inconsistentes y requieren que la solución $x^* \in \Re^n$, sea acotada $l_i \leq x_i^* \leq u_i$, $i = 1, \ldots, n$ y minimice alguna función de proximidad.

En [9] presentamos el algoritmo IOP que converge a una solución de mínimos cuadrados pesada del sistema inconsistente $Ax = b$, $A \in \Re^{m\times n}$, $b \in \Re^m$,, usando un esquema de proyecciones oblicuas incompletas sobre el conjunto de soluciones del sistema aumentado $Ax - r = b$. Hemos considerado el problema standart

$$\min_{x\in\Re^n} \|b - Ax\|^2_{D_m}, \tag{1}$$

donde $\|.\|_{D_m}$ es la norma inducida por la matriz diagonal definida positiva $D_m \in \Re^{m\times m}$ basándonos en la equivalencia demostrada entre este problema y el problema

$$\min\{\|p - q\|^2_D : \quad \text{para } p \in \mathcal{P} \text{ y } q \in \mathcal{Q}\},$$

donde

$$\mathcal{P} = \{p : p = [x; r] \in \Re^{n+m}, \quad x \in \Re^n, \quad r \in \Re^m, \quad Ax - r = b\}, \text{ y}$$
$$\mathcal{Q} = \{q : q = [x; 0] \in \Re^{n+m}, \quad x \in \Re^n, 0 \in \Re^m\},$$

y D is a diagonal matrix of order $n + m$, whose n first elements are 1's, and the last m coincide with those of D_m.

El método IOP propuesto para resolver (1) mediante un esquema de proyecciones alternadas entre $\mathcal{P}$ y $\mathcal{Q}$, , similar al desarrollado por Csiszár and Tusnády [6], reemplaza el cálculo de la proyección exacta sobre $\mathcal{P}$ por una proyección incompleta que aproxima a la solución de una manera aceptable.

En este trabajo agregamos la condición $x \in \mathcal{B}$, donde $\mathcal{B} = \{x : x \in \Re^n, l_i \leq x_i \leq u_i, i = 1, \ldots, n\}$, lo que lleva a redefinir

$$\mathcal{P}^b = \mathcal{P} \bigcap \{(x; r) : x \in \mathcal{B}\} \quad \text{y} \quad \mathcal{Q}^b = \mathcal{Q} \bigcap \{(x; 0) : x \in \mathcal{B}\}, \tag{2}$$

Algoritmo 1 *(Esquema Básico Alternante)*

Paso Iterativo: *Dado* $p^k = [x^k; r^k] \in \mathcal{P}^b$, *y* $q^k = [x^k; 0] \in \mathcal{Q}^b$,

hallar $p_r^{k+1} = [x^{k+1}; r^{k+1}] \in \mathcal{P}^b$ *tal que:*

$$p_r^{k+1} \approx \arg\min\{\|p - q^k\|^2_D : p \in \mathcal{P}^b\}, \quad \textit{luego}$$

definir $p^{k+1} = p_r^{k+1}$, *and* $q^{k+1} \in \mathcal{Q}^b$

$$q^{k+1} = [x^{k+1}; 0] \equiv \arg\min\{\|p^{k+1} - q\|^2_D : \quad q \in \mathcal{Q}^b\}.$$

Para computar las proyecciones incompletas sobre $\mathcal{P}^b$ aplicamos el algoritmo Halpern-Lions-Wittmann- Bauschke(HLWB) [5]. Cuando HLWB es aplicado para resolver un sistema de desigualdades lineales consistente $\bar{S}y \leq \bar{c}$, la secuencia $\{y^k\}$ generada a partir de un punto inicial y^0 converge a una solución que satisface

$$\bar{y}^* = \arg\min\{\|y^* - y^0\|_D^2, \quad y^* \in \Re^n : \bar{S}y^* \leq \bar{c}\}.$$

Presentaremos el algoritmo $BIOP$ basado en el esquema básico, proponiendo una condición para aceptar una solución p_r^{k+1} en $\mathcal{P}^b$ que aproxime a la proyección exacta de manera tal de asegurar convergencia a una solución de (1)

RESULTADOS

Usaremos la notación:$\|x\|_D$ para la norma inducida por una matriz D definida positiva, $\mathbf{m}_i^T$ para referirnos a la fila i de una matriz M, $R(M)$ para el subespacio generado por las columnas de M, P_M and P_M^D para los proyectores ortogonales y oblicuos sobre $R(M)$, $R(M)^\perp$ para el subespacio D-ortogonal a $R(M)$ y $P_{M^\perp}^D$ para su correspondiente proyector.

Supondremos que el sistema $\bar{A}y = \bar{b}$, $\bar{A} \in \Re^{m\times n}$, $\bar{b} \in \Re^m$ es compatible y que cada fila de A tiene norma Euclídea igual a 1. Para cada restricción en el sistema denotaremos $L_i = \{y \in \Re^n : \bar{\mathbf{a}}_i^T y = \bar{b}_i\}$, $r_i(y) = \bar{\mathbf{a}}_i^T y - \bar{b}_i$, and the oblique projection of y onto L_i por

$$P_i^D(y) = y - \frac{r_i(y)}{\bar{\mathbf{a}}_i^T D^{-1} \bar{\mathbf{a}}_i} D^{-1}\bar{\mathbf{a}}_i. \tag{3}$$

Dado un sistema de m inecuaciones lineales

$$\mathcal{S} := \{y \in \Re^n : \ s_j^T y \leq c_j, \ j = 1, 2, \ldots, m\} \tag{4}$$

supondremos que tiene solución, denotaremos con S a la matriz del sistema y llamaremos y^* a cualquier solución admisible de $Sy \leq c$. Cuando z no pertenezca a algún semiespacio particular $\mathcal{S}_j$, es decir cuando $r_j = s_j^T z - c_j > 0$, la proyección exacta de z sobre $\mathcal{S}_j$ será calculada por $y_j = P_{\mathcal{S}_j}(z) = z + s_j(-r_j)/\|s_j\|^2$.

Tal como dijimos, para sistemas acotados, posiblemente inconsistentes, $Ax = b$, $x \in \mathcal{B}$, $A \in \Re^{m\times n}$, $b \in \Re^m$, $m \geq n$, trabajamos con el problema asociado

$$\min_{x\in\mathcal{B}} \|Ax - b\|_{D_m}^2. \tag{5}$$

Usando un esquema de proyecciones alternantes sobre los conjuntos $\mathcal{P}^b$ y $\mathcal{Q}^b$.

Dado $p^k \in \mathcal{P}^b$, y su proyección q^k sobre $\mathcal{Q}^b$, denotamos $p_{min}^D(q^k)$ a la proyección exacta de q^k sobre $\mathcal{P}^b$, solución del problema

$$\min\{\|p - q^k\|_D : \ \ p \in \mathcal{P}^b\}. \tag{6}$$

En el nuevo algoritmo, dado $q^k \in \mathcal{Q}^b$ reemplazamos el cálculo de $p^{k+1} = p_{min}^D(q^k)$, resolviendo en forma incompleta (6) y definiendo una proyección aproximada p_r^{k+1},

En [9] hemos presentado la teoría de proyecciones inexactas sobre el conjunto de soluciones de $Ax - r = b$. Para definir $p_r^{k+1} \approx p_{min}^D(q^k)$, consideraremos la siguiente:

Definición 1 *Si $\hat{p} = [z_j; \mu_j]$, $z \in \Re^n$, $\mu \in \Re^m$, es una solucón aproximada de $p_{min}^D(q^k)$, denotamos con $P^b(\hat{p}) = [z^b; r(z^b)]$, donde z^b es la proyección of z_j sobre $x_i \geq l_i$, o $x_i \leq u_i$, $i = 1, \ldots, n$, y $r(z^b) = Az^b - b$.*

Para que la sucesión $\{p^k\}$ generada por el nuevo algoritmo garantice convergencia a la solución de (5), establecemos la condición de aceptación que $\hat{p} = [z_j; \mu_j]$ debe cumplir

Definición 2 *Condición de Aceptación.*

Dada una sucesión $\{\beta_k\}$ *que tiende a* 0 *cuando* k *tiende a* ∞*, diremos que* $\hat{p_j} = [z_j; \mu_j]$ *es una aproximación aceptable de* $p^D_{min}(q^k)$ *si la proyección inexacta* $P^b(\hat{p}) = [z^b; r(z^b)]$*, satisface:*

$$(i)\|\hat{p_j} - T(p_{j-1})\|_D \leq \beta_k \|q^k - T(p_{j-1})\|_D \tag{7}$$

$$(ii)\|P^b(\hat{p_j}) - q^k\|^2_D < \|p^k - q^k\|^2_D, \text{y} \|P^b(\hat{p}) - \hat{p}\|^2_D \leq \gamma \|p^k - P^b(\hat{p})\|^2_D,\ 0 < \gamma < 1, \tag{8}$$

En ese caso aceptamos $p^{k+1}_r = P^b(\hat{p^j})$ como solución aproximada de $p^D_{min}(q^k)$.

Lema 1 *Si el problema (6) es resuelto mediante el algoritmo HWLB entonces es posible hallar un iterado* $\hat{p_j}$ *que satisfaga las condiciones (7) y (8).*

Algoritmo 2 *Bounded Incomplete Oblique Projections (BIOP)*

Inicialización: *Dado* $0 < \gamma < 1$*; una matriz diagonal, de orden* m*, definida positiva* D_m *y* $p^0 = [x^0; r^0]$*, con* $x^0 \in \mathcal{B}$*, y* $r^0 = Ax^0 - b$*;* $q^0 = [x^0; 0] \in \mathcal{Q}^b$ *y* $k = 0$.

Paso Iterativo: *Dado* $p^k = [x^k; r^k]$*, definimos* $q^k = [x^k; 0]$*,* $x^k \in \mathcal{B}$.

- Calculamos $\hat{p}$, aproximación de $p^D_{min}(q^k)$ que satisfaga las condiciones (7) y (8), aplicando HLWB como sigue: *Definimos* $y^0 = [z^0; \mu^0] = q^k$ *punto inicial. Iteramos hasta hallar* $\hat{p}^j = [z^j; \mu^j]$*,que satisfaga las condiciones (7) y (8).*
- Definimos $p^{k+1} == P^b([z^j, \mu^j]) = [x^{k+1}; r^{k+1}]$
- Definimos $q^{k+1} = [x^{k+1}; 0] \in \mathcal{Q}^b$.
- $k \leftarrow k + 1$.

Denominaremos con $L^{sq}_{D_m}$ al conjunto de soluciones del problema (1):

$$L^{sq}_{D_m} = \{x^* \in \mathcal{B} : \quad \text{tal que } r^* = Ax^* - b \text{ satisface } A^T D_m r^* = \mu^*,\} \tag{9}$$

con $\mu^*_i \geq 0$ si $x^*_i = l_i$, o $\mu^*_i \leq 0$, si $u_i = x^*_i$, o $\mu^*_i = 0$, cuando $l_i < x^*_i < u_i$.

Definimos $\mathcal{S}_{D_m} = \{p^* : p^* = [x^*; r^*] \in \mathcal{P}^b \text{tal que } \ x^* \in L^{sq}_{D_m}\}$

Lema 2 *Si* $\{p^k\} = \{[x^k; r^k]\}$ *es la sucesión generada por el Algoritmo 2, entonces*

(i) $p^k = [x^k; r^k]$ *y* $p^{k+1} = [x^{k+1}; r^{k+1}]$ *satisfacen*
$\|r^{k+1}\|^2_{D_m} \leq \|r^k\|^2_{D_m} - \|x^k - x^{k+1}\|^2$.

(ii) La sucesión $\{\|r^k\|_{D_m}\}$ *es decreciente y acotada y por tanto convergente*

(iii) Las 3 sucesiones que siguen tienden a 0
$\{\|p^{k+1} - p^k\|^2_D\}$,
$\{\|p^{k+1} - p^D_{min}(q^k)\|^2_D\}$ *y* $\{\|p^k - p^D_{min}(q^k)\|^2_D\}$.

(iv) La sucesión $\{A^T D_m r^k - \mu^k_{min}\}$ *tiende a zero, donde* μ^k_{min} *es el vector de los multiplicadores KKT asociado a las restricciones de cota en la solución del problema (6).*

(v) La sucesión $\{\mu^k_{min_i} * \min(x^k_i - l_i, u_i - x^k_i)\}$ *tiende a zero.*

Lema 3 *Si* $\{p^k\} = \{[x^k; r^k]\}$ *es la sucesión generada por el Algoritmo 2, entonces*

(i) Existe una subsucesión $\{p^k\}$, $\{p^{k_s}\} = \{[x^{k_s}; r^{k_s}]\}$*, satisfaciendo* $r^{k_s} = Ax^{k_s} - b$*, convergente a* $[\overline{x}; \overline{r}] \in \mathcal{S}_{D_m}$.

(ii) Todo punto límite de $\{p^k\}$*, está en* $\mathcal{S}_{D_m}$*.*

(iii) Si $\mathcal{S}_{D_m}$ *es un conjunto unitario, la sucesión* $\{[x^k; r^k]\}$ *converge a* p^**,* $p^* \in \mathcal{S}_{D_m}$*.*

PARTE EXPERIMENTAL

Hemos implementado nuestro algoritmo $BIOP$ en MATLAB con el fin de compararlo con el algoritmo $SBLS2$ para resolver problemas de mínimos cuadrados con restricciones de caja del sistema SSL(http://www.math.liu.se/ milun/sls). El algoritmo $SBLS2$ está basado en el método presentado en [1]. Nuestro método $BIOP$ está implementado en forma secuencial con $\gamma = 10^{-2}$ en la iteración inicial y $\gamma = 10^{-1}$ en las siguientes. La matriz D_m fue elegida como la matriz Identidad.El punto inicial fue siempre $x^0 = 0$. La condición de parada para ambos algoritmos es : $\mid \|r^{k+1}\| - \|r^k\| \mid < \epsilon \max(\|r^0\|, 1)$, con $\epsilon = 10^{-6}$. También se contempla parar cuando el residuo se estanca.

Algunos de los problemas usados en los test provienen de RRA(real,rectangular)de la colección Harwell-Boeing. Del paquete LSQ hemos trabajado con 4 matrices que presentan el mismo patrón WELL1033, ILLC1033(real,no simétrica, 1033 x 320), WELL1850 y ILLC1850 (real nosimétrica,1850 x 712)pero las segunda y cuarta muy mal condicionadas. Para problemas de grandes dimensiones hemos usado matrices densas generadas al azar con DQRT15(LAPACK), fijando el parámetro RKSEL = 2 a fin de que sean de rango deficiente. Indicamos con m el nde filas y n el número de columnas de A, con rango $= \frac{3}{4}\min(m, n)$.

Otros sistemas provienen de problemas de reconstruccón de imágenes provenientes de geotomografía y usados por Popa y Zdunek [8] y del paquete SNARK, problemas B1,B4 y B6 con $m \geq n$.

En la tabla 2 mostramos el número de iteraciones (**Iter**) y el tiempo de CPU ‘para alcanzar el criterio de convergencia. En la tabla 1 comparamos el número de iteraciones y tiempo

p	CPU/Iter		$R_E(p)$	
	BIOP	SBLS2	BIOP	SBLS2
B1 3452 x 1025	1.31/163	563.23/275	8.44	8.43
B6 896 x 625	0.37/275	213.58/307	3.80	3.80
Well 1033x322	0.25/382	29.2 /152	4362.7	4362.1
Illc 1033x322	0.75/678	19.3 /129	5188.2	5187.6
Well 1850x712	1.95/1728	814.4 /388	4757.8	4757.6
Illc 1850x712	6.7 /2297	214.2/240	5469.0	5468.6
A1 case (b) 144 x 144	0.01 /111	5.9 /186	0.5	0.7
A2 case (b) 900 x 900	0.39 /145	6741.4 /1120	2.9	2.9
Rand 40 x 20	0.06 /932	0.05 /9	4.76	4.76
Rand 500 x 300	0.06 /9	NC*/900	0.14	NC*

Table 1: BIOP-BVLS

p	CPU/Iter		$R_E(p)$	
	BIOP	SBLS2	BIOP	SBLS2
B1 3452 x 1025	1.77/163	1.95/6	8.44	8.45
B4 896 x 625	0.34/135	0.78/9	3.82	3.91
B6 896 x 625	0.55/216	0.77/9	3.80	3.91
B7 27376 x 9025	34.1/153	NC*/100	74.3	NC*
Well 1033 x 322	0.44/336	NC* /100	4346.9	NC*
Illc 1033x322	0.52/406	0.09 /10	5182.0	5155.0
Well 1850 x 712	0.55/225	0.05 /9	4679.6	4749.9
Illc 1850x712	0.61 /261	NC*/100	5845.2	NC*
A1 case (b) 144 x 144	0.02 /95	NC* /	0.70	NC*
A2 case (b) 900 x 900	0.75 /200	NC* /	2.90	NC*
Rand 2000 x 750	0.16 /43	0.40 /12	2.28e09	2.28e09
Rand 1200 x 760	0.05 /24	0.30 /13	3.58e07	3.58e07
Rand 1000 x 765	0.03 /20	NC* /100	6.25e07	NC*

Table 2: BIOP-SBLS2

de CPU en segundos requerido por SBLS2 para alcanzar un residuo $R_E(p)$, menor o igual al obtenido por BIOP cuando la tolerancia es $\epsilon = 10^{-6}$.Para BIOP reportamos el número de iteraciones internas. Indicamos con $NC*$ cuando el algoritmo no converge a una solución en la caja.

CONCLUSIONES

Hemos presentado resultados mostrando el comportamiento del algoritmo IOP cuando se incluyen restricciones de cota.Los resultados muestran que BIOP es más rápido que algoritmos conocidos y capaz de reducir el residuo más rápidamente.

Los resultados numéricos muestran la efectividad de BIOP respecto de SBLS2 ya que no falla en la convergencia

References

[1] M.Adlers, Sparse Least Squares Problems with Box Constraints, Linkping Universitet, Linkping, Sweden, 1998.

[2] J. A. Browne, G. T. Herman, D. Odhner, *SNARK93: A Programming System for Image Reconstruction from Projections*, Department of Radiology, University of Pennsylvania, Medical Image Processing Group, Technical Report MIPG198, 1993.

[3] Y. Censor and S. Zenios, "Parallel Optimization: Theory and Applications," Oxford University Press, New York, 1997.

[4] Y. Censor , *Computational acceleration of Projections algorithms for linear best approximation problem*, Linear Algebra and its Applications, **416** (2006), 111–123.

[5] P. L. Combettes, *Construction d'un point fixe commun a famille de contractions fermes*, C.R. Acad. Sci. Paris, Ser. I Math. 320 (1995).

[6] I. Csiszár and G. Tusnády, *Information geometry and alternating minimization procedures*, Statistics and Decisions, Supplement, **1** (1984), 205–237.

[7] Ortega, J.M. and Rheinboldt, W.C: Iterative Solution of Nonlinear Equations in Several Variables. Academic Press, New York and London (1970).

[8] C. Popa, R. Zdunek, *Kaczmarz extended algorithm for tomographic image reconstruction from limited-data*, Mathematics and Computers in Simulation, **65** (2004), 579–598.

[9] H. D. Scolnik, N. Echebest, M. T. Guardarucci, M. C. Vacchino, *Incomplete Oblique Projections for Solving Large Inconsistent Linear Systems*, Mathematical Programming B, **111** (2008), 273–300.

[10] Y. Xiao, D. Michalski, Y. Censor and J.M. Galvin, *Inherent smoothness of intensity patterns for intensity radiation therapy generated by simultaneous projection algorithms*, Phisics in Medicine and Biology **49** (2004), 3227–3245.

AUTOGLOSÓMETRO: DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO DE LA DISFAGIA

A. P. Laquidara[1,2], L. M. Zerbino[1,2,3], M. Noguera[1], N. Bogliacino[1]

1- Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Calle 1 y 47. (1900) La Plata - Buenos Aires - Argentina
2- Centro de InvestigacionesOpticas (CIOp) (CONICET-CICBA) C.C. 3 (1897) Gonnet
3- Facultad Regional La Plata. Universidad Tecnológica Nacional (UTN). Calle 60 y 126. (1900) La Plata
e-mail: polol@ciop.unlp.edu.ar

Las lesiones nerviosas que afectan la lengua, la boca, la faringe y la laringe pueden suceder en la evolución de los tumores, traumas locales o traumas craneales, esclerosis múltiple, encefalitis, etc. y pueden ocasionar desórdenes oro-faríngeos, patología comúnmente denominada Disfagia. Los métodos tradicionales para el tratamiento de la disfagia incluyen terapia del lenguaje convencional y los ejercicios orales, la educación del paciente, maniobras de deglución y ejercicios fisiológicos. Estimulación térmica (aplicación de frío a la zona de la garganta) ha sido de uso común. Alteraciones en la dieta y estrategias alimentarias también se usan de forma terapéutica para mejorar la eficiencia y la seguridad de la deglución. En la mayoría de los casos moderados a graves, era necesario emplear tubos para nutrir a los pacientes. En el Marco de los Proyectos 11/I130 y 11/I170 se concibió, diseñó y desarrolló con financiamiento de subsidio de la CIC-BA el prototipo conceptual de un aparato que hemos denominado AutoMioGlosómetro. El instrumento fue concebido para la rehabilitación, por medio de electro estimulación y biofeedback, de personas con dificultades en la deglución (disfagia). En un desarrollo previo realizado en el CIOp, denominado Automioestimulador, se implementó la técnica de bioretroalimentación para asistir en la rehabilitación de miembros superiores o inferiores a víctimas de accidentes cerebro vasculares (ACV). Mediante el mecanismo de entrenamiento cognitivo el paciente realiza un esfuerzo en el miembro sano y dispara el estímulo eléctrico sobre el parético, copiando los movimientos que intenta reproducir en este último. En el presente desarrollo se han sumado a estas funciones las de electro estimulación secuencial de dos pares de electrodos adhesivos colocados sobre la garganta. La finalidad de dichos electrodos es funcional y de entrenamiento a la deglución. Se adiciona a las funciones previas de electroestimulación disparada por el paciente, la del efecto agonista o de recompensa, que, frente a una intención de movimiento del miembro parético, o de intento de deglución, el electroestimulador acciona sobre el mismo grupo muscular para completar la acción deseada. La bioretroalimentación acelera la rehabilitación del paciente que suma a la electroestimulación convencional su participación activa y voluntaria.
El objetivo de este trabajo fue sintetizar en un aparato las herramientas para la evaluación y reeducación en personas con problemas de disfagia, por medio de electromiografía, estimulación eléctrica neuromuscular aplicada a la región de la garganta y el uso de sensores de presión para el gatillado del estímulo como técnicas no invasivas, actualmente usadas para tratar estas situaciones.
Al mismo tiempo este instrumento puede ajustarse a tratamientos en pacientes con otro tipo de musculatura en estado de atrofia como miembros superiores. De esta manera, basados en el aparato ya diseñado y denominado “Automioestimulador” se avanzó sobre el mismo y, se adaptó a tratamientos oro-faríngeos, es decir en pacientes con problemas en la deglución. El equipo prototipo se encuentra en evaluación en un centro de diagnóstico y tratamiento del Ministerio de Salud de la Provincia de Buenos Aires.

I. INTRODUCCIÓN Y ESTUDIOS PREVIOS

Las lesiones nerviosas que afectan la lengua, la boca, la faringe y la laringe pueden suceder en la evolución de los tumores, traumas locales o traumas craneales, esclerosis múltiple, encefalitis, etc. y pueden ocasionar desórdenes oro faríngeos, patología comúnmente denominada Disfagia.

Los métodos tradicionales para el tratamiento de la disfagia incluyen terapia del lenguaje convencional y los ejercicios orales, la educación del paciente, maniobras de deglución y ejercicios fisiológicos. La estimulación térmica (aplicación de frío a la zona de la garganta) ha sido de uso común. Alteraciones en la dieta y estrategias alimentarias también se usan de forma terapéutica para mejorar la eficiencia y la seguridad de la deglución. En la mayoría de los casos moderados a graves, es necesario emplear tubos para nutrir a los pacientes.

Los tratamientos actuales están evolucionando hacia nuevas prácticas, algunas de ellas con gran potencial aparente para impactar positivamente en la disfagia y acelerar la recuperación. La utilización de la NMES (estimulación eléctrica neuromuscular) está dando buenos resultados tanto en pacientes hospitalizados como ambulatorios. El uso de electromiografía (EMG) de superficie es otra modalidad útil, porque el conocer el nivel de actividad en sus músculos anima al paciente a tragar.

El objetivo de este trabajo fue sintetizar en un aparato las herramientas para la evaluación y reeducación de la deglución en personas con problemas de disfagia, por medio de electromiografía, estimulación eléctrica neuromuscular aplicada a la región de la garganta y el uso de sensores de presión para gatillado del estímulo como técnicas no invasivas, actualmente usadas.

Al mismo tiempo este instrumento puede ajustarse a tratamientos en pacientes con otro tipo de musculatura en estado de atrofia como miembros superiores.

De esta manera, basados en un aparato ya diseñado y denominado “Automioestimulador” se avanzó sobre el mismo y, se adaptó a tratamientos orofaríngeos, es decir en pacientes con problemas en la deglución.

II. MODOS DE FUNCIONAMIENTO

Con el objetivo de establecer los distintos modos de funcionamiento con que contaría el equipo, se realizaron entrevistas con distintos profesionales. Con la información obtenida de estas entrevistas más la información de otros equipos similares, se enmarcó lo que sería el prototipo a desarrollar.

El Autoglosómetro dispone de diversos modos de funcionamiento. Al emplearlo en diagnóstico, puede realizar Electromiografía (EMG) transcutánea en dos canales y presentar al paciente una indicación visual o auditiva de su esfuerzo muscular.

Esta información permite desarrollar un tratamiento que tenga como meta obtener niveles de esfuerzo muscular consignados por el profesional médico en un ciclo de retroalimentación o myofeedback.

Al aplicar electro estimulación el equipo puede realizarlo de varias maneras, con o sin intervención del paciente.

EMG (Electromiograma):

Es posible sensar la actividad muscular por medio de los potenciales de acción y de reposo que presentan tanto los músculos de la faringe y el músculo cricofaringeo como los demás miembros tratados. Esta técnica se utiliza en tratamientos de Biofeedback, donde el paciente ejercita su actividad, al mismo tiempo que puede visualizarla.

Se implementa el Biofeedback de tres formas distintas: auditiva por medio de un tono de frecuencia variable y proporcional al esfuerzo realizado por el paciente. Visual, por medio de barras de leds luminosos con niveles también proporcionales al esfuerzo realizado. Y una tercera con interface en la PC, representando las señales sensadas en función del tiempo, es decir permite representar dos canales simultáneos.

En este modo es posible realizar Biofeedback positivo, modalidad correspondiente al refuerzo de los músculos que se muestran débiles o con pereza (situando los electrodos comúnmente en los músculos suprahioideos). O Biofeedback negativo relacionado con los músculos hipertónicos que hay que enseñar al paciente a relajar (ejemplo típico el parkinson).

NMES (Estimulación Eléctrica Neuromuscular)

Es posible ejercitar los músculos, por medio de NMES. De este modo a lo largo de series de sesiones aplicadas, conseguir una mejor respuesta en las ondulaciones que involuntariamente se producen y que participan en la mecánica y que evocan el proceso de la deglución. Esta basado en series cíclicas de pulsos simétricos con forma de onda bifásica de frecuencia fija (80 Hz.) y de intensidad ajustable. Permite al clínico elegir la estimulación mas adecuada para el músculo a ser tratado. El objetivo es proveer el ajuste que proporcione calidad en la contracción muscular y reducción al mínimo de la fatiga.

EMG-ESTIM (Electromiograma y estimulación):

Combinación de Electro miógrafo (EMG) y Estimulador Eléctrico Neuromuscular. Este modo está basado en el precedente modo, y se sintetiza como Estimulación Eléctrica Neuromuscular controlada por mío-señales. Es decir sensado con un juego de electrodos en una musculatura sana y estimulación con el segundo juego de electrodos en la parética. La estimulación es disparada por el automiografo luego de fijado el umbral mínimo. De esta forma conseguimos interacción del paciente con el proceso de reeducación.

RECOMPENSA (efecto agonista):

Es también combinación de electromiógrafo y estimulación eléctrica, con umbral de disparo auto ajustable por nivel de esfuerzo. Cuando el paciente intenta incrementar la actividad eléctrica en el grupo de músculos afectados, el estímulo es aplicado al mismo grupo de músculos, cada vez que este umbral es superado por el esfuerzo del paciente, por medio del mismo juego de electrodos. Este estímulo contribuye a completar la acción iniciada por el paciente recompensando su esfuerzo.

BARO-ESTIM:

Disparo externo del estímulo con transductores de presión hinchables. El esfuerzo lingual esta sincronizado con el disparo de los electrodos estimuladores. El objetivo de este modo es tomar el momento de la deglución como gatillado del estímulo.

BAROFEEDBACK:

Utiliza una sonda de presión hinchable, permitiendo cuantificar la fuerza de apoyo de la lengua sobre el paladar por medio de traductores de presión cuya intensidad es mostrada en la PC en función del tiempo. Es una técnica de reeducación. Permite cuantificar el trabajo realizado por el paciente y objetiva sus progresos. Por ejemplo en el ejercicio de elevar el ápex de la lengua colocándola detrás de los incisivos superiores y llevándola hacia atrás en el movimiento de propulsión.

III. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROTOTIPO

En las Figuras 1 a 4 se muestran diferentes vistas del equipo, sus elementos de configuración y visualización, y sus conexiones con los electrodos de sensado y de estimulación.

La interfaz entre el equipo y la PC está conformada mediante:

- Un dispositivo LABJACK que tomas las señales del conector del equipo y las transmite a la PC a través del puerto USB.
- El software desarrollado a partir de una nota de aplicación que nos permite visualizar las señales de interés, de manera simultánea.



Figura 1. Vista de Frente

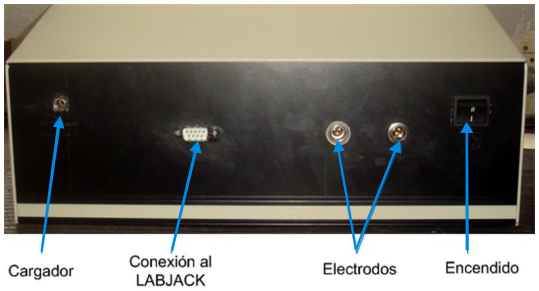


Figura 2. Vista Posterior

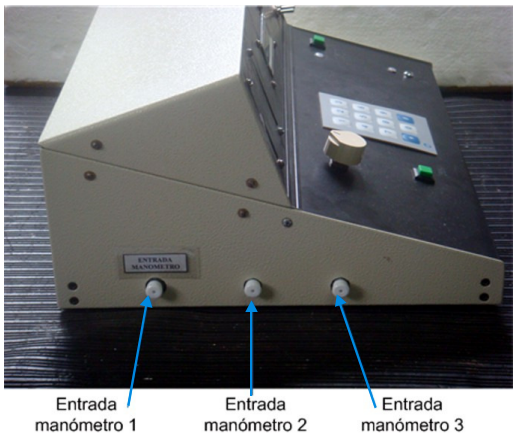


Figura 3. Vista lateral. Conexión de sensores



Figura 4. Autoglosómetro con periféricos conectados

Las Figura 5 muestran la interfaz funcionando con dos señales EMG de entrada. La Figura 6 muestra la interfaz funcionando con dos señales manométricas de entrada.

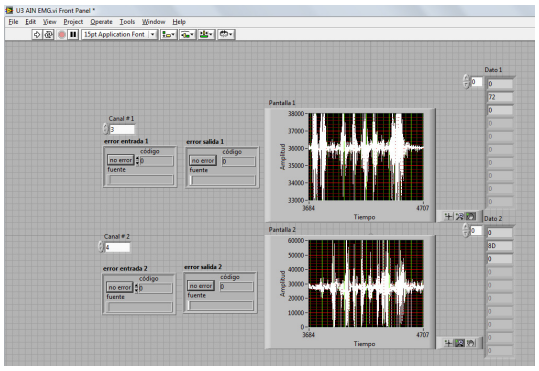


Figura 5. Interfaz para PC: 2 canales EMG o 3 canales de presión (Barofeedback)

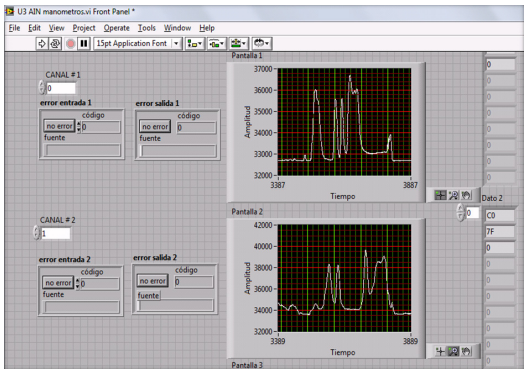


Figura 6. Señales manométricas captadas a través de la interfaz

IV. ESPECIFICACIONES GENERALES

Los parámetros que se tomaron para el diseño del estimulador eléctrico neuromuscular fueron los siguientes:

- Tensión de alimentación: Ventrada =5 Volt. (Batería de gel recargable 4Ah).
- Rango de salida de la fuente de alta tensión: 40<Vout<150 Volt. Imáx=40mA
- Salida con pulsos simétricos con forma de onda bifásica de 300useg de duración cada pulso.
- Rampa inicial de aproximadamente 1 segundo de duración.
- Frecuencia fija de 80 Hz.
- Intensidad ajustable. Para el modo “garganta” la corriente se limita a 25 mA máximo.
- Dos canales de estimulación secuenciales, no simultáneos.

En base a los parámetros dados la estimulación en el modo NMES consiste en trenes de pulsos bifásicos de 80 Hz. modulados en amplitud. Esta modulación genera en cada ráfaga lo que se conoce como rampa inicial de un segundo de duración y un tiempo muerto de 5 segundos. De esta forma cada ráfaga de pulsos va incrementando gradualmente su amplitud hasta llegar al valor máximo ajustado, este valor se mantiene hasta el final del tiempo de estimulación. Luego se incluye un periodo de tiempo sin aplicación de pulsos.

En la Figura 7 se muestra esquemáticamente el incremento de amplitud de los pulsos. Cada valor se repetirá durante 250 milisegundos hasta alcanzar la tensión máxima ajustada.

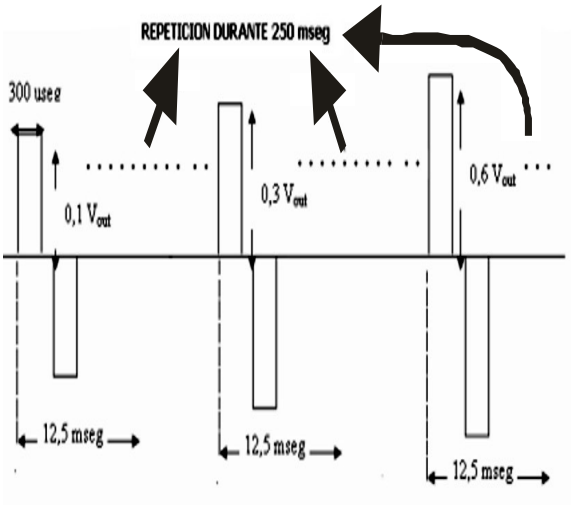


Figura 7. Tren de pulsos en la salida del estimulador: los pulsos incrementan su amplitud gradualmente hasta llegar a Vout Max

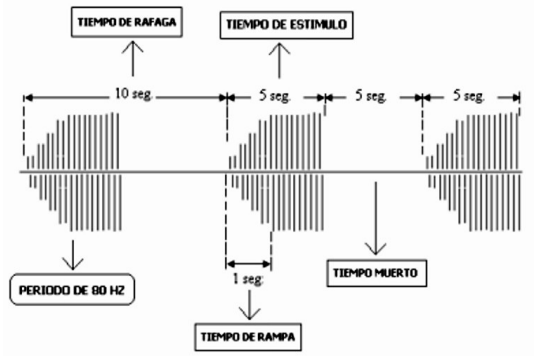


Figura 8. Ráfagas de pulsos aplicados: cada ráfaga presenta un tiempo de rampa inicial de 1 segundo, una duración activa de 5 segundos y un tiempo muerto de 5 segundos.

V. INTERFAZ CON EL USUARIO.

Los distintos modos de funcionamiento del Autoglosómetro, le permiten ser un aparato apto para uso en diferentes tipos de pacientes. Los operadores podrán ser enfermeros, médicos, fonoaudiólogos o distintos especialistas. Por ello, para poder ser configurado, el equipo posee una interfaz clara y de fácil manejo, que permite la programación paso a paso y el control en todo momento de sus prestaciones.

Visor de caracteres LCD.

Fue utilizado un visor de caracteres (display) como interfaz visual entre el aparato y el usuario. De esta manera el usuario recibe mensajes y es orientado a lo largo de la programación y operación del aparato.

Teclado Numérico 3x4.

Para que el software implementado capte las órdenes del usuario se utilizó un teclado numérico de tres por cuatro líneas. El usuario tiene un mensaje claro de cómo y en qué momento intervenir.

Perilla de control de intensidad de corriente aplicada (10 vueltas)

Dos barras de 10 leds indicadoras del esfuerzo muscular (habilitadas individualmente por canal)

Indicador de estímulo (Led y zumbador)

Zumbador de frecuencia proporcional al esfuerzo

Interruptor general de procesos

Pulsador de prueba de carga de batería.

Electrodos EMG: 2 juegos de dos electrodos autoadhesivos y uno de referencia.

Electrodos de estimulación: los mismos juegos de electrodos que para EMG.

Barofeedback: 3 canales con almohadillas hinchables de látex, en un bloque o separadas.

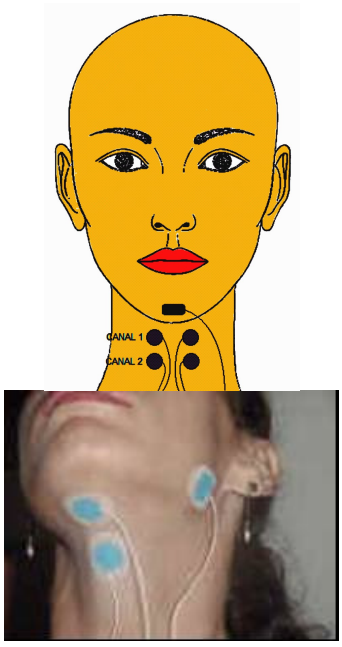


Figura 9. Colocación de los electrodos en la garganta para sensado: (EMG) o estimulación secuencial: (EMG-Estim) y Recompensa.

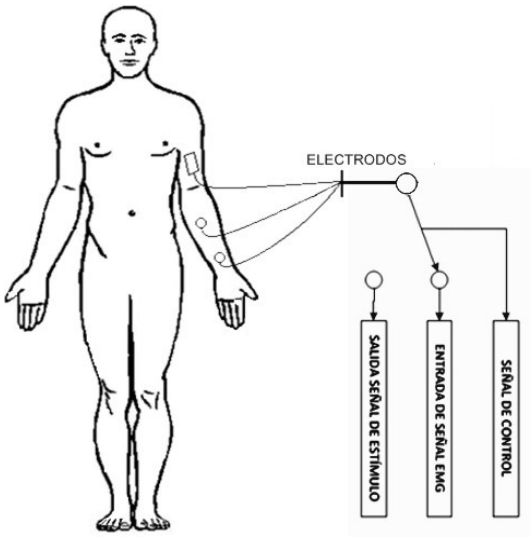


Figura 10. Colocación de los electrodos en mimbro superior. Modo recompensa.

VI. CONCLUSIONES:

Respecto al proyecto en sí, en las etapas desarrolladas en el presente trabajo se logró:

- ✓ En el modo NMES llegar a una estimulación eléctrica en donde se aplican impulsos rectangulares bifásicos simétricos con una rampa inicial tal cual había sido proyectado. Los pulsos serán mejor tolerados y producirán menos efecto irritativo en la piel que los rectangulares monofásicos.
- ✓ En el modo Baro-Stim se consiguió la integración de dos técnicas muy usadas en tratamientos para la disfagia: Estimulación eléctrica neuromuscular y manométrica. Por lo que el aparato representa una novedosa herramienta de trabajo para médicos especialistas.
- ✓ Finalmente en el modo EMG-Stim se logró mejorar el impacto que se produce en los tejidos en cada inicio de ráfaga de estimulación con lo cual este modo de funcionamiento sería mejor tolerado por los pacientes.

Como resultado del análisis, diseño y construcción, se obtuvo un prototipo denominado "AUTOGLOSOMETRO". Este prototipo debe ser ensayado en unidades hospitalarias para realizar una calibración final, de modo de poder ajustar algunos parámetros y lograr un funcionamiento óptimo del mismo.

Además de estos resultados, se logró el entrenamiento de dos alumnos de Ingeniería, que con ello aprobaron su Trabajo Final de Carrera.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la CIC-BA el subsidio para la concreción de este proyecto y al equipo médico del Hospital Rossi de La Plata por su apoyo y asesoramiento.

Referencias

1 - Schellman, J.A. Physic Review B, **14**, 999-1018 (1975).

2 - Imoto, T., L.N. Johnson, A.C.T. North, D.C. Phillips and J.A. Rupley. in "Physics", Boyers, P.D., Ed., Academic, New York (1972).

3 - "Disfagia. Evolución y preeducación de los trastornos de la deglución", Didier Bleeckx, (2004).

4 - Patente: "Treatment of oropharyngeal disorders by application of neuromuscular electrical stimulation", Pub. Nº US 2004/0220645 A1, Pub. Date: Nov.4, 2004. (US).

5 - Información publicada por fabricantes de equipos:

http://www.haynl.de/?language=eng&site=main/start

http://www.stelec.com/pdf/danmeter/Elpha%20II%203000%20Nota%20apl.0304.pdf

http://www.thoughttechnology.com/myotracin.htm

http://www.empi.com/empi_products/detail.aspx?id=222

6 - Trabajos Finales FI-UNLP:

"Nuevas Técnicas de Biofeedback para tratamiento de Discapacidad y Minusvalía". Autores: Ing. C. Lagraña e Ing E. Yedynak. Directores: Ing. Laquidara e Ing. A. Bava

"Autoglosómetro". Autores: Ing. María Noguera e Ing. Nicolás Bogliacino. Directores: Ing. A. P. Laquidara y Dr. L. M. Zerbino

ANSATZ PARA EL ESTADO FUNDAMENTAL DE LA ECUACIÓN DE SCHRÖEDINGER CON UN CAMPO DE FUERZAS CENTRALES

Flego, Silvana P. y Torroba, Patricia L.

Grupo de Investigación Teórica y Aplicada en Teoría de la Información (GTyATI).
Área Departamental de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería,
Universidad Nacional de La Plata (UNLP).
1 y 115 s/n, (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina.
flego@fisica.unlp.edu.ar

Resumen

Recientemente fue propuesto un procedimiento, basado en la conexión existente entre la ecuación de Schrödinger (SE) y la Medida de Información de Fisher (FIM), que permite obtener un ansatz para las autofunciones del estado fundamental de una SE unidimensional, no relativística, cuyo potencial es convexo. La técnica fue utilizada con éxito para tratar modelos que incorporan potenciales convexos simétricos. En esta comunicación exploramos la potencia predictiva de ese formalismo en una situación no-simétrica. Específicamente, abordamos el problema de campos de fuerzas centrales y en particular, hallamos un ansatz para las autofunciones del estado fundamental de la ecuación radial del átomo de hidrógeno.

Palabras claves: Teoría de la Información, Medida de Fisher, Estructura de Legendre.

1. Introducción

La importancia de abordar el problema de campos de fuerzas centrales radica en que uno de los sistemas cuánticos de mayor interés son los átomos y éstas son las fuerzas que en ellos mantienen unidos a los núcleos y los electrones. Como es bien conocido, la naturaleza central del potencial permite reducir el problema tridimensional a un problema unidimensional para la coordenada radial [1]. Es necesario notar que, a pesar de la importancia de estos sistemas, en general, no se conoce la solución analítica explicita de las autofunciones, ni de las correspondientes autoenergías, de la ecuación de Schröedinger que gobierna al sistema, por lo que es necesario recurrir a cálculo numérico computacional o a teoría de perturbaciones.

Por otra parte, es bien conocido que existe una íntima conexión entre la medida de información de Fisher (FIM) y la ecuación de onda de Schröedinger (SE), la cual surge cuando el proceso de optimización de la FIM conduce a una ecuación tipo SE [2–6]. Emergen luego, una serie de intrigantes relaciones entre estos escenarios. En particular, teoremas puramente cuánticos, como el teorema del Virial y el Teorema de Hellmann-Feynman pueden ser reinterpretados como un tipo especial de relaciones de reciprocidad entre relevantes cantidades físicas [8], similar a aquella exhibidas por el formalismo termodinámico vía sus propiedades de invariancia de Legendre [2-7]. Este hecho demuestra que una estructura de transformada de Legendre subyace la SE no-relativística [8] y a permitido introducir en la literatura, una serie de importantes nuevos resultados [9-16,18]. Destacamos entre ellos, por su vinculación con la presente comunicación, la inferencia de un ansatz para las autofunciones del estado fundamental de aquellas SE conteniendo un potencial convexo [16,18] La técnica fue exitosamente utilizada para tratar modelos que incorporan potenciales convexos simétricos [16,19,20]. Para modelos no-simétricos, la propuesta es incorporar en la teoría un potencial efectivo que implícitamente de cuenta del grado de asimetría del potencial [17]. En esta comunicación mostramos como puede ser implementado el procedimiento para abordar el problema de campos centrales simétricos. En particular, tratamos con la ecuación radial del átomo de hidrógeno, ya que representa dentro de la familia de campo de fuerzas centrales, el modelo fundamental más universal en la Física Moderna.

2. Breve reseña

2.1. Movimiento en un campo central simétrico

En la mecánica cuántica, de forma análoga al escenario clásico, el problema del movimiento de dos partículas que interaccionan mutuamente puede reducirse al problema de una sola partícula [1]. Consideremos un sistema formado por dos partículas de masas m_1 y m_2 que se encuentran a una distancia r e interaccionan según la ley $U(r)$. La ecuación de Schrödinger tendrá la forma

$$\hat{H}\,\Psi(\vec{r}_1,\vec{r}_2) = E^T\Psi(\vec{r}_1,\vec{r}_2)\ , \qquad \hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m_1}\Delta_1 - \frac{\hbar^2}{2m_2}\Delta_2 + U(r) \tag{1}$$

donde Δ_1 y Δ_2 son los operadores de Laplace relativos a las coordenadas de las partículas. Definiendo la masa del sistema M, la posición del centro de masa del sistema $\vec{R}$, la masa reducida m y la posición relativa de las partículas $\vec{r}$ en la forma habitual, el hamiltoneano se transforma en la suma de dos partes independientes

$$H = H_R + H_r = -\frac{\hbar^2}{2M}\Delta_R - \frac{\hbar^2}{2m}\Delta + U(r) \tag{2}$$

donde Δ_R y Δ son los operadores de Laplace relativos a las componentes de los vectores $\vec{R}$ y $\vec{r}$, respectivamente. Las autofunciones $\Psi(\vec{r}_1,\vec{r}_2)$ se pueden buscar como el producto de dos autofunciones $\Psi(\vec{r}_1,\vec{r}_2) = \varphi(\vec{R})\,\psi(\vec{r})$, donde la función $\varphi(\vec{R})$ describe el movimiento del CM como el de una partícula libre de masa M, y la función $\psi(\vec{r})$ describe el movimiento de una partícula de masa m en un campo central $U(r)$,

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m}\Delta + U(r)\right]\psi(\vec{r}) = E\,\psi(\vec{r}) \tag{3}$$

Dada la simetría central, es conveniente expresar (3) en coordenadas esféricas. Luego,

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\left[\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial}{\partial r}\right) - \frac{1}{r^2}\hat{L}^2\right]\psi(\vec{r}) + U(r)\psi(\vec{r}) = E\,\psi(\vec{r}) \tag{4}$$

donde $\hat{L}^2$ es el cuadrado del módulo del momento angular expresado en las mismas coordenadas. Dado que cuando el movimiento tiene lugar en un campo central, $\hat{L}$ se conserva, podemos considerar los estados estacionarios en los cuales el momento y su proyección L_z tienen valores determinados. De acuerdo con esto se buscan soluciones de la ecuación anterior de la forma

$$\psi(\vec{r}) = R(r)Y_{lm}(\theta,\varphi) = \frac{1}{r}\chi(r)\,Y_{lm}(\theta,\varphi) \tag{5}$$

Por ser las $Y_{lm}(\theta,\varphi)$ funciones propias del momento, satisfacen

$$\hat{L}^2\,Y_{lm}(\theta,\varphi) = l(l+1)\,Y_{lm}(\theta,\varphi) \tag{6}$$

y se obtiene para la función radial $\chi(r)$ la siguiente ecuación

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dr^2} + \frac{\hbar^2}{2m}\frac{l(l+1)}{r^2} + U(r)\right]\chi(r) = E\,\chi(r) \tag{7}$$

Excluyendo la posibilidad de que la partícula "caiga" en el centro de fuerzas, es decir, considerando que si $U(r)$ tiende a infinito cuando $r \to 0$, lo hace más lentamente que $1/r^2$, la función de onda, y por tanto la densidad de probabilidad, se conservan finitas en todo el espacio (incluyendo a $r = 0$). Luego tendremos que

$$\chi(r) = r\,R(r) \xrightarrow{\ r\to 0\ } 0$$

La ecuación (7) coincide por su forma con la ES para el movimiento unidimensional en un campo con energía potencial

$$U_l(r) = U(r) + \frac{\hbar^2}{2m}\frac{l(l+1)}{r^2} \tag{8}$$

De esta forma, el problema del movimiento en un campo central se reduce a un problema de movimiento unidimensional en una región limitada por uno de sus lados,

$$\textit{Condición de frontera :} \qquad \chi(0) = 0 \tag{9}$$

La condición de normalización también tiene carácter unidimensional,

$$\int_o^\infty |R|^2 r^2 dr = \int_o^\infty |\chi|^2 dr = 1 \tag{10}$$

2.2. La Medida de Fisher

Trataremos con sistemas invariantes por traslación. Sea *x* una variable estocástica y sea $f(x) = |\psi(x)|^2$ la función densidad de probabilidad (PDF) para esta variable. En este contexto, la expresión de la FIM es dada por [2]

$$I = \int f(x)\left[\frac{\partial \ln f(x)}{\partial x}\right]^2 dx = 4\int \left|\frac{\partial \psi(x)}{\partial x}\right|^2 dx \; ; \qquad f = |\psi|^2 . \tag{11}$$

Consideremos un sistema especificado por un conjunto de *M* parámetros físicos μ_k.

$$\mu_k = \langle A_k \rangle = \int dx\, A_k(x) f(x), \qquad k = 1,\ldots,M. \tag{12}$$

El conjunto de los valores μ_k es considerado como el primer conocimiento (información empírica disponible). La PDF *físicamente relevante* minimiza la FIM condicionada al "primer conocimiento" (12) y a la condición de normalización $\int dx\, f(x) = 1$. Consecuentemente, introduciendo (*M+1*)-multiplicadores de Lagrange λ_k ($\lambda_0 = \alpha$), el problema de optimización

$$\delta\left(I - \alpha\int dx f(x) - \sum_{k=1}^{M}\lambda_k \int dx\, A_k(x) f(x)\right) = 0, \tag{13}$$

conduce a una ecuación diferencial para la deseada $f(x)$ la cual, escrita en términos de la amplitud $\psi(x)$ es de la forma [3]

$$\left[-\frac{1}{2}\frac{\partial^2}{\partial x^2} + U(x)\right]\psi(x) = \frac{\alpha}{8}\psi(x), \qquad f(x) = |\psi(x)|^2 , \qquad U(x) = -\frac{1}{8}\sum_{k=1}^{M}\lambda_k A_k(x), \tag{14}$$

y es interpretada como una Ecuación de Schrödinger (SE) para una partícula de masa unidad ($\hbar = 1$) moviéndose en un "pseudo-potencial informacional" efectivo $U(x)$ en el cual el multiplicador de Lagrange asociado a la normalización juega el rol de un autovalor de energía ($E = \alpha / 8$) y los λ_k son determinados por medio de la información disponible [3].
Para escenarios unidimensionales, $\psi(x)$ es real [1] y se tiene

$$I = \int \psi^2 \left(\frac{\partial \ln \psi^2}{\partial x}\right)^2 dx = 4\int \left(\frac{\partial \psi}{\partial x}\right)^2 dx = -4\int \psi \frac{\partial^2}{\partial x^2}\psi\, dx \tag{15}$$

Luego, usando las expresiones (14) y (15) se encuentra una simple y conveniente expresión para la FIM,

$$I = \alpha + \sum_{k=1}^{M}\lambda_k \langle A_k \rangle . \tag{16}$$

La conexión entre la solución variacional *f* y la termodinámica fue establecida en términos de las típicas relaciones de reciprocidad (RR) de Legendre [7]. Estas constituyen el formal y esencial ingrediente termodinámico [17] y pueden ser re-derivadas '*a la Fisher*' escribiendo (16) en una forma que enfatice el rol de las variables independientes relevantes,

$$I(\langle A_1\rangle,\ldots,\langle A_M\rangle)=\alpha+\sum_{k=1}^{M}\lambda_k\langle A_k\rangle. \tag{17}$$

La transformada de Legendre cambia la identidad de las variables independientes relevantes. Así, para el multiplicador de Lagrange α, que juega el rol de una autoenergía en (14), tenemos

$$\alpha(\lambda_1,\ldots,\lambda_M)=I-\sum_{k=1}^{M}\lambda_k\langle A_k\rangle. \tag{18}$$

Luego, desde estas preliminares, se encuentran de forma trivial, las tres RR [3]

$$\frac{\partial\alpha}{\partial\lambda_k}=-\langle A_k\rangle\ ; \qquad \frac{\partial I}{\partial\langle A_k\rangle}=\lambda_k\ ; \qquad \frac{\partial I}{\partial\lambda_i}=\sum_{k}^{M}\lambda_k\frac{\partial\langle A_k\rangle}{\partial\lambda_i}, \tag{19}$$

siendo la última una generalización del teorema de Euler.

Resulta muy interesante el hecho que las RR pueden ser re-derivadas a partir de fundamentos puramente cuánticos [8] a partir del teorema del Virial y del teorema de Hellmann-Feynman, mostrando que una estructura de Legendre subyace la unidimensional SE [8].
Una serie de importantes resultados han sido derivados a partir de este resultado [9-16]. Es nuestro interés actual hacer referencia a la inmediata consecuencia de poder inferir, para una amplia variedad de potenciales, un ansatz para la PDF y por tanto, para la función de onda del estado fundamental de la SE [16,18].

2.3. Ansatz para inferir la PDF de potenciales convexos

Una de las consecuencias directas de la estructura de Legendre subyacente en la SE, es que cuando el potencial que interviene en la teoría es una función *convexa simétrica*, es posible inferir un ansatz, libre de parámetros, para la autofunción correspondiente al estado fundamental de la SE [18]. El procedimiento es el siguiente.

Sea $U(x)$ un potencial convexo simétrico que alcanza su valor mínimo en el punto crítico $x_c=\xi$. Efectuando una transformación de traslación $u=x-\xi$ y denotando con barra las magnitudes referidas al nuevo referencial, tenemos

$$\bar{U}(u)=U(u+\xi)=U(x)\,, \qquad \bar{f}(u)=f(u+\xi)=f(x), \tag{20}$$

Debido a la invariancia traslacional de la FIM [2] $I=\bar{I}$, esta se puede expresar virialmente como,

$$I=-4\left\langle\frac{\partial^2}{\partial u^2}\right\rangle=4\left\langle u\frac{\partial\bar{U}}{\partial u}\right\rangle \qquad\rightarrow\qquad \int du\,\bar{f}(u)\left(\frac{\partial\ln\bar{f}(u)}{\partial u}\right)^2=4\int du\,\bar{f}(u)\,u\frac{\partial}{\partial u}\bar{U}(u) \tag{21}$$

Note que, si $U(x)$ es un potencial convexo simétrico respecto de $x_c=\xi$, se tiene que en el nuevo referencial, $\bar{U}(u)$ es un potencial convexo par,

$$\forall u\in Dom(\bar{U}), \qquad u\frac{\partial}{\partial u}\bar{U}(u)\geq 0. \tag{22}$$

Luego, se infiere el ansatz $\bar{f}_A$ que, por construcción, verifica (21). Simplemente se pide que

$$\left(\frac{\partial\ln\bar{f}_A(u)}{\partial u}\right)^2=4\,u\frac{\partial}{\partial u}\bar{U}(u) \tag{23}$$

y se obtienen dos soluciones independientes, las cuales expresadas en el referencial original $x=u+\xi$, son dadas por

$$f_A^{\pm}(x)=A\,\exp\left(\pm 2\int dx\sqrt{(x-\xi)\frac{\partial}{\partial x}U(x)}\right) \tag{24}$$

La ec.(24) proporciona una herramienta para construir un ansatz para la PDF relatada a *potenciales convexos simétricos* respecto del punto crítico $x_c=\xi$.

Cuando el potencial es simétrico, es de esperar que la PDF sea simétrica y presente su valor máximo donde el potencial es mínimo. Este concepto intuitivo permite aceptar de forma natural la relación local (23) e inferir el ansatz. Cuando el *potencial no es simétrico*, la (23) ya no es aceptable. En [18] se propone introducir un potencial efectivo $U_{ef}(x)$ y tratar con el de forma análoga al caso simétrico. En la próxima sección vamos a mostrar como puede esto ser realizado.

3. Ansatz para las autofunciones del Átomo de Hidrógeno

Consideremos el movimiento del electrón en el átomo de hidrógeno. Suponiendo que el núcleo no se mueve, este problema se reduce al del movimiento de una partícula en un campo coulombiano de atracción y su SE radial es dada por (7)

$$\left[\frac{\hbar^2}{2m}\left(-\frac{d^2}{dr^2}+\frac{l(l+1)}{r^2}\right)+U(r)\right]\chi(r)=E\,\chi(r), \qquad \text{con} \quad U(r)=-\frac{e^2}{r} \tag{25}$$

Definiendo

$$r=a_o x, \qquad E=EE_H, \qquad \chi(r)=\chi(a_o x)\equiv\psi(x), \qquad con \quad a_o=\frac{\hbar^2}{me^2}, \quad E_H=\frac{me^4}{\hbar^2}$$

la SE radial para el átomo de hidrógeno en unidades atómicas se escribe como

$$\left[-\frac{1}{2}\frac{d^2}{dx^2}+U_l(x)\right]\psi(x)=\mathrm{E}\,\psi(x), \qquad U_l(x)=\frac{l(l+1)}{2x^2}-\frac{1}{x} \tag{26}$$

Comenzamos asociando a la ES (26) una FIM [10] y establecemos que el estado fundamental tiene asociada una PDF $f(x)=\psi_o^{\,2}(x)$. Luego, procedemos a estudiar el potencial,

Para todos los valores de *l*, el potencial es no-simétrico. Para $l\neq 0$ el potencial presenta un mínimo absoluto en $x_c=l(l+1)$. No obstante, para $l=0$, el potencial es una función estrictamente creciente. Esto nos sugiere considerar un potencial efectivo conteniendo una adicional contribución centrífuga. Proponemos

$$U_{l,ef}(x)=U_l(x)+\frac{\lambda_l}{2x^2}=\frac{l(l+1)+\lambda_l}{2x^2}-\frac{1}{x} \tag{27}$$

Dado que $U_{l,ef}(x)$ presenta un mínimo absoluto en $\xi_l=l(l+1)+\lambda_l$, podemos usar (24) para inferir un ansatz para la autofunción del estado fundamental de la SE. Luego,

$$f_A(x)=\psi_A^{\,2}(x) \qquad \rightarrow \qquad \psi_A(x)=A\,exp\left(\pm\int dx\sqrt{(x-\xi_l)\frac{\partial}{\partial x}U_{l,ef}(x)}\right) \tag{28}$$

$$\psi_A(x)=A\,exp\left(\pm\int dx\sqrt{(x-\xi_l)\left(-\frac{\xi_l}{x^3}+\frac{1}{x^2}\right)}\right) \tag{29}$$

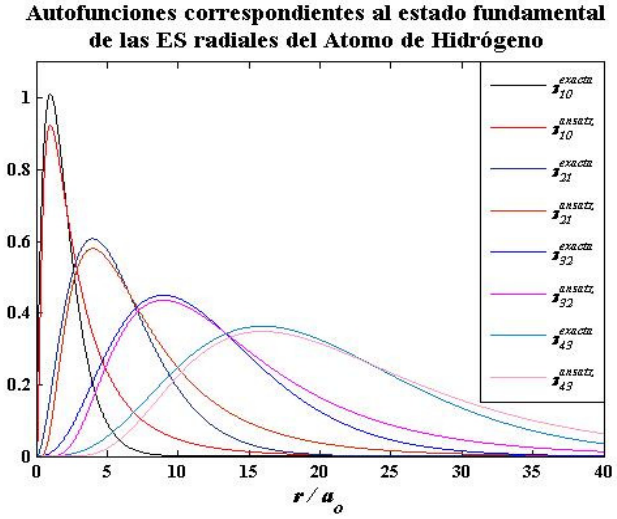
Finalmente, una integración elemental conduce a

$$\psi_A(x)=N\,exp\left(-\frac{2}{\sqrt{x}}(x+\xi_l)\right) \tag{30}$$

donde el signo de la exponencial es elegido de manera de satisfacer las condiciones de contorno *y N* es la constante de normalización.

El conocimiento a-priori que en el estado fundamental la probabilidad de encontrar al electrón en la órbita determinada por el radio de Bohr $r=a_o$ ($x=1$) es máxima, nos sugiere elegir $\lambda_o=1$. En general, proponemos $\lambda_l=l+1$ y tenemos $\xi_l=(l+1)^2$.

En la figura están graficadas la autofunción exacta del estado fundamental de la SE radial [26] y la correspondiente autofunción-ansatz (30) para valores de *l =0,1,2,3*. Como el lector puede observar, el ansatz es una buena aproximación a la autofunción radial exacta.



4. Conclusiones

A partir de la conexión Fisher-Schröedinger obtuvimos un ansatz para las autofunciones correspondiente al estado fundamental de la ecuación radial del átomo de hidrógeno. Consideramos que, a pesar de la necesidad de recurrir al conocimiento previo relacionado con la posición de los orbitales del electrón, estamos frente a una poderosa herramienta para abordar situaciones no-simétricas.

Bibliografía

1. W. Greiner and B. Müller, *Quantum mechanics. An Introduction*. (Springer, Berlin, 1988).
2. B. R. Frieden, *Science from Fisher Information: A Unification* (Cambridge, University Press; Cambridge,2004).
3. B. R. Frieden, A. Plastino, A. R. Plastino, B. H. Soffer, Phys. Rev. E **60** (1999) 48-53.
4. M. Reginatto, Phys. Rev. E **58** (1998)1775.
5. S. P. Flego, A. Plastino and A.R. Plastino: Condensed Matter Theories 18. Nova Science Publishers. Inc.USA.(2003) 245-258, and ref. cited therein.
6. S. P. Flego, B. R. Frieden, A. Plastino, A. R. Plastino, B. H. Soffer, Phys. Rev. E **68** (2003) 016105.
7. S. P. Flego, F. Olivares, A. Plastino and M. Casas. Entropy, **13** (2011) 184.
8. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino, Physica A **390** (2011) 2276-2282.
9. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino, Physica A **390** (2011) 4702-4712.
10. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino, Ann. Phys. (N.Y.) **326** (2011) 2533-2543.
11. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino, J. Math. Phys. **52** (2011) 082103.
12. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino, J. Modern Phys. **2** (2011) 1390.
13. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino. IRJPC **2** (1) (2011) 25-54.
14. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino. Entropy **13** (2011)2049-2058.
15. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino: Cent. Eur. J. Phys. **10**(2) (2012) 390-397.
16. S. P. Flego, A. Plastino and A. R. Plastino, Phys. Scr. **85** (2012) 055002(7pp).
17. A. Desloge , *Thermal Physics* (Holt, Rinehart and Winston, New York, 1968).
18. Flego, Silvana P.: *Ansatz libre de parámetros para obtener la función de distribución de probabilidades de Fisher de potenciales convexos,* en: *Actas de las Segundas Jornadas de Investigación y Transferencia*, Fac. de Ingeniería, Universidad Nacional de la Plata (UNLP), 2013.
19. Flego, Silvana P., Uriona, Hugo N.: *Autofunción-ansatz para el estado fundamental de la ecuación de Coffey-Evans,* en: *Actas de las Segundas Jornadas de Investigación y Transferencia*, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de la Plata (UNLP), 2013.
20. Flego, Silvana P., Palacio, Luis E.:*Ansatz libre de parámetros para inferir el estado fundamental de la ecuación de Mathieu,* en: *Actas de las Segundas Jornadas de Investigación y Transferencia*, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de la Plata (UNLP), 2013.

ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LA TRANSFERENCIA DE IMÁGENES POR MEDIOS GRIN MEDIANTE LA FUNCIÓN MTF Y LA TRANSMISIÓN ESPECTRAL

María A. Corti [1,2], Lía M. Zerbino [2,3], y Mario Garavaglia [1,2]

1. Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata (UNLP) calle 49 y 115, CP 1900, La Plata, Argentina.
2. Centro de Investigaciones Opticas (CCT-CONICET La Plata y CIC)
3. Facultad de Ingeniería, UNLP, La Plata, Argentina.

e-mail: agustinac@ciop.unlp.edu.ar

Palabras clave: Propagación de imágenes, medio GRIN, Funciones de Transferencia de Modulación (MTF) y Espectral (STF).

Introducción

Una lente de un material no homogéneo, en el que hay un GRadiente en el ÍNdice de refracción, se conoce como lente GRIN. Los medios ópticos GRIN son una consecuencia del desarrollo de las fibras ópticas de índice de refracción radialmente variable en forma cuadrática inventado por Teiji Uchida, en 1969. Cuando la luz se propaga a través de un medio no homogéneo, los frentes de onda disminuyen su velocidad en zonas ópticamente más densas y la incrementan en zonas de menor densidad, lo cual provoca cambios en su curvatura. Por ello, un rayo que se propaga próximo al eje del medio GRIN recorre un camino geométrico corto a baja velocidad, mientras que aquél que lo hace lejos del eje describe un camino geométrico largo a alta velocidad. Por lo tanto, la variación de camino se puede compensar con la variación de velocidad.

El perfil radial del índice de refracción en esta fibra viene dado, en general, por

$$n(r)=\begin{cases} n_1(r)=n_1\left[1-2\Delta\left(\frac{r}{a}\right)^{\alpha}\right]^{1/2} \rightarrow r<a(núcleo) \\ n_2(r)=n_1\left[1-2\Delta\right]^{1/2} \rightarrow r\geq a(revestimiento) \end{cases}$$

donde *n(r)* es el índice a lo largo del eje de la fibra, α la potencia que determina la forma del perfil, denominada parámetro del perfil, y Δ la variación relativa de índice en el eje y en el revestimiento. $\Delta=\frac{n_1^2-n_2^2}{2n_1^2}\cong\frac{n_1-n_2}{n_1}$

Para $\alpha=1$, el perfil es lineal, para $\alpha=2$, el perfil es cuadrático o parabólico, etc.

Cuando $\alpha\rightarrow\infty$, el perfil *n(r)* tiende a la función escalón la fibra se convierte en homogénea. Estas situaciones se representan en la Fig.1.

El perfil radial de la fibra puede hacer igualar el camino óptico de rayos con diferentes longitudes de trayectorias, ya que la velocidad de la luz es mínima en el centro y crece gradualmente con la distancia radial.

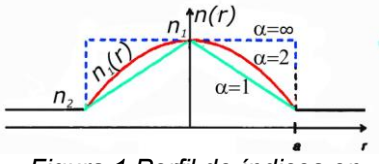
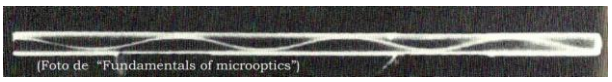


Figura 1.Perfil de índices en función del radio

En consecuencia, con una elección adecuada del perfil

(de α), la diferencia de velocidades o de tiempos de vuelo entre rayos se puede reducir. Un perfil óptimo que prácticamente anula la diferencia es el parabólico (α=2), y es por ello que fue utilizado en el presente trabajo.



c)

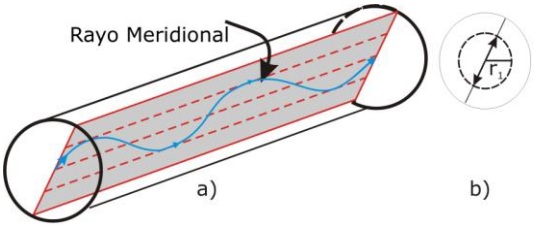


Figura 2. Propagación de un rayo meriodional a través de un componente GRIN iluminado con luz monocromática. a)vista lateral, b) Vista frente, c) Propagación de un haz Láser a través de una fibra GRIN.

Una lente GRIN cumple la función de "transferir la imagen", es decir, opera como "repetidora de imagen", lo que ajustadamente indica su denominación en inglés: "lens relay".

Los medios GRIN estudiados en el presente trabajo poseen un diámetro de 1,98 mm, y longitudes de 4,9 cm, 9,8 cm, y 14,7 cm y se muestran en la fotografía de la Fig. 3.

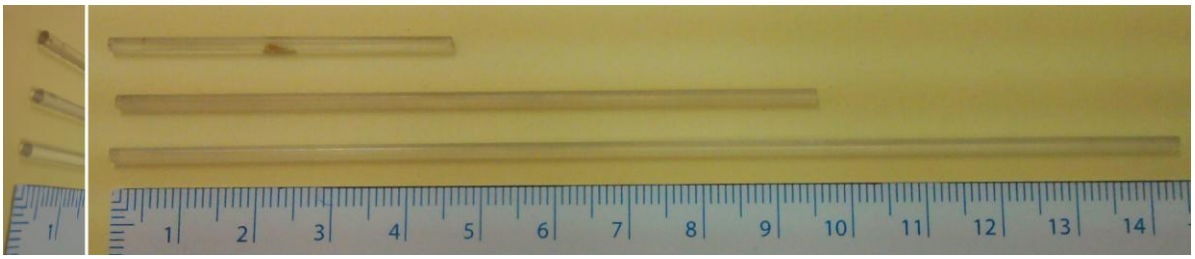


Figura 3. Fotografía de los medios GRIN utilizados en este trabajo.

Como a través de estos novedosos medios se puede transferir una imagen de un lugar a otro del sistema óptico, el objetivo del presente trabajo fue caracterizarlo empleando la función de transferencia de la modulación (MTF).

Para caracterizar la transferencia de imágenes producida en los medios GRIN se midió la función MTF.

La modulación (o el contraste) está definida por la expresión de Michelson:

$$\text{Modulación} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

La MTF describe la función de la modulación según la expresión de Michelson para las diferentes frecuencias espaciales, utilizando objetos de entrada de contraste máximo, como por ejemplo grillas de Ronchi.

Frecuentemente, la curva de la función MTF se utiliza como una descripción teórica y experimental de la calidad de la imagen. La MTF de un sistema óptico formador de imágenes describe su capacidad de transferir los detalles finos del objeto bajo estudio a la imagen producida por tal sistema.

Para realizar las medidas se utilizaron como objetos de estudio tarjetas Edmund Optics que reproducen las tarjetas patrón NBS 1963A, formadas por series de barras rectangulares paralelas transparentes y opacas alternadas, es decir con modulación M=1, con distintas

frecuencias espaciales. El ancho de las barras es igual al ancho de sus separaciones. En la fotografía de la Fig. 4 puede apreciarse la disposición de las diferentes grillas según su frecuencia espacial utilizadas para medir la MTF.

Por otro lado, el análisis del contenido espectral de la luz que ingresa al medio GRIN y de la que sale de él permite determinar su grado de fidelidad en la reproducción de los colores.

En el presente trabajo se analiza la transferencia de imágenes a través de un medio GRIN, mediante la MTF, como así también los espectros de transmisión a través del mismo. Las determinaciones cuantitativas para el cálculo de la MTF fueron obtenidas mediante un software diseñado especialmente para tal fin en MATLAB. Los espectros fueron registrados con un espectrómetro portátil.



Figura 4. Tarjeta de resolución por transmisión Edmund Optics NBS 1963A utilizada

Parte experimental

El esquema del dispositivo experimental se muestra en la Fig. 5. Una vez ubicados los planos de entrada y de salida del componente GRIN y habiendo seleccionado la posición de mejor enfoque, se registraron las imágenes de las franjas para los diferentes espaciados o frecuencias espaciales.

A partir de esos registros, se midieron los contrastes para cada imagen: el contraste del 100% se asignó a las barras perfectamente transparentes y opacas de los mayores anchos y separaciones. A medida de que las barras están más juntas, el contraste en la imagen disminuye y la distinción entre las barras se comienza a desdibujar. Una gráfica de la MTF muestra el porcentaje de contraste perdido a medida que el espaciado entre las barras disminuye. El espaciamiento entre las barras en el objeto es usualmente representado como la frecuencia espacial dada en ciclos/mm, donde cada par de barras brillantes y oscuras constituyen un ciclo.

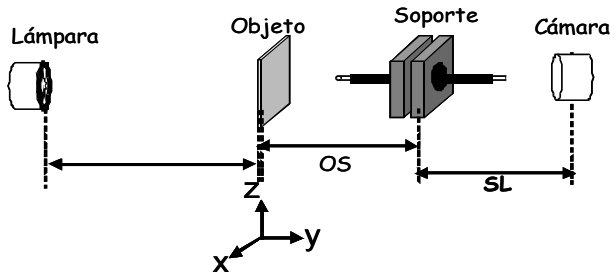


Figura 5. Esquema del montaje experimental utilizado.

El objeto (tarjeta de resolución), fue montado sobre un soporte que permite desplazamientos en el plano vertical según las direcciones perpendiculares x-z, sin modificar la posición del plano objeto (y = constante), con el fin de variar las frecuencias a observar a través del componente GRIN.

Las imágenes fueron capturadas en formato jpg por una cámara color sin objetivo Genius Eface 2025. Se tuvo especial cuidado en regular la iluminación para que la respuesta de la cámara siempre se mantuviera en la zona de respuesta lineal. Para cada tarjeta de resolución se tomaron 27 imágenes, una para el fondo (sin franjas) y 26 frecuencias espaciales diferentes, entre 1 y 18 ciclos/mm, como se muestran en los resultados.

Para corregir el efecto de la inhomogeneidad de la fuente de luz, se procedió a la deconvolución del fondo con cada una de las imágenes durante el procesamiento de los datos obtenidos (ver figura 6). Para cada una de las imágenes corregidas se analizaron los

perfiles de densidad sobre una línea perpendicular a las franjas, en la misma posición de la imagen y de la misma longitud, y a partir del promedio de los valores de niveles de gris sobre ella y sus vecinos se encontraron las Imáx e Imín para calcular el contraste o modulación de la transferencia correspondiente a cada frecuencia espacial.

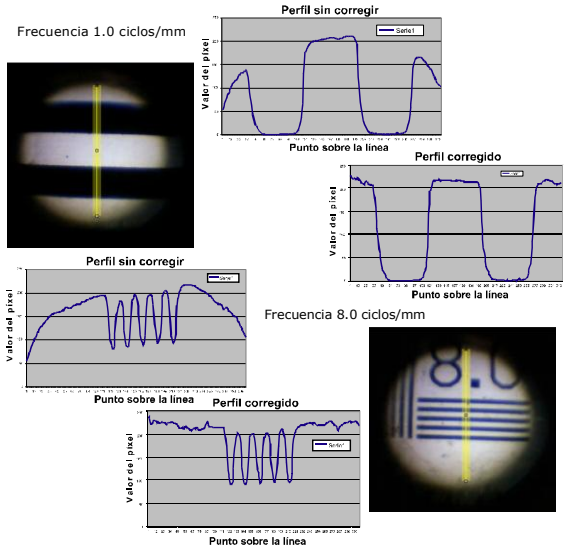


Figura 6. Ejemplos de perfiles sin corregir y corregidos para calcular la MTF

Por otro lado, con el fin de analizar la transmitancia espectral de los medios GRIN, se tomó el espectro de transmisión a través de los tres componentes GRIN, utilizando un Espectrómetro Ocean Optics USB 2000 2048 pixels A/D resolution: 12 bit range: 200-1100 nm, con la ayuda del Dr. Fausto Bredice[1]. Un esquema del sencillo diseño experimental usado se muestra en la *figura 7*. Esta medición se repitió tras invertir los extremos de las fibras, y también se tomaron tres lecturas del espectro de la lámpara de iluminación (fondo), quitando los medios GRIN.

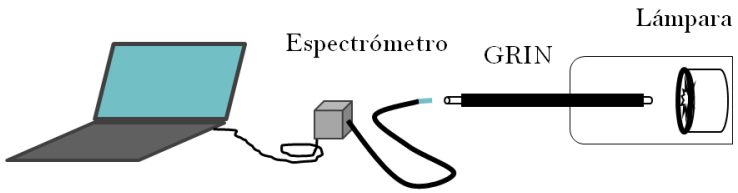


Figura 7. Esquema del diseño experimental usado.

Para cuantificar la diferencia entre el promedio de los espectros del fondo y el promedio de las medidas hechas con el componente GRIN, se integraron las cuentas en el espectro visible (380 a 780 nm) bajo ambas curvas, y se calculó el cociente.

Resultados y discusión

En la Fig. 8 se muestran las excelentes respuestas obtenidas en cuanto a la resolución de los espaciados contenidos en la tarjeta utilizada para los tres componentes GRIN.

Estas respuestas son absolutamente compatibles con la observación humana de alta calidad [Ref. 9]. De todos modos, se registraron además las respuestas para otras tres grillas, con el objeto de sondear los límites de resolución de los componentes GRIN analizados. Así, se registraron en cada caso las respuestas a grillas de Ronchi de 20, 40 y 80 líneas por mm. En las Fig. 9 se muestran imágenes típicas obtenidas para las diferentes frecuencias espaciales de las grillas.

[1] Dr. Fausto Brédice (CIOp), a quien estamos muy agradecidos.

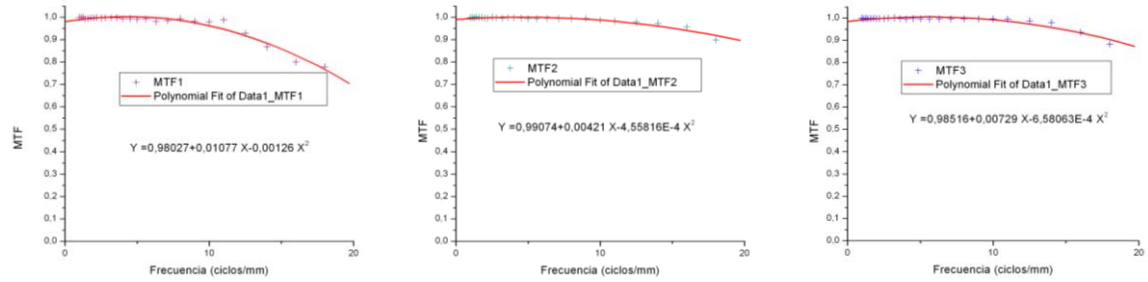


Figura 8. Resolución de los tres medios GRIN para las frecuencias contenidas en la Edmund Optics NBS 1963 utilizada



Figura 9. Registros típicos de las imágenes obtenidas para las diferentes frecuencias espaciales.

Los resultados para la función MTF de los componentes GRIN estudiados se muestran en las gráficas de la Fig. 10.

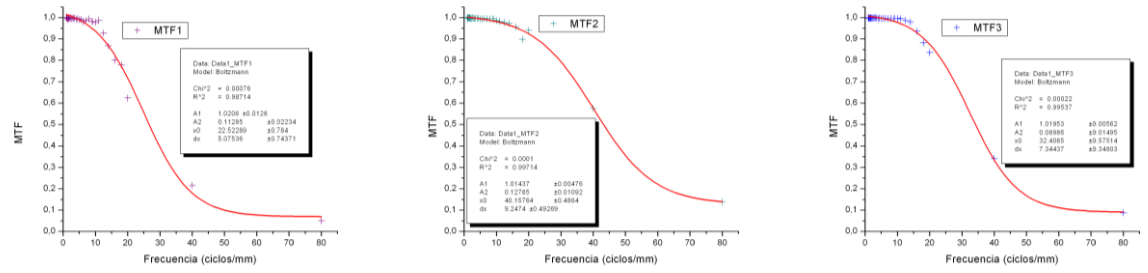


Figura 10. MTF calculadas automáticamente a partir del software específico elaborado en MATLAB.

En cuanto a la transmitancia espectral, la figura 11 muestra los resultados obtenidos para el componente GRIN de mayor longitud, promediando las medidas al invertir los extremos del mismo y también la de sus fondos asociados, con sus respectivas desviaciones estandard.

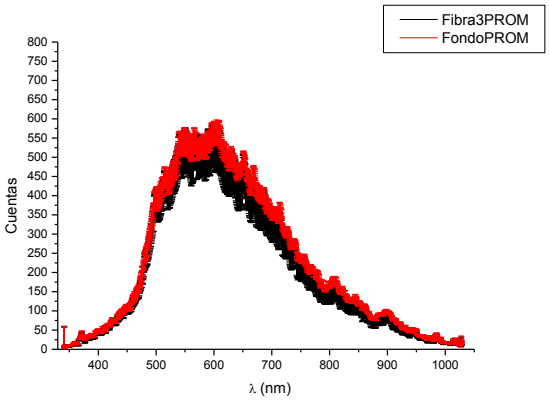


Figura 11.

A partir del cociente de la integración de los espectros en el rango visible (380 a 780 nm), la transmitacia da un valor de 94,5%.

Conclusiones y Prospectiva

Las mediciones realizadas a través de los componentes GRIN para trazar sus respectivas curvas MTF muestran que son compatibles con la observación humana de altísima calidad.

Por otro lado, las imágenes observadas son suficientemente brillantes, y se verifica que reproducen adecuadamente el espectro de la lámpara utilizada.

Quedará para otros trabajos futuros el análisis de imágenes obtenidas de la observación de objetos de amplia paleta de colores y conteniendo elevadas frecuencias espaciales transferidas a través de los componentes GRIN.

Bibliografía

1 - Hetch, Eugene in “Óptica” Tercera edición. Ed. Pearson, Addison Wesley. 2003. Capítulo 6, Sección 6.4: Sistemas GRIN.

2 - Ajoy Ghatak and K. Thyagarajan in “Graded Index Optical Waveguides: A Review”. Editor: Wolf, Emil. “Progress In Optics”, volumen XVIII. University of Rochester, NY, U.S.A.. North-Holland Publishing Company. 1980.

3 - Midwinter in “Optical Fibers For Transmission”. John E. Ed. Wiley-Interscience. U.S.A., 1979.

4 - K. Iga, Y. Kokubun, M. Oikawa in “Fundamentals Of Microoptics. Distributed-Index, Microlens, and Stacked Planar Optics”. Academic Press, Inc. 1984.

5 - Carlos Gómez-Reino, María V. Pérez and Carmen Bao in “Gradient-Index Optics”. Springer, 2002. Capítulo 5: Óptica guiada.

6 - E. G. Rawson, D. R. Herriott, J. McKenna in “Analysis Of Refractive Index Distributions In Cylindrical Graded-Index Glass Rods (Grin Rods) Used As Image Relays”. Applied Optics, Vol. 9, n°3, 753-759. March 1970.

7 - Teiji Uchida, Moatoaki Furukawa, Ichiro Kitano, Ken Koizumi and Hiroyoshi Matsumura in “Optical Characteristics of a Light-Focusing Fiber Guide and Its Applications”. IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. QE-6, n°10, 606-612. October 1970.

8 - James D. Rees in “Non.Gaussian imaging properties of GRIN fiber lens arrays”. Applied Optics, Vol. 21, nº6, 1009-1012. March 1982.

9 - Pablo Artal and Antonio Girao in “Contributions of the cornea and the lens to the aberrations of the human eye”. Optics letters, Vol. 23, No. 21. November 1998.

AUTOMIOESTIMULADOR: BIOFEEDBACK APLICADO A LA REHABILITACIÓN

A. P. Laquidara[1,2], L. M. Zerbino[1,2,3], Carolina Lagraña[1], Ezequiel Yedinak[1]

1- Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Calle 1 y 47. (1900) La Plata - Buenos Aires - Argentina
2- Centro de InvestigacionesOpticas (CIOp) (CONICET-CICBA) C.C. 3 (1897) Gonnet
3- Facultad Regional La Plata. Universidad Tecnológica Nacional (UTN). Calle 60 y 126. (1900) La Plata
e-mail: polol@ciop.unlp.edu.ar

En el Marco de los Proyectos 11/I130 y 11/I170 se concibieron, diseñaron y desarrollaron con financiamiento de subsidios de la CIC-BA el prototipo y cuatro unidades de aparatos que hemos denominado AutoMioEstimulador. Son equipos electrónicos destinados a la rehabilitación de miembros superiores e inferiores paralizados de pacientes con secuelas de accidentes cerebro-vasculares (ACV) o lesiones similares, por medio de la electroestimulación. El equipo es compacto, portátil y alimentado a baterías recargables, pudiéndose utilizar en servicios de fisiatría o en domicilio del paciente. La técnica que emplea el aparato es la del autoentrenamiento cognitivo o biofeedback, aplicando electroestimulación sobre los miembros paralizados, controlada por la contracción voluntaria de un miembro sano. El paciente decide voluntariamente el instante de inicio y finalización de la electroestimulación, controlando así los intervalos de estimulación y relajación del músculo parético. Para realizar la función mencionada cuenta con dos juegos de electrodos: un par de electrodos de estimulación y otro par para electromiografía (EMG) y su respectiva toma de tierra, es decir, en total cinco electrodos. El uso del aparato persigue el logro de mayor fuerza muscular, disminución de la espasticidad, mantenimiento del trofismo muscular y mejoramiento de la circulación.

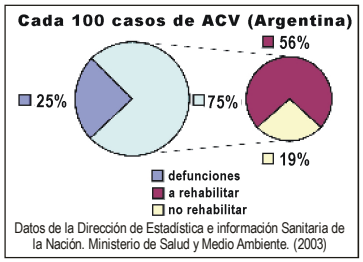
El AutoMioEstimulador consta de un gabinete metálico dentro del que se alojan los circuitos electrónicos que sensan la actividad muscular voluntaria (EMG) y generan la corriente que provoca la contracción del músculo paralizado (electroestimulador). Sobre la cara superior del equipo se encuentra un instrumento que indica el valor de la corriente pico de cada impulso aplicado al grupo muscular a tratar, y ese valor puede ser ajustado. La señal eléctrica detectada es procesada por un microprocesador mediante algoritmos de filtrado digital y cálculo que permiten discriminar claramente los estados de contracción y relajación de un músculo sano. Mediante dos pulsadores en el frente del equipo se registra el nivel de relajación o de referencia del músculo sano y se habilita o bloquea la electroestimulación del músculo parético. También existen sobre el frente del equipo dos LEDs que indican el estado de carga de las baterías cuando éstas se cargan con el adaptador a la tensión de línea. Los circuitos electrónicos diferenciados por sus funciones son: electromiógrafo, microprocesador, fuente conmutada de tensión aplicable al paciente y cargador de baterías.

Varios equipos fueron construidos con apoyo de la CICBA y están siendo utilizados en comodato para su evaluación en unidades hospitalarias de la Provincia de Buenos Aires que cuentan con servicio de rehabilitación física.

Objetivo: Rehabilitación del ACV

Los ataques cerebro vasculares (ACV) son la primer causa de incapacidad a largo plazo en la mayor parte del mundo industrializado. El riesgo de estos ataques aumenta con el incremento de la edad, doblándose con cada década posterior a los 55 años de edad.

La mayoría de los perjuicios de las personas atacadas reporta mayor problema en la función de las extremidades superiores, lo cual es un factor que condiciona su calidad de vida cotidiana, y que ocasiona que requieran ayudas espaciales y asistencia de rehabilitación. El grado de recuperación motora luego del ACV esta directamente relacionado al grado de severidad inicial de la afección y, al intervalo de tiempo desde el ataque y el movimiento voluntario. La recuperación de la función de las extremidades es muy rápida durante los primeros meses luego del ACV. De todos modos, dentro de los primeros tres meses después del ataque, solo el 25% de las personas afectadas recupera la función normal de las extremidades. Hay una creciente evidencia de que la estimulación eléctrica tiene un positivo efecto en la restauración motora de las extremidades superiores luego del ACV. Actualmente, la mayor parte de la rehabilitación es realizada por medio de ejercicios y controles físicos, pero los aspectos cognitivos de la rehabilitación del ACV son muy importantes.



Datos de la Dirección de Estadística e información Sanitaria de la Nación. Ministerio de Salud y Medio Ambiente. (2003)

La técnica de estimulación eléctrica funcional comenzó a desarrollarse en 1961 (Liberson, et al) y actualmente se utiliza como terapia de rehabilitación, con el objetivo de lograr funcionalidad en miembros inferiores y en miembros superiores:

- *mayor fuerza muscular,*
- *disminuir la espasticidad,*
- *mantener el trofismo muscular,*
- *mejorar la circulación periférica.*

Los equipos que se utilizan en nuestro país son electroestimuladores que actúan cíclicamente con un período de contracción muscular producido por una corriente eléctrica y un período de relajación muscular por interrupción del pasaje del estímulo. El paciente es un participante pasivo, siendo el equipo quien establece los ciclos de contracción y relajación.

En el equipo que estamos analizando, los pacientes deben producir una contracción muscular voluntaria, captada a través de un sensor y que, a su vez, una vez alcanzado un determinado nivel, acciona al electroestimulador. La corriente eléctrica estimulante iniciada a partir de una contracción muscular se detiene al producirse la relajación muscular. En ella actúa la volición produciendo un mayor input cognitivo (Chae J, Bethoux F).

Bloques Funcionales

Este equipo es una combinación de Electromiógrafo (EMG) y Estimulador Eléctrico Neuromuscular (NMEST).

En forma separada; el Electromiógrafo detecta la actividad muscular voluntaria y el electroestimulador provoca la contracción muscular involuntaria. El trabajo unido de ambos es el que da lugar a la técnica descripta con anterioridad, también conocida como Estimulación Eléctrica Neuromuscular controlada por EMG.

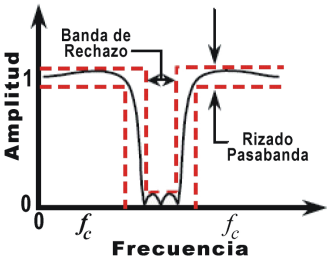
El equipo (o los equipos) deben estar perfectamente coordinados para separar la estimulación de la detección mioeléctrica, debido a que las señales mioeléctricas son del orden de los mV mientras que las aplicadas en estimulación ascienden a decenas de Volts.

Un conjunto de electrodos superficiales es sujetado al dorso del antebrazo para detectar la débil señal generada por la muñeca y los músculos extensores.

La mio-señal es detectada por medio de un amplificador de instrumentación de bajo ruido. Posteriormente un microcontrolador digitaliza, filtra, procesa y compara en amplitud la señal con un umbral ajustable en forma manual o automática.

La implementación del filtro digital IIR es del tipo Notch, que permite la eliminación del ruido en 50 Hz emitido por la red de alimentación. El análisis espectral de la señal por medio del algoritmo de la FFT permite solo tener en cuenta las

componentes frecuenciales significativas de la actividad muscular, de modo de evitar interferencias de otras señales ajenas al proceso.



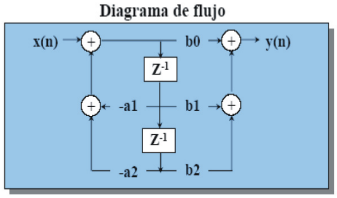
Función de transferencia

$$H(z)=\frac{b_0+b_1\bullet z^{-1}+b_2\bullet z^{-2}}{1+a_1\bullet z^{-1}+a_2\bullet z^{-2}}$$

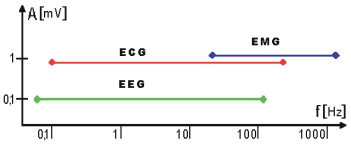
Ecuación en diferencias

$$y(n)=-\sum_{k=1}^{N}a(k)\bullet y(n-k)+\sum_{k=0}^{M}b(k)\bullet x(m-k)$$

Diagrama de flujo



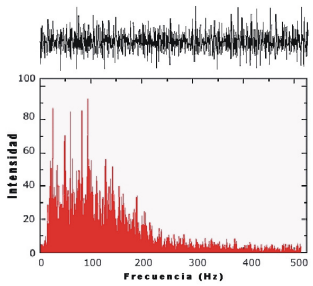
Rangos espectrales de señales biológicas



EMG: Señales electromiográficas
ECG: Señales electrocardiográficas
EEG: Señales electroencefalográficas

- Cuando el nivel de la mio-señal excede el umbral base ajustado, la estimulación eléctrica es entregada al músculo, por medio del mismo conjunto de electrodos, produciendo una contracción más intensa y sostenida del mismo. Para este caso es necesario solo la utilización de 3 electrodos.
- En el caso que el músculo a tratar sea incapaz de producir el nivel suficiente de señal que genere el disparo, se prevee el modo de funcionamiento con un conjunto adicional de electrodos que permitirán ser colocados en el grupo muscular adecuado para el entrenamiento y que aporten la señal habilitante para la estimulación voluntaria. En este caso se utilizan 5 electrodos.

Mioseñal eléctrica

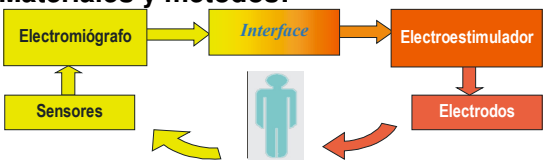


Histograma de la mioseñal

Validación

En el marco de una colaboración conjunta se han realizado los ensayos preliminares del prototipo conceptual, con el objeto de establecer parámetros de aplicación en pacientes neurológicos.

Materiales y métodos:

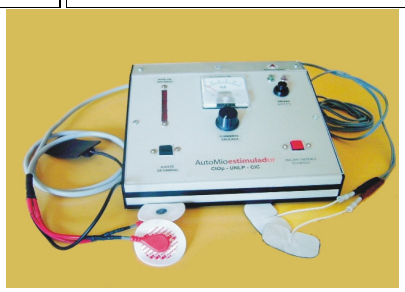


Este equipo es una combinación de Electromiógrafo (EMG) y Estimulador Eléctrico Neuromuscular (NMES). En forma separada; el EMG detecta la actividad muscular voluntaria y el NMES provoca la contracción del músculo paralizado. El trabajo unido de ambos es el que da lugar a la técnica conocida como Estimulación Eléctrica Neuromuscular controlada por EMG. A partir de la interacción con el equipo médico interviniente el prototipo-base se adaptó para que cumpla prestaciones específicas a fin de posibilitar su utilización en una estrategia terapéutica original que, basándose en el biofeetback permita al paciente, a través de la actividad de un músculo sano, regular tanto el inicio como el fin de la estimulación. Así, en este equipo, la actividad muscular voluntaria determina tanto el inicio de la electromioestimulación como su finalización. Estando el prototipo conceptual en operación, y habiendo superado las etapas de verificación y de control de calidad en el laboratorio se han implementado diferentes ensayos preliminares de manera conjunta entre el equipo técnico y el médico para poner a prueba el prototipo, verificando su funcionamiento en cuanto a seguridad del usuario, exactitud de las medidas, y evitar posibles efectos nocivos.

Especificaciones Técnicas del prototipo construido		
Cualitativas	**Parámetros Configurables**	**Cuantitativas**
Modo de Operación: EMG-Estim Estimulación disparada por esfuerzo muscular Visualización por leds del nivel de señal muscular. Umbral fijo ajustable automáticamente Visualización de carga de batería y amplificación	Nivel de umbral de disparo. Corriente de salida por pulso (nivel de estimulación). Tiempo de estimulación controlado por el usuario Tiempo de pausa controlado por el usuario. Alerta de falsos contactos.	Corriente Aplicable: 0 - 100 mA Forma de Ondas: Pulsos rectangulares: ancho: 0,3 ms, período: 40 ms Tensión máxima: 150 V Funcionamiento con 4 baterías AA recargables con 220 V Sensado: 2 electrodos + tierra Estimulación: 2 electrodos Dimensiones: 20 cm x 11 cm x 8 cm







Además del equipo bajo prueba se utilizó, en el primer test, a modo de ensayo de los electrodos de estimulación, un equipo estándar de electroestimulación NMES con parámetros eléctricos temporalmente iguales al ensayado.
El Auto-mio-estimulador ensayado consta de una consola alimentada a baterías con un juego de tres electrodos de sensado (ES), dos electrodos de estimulación (EE) y controles e instrumentos que permiten ajustar manualmente el umbral de turn-on del feedback y la corriente aplicable.

Plan de Trabajo de Ensayos de Campo

Fase I: Análisis y comprensión del funcionamiento del equipo a través del manual de instrucciones, y práctica por nuestro personal.
Establecer protocolo de uso del equipo a través de diferentes mediciones, para definir parámetros a utilizar.
Conclusiones.

Fase II: Selección de pacientes.
Protocolo de tratamiento.
Normatización del mismo

Fase III Tratamiento sistematizado de rehabilitación.
Conclusiones.

Resultados de la Fase I

Población:

Se analizaron 9 voluntarios cuyas edades fueron de 26 a 42 años; no presentaban patologías motoras previas, todos presentaban estudios terciarios y estaban relacionados con la rehabilitación.

Como criterios de exclusión se establecieron las normas que se utilizan en el tratamiento de Estimulación Eléctrica Funcional:

1. Arritmias ventriculares y otras patologías cardiacas.
2. Antecedentes de enfermedades de lesión de neurona motora inferior.
3. Embarazo.
4. Osteoporosis.
5. Antecedentes de convulsiones.
6. Marcapasos cardiacos.
7. Lesiones en piel en sitio de colocación de electrodos.
8. Hipertensión arterial no controlada.

Ensayos Diseñados para la Evaluación y resultados: Se realizaron 3 ensayos por cada test en días diferentes. Duración de los ensayos: 30 minutos, porque es el tiempo de duración de la terapia de rehabilitación.

TEST 1: (Equipo estándar NMES) Aplicación de electrodos de estimulación: en músculos extensores de los dedos-extensión de antebrazo sobre el brazo.

Evaluación de la contracción, que debe ser isotónica , con grado 4.
Se cronometra el tiempo de estimulación muscular. Máximo 30 minutos.
Finalizada por fatiga muscular-intolerancia sensitiva

TEST 2 (Auto-mio-estimulador)

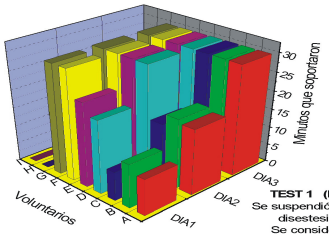
Se explican pruebas a desarrollar: extensión de muñecas, contracción-relajación-extensión de tríceps braquial, contracción-relajación.
Punto de aplicación de electrodos de sensado (ES): extensor de dedos y tríceps del lado contrario a los electrodos de estimulación (EE).
Evaluación de respuesta a través de retroalimentación visual por el display.
Se cronometra el tiempo de la respuesta aferente, en movimientos cíclicos y constantes sin interrupción. Se da por finalizada por defectos de relajación.

TEST 3 (Auto-mio-estimulador)

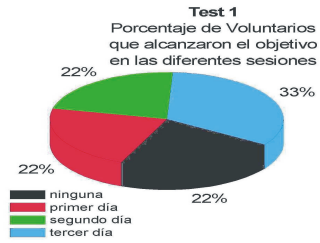
Se evalúa comprensión de consignas: Actividad de contracción muscular voluntaria, turn-on del feedback-contracción por estímulo eléctrico. (Valor de la contracción muscular voluntaria eficaz que logra que el sensor ES lo capte y dispare el EE).
Se indican 25 intentos. Se computa número de fallas.

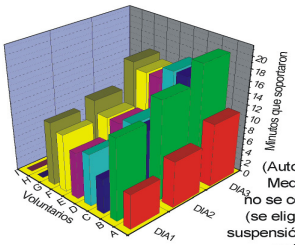
TEST 4 (Auto-mio-estimulador)

Actividad de contracción muscular voluntaria, turn-on del feedback-contracción por estíumulo eléctrico
Se cronometra el máximo período de realización de contracciones.

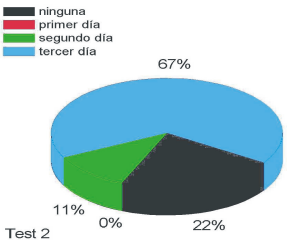


TEST 1 (Equipo estándar NMES)
Se suspendió en por presencia de dolor, disestesias, fatigas musculares.
Se considero contracción efectiva a aquella que producía una contracción isotónica, con resistencia grado 4.

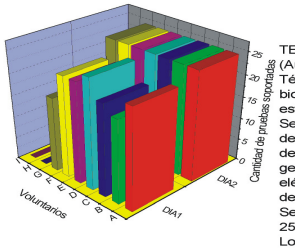




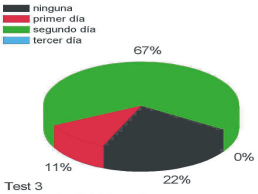
TEST 2
(Auto-mio-estimulador)
Medidos en minutos, no se consideran segundos (se eligió el minuto menor); suspensión en caso de dificultad en la relajación que se expresa en el display.



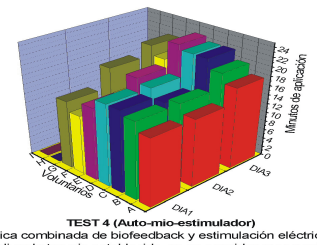
Test 2
Porcentaje de Voluntarios que alcanzaron el objetivo en las diferentes sesiones



TEST 3
(Auto-mio-estimulador)
Técnica combinada de biofeedback y estimulación eléctrica.
Se dieron las consignas, de contracción muscular del lado del sensado que generaría una estimulación eléctrica y contracción del lado homo lateral.
Se realizaría un máximo de 25 pruebas.
Los objetivos se cumplieron al segundo día



Test 3
Porcentaje de Voluntarios que alcanzaron el objetivo en las diferentes sesiones



TEST 4 (Auto-mio-estimulador)
Técnica combinada de biofeedback y estimulación eléctrica
Realizar la terapia establecida, no se consideran segundos, los casos de suspensión se debieron a fatiga.



Interpretación de resultados

La población en estudio, presentaban la sensibilidad conservada, al tercer día en tiempo lograron resistencia al estimulo eléctrico. Dos voluntarios no lograron tolerar la intensidad de estímulo en contracción efectiva por lo que fueron excluidos del estudio. En este punto, en donde se consideró el turn-on del sensor a través de la contracción muscular voluntaria fue el ítem de mayor desproporcionalidad, dado que no se logró la respuesta óptima en las sesiones preestablecidas, si bien presentaron una escala ascendente en la medida del avance de las sesiones. Teniendo en cuenta que la población en estudio tiene un alto grado de instrucción educativa, notamos dificultades en la comprensión de las consignas, habiendo logrado el total de las mismas en la segunda sesión. La realización del movimiento complejo voluntario y el accionamiento del estimulador mejoró en el transcurso de los días a través de un aprendizaje previo.

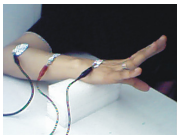
Conclusiones:

El equipo prototipo obtenido es autónomo, compacto y portátil, y a nuestro juicio reúne las condiciones para solicitar su homologación para su utilización en terapias de rehabilitación. Los resultados obtenidos son satisfactorios y permiten preveer la posibilidad de su aplicación en terapias con estimulación eléctrica y diseñar las estrategias correspondientes. A los fines de la continuación del protocolo de estudios es posible concluir que es necesario: a) Evaluar aquellos pacientes que sean aptos para ingresar al tratamiento con estimulación eléctrica con criterios de inclusión y exclusión, establecidos para la Estimulación Eléctrica Funcional. b) La Población de pacientes deben cumplir con los siguientes requisitos para ingresar al plan de estudios: Lúcido, responder a órdenes simples y complejas, comprender claramente a las consignas, no presentar fenómenos de co-contracción y lograr una relajación adecuada para no interferir en el funcionamiento del receptor-sensor; buena tolerancia al estímulo elécrico, y a la fatigabilidad. c) Podemos preveer que el comienzo de la terapia con automioestimulador deberá adaptarse a cada paciente, una vez logrados los aprendizajes y entrenamiento previos.

El prototipo construido, pasada la primera evaluación por un equipo especializado, se presentó en el SAMFYR 2006 y fue seleccionado para la Exposición INNOVAR 2006, recibiendo especial atención y elogio de profesionales y autoridades en la materia, por su innovación en terapias de rehabilitación. Se consideró necesario, iniciar las tramitaciones para su reconocimiento por los organismos correspondientes y encarar la construcción de al menos 4 equipos para su transferencia a los hospitales de la zona y completar los protocolos para su homologación por autoridades competentes.

Agradecimientos: Los autores agradecen el subsidio de la CIC-BA que hizo posible el desarrollo de este trabajo. (Subsidio CIC tipo B). Contraparte: Ministerio de Salud. Hospital Gutierrez. La Plata.





Referencias Bibliográficas:

G Francisco, J Chae H Chawla, S Kirshblum, R Zorowitz, G Lewis and S Pang. Electromyogram triggerred neuromuscular stimulation for improving the arm function of acute stroke survivors: a randomised pilot study. Arch Phys Med Rehabil Vol.79, May 1998.

Joke R. de Kroon, Maarten J. Ijzerman, John Chae Gustaaf J. Lankhorst and Gerrit Zilvold. Relation Between Stimulation Characteristic and Clinical Outcome In Stidies Using Electrical Stimulation to Improve Motor control of the Upper Extemity In Stroke.

Hummel F, Celnik P, Giraux P, et al. Effects of non-invasive cortical stimulation on skilled motor function in chronic stroke. Brain 2005;128:490-499.

B. H. Dobkin. Rehabilitation after Stroke. The new england journal of medicine. Volume 352:1677-1684. April 21, 2005. Number 16

J. Heckmann, T. Mokrusch, A. Kröckel, S. Warnke, T. Vonstockert, and B. Neundörfer. EMG-Triggered Electrical Muscle Stimulation in the Treatment of Central Hemiparesis after a Stroke.

MEDICION Y REGISTRO DE PATRONES DE PRESION DE SUCCION EN LACTANTES

A. P. Laquidara[1,2], L. M. Zerbino[1,2,3], Damián Gulich[2,4], Susan Cortez[5], Silvia Jury[5]

1- Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Calle 1 y 47. (1900) La Plata - Buenos Aires - Argentina
2- Centro de InvestigacionesOpticas (CIOp) (CONICET-CICBA) C.C. 3 (1897) Gonnet
3- Facultad Regional La Plata. Universidad Tecnológica Nacional (UTN).
4- Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), 1900 La Plata, Argentina
5- Servicio de Fonoaudiología Hospital de Niños "Sor María Ludovica" de La Plata. IDIP. Mrio. de Salud. CICBA
e-mail: damian.gulich@gmail.com

La deglución es un mecanismo complejo de delicada coordinación neuromuscular que permite el paso de alimentos de la boca al resto del aparato digestivo, evitando su ingreso a la vía aérea. Las alteraciones en este mecanismo, tanto funcionales como anatómicas pueden ocasionar diversas patologías, como cuadros respiratorios, otitis y otras disfunciones clínicas. En los primeros meses de vida, muchas alteraciones deglutorias pueden ser desencadenantes de diversas patologías. Para su evaluación y eventual tratamiento en el servicio hospitalario, los equipos de pediatría suelen derivar niños de 0 a 12 meses de vida a realizar una videodeglución, como único mecanismo para detectar o descartar posibles causales de esos trastornos. La videodeglución, estudio radiológico funcional dinámico, debe ser el paso siguiente a la evaluación clínica de la succión-deglución cuando el caso así lo requiera, y junto a la endoscopía suma datos que permiten ajustar el diagnóstico. Sin embargo, la videofluoroscopía se realiza mediante la ingesta de una sustancia radio-opaca (sulfato de bario) que se incorpora al contenido del biberón, y la duración promedio de exposición a la radiación es de unos 90 seg. Estos procedimientos no resultan particularmente placenteros y el paciente podría experimentar algún grado de incomodidad. Tratándose de lactantes, resultaría muy beneficioso controlar la cantidad de estudios radiológicos a las que se los somete, y encontrar una técnica alternativa previa que límite la cantidad de pacientes que sea necesario derivar a los mismos. En el Marco de los Proyectos 11/I130 y 11/I170 se concibió y desarrolló con financiamiento de subsidios de la CIC-BA el prototipo de un equipo electromédico sencillo e innovador para un diagnóstico inocuo y no invasivo de presiones de succión productiva y no productiva en lactantes y se validó su respuesta empleándolo en paralelo con estudios videofluoroscópicos. Los resultados preliminares indicaron una aceptable correlación entre determinados patrones de los registros temporales de presión obtenidos y los estudios radioscópicos simultáneos. Se determinaron los rangos de normalidad basados en los patrones de presión registrados con nuestro equipo durante la succión productiva en lactantes sanos. Habiéndose ya recabado datos de más de 130 casos, se trabajó en el desarrollo de un método de análisis semiautomático de los datos registrados, para agilizar la extracción de resultados. Las rutinas implementadas incorporan automáticamente los datos y los grafican eliminando errores de muestreo y le permiten al usuario extraer las amplitudes y frecuencias dominantes en la serie para su posterior interpretación. Se presentan ejemplos de resultados típicos. El equipo electromédico desarrollado en el CIOp consta de un transductor de presión y una conexión a computadora que permite observar y registrar las ondas de presión variable en el tiempo en el interior de un biberón. La lectura de presión se realiza a través de una computadora personal con un osciloscopio-registrador y su software asociado. El registrador se conecta a la PC por un puerto USB.

I. INTRODUCCIÓN

En comunicaciones previas se presentaron resultados de medición y registro de valores de succión en lactantes de 0 a 6 meses de edad con el propósito de determinar parámetros de normalidad en succión productiva. Habitualmente, los pacientes sospechados de alteraciones deglutorias son examinados mediante estudios videofluoroscópicos, que en el caso de nuestro Hospital de Niños "Sor María Ludovico" de La Plata se realizan con un equipo Toshiba DCW-20A telecomandado con intensificadores de imágenes provisto de videograbadora. La duración promedio es de 90 segundos empleando como técnica radioscópica 0.5 MA y ajustando en cada paciente el KV adecuado y resultan particularmente invasivos cuando deben ser indicados en el caso de los lactantes de 0 a 6 meses de edad. Con la finalidad de investigar sobre la factibilidad de encontrar un método alternativo a la videofluoroscopía que permita el diagnóstico de patologías, o, que permita identificar los casos de deglución normal sin necesidad de indicar el estudio de videodeglución. Así se diseñó un equipo con el que se realizaron registros temporales de presión a lactantes para los que se había indicado estudios de videodeglución. Los resultados preliminares (I AFA-SUF 2008) indicaron una aceptable correlación entre determinados patrones de los registros temporales de presión obtenidos y los diagnósticos basados en los estudios radioscópicos simultáneos, que justificaron el diseño de un protocolo para su empleo en lactantes con presunción de trastornos deglutorios antes de un estudio videofluoroscópico. En otro trabajo posterior (RNF 2009) se intentaron encontrar los patrones de presión característicos para realizar un diagnóstico inocuo y no invasivo. Como siguiente etapa para el diseño del correspondiente protocolo se realizaron los estudios para la determinación de los rangos de normalidad basados en los patrones de presión registrados con nuestro equipo durante la succión productiva en lactantes sanos, que se presentaron en otra comunicación (RNF 2010), mostrando los resultados estadísticos para los rangos estimados de normalidad en frecuencia y amplitud de los diagramas de presión obtenidos para 137 casos de lactantes sanos entre 0 y 6 meses de edad. Los últimos resultados presentados (RNF 2010) mostraron la importancia de automatizar el sistema de captura y análisis, de manera de que su uso resulte más amigable para el profesional médico. En esta ocasión describimos el equipo y detallamos el desarrollo de un método de análisis semiautomático de los datos registrados. Esto permite agilizar y sistematizar la extracción de resultados de las series temporales. Las rutinas implementadas incorporan automáticamente los datos y los grafican eliminando errores de muestreo, le permiten al usuario definir una región de interés de acuerdo a un protocolo, caracterizan la rampa de succión, normalizan los datos y extraen las amplitudes y frecuencias dominantes en la serie para su posterior interpretación. Se presentan ejemplos de resultados típicos.

II. EQUIPO ELECTRÓNICO DE EVALUACIÓN DEL MECANISMO DE SUCCIÓN

El equipo electrónico desarrollado en el Centro de Investigaciones Ópticas (CIOp) consta de un transductor de presión y una conexión a computadora que permite observar y registrar las ondas de presión variable en el tiempo.



Figura 1. Elementos del equipo diseñado en el CIOp.

En nuestros estudios las ondas de presión se originan en el interior de un biberón para lactantes. La lectura de presión se realiza a través de un solo canal desde una computadora personal por medio de un osciloscopio-registrador y su software asociado. El registrador se conecta a la PC por un puerto USB.
La escala de representación de la onda de presión se ajusta desde el programa de

lectura y tiene como máximo 150 mmHg. y un mínimo de –100 mmHg.
La velocidad de respuesta en el tiempo del manómetro es desde la corriente continua hasta lo requerido por las ondas de succión, que no superan los 10 Hz.
No existe contacto eléctrico entre el paciente y el manómetro. El biberón que succiona el paciente sólo se conecta al equipo de medición a través de un catéter plástico que transmite la presión de succión al manómetro. El registro de succión generado se archiva en formato de texto para posteriormente ser procesado con el programa presentado en el presente trabajo.

III. DESARROLLO

Se analizaron los registros de presión durante el proceso de succión-deglución obtenidos en una muestra de 139 lactantes normales que concurrieron a su control pediátrico de rutina a los Consultorios Externos del Hospital de Niños Sor María Ludovica de La Plata y que cumplían con las condiciones requeridas en el protocolo:

- Edad entre 0 y 6 meses
- Lactancia con biberón
- Ayuno de al menos 3 horas

Para cada uno de los lactantes de la muestra se analizaron comparativamente las curvas presión-tiempo, y algunas variables que las caracterizan. Dichos registros permiten identificar patrones completamente distintos asociables al menos a dos categorías: La succión-deglución productiva y la succión no productiva.
En la figura 2 se muestran imágenes típicas de videofluoroscopía y los resultados manométricos para un mismo niño normal en los casos de biberón y de chupete. Este último sería comparable a la situación en la que, por distintas causas la succión es no productiva.
Las curvas manométricas, la regularidad de sus oscilaciones y los valores de Amplitud pico a pico de succión, Período máximo de cada succión resultaron ser variables importantes con rangos suficientemente diferentes asociables a cada una de esas categorías.
A partir de los registros se identificaron los períodos correspondientes a succión productiva, y de allí se determinaron los valores promedio de amplitud en [mmHg] y frecuencia [Succ/seg] para cada caso.

El gráfico de la Figura 3a resume los resultados obtenidos en Amplitud y Frecuencia de las succiones para tres categorías agrupadas por Edad y el de la Figura 4a hace lo propio para tres categorías agrupadas por Peso. A partir de esos resultados se puso de manifiesto la conveniencia de calcular regiones de normalidad relativas a frecuencia-amplitud conjuntas. Como ambas distribuciones son asimétricas, y al aplicar la función logaritmo se normalizan, se calcularon regiones de normalidad de referencia conjunta para log(AMPLITUD) y log(FRECUENCIA) para cada una de las categorías. El cálculo de las regiones de referencia se basa en la suposición de que la distribución conjunta de datos es normal, y eso se consigue en nuestro caso aplicando la función logaritmo.

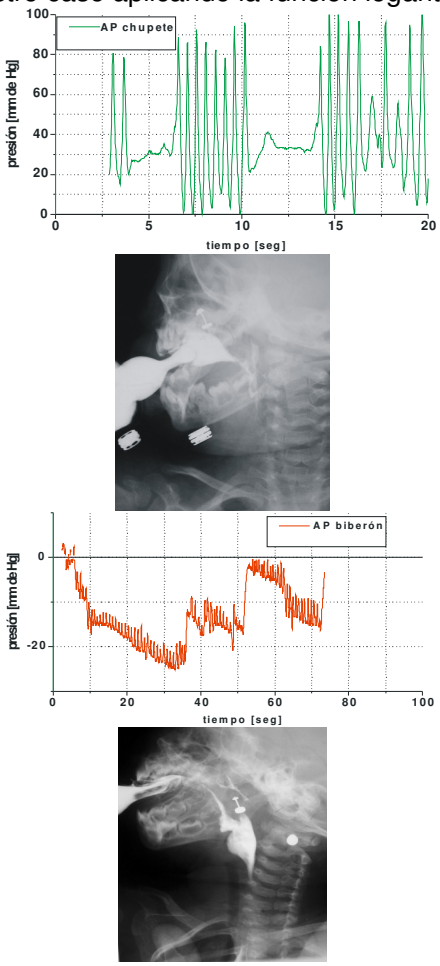
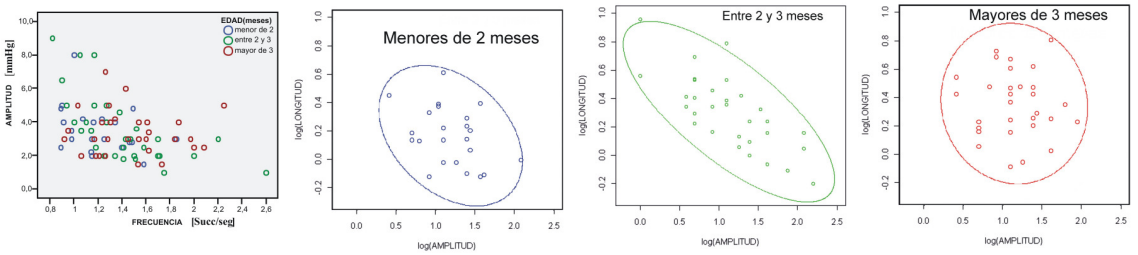
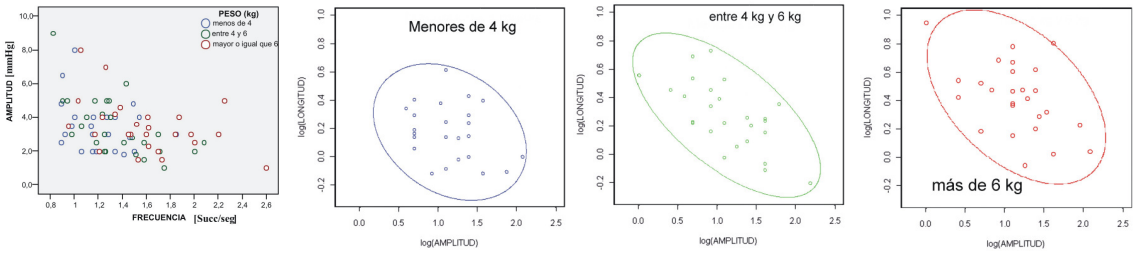


Figura 2. Curvas típicas de presión para succión no productiva (chupete) y productiva (biberón), y sus imágenes radiológicas.



a) b) c) d)

Figura 3



a) b) c) d)

Figura 4

Las Figuras 3b, c y d y 4b, c y d permiten visualizar las regiones de normalidad para las categorías elegidas por edad y peso, respectivamente. Estas regiones contienen, en cada caso el 95% de la población bajo estudio, es decir que equivale a decir que la probabilidad de que un caso cualquiera de la población esté en esa región es 0.95.

El análisis comparativo de las elipses que representarían la frontera de cada región de normalidad, indicaría que existe una mejor correlación cuando se eligen categorías por peso que cuando se categoriza por edad. Sin embargo, sería necesario ampliar la muestra para mejor definir estas regiones.

De todos los estudios preliminares realizados pudo concluirse:

1) La factibilidad de implementar estudios manométricos que permitan identificar los casos que están dentro de los parámetros normales de la succión-deglución productiva, y los de succión agotable, de aquellos en los que intervienen otras patologías.

2) Que de ello se desprende la necesidad de continuar las investigaciones sistemáticas a fin de ajustar los rangos de valores en los que las variables identificadas pueden considerarse en límites normales, para cuyos casos no sería necesario indicar un estudio radiológico de los mecanismos de succión-deglución.

3) Que sería conveniente continuar el relevamiento amplio que implique analizar estadísticamente las curvas manométricas de respuesta de lactantes normales en cuanto al mecanismo de succión-deglución productiva a fin de diseñar y validar el estudio que estamos presentando como una técnica alternativa y complementaria de diagnóstico que pueda indicarse previamente a solicitar el estudio radiológico correspondiente.

4) Que sería muy importante lograr la automatización del proceso de análisis, para lo cual se diseñó la rutina que aquí presentamos.

IV. RUTINAS DE PROCESAMIENTO

Se han hecho tres rutinas programadas en Matlab para la importación de datos de registros de succión con el nombre genérico "suc".

La primera de ellas (suc0) tiene como finalidad importar los datos originales del registro al espacio de Matlab convirtiendo automáticamente los valores originales a s y mmHg.

La segunda (suc1) toma estos datos y los representa gráficamente, para que el usuario pueda elegir la zona en la que se calcularán los parámetros de rampa de succión.

Una vez determinado el rango de tiempo para el análisis la tercera rutina (suc2) realiza las siguientes tareas:

1. Toma de la serie original los datos del rango temporal especificado.

2. Identifica máximos locales y con ellos genera una línea de base con un polinomio de grado igual a la cantidad de máximos identificados automáticamente. La vitalidad es tomada como la pendiente de la recta que une al primer punto con el último de la línea de base.
3. Genera una nueva serie restándole la línea de base y la media a los valores del punto 1.
4. Calcula el valor absoluto de la transformada rápida de Fourier (FFT) de la serie del punto 3 e identifica los picos registrando su frecuencia y amplitud.
5. Genera un gráfico de los resultados de los puntos 1 a 4, indicando valores relevantes: vitalidad, picos de ajuste de la serie original y picos de la FFT (indicando sus frecuencias y amplitudes). Asimismo devuelve en forma matricial para su archivo la vitalidad y las frecuencias y amplitudes de los picos de la FFT.

Estas rutinas pueden ser empleadas en scripts que semiautomatizan y agilizan el análisis y registro de resultados relevantes de grandes bases de datos. El usuario puede incluso discriminar las series que no son aptas para el análisis de modo de omitir su procesamiento. También pueden grabarse las figuras.

La Fig. 5 muestra los gráficos y valores obtenidos en la etapa 5. para un caso típico.

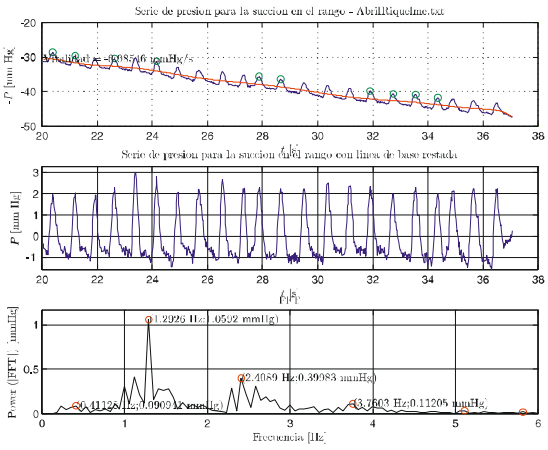


Figura 5. Arriba, serie de presión original y línea de base. Centro, serie de presión con línea de base restada. Abajo, FFT calculada y los valores de frecuencia y amplitud de los picos.

V. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En los gráficos de la Fig. 6 puede observarse la comparación de los resultados obtenidos utilizando la rutina semiautomática y los obtenidos previamente mediante un análisis manual para unos 50 casos de succión normal.

Se verifica que la apreciación de las frecuencias de succión resulta aproximadamente coincidente en la mayoría de los casos.

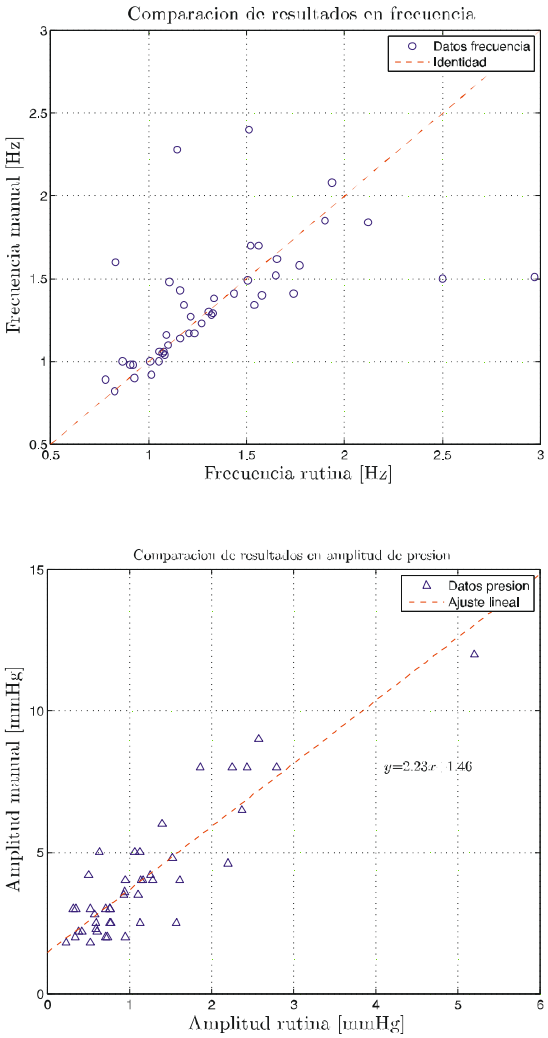


Figura 6. Comparación entre métodos Manual versus Rutina, en frecuencia y en amplitud

En cuanto a la comparación de amplitudes de presión, se encuentra que entre los resultados obtenidos para ambos métodos resulta aproximadamente existir un factor 2, y un corrimiento sistemático de 1,45. El

primero se explica por el hecho de que las medidas manuales consideran la diferencia entre picos y valles. El corrimiento sistemático se explica por el hecho de que las medidas manuales se realizan respecto de la rampa sostenida de descenso de presión, y las obtenidas a partir de la rutina corresponden a la nueva serie, una vez restada la línea de base y la media a los valores del punto 1.

Por otro lado, en las medidas de amplitud de presión manual, influyen las amplitudes de las componentes de altas frecuencias, y en el caso de la rutina se considera solamente la amplitud de la fundamental a partir de hacer la Transformada de Fourier de la serie normalizada.

Además, los valores de vitalidad obtenidos a partir de la pendiente de la curva de base, resultan tener una adecuada correspondencia para los casos en los que se encontró succión productiva.

A partir de estos resultados se comenzó a utilizar sistemáticamente la rutina para analizar las nuevas muestras de succión normales que se están realizando y se procesaron de manera similar las más de 200 estudiadas desde 2008 de manera que próximamente se espera llegar a tener datos suficientes como para definir las regiones de normalidad que permitirán utilizar este método como alternativa previa a indicar estudios de videodeglución.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la CIC-BA el subsidio para la concreción de este proyecto y al equipo médico del Hospital de Niños de La Plata por su apoyo y asesoramiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Jury, S. - Alteraciones deglutorias y sus implicancias clínicas. Actas de la Jornada Internacional “Palabra, voz y deglución”. Fundación Alberto J. Roemmers. Buenos Aires. Argentina. Academia Nacional de Medicina. 12 de Septiembre de 1996. Pag. 61-86.

[2] Dantas, Kern, Massey, Dodds, Kahrilas, Brasseur, Cook & Lang. "Effect of swallowed bolus variables on oral and pharyngeal phases of swallowing" American Journal of Physiology, Vol 258 (Gastrointest. Liver Physiol. 21), pp G675-81, 1989

[3] Donner, Silbiger & Cooley. "Cinefluorographic analysis of pharingeal swallowing in neuromuscular disorders" American Journal of Medical Science, Vol 251, pp 600-16, 1966.

[4] Ekberg, "Radiologic evaluation of swallowing" Dysphagia: Diagnosis and Management, ed. M.E. Groher, Stoneham, Butterworth-Heinemann, pp 163-95, 1992.

[5] Kahrilas, Lin, Spiess, Brasseur, Joehl & Manka, "The impact of fundoplication on bolus transit across the gastroesophageal junction" Amer. J. Physiolog, Vol 275 pp G1386-G1393, 1998.

[6] Leder "Videofluorascopic evaluation of aspiration with visual examination of the gag reflex and velar movement" Dysphagia,, Vol 12, pp21-23, 1997.

[7] 93ava Reunión Nacional de la Asociación Física Argentina y XIa Reunión de la Sociedad Uruguaya de Física. AFASUF I. Evaluacion del mecanismo de succion productiva y no productiva L. M. Zerbino, S. Jury, A. P. Laquidara. Asociación Física Argentina. Buenos Aires. 2008.

[8] 94ava Reunión Nacional de la Asociación Física Argentina. AFA 2009. Evaluación de patrones de presión normales en el mecanismo de succión productiva en lactantes. Zerbino L. M., Jury S., Laquidara A. P., y Cortes S. Asociación Física Argentina. Rosario. 14 al 18 de septiembre 2009.

[9] 95a Reunión Nacional de Física de la Asociación Física Argentina. 95a RNF AFA 2010. Parámetros de normalidad en frecuencia y amplitud de patrones de presión en la succión productiva de lactantes. Zerbino L. M., Laquidara A. P., Jury S., Cortes S., Apezteguía M. C. Malargüe, Mendoza. 28 de Setiembre al 01 de Octubre de 2010.

[10] 97a Reunión Nacional de Física de la Asociación Física Argentina. 97a RNF AFA 2012. Método de captura y análisis de datos de succión en bebés de 0 a 6 meses. Aníbal Pablo Laquidara, Damián Gulich, Lía Zerbino, Silvia Jury. Aceptado para su presentación. P257. 25 al 28 de septiembre 2012. Villa Carlos Paz, Córdoba.

LA MULTIFRACTALIDAD Y EL EFECTO DE LA TURBULENCIA EN LA DINÁMICA CAÓTICA DE UN LÁSER DE HENE

Damián Gulich[1,2,3], Gustavo Funes[1,3], Luciano Zunino[1,2], Mario Garavaglia[1,3]

[1]Centro de Investigaciones Ópticas (CONICET La Plata - CIC). C.C. Nº 3, 1897 Gonnet, La Plata, Argentina
[2]Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), 1900 La Plata, Argentina
[3]Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), 1900 La Plata, Argentina

dgulich@ciop.unlp.edu.ar

Resumen

Dada la dificultad para realizar estimaciones de espectros de Lyapunov, proponemos el empleo del *multifractal detrended fluctuation analysis* (MF-DFA) [1] para cuantificar la influencia de la turbulencia atmosférica sobre la dinámica caótica inducida en un láser de HeNe.

El comportamiento caótico es generado por un arreglo de tipo interferométrico que retroalimenta parte del haz a la cavidad del láser gaseoso. Esta dinámica ha sido estudiada y modelada en función del nivel de retroalimentación [2,3]. Los distintos niveles de turbulencia isotrópica fueron generados con un dispositivo denominado turbulador [4,5], que permite obtener diferentes constantes de estructura para el índice de refracción del aire ajustando un parámetro de diferencia de temperaturas en el aparato.

Teniendo presente el creciente interés [6] en la encriptación de mensajes empleando este tipo de sistemas ópticos caóticos, el estudio del efecto atmosférico permitiría llegar a conclusiones de utilidad en el campo de las comunicaciones ópticas.

Los resultados preliminares permiten interpretar las distintas intensidades de turbulencia como distintos niveles de ruido blanco aditivo sobre la serie caótica original [7].

Palabras clave: multifractalidad, láseres gaseosos, caos, turbulencia atmosférica, comunicaciones ópticas

Introducción

En el pasado se ha estudiado la caoticidad en sistemas de láser gaseoso al introducir un factor de realimentación. Dicho factor actúa como parámetro bifurcante en la dinámica generada [2,3]. Este fenómeno ya había sido observado empíricamente con anterioridad y utilizado con propósitos prácticos de alineación [8].

Proponemos el empleo de MF-DFA [1], una metodología ampliamente utilizada para caracterizar la multifractalidad de series temporales no-estacionarias, para cuantificar la influencia de la turbulencia atmosférica sobre la dinámica caótica inducida en un láser de HeNe. Esta técnica se ha utilizado en el análisis de series temporales de campos tan variados como la econofísica, sismología, biología, medicina, cosmología, materia condensada y música entre otras [9].

El MF-DFA puede resumirse brevemente como sigue:

1. Sea $x_1, x_2, \ldots, x_N$ una serie de N datos. Dado su promedio $\langle x \rangle$ determinamos una nueva serie $Y(1), \ldots, Y(N)$ de valores dados por $Y(i) = \sum_{k=1}^{i} (x_k - \langle x \rangle)$.
2. Dividimos la serie de $Y(1), \ldots, Y(N)$ en N_S ventanas no superpuestas de S puntos donde $N_S = \lfloor N/S \rfloor$. Si N no es divisible por S, quedarán algunos valores r ($r = N - N_s S$) al final de la serie. Para resolver esto, tomamos

otros N_S segmentos pero comenzando en $Y(r+1)$. Así obtenemos $2N_S$ ventanas de S valores.

3. Sea ν el índice de las $2N_S$ ventanas ($\nu = 1, 2, \ldots, 2N_S$). Para cada una de las ventanas tomamos el polinomio $y_\nu(i)$ de grado m que mejor ajusta a los datos de la ventana de índice i. Calculamos luego las N_S varianzas locales para $\nu = 1, \ldots, N_S$:

$$F^2(\nu, S) = \frac{1}{S}\sum_{i=1}^{S}\{Y[(\nu-1)S+i] - y_\nu(i)\}^2$$

m es el mismo para cada paso de esta técnica y determina la variante del análisis; así MF-DFA1 significa $m = 1$, etc. Si N no es divisible por S, entonces también debemos calcular las varianzas de las otras N_S ventanas ($\nu = (N_S+1), \ldots, 2N_S$) según

$$F^2(\nu, S) = \frac{1}{S}\sum_{i=1}^{S}\{Y[N-(\nu-N_S)S+i] - y_\nu(i)\}^2$$

4. Calculamos las funciones de fluctuación $F_q(S)$ según

$$F_q(S) = \begin{cases} \left\{\frac{1}{2N_S}\sum_{\nu=1}^{2N_S}\left[F^2(\nu,S)\right]^{q/2}\right\}^{1/q} & , q \neq 0 \\ \exp\left\{\frac{1}{4N_S}\sum_{\nu=1}^{2N_S}\ln\left[F^2(\nu,S)\right]\right\} & , q = 0 \end{cases}$$

Nótese que $q = 2$ devuelve los resultados de la técnica tradicional de DFA.

5. Repetimos los pasos 2-4 para distintos valores de S, usualmente en el intervalo [10,$\lfloor N/4 \rfloor$] elegidos de manera de obtener un conjunto de valores equidistantes en escala logarítmica (esto es necesario para el siguiente paso).

6. Finalmente determinamos el comportamiento de escala de las funciones de fluctuación analizando la representación en escala log-log de todas las $F_q(S)$ versus S. Si los valores originales de x_i tienen correlaciones de largo alcance, entonces para grandes valores de S: $F_q(S) \sim S^{h(q)}$ donde $h(q)$ es el exponente de Hurst generalizado; el mismo puede ser estimado como la pendiente en el gráfico log-log de $F_q(S)$. Si la serie es estacionaria, entonces $h(2) \equiv H$ es el exponente de Hurst.

En [7] hemos estudiado la influencia del ruido blanco aditivo sobre series de multifractalidad conocida. Esencialmente observamos una disminución de los valores de $h(q)$ para q<0, generando consecuentemente una disminución en el rango multifractal $\Delta h = h(-\infty) - h(\infty)$.

Parte experimental

El comportamiento caótico es generado por un arreglo de tipo interferométrico que retroalimenta parte del haz a la cavidad del láser gaseoso de HeNe como se muestra en la Figura 1. Esta dinámica ha sido estudiada y modelada en función del nivel de retroalimentación [2,3]. El fotodetector envía una señal de tipo audio con valores $V(t)$ (equivalente a x_i en el formalismo de MF-DFA) proporcionales a la intensidad lumínica incidente, registrados con una PC a una frecuencia de 44100 Hz.

Los distintos niveles de turbulencia isotrópica fueron generados con un dispositivo denominado *turbulador* [4,5]; dicho dispositivo es un generador de turbulencias estadísticamente repetible basado en la mezcla de dos flujos de aire a diferentes temperaturas. Dicha diferencia de temperaturas (ΔT) está relacionada biunívocamente con la constante de estructura para el índice de refracción del aire C_n^2.

Se capturaron 26 series de 100.000 datos para cada ΔT dada. Las diferencias de temperatura se fijaron en 7 valores distintos barriendo desde los 2,9 hasta los 21,5 °C.



Figura 1. Izquierda: esquema del arreglo experimental. Centro: turbulador. Derecha: detector de intensidad lumínica.

Resultados y discusión

En la Figura 2 se muestran las derivadas temporales de las señales adquiridas, $V'(t)$, versus la señal $V(t)$ (espacio de fase).

Se analizaron las funciones de fluctuación para q entre -15 y 15 para determinar una región común de ajuste; en este caso se empleó el rango de S entre 4500 y 24000. Cada punto de los espectros multifractales que se pueden ver en la Figura 3 representa el promedio de $h(q)$ de las 26 realizaciones; las barras de error corresponden a la desviación estándar. Se observan fundamentalmente modificaciones debido a la turbulencia en el espectro multifractal para valores de q negativos (fluctuaciones pequeñas). En tanto que la región de q positivos (fluctuaciones grandes) permanece prácticamente inalterada. Resultados similares se obtienen luego de analizar los espectros de multifractales estándares al contaminarlos con ruido blanco aditivo [7].

En la Figura 4 se muestra el rango multifractal (tomado en este caso como $\Delta h = h(-15) - h(15)$) en función de C_n^2 donde se observa una tendencia decreciente a partir de $1{,}45 \times 10^{-9}$ $m^{-2/3}$.

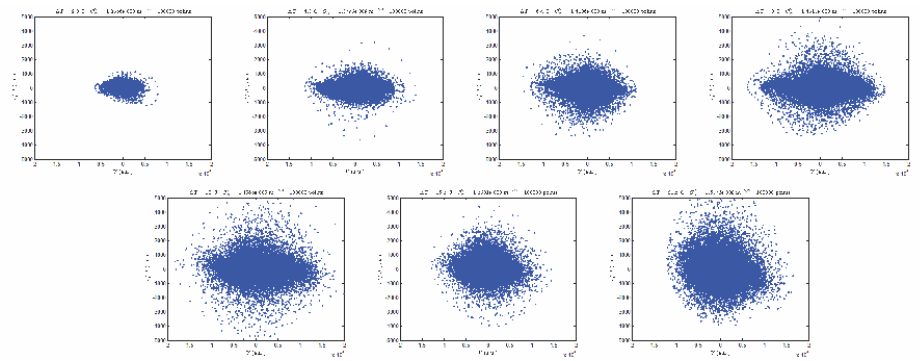


Figura 2. Representación de la derivada de la señal de intensidad lumínica $V'(t)$ versus la señal original $V(t)$ para diversas intensidades de turbulencia en orden creciente (comenzando arriba de izquierda a derecha y continuando abajo en el mismo sentido). Todas las figuras están en el mismo rango; las escalas están en unidades arbitrarias.

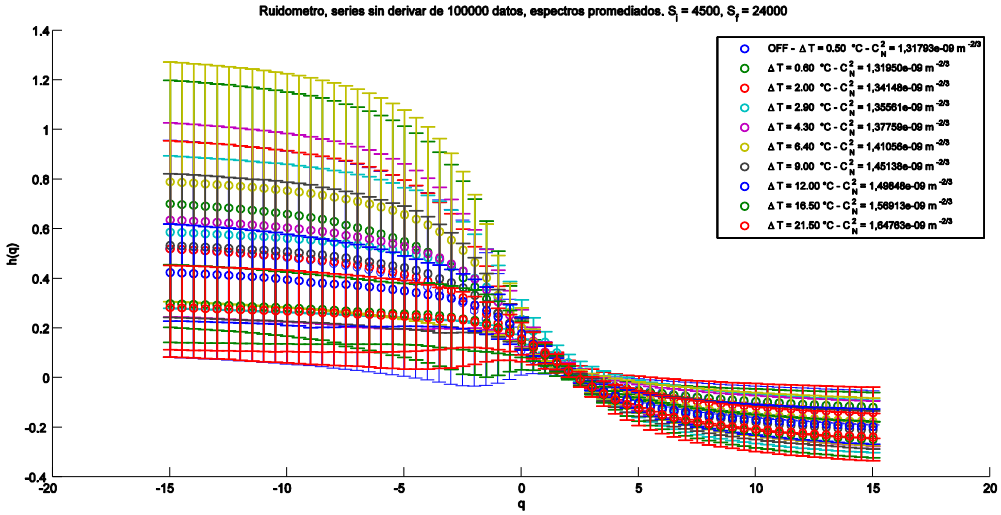


Figura 3. Espectros multifractales obtenidos en función de ΔT ($\equiv C_n^2$).

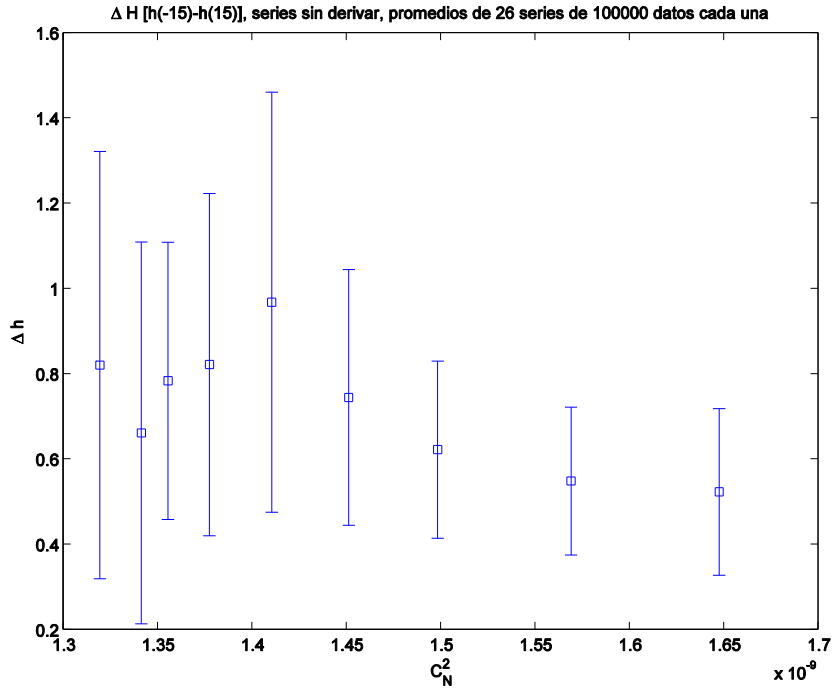


Figura 4. Rango multifractal en función de la constante de estructura (las unidades de C_n^2 son $m^{-2/3}$).

Conclusiones

El aumento de la dispersión de los puntos a medida que se intensifica la turbulencia (Figura 2) es interpretable como un indicador directo de la influencia de ésta sobre la señal.

Estos resultados (preliminares) muestran cierta tendencia decreciente en Δh versus C_n^2, interpretable, en principio, como un efecto de tipo de ruido blanco aditivo aportado por la turbulencia atmosférica sobre la serie caótica original [7].

Dado el creciente interés [6] en la encriptación de mensajes empleando este tipo de dispositivos, el estudio del efecto atmosférico permitiría llegar a conclusiones de utilidad en el campo de las comunicaciones ópticas. Mediciones más detalladas se encuentran en progreso y serán reportadas en publicaciones futuras.

Bibliografía

[1] Kantelhardt, J. W.; Zschiegner, S. A.; Koscielny-Bunde, E.; Havlin, S.; Bunde, A. & Stanley, H. (2002), 'Multifractal detrended fluctuation analysis of nonstationary time series', *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* **316**(1-4), 87 - 114.

[2] Kuwashima, F.; Ichikawa, T.; Kitazima, I. & Iwasawa, H. (1999), 'Chaotic Oscillation in a Single-Mode Class a He–Ne Laser (6328 A) ii', *Japanese Journal of Applied Physics* **38**(Part 1, No. 11), 6321-6326.

[3] Kuwashima, F.; Kitazima, I. & Iwasawa, H. (1998), 'The Chaotic Oscillation of the Single-Mode he-ne(6328) Class a Laser', *Japanese Journal of Applied Physics* **37**(Part 2, No. 3B), L325-L328.

[4] Keskin, O.; Jolissaint, L. & Bradley, C. (2006), 'Hot-air optical turbulence generator for the testing of adaptive optics systems - principles and characterization', *Applied Optics* **45**(20), 4888-4897.

[5] Gulich, M. Damián. (2011), 'Construcción y caracterización de un generador de turbulencias isotrópicas en aire caliente', Trabajo de Diploma, Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata.

[6] Rulkov, N. F.; Vorontsov, M. A. & Illing, L. (2002), 'Chaotic Free-Space Laser Communication over a Turbulent Channel', *Phys. Rev. Lett.* **89**, 277905.

[7] Gulich, D. & Zunino, L. (2012), 'The effects of observational correlated noises on multifractal detrended fluctuation analysis', *Physica A* **391**(16), 4100–4110.

[8] H. Ranea-Sandoval and M. Gallardo, "Measuring flatness of large tables: new methods," *Applied Optics* **25**, 1370-1371 (1986).

[9] J.W. Kantelhardt, Fractal and multifractal time series, in: R.A. Meyers (Ed.), Encyclopedia of Complexity and Systems Science, Springer, 2009.

RECIENTES AVANCES EN TECNOLOGÍA DE IFOG Y POSIBLES APLICACIONES EN GEOFÍSICA

Alustiza, Diego H. [1,2]; Mineo, Marcos [1]; Skou, Pedro [1]; Manno, Francisco J. [1]; Garavaglia, Mario [1,3].

Grupo IFOG, Centro de Investigaciones Ópticas (CIOp), Cno. Centenario e/ 505 y 508. C.C. 3 (1897) Gonnet, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
mmineo@ciop.unlp.edu.ar

Palabras clave: IFOG, desempeño, ensayos, caracterización.

Resumen. Este documento describe los recientes avances en la tecnología de Giróscopos Interferométricos de Fibra Óptica (IFOG por sus siglas en inglés) realizados en el Centro de Investigaciones Ópticas (CIOp) y discute la actual aplicación en materia de sensado inercial para su uso en vehículos inyectores satelitales, así como también en la posible caracterización de ondas sísmicas rotacionales, inclinación del terreno y diversas aplicaciones tanto en ingeniería civil como en el análisis de estructuras. Se presenta un estudio relativo a la caracterización de los instrumentos según los parámetros de ruido definidos por la IEEE. A estos últimos, a los que se los denominarán estáticos, se agregará el estudio del desempeño dinámico.

Introducción. Los sensores de velocidad angular de fibra óptica se basan en un fenómeno físico descubierto por el físico francés George Sagnac. Él, observó que inyectando en un anillo de espejos dos haces de luces contra-propagantes (fig. 1) y haciendo rotar dicho anillo, el patrón de interferencia observado en el detector se modifica como una función de la velocidad de rotación del mismo.

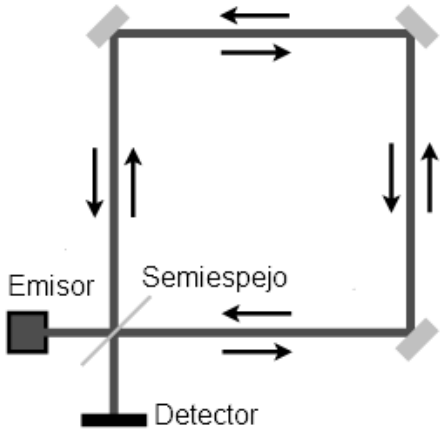


Fig. 1 - Esquema del experimento de Sagnac

La respuesta natural del anillo posee dos grandes problemas: baja sensibilidad y alta alinealidad. El reemplazo del anillo de espejos por fibra óptica como elemento de guiado y confinamiento de la luz permite extender el camino óptico a distancias del orden de kilómetros, aumentando considerablemente la sensibilidad. El problema de la alinealidad se resuelve con la ayuda de circuitos opto-electrónicos, que permiten procesar las señales involucradas, generar lazos de control para mejorar la dinámica del sistema y controlar el punto de operación. Para ello se utiliza un componente óptico integrado (MIOC) que, mediante sus moduladores de fase óptica, permite modificar ciertas características de reciprocidad del camino óptico que impacta directamente en el efecto neto dentro del interferómetro. De este modo, a lazo cerrado y operando como un sistema de detección de cero, es

que los IFOGs alcanzan niveles de exactitud, sensibilidad, grado de linealidad, rango dinámico y estabilidades muy superiores a otras tecnologías de giróscopos.

Desde hace décadas, los sistemas de medición inerciales vinculados con la industria aeroespacial han ido incrementado más y más sus exigencias, sobre todo, respecto a los niveles de estabilidad en la medición. El desarrollo de este instrumento, ha perseguido la finalidad de poder ser empleado como parte de una unidad de referencia inercial (IRU) en un vehículo inyector satelital, por lo que los requerimientos han sido impuestos en este sentido.

Existe también, un creciente interés en el uso de los IFOGs en la medición de ondas sísmicas rotacionales y eventos similares [3-6]. Esto se debe mayormente a que las numerosas mejoras en la tecnología de este tipo de instrumentos, han aumentado en gran medida su desempeño. Adicionalmente, el factor de forma relativamente pequeño y los bajos requerimientos de consumo de potencia, los convierten en una elección ideal para aplicaciones portátiles o para desplegar arreglos de múltiples instrumentos. Un ejemplo de ello podría ser el Observatorio LIGO[3] que requiere varias medidas puntuales a lo largo de toda su extensión.

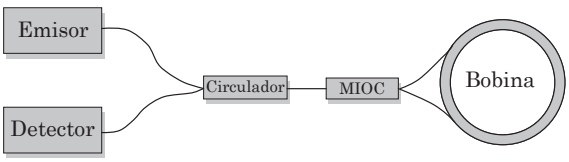


Fig. 2 – Circuito óptico del IFOG

La unidad bajo estudio es un IFOG uni-axial que exterioriza el valor de velocidad angular en formato digital y lo representa en punto flotante de simple precisión. La unidad contiene todos los componentes ópticos (fig. 2) y electrónicos necesarios para funcionar como un instrumento autónomo o como parte de una red de instrumentos utilizando el protocolo de comunicación CAN.

El carrete es bobinado con fibra óptica de polarización mantenida, de 500m de longitud y con un diámetro medio de 105mm. El bobinado es de tipo cuadrupolar y su función es la de minimizar la influencia de los gradientes térmicos variantes en el tiempo, entre puntos diferentes de la bobina, sobre la medida de velocidad angular.

La fuente de luz se compone de un emisor de tipo diodo super-luminiscente (SLD) de 10mW de potencia y 50nm de ancho espectral con su centro en 1310nm.

Los instrumentos ensayados poseen un ancho de banda, en términos de la velocidad angular, de 50Hz. Por lo anterior, y para cumplir con el teorema de Nyquist, es que se ha escogido una tasa de interrogación de los instrumentos de 150 muestras por segundo (MPS). El análisis ha sido realizado sobre dos unidades íntegramente diseñadas y producidas en los laboratorios de nuestra institución (fig. 3).

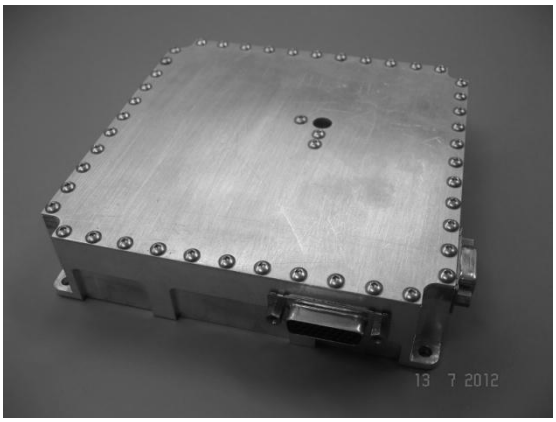


Fig. 3 – Fotografía de la unidad IFOG

Definiciones. Los IFOGs, generalmente se caracterizan por un conjunto de parámetros de ruido definidos (junto con los métodos de determinación de los mismos) en las normas IEEE Std 952-1997 (R2008) [1] y IEEE Std 528-2001 [2]. El método tradicional para la estimación de dichos parámetros es a través del análisis mediante la Varianza de Allan. Este es el mecanismo que será utilizado en la presente publicación. A continuación se presentan definiciones no formales de los tres parámetros más importantes presentados por la norma, que permitirán conformar una expresión

matemática que describa el ruido existente en la salida del instrumento con un relativamente alto grado de aproximación.

"*Angle random walk*" (ARW): en términos prácticos es la desviación estándar del ángulo calculado que resulta de la integración, durante un tiempo determinado, de la salida de velocidad angular del sensor junto a su ruido blanco. A dicha desviación estándar se la divide por la raíz del tiempo de integración.

Este parámetro se expresa típicamente en grados sobre raíz cuadrada de hora $[°/\sqrt{h}]$. En la curva de desviación de Allan se puede observar el proceso estocástico que le da origen como una pendiente de -1/2, así como su densidad espectral de potencia es una constante.

"*Bias instability*": es la variación aleatoria en el sesgo del instrumento. Este proceso no estacionario (evolutivo) es caracterizado por una densidad espectral de potencia de la forma $(1/f)$. Se expresa típicamente en grados sobre hora $[°/h]$. En la curva de desviación de Allan se observa el proceso estocástico que le da origen como una pendiente nula.

"*Rate random walk*" (RRW): es un proceso estocástico con una densidad espectral de potencia de la forma $(1/f\text{^}2)$ en la velocidad angular. Este error se expresa típicamente en grados por hora sobre la raíz cuadrada de hora $[(°/\mathrm{h})/\sqrt{h}]$. En la curva de desviación de Allan se observa el proceso estocástico como una pendiente de +1/2.

Condiciones del ensayo estático. Los parámetros previamente mencionados son medidos en condiciones de reposo respecto del marco inercial de la tierra. Cuando se trata con sensores de muy alta sensibilidad, como los que se discuten en esta publicación, se procura aislar a los mismos de todas las fuentes de perturbación externa. Si no es posible obtener las condiciones anteriores, el resultado de las mediciones estará fuertemente condicionado por fuentes de incertidumbre no intrínsecas al sensor bajo ensayo, lo que no permitirá evaluar las verdaderas capacidades del mismo. Esto se torna especialmente difícil cuando las instalaciones en las que se realiza el ensayo residen en un área urbana. La proximidad de calles con su tránsito automotor, por ejemplo, generan perturbaciones mecánicas que terminan siendo parte de los datos de salida del sensor y que pueden ser varias veces mayores que el ruido propio del instrumento, degradando así los resultados del ensayo.

Por este motivo, el acondicionamiento de las instalaciones para los ensayos, cuyos resultados se muestran en esta publicación, incluye una mesa anti-vibraciones (TMC 63-500 Series) donde han sido ubicadas las unidades para incrementar el nivel de aislación respecto de perturbaciones mecánicas externas (fig. 4). Resulta importante destacar que las dos unidades fueron ensayadas de manera no simultánea.



Fig. 4 - Instrumento junto al sistema electrónico y mecánico de soporte

A continuación se presentan las características particulares de los ensayos para cada una de las dos unidades afectadas.

Ensayo Estático Unidad Nº1		
Duración	37.1	h
Tasa de datos	150	MPS
Ancho de banda	50	Hz
Temperatura	28.5	ºC

Ensayo Estático Unidad Nº2		
Duración	26.4	h
Tasa de datos	150	MPS
Ancho de banda	50	Hz
Temperatura	26	ºC

Resultados. Cada conjunto de datos, como ya se ha mencionado, ha sido analizado mediante el uso de la Varianza de Allan para determinar los distintos parámetros característicos del modelo de ruido del IFOG. Estos parámetros son presentados en las siguientes tablas y en sus cómputos se ha considerado un intervalo de confianza del 68.2%.

Resultados Ensayo Estático Unidad Nº1		
ARW	0.0016	$[°/\sqrt{h}]$
Bias instability	≤ 0.0053	$[°/h]$
RRW	0.0069	$[(°/\mathrm{h})/\sqrt{h}]$

Resultados Ensayo Estático Unidad Nº2		
ARW	0.0015	$[°/\sqrt{h}]$
Bias instability	≤ 0.0068	$[°/h]$
RRW	0.0162	$[(°/\mathrm{h})/\sqrt{h}]$

La figura 5 muestra las gráficas de desviación de Allan de las que se han extraídos, en forma indirecta, los tres parámetros bajo estudio.

Se debe aclarar que la gráfica se encuentra expresada en ambos ejes en términos de iguales unidades temporales, lo que permite la búsqueda de las pendientes -1/2, 0 y +1/2. En este caso se han escogido unidades relativas al segundo.

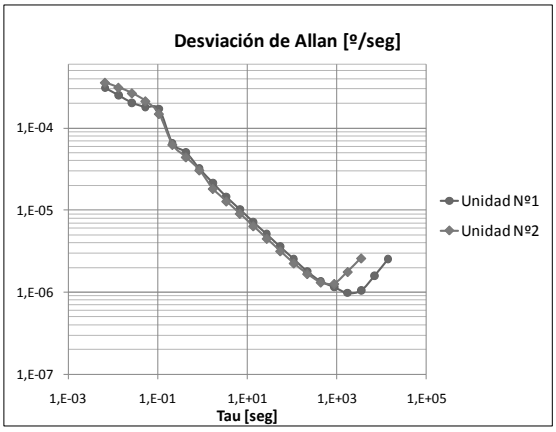


Fig. 5 - Curvas de desviación de Allan

En la gráfica puede notarse que la zona de pendiente nula o también denominada meseta "*flicker*" representativa de la "*bias instability*" no alcanza una completa definición. Es por ello que se consideran los valores estimados como cotas en los resultados expuestos anteriormente.

Como se ha mencionado, el análisis por medio de la Varianza de Allan es el método normalmente utilizado para determinar los parámetros de IFOGs para navegación. Sin embargo, el desempeño también puede evaluarse mediante el análisis de la densidad espectral de potencia (PSD).

La norma IEEE Std 952-1997 (R2008) [1] provee expresiones matemáticas para vincular los parámetros de desempeño entre los dos métodos. A modo de ejemplo se presenta la conversión del parámetro ARW, obtenido previamente por método de Varianza de Allan, al dominio de la frecuencia. En este dominio, el parámetro se corresponde a la porción "plana" del espectro, asociada con el ruido blanco. La equivalencia entre ambos dominios viene dada por la siguiente ecuación (eq. 1):

$$\mathrm{ARW}\left[\frac{°}{\sqrt{h}}\right] = \frac{1}{60}\cdot\sqrt{\mathrm{PSD}\left[\left(\frac{°}{\mathrm{h}}\right)^2 \Big/ \mathrm{Hz}\right]}$$

Eq. 1 - Equivalencia entre los métodos de Varianza de Allan y PSD

, la que para el caso particular de este estudio y utilizando los resultados del ensayo de la Unidad Nº1, permite obtener una densidad espectral de potencia de ruido asociada al ruido blanco en la velocidad angular:

$$\mathrm{PSD} = 9.216 \times 10^{-3} \left[\left(\frac{^\circ}{\mathrm{h}} \right)^2 \Big/ \mathrm{Hz} \right]$$

En aplicaciones de geofísica, como el observatorio LIGO, es de interés medir variaciones en la inclinación de la superficie terrestre, o desplazamientos angulares. Esos tipos de magnitudes angulares pueden también obtenerse de los datos proporcionados por un sensor de tipo IFOG integrando en el tiempo los datos de salida del instrumento.

En este sentido, el parámetro ARW nos habla de cuál será la desviación estándar de las mediciones angulares luego de integrar la velocidad angular sensada por el instrumento durante cierto lapso. Así, luego de una hora de integración, los resultados en la medición de ángulo arrojarán desviaciones estándar de entre 1.5 y 1.6 milésimas de grado aproximadamente entre las distintas realizaciones, si sólo se considerara el ruido blanco en la velocidad como única fuente de ruido. Claro está que este no es el caso, y que la inestabilidad de bias (ruido "*flicker*" o "*1/f"*), el "*Rate random walk*" (ruido blanco en la aceleración angular) y los restantes proceso de ruido, aportan incertidumbres adicionales.

Condiciones del ensayo dinámico. Los ensayos dinámicos han sido realizados en una mesa de rotaciones de un eje de mediana a baja prestación. Los objetivos principales del ensayo son la determinación del grado de linealidad del instrumento y el ajuste del factor de escala. En este caso sólo se detallan los resultados relativos a la Unidad Nº2.

Ensayo Dinámico Unidad Nº2		
Tasa de datos	150	MPS
Ancho de banda	50	Hz
Min Velocidad Angular	-398867	$[^\circ/h]$
Max Velocidad Angular	405598	$[^\circ/h]$

Los resultados muestran un alto grado de linealidad del instrumento (fig. 7), con una pequeña desviación hacia ambos extremos de la curva. El IFOG ha sido diseñado para un rango de $\pm 216000[^\circ/h]$ sin exceder un 0,5% de error. En la figura 8 se puede observar que la unidad excede el requerimiento, manteniéndose la salida lineal dentro del límite especificado hasta un rango de al menos $\pm 250000[^\circ/h]$. En particular, la curva del error de linealidad muestra que el mismo se mantiene acotado entre +0.3% y -0.1% dentro del rango recientemente mencionado.

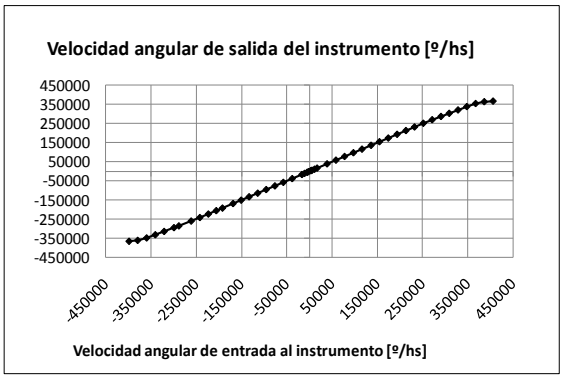


Fig. 7 – Transferencia del instrumento

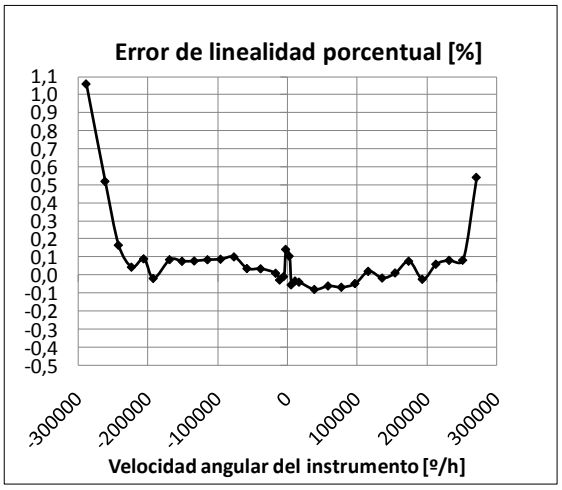


Fig. 8 - Error de linealidad del instrumento

Como se ha mencionado al comienzo, la respuesta natural del fenómeno físico que da origen al sensor, es altamente alineal. El grado de linealidad observado en los resultados obtenidos es gracias a las técnicas de procesamiento digital de señal y control de todas las variables intervinientes.

Los resultados arrojados por los ensayos estáticos y dinámicos han puesto en duda la relación entre el desempeño de las mesas utilizadas y el propio instrumento. Actualmente se está trabajando para obtener mesas de mayores prestaciones.

Conclusión. El rendimiento de los IFOGs presentados en este documento exceden a otros IFOGs de grados táctico y comercial en al menos en un orden de magnitud. Incluso siendo una evaluación preliminar, los resultados de los ensayos estáticos y dinámicos muestran resultados muy alentadores respecto al grado de linealidad, rango y estabilidad a largo plazo. Esto califica a las unidades no sólo para aplicaciones de navegación en la industria aeroespacial, sino también abre las puertas en el campo de la geofísica para aplicaciones como el sensado de ondas sísmicas rotacionales, inclinación de superficie, etc. La salida digital y la capacidad de las unidades de funcionar de manera autónoma y como parte de una red son características muy interesantes en la implementación de arreglos de sensores, permitiendo monitorear numerosas ubicaciones simultáneamente.

Cabe mencionar que aumentando la longitud del bobinado y/o el tamaño de la bobina podría, teóricamente, incrementarse aún más la sensibilidad del instrumento. Esta posible mejora podría a su vez incrementar la relevancia de fuentes de ruido óptico que por el momento no son predominantes. En los ensayos presentados en esta publicación, se han puesto al límite las instalaciones y facilidades disponibles en el laboratorio. Incluso, las mediciones realizadas se encuentran fuertemente afectadas por las limitaciones del equipamiento utilizado hasta el momento. Para la determinación del rendimiento real de las unidades actuales y la posibilidad de futuras mejoras, se hace necesario contar con equipamiento e instalaciones más avanzadas y de mejores prestaciones.

Referencias.

1. IEEE Std 952-1997 (R2008) - IEEE Standard Specification Format Guide and Test Procedure for Single-Axis Interferometric Fiber Optic Gyros.
2. IEEE Std 528-2001 (Revision of IEEE Std 528-1994) - IEEE Standard for Inertial Sensor Terminology
3. B. Lantz, R. Schofield, B. O'Reilly, D. E. Clark, and D. DeBra (2009). Review: Requirements for a Ground Rotation Sensor to Improve Advanced LIGO, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 99, No. 2B, pp. 980–989, May 2009, DOI: 10.1785/0120080199
4. Alexander Velikoseltsev, Karl Ulrich Schreiber, Alexander Yankovsky, Jon-Paul R. Wells, Alexander Boronachin, Anna Tkachenko (2011). On the application of fiber optic gyroscopes for detection of seismic rotations, Journal of Seismology, published online Feb 2012, DOI: 10.1007/s10950-012-9282-y
5. Leszek R. Jaroszewicz, Zbigniew Krajewski, Ryszard Świllo. Application of Fiber-Optic Sagnac interferometer for detection of rotational seismic events, Molecular and Quantum Acoustics vol. 22 (2001)
6. R. Franco-Anaya, A.J. Carr, K.U. Schreiber. Qualification of fibre-optic gyroscopes for civil engineering applications, 2008 NZSEE Conference

Filiaciones.

1. Laboratorio de Procesamiento Láser, Centro de Investigaciones Ópticas (CCT CONICET La Plata y CIC), Camino Centenario y 506, Gonnet, La Plata.
2. Departamento de Ciencias Básicas, Facultad Regional La Plata, Universidad Tecnológica Nacional.
3. Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata.



Construcciones

ENTREPISO DE EDIFICIO EN CONSTRUCCION AFECTADO POR INCENDIO. EVALUACION DE LA MAGNITUD DEL DETERIORO

Ferreyra Hirschi, Enrique S.; Eperjesi Lilian N.; Vicente, Ariel A.

Laboratorio de Estudio de Materiales y Estructuras para la Ingeniería Civil (LEMEIC).
Departamento Construcciones. Facultad de Ingeniería. UNLP.
Calle 48 y 115, La Plata. E-mail: eperjesi@ing.unlp.edu.ar

Palabras Claves: acción del fuego, hormigón armado, estructura en ejecución.

INTRODUCCION

El presente trabajo se basa en un Informe de Asistencia y Servicios Técnicos (1) realizado por el Laboratorio LEMEIC, como parte de los servicios que brinda al medio. Tiene por objetivo proporcionar información respecto del desempeño resistente, en el estado actual de conservación, de la estructura de un edificio ubicado en la ciudad de La Plata, que en etapa de construcción fuera afectado por un incendio. Al momento de producirse el siniestro la estructura contaba con cuatro niveles: PB, 1º, 2º y 3º Piso; con el encofrado preparado para hormigonar el 4º Piso, sector en donde se desarrolló el incendio.

Las evaluaciones efectuadas abarcan la clasificación y cuantificación general de daños y la determinación de propiedades mecánicas del hormigón y acero. Para caracterizar el estado del hormigón se ha determinado la densidad, profundidad de carbonatación y resistencia a compresión en testigos extraídos de la zona de incendio y de sectores no afectados, con el fin de comparar la magnitud del deterioro originado por las altas temperaturas. En el acero se determinaron propiedades de interés, asociadas a la resistencia mecánica y dureza, sobre muestras de barras de armaduras extraídas de la estructura del sector afectado y de acopio, a los efectos de establecer el grado de alteración relativo del acero que ha estado en contacto con el fuego. Complementariamente y a nivel comparativo, se realizaron mediciones de velocidad de pulso ultrasónico en elementos estructurales próximos a la zona de incendio y lo suficientemente alejados.

Los estudios realizados han puesto en evidencia que no existen diferencias significativas que puedan considerarse como descriptivas de deterioro del hormigón armado que materializa el sector afectado, infiriéndose que el incremento de temperatura provocado por la acción del fuego no ha derivado en consecuencias perjudiciales de magnitud apreciable.

ESTUDIO ESTRUCTURAL

Relevamiento de Cuadros de Fisuración.

En la cara superior de la losa sobre 3º Piso, nivel en el que tuvo lugar el siniestro, se observaron cuadros de fisuración asociados a la contracción del hormigón durante el fraguado por pérdida de humedad a edad temprana, fenómeno cuyo origen no se vincula a la acción del fuego y es conocido como contracción plástica. El incremento de temperatura derivado del incendio acentuó la pérdida de humedad y el consecuente progreso del fenómeno de contracción, dando lugar a la profundización y ensanchamiento de las fisuras preexistentes y a la eventual generación de nuevas fisuras.

Determinación de Propiedades Físicas y Mecánicas del Hormigón de Testigos.

A los efectos de determinar propiedades físicas y mecánicas del hormigón que ha estado en contacto directo con el fuego (losas sobre 3º Piso), fueron extraídas diez muestras mediante

calado con broca de corona diamantada. Sobre las mismas se efectuó la observación visual de las características generales del hormigón; se determinó la densidad conforme a los lineamientos de la Norma ASTM (2); la profundidad de carbonatación mediante el teñido con un indicador ácido-base (3), con el fin de indagar sobre la existencia de procesos de calcinación del hormigón como producto de la acción del fuego y la resistencia a compresión, según Norma IRAM 1551 (4).

De la apreciación visual surge que el hormigón de las muestras presenta una matriz de mortero compacta, sin macroporosidad ni defectos derivados de una compactación deficiente. El valor medio de la densidad, 2371 kg/m^3, se corresponde con el de un hormigón convencional para el tipo de obra que se trata. Con el avance de la carbonatación, que no supera los 3 mm, y la edad de la estructura, 6 meses, se determinó una constante de carbonatación igual a 4.2 mm/año$^{0.5}$, valor asociado al de un hormigón de calidad apropiada para el servicio previsto y que resulta consistente con un proceso natural de carbonatación, debido a las acciones medioambientales típicas del meso clima de emplazamiento. El valor medio de la resistencia a compresión, evaluada sobre diez muestras, resultó ser de 21.3 MPa con una dispersión del 11% y una resistencia característica inferida de 20 MPa, la que resulta mayor que la adoptada por el proyectista al momento de la concepción del diseño (17 MPa).

Las propiedades físicas y mecánicas analizadas evidencian que el hormigón del nivel afectado por el siniestro no ha sufrido efectos deletéreos significativos.

Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico.

La velocidad de pulso ultrasónico es la relación que existe entre la distancia de viaje a través del hormigón de una onda ultrasónica y el tiempo que tarda en recorrerla. Resulta de gran utilidad para evaluar la homogeneidad del hormigón, razón por la cual se decidió determinar la velocidad del puso ultrasónico en columnas correspondientes a los niveles sobre 2º Piso y sobre 3º Piso, para indagar sobre el eventual grado de afectación relativo de los hormigones de cada uno de los niveles, tomando como referencia el hormigón de la estructura sobre 2º Piso, por encontrarse alejado de la zona de incendio. Se midieron tiempos de pasaje de pulso ultrasónico en 60 posiciones, correspondientes a 12 columnas tomadas de a 6 por nivel. En la Tabla 1 se presentan los valores medios de la velocidad del puso ultrasónico en cada columna, la dispersión y el valor medio para cada nivel.

Tabla 1: Velocidad del puso ultrasónico en columnas correspondientes a los niveles sobre 2º Piso y sobre 3º Piso.

Nivel	Nomenclatura de las columnas	Valor medio [m/s]	Dispersión [%]	Valor medio para el nivel [m/s]
Sobre 2ºPiso	C1	3919	2	4033
	C2	3946	2	
	C3	3957	2	
	C7	4174	2	
	C8	4050	1	
	C9	4150	2	
Sobre 3ºPiso	C1	4147	2	4033
	C2	4230	1	
	C3	3931	1	
	C7	3946	2	
	C8	3812	1	
	C9	4133	2	

Los valores de la velocidad promedio de pulso ultrasónico determinados para cada columna en ambos niveles muestran que no existen diferencias que puedan considerarse como descriptivas del deterioro relativo del hormigón sobre 3º Piso, infiriéndose que el incremento de temperatura provocado por la acción del fuego no ha derivado en consecuencias perjudiciales de magnitud apreciable. Según el DURAR (3), las velocidades del pulso ultrasónico comprendidas entre 3001 a 4000 m/s se corresponden con un hormigón de buena calidad.

Determinación del Estado de las Armaduras.

Se efectuaron ensayos comparativos de propiedades resistentes sobre muestras de barras de acero extraídas del acopio a pie de obra y de las armaduras de la estructura correspondiente a las losas sobre 3º Piso, sobre 4º Piso (a ser hormigonada oportunamente) y armaduras de remates de columnas sobre 3º Piso, en la Tabla 2 se informan los resultados obtenidos. En forma complementaria, se efectuaron ensayos comparativos de dureza Rockwell sobre muestras extraídas del acopio y de la armadura de losa sobre 3º Piso.

Tabla 2: Resultados del ensayo de tracción sobre muestras de armaduras tomadas en distintos sectores de la estructura y del acopio.

Procedencia	Muestra	Diámetro [mm]	Alargamiento porcentual [%]	Tensión de fluencia [MPa]	Tensión de rotura [MPa]
Armadura de acopio	1	12	16.3	426	725
	2	12	16.3	428	730
	3	8	17.8	476	708
	4	8	16.9	471	694
Armadura de losa sobre 3º P	1	8	15.6	449	635
	2	8	18.8	449	642
	3	8	15.6	454	642
	4	8	15.8	441	630
Armadura de losa sobre 4º P	1	8	18.8	383	623
	2	8	26.3	391	625
Armaduras de remates de columnas sobre 3º P	1	12	25.8	290	476
	2	12	23.3	284	482
	3	12	26.7	291	493
	4	12	30.0	307	497

De los resultados obtenidos puede apreciarse que no existen reducciones significativas en el valor de la resistencia a tracción de barras correspondientes a las armaduras de losas sobre 3º Piso respecto del valor correspondiente a barras del mismo diámetro obtenidas del acopio. Las armaduras de losas sobre 4º Piso, en espera a ser hormigonada, manifestaron una reducción de la resistencia a tracción del orden del 11% respecto del valor correspondiente a barras del mismo diámetro obtenidas del acopio. En las barras de acero de las armaduras de remates de columnas de la estructura sobre 3º Piso, es decir la armadura en espera para las columnas del 4º Piso, se observa una reducción del orden del 30% en el valor de la resistencia a tracción respecto de los resultados obtenidos en barras del mismo diámetro tomadas del acopio.

El valor promedio de la dureza Rockwell determinada sobre 8 barras de acero de la armadura de losas de la estructura sobre 3º Piso resultó ser de 57.2, mientras que el valor correspondiente a las barras de acopio de 59.1. La diferencia, del 3%, resulta del orden de la dispersión relativa al promedio del discreto muestral del conjunto.

A partir de los resultados de resistencia a tracción y dureza Rockwell se infiere que la acción del fuego no ha afectado de manera apreciable el comportamiento mecánico del acero que forma parte de la armadura de losas sobre 3º Piso.

ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LAS REPARACIONES

Restauración de Losas de Hormigón Armado Afectadas por Fisuración.

A los efectos de proveer de condiciones compatibles con un nivel de desempeño aceptable para el servicio previsto, se entenderá por restauración de losas de hormigón armado afectadas por fisuración al reestablecimiento de la continuidad de las mismas con el objetivo de recuperar la integridad físico-mecánica y características durables mediante el sellado de las discontinuidades. La mencionada restauración comprende la cara superior de las losas sobre 3º Piso.

Material de sellado. Para lograr la restitución de la continuidad estructural e impermeabilidad original de las losas se especifica el sellado de fisuras con un material de sellado basado en lechadas de cemento pórtland modificadas con aditivos superplastificantes que, una vez vertidas, endurezcan por reacciones de hidratación permitiendo restituir la continuidad propia del hormigón que forma parte de las losas afectadas.

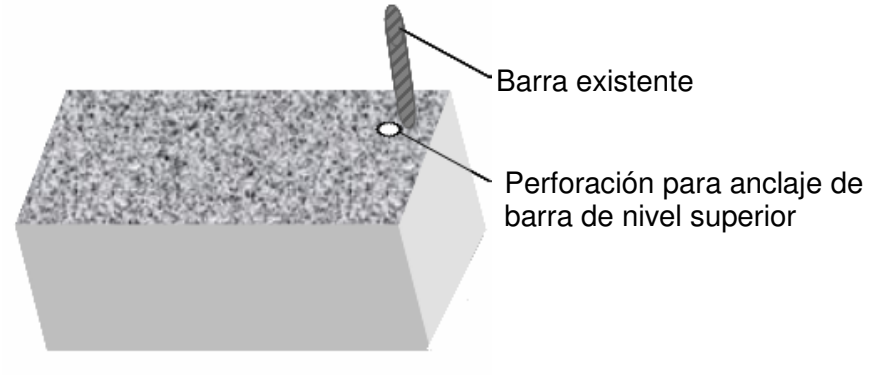
Preparación del soporte. La superficie de las caras superiores de las losas a tratar deberán ser hidrolavadas. El mismo procedimiento habrá de efectuarse en correspondencia con la traza de las fisuras, de manera de obtener discontinuidades limpias, libres de polvo o cualquier otro material que impida la percolación de las lechadas de sellado. Posteriormente se efectuará la eliminación de finos remanentes mediante un tratamiento con corriente de aire a presión.

Aplicación del material de sellado. Las lechadas de sellado serán de razón agua-cemento 0.5 en peso, con dosis de aditivo según recomienda el fabricante en la ficha técnica del producto, ajustándose la misma en obra a los efectos de obtener la fluidez necesaria para el llenado de las discontinuidades. Las lechadas indicadas habrán de percolar por acción de la gravedad y se aplicarán mediante vertido desde la cara superior de las losas a tratar, encharcando las mismas con el material de sellado y distribuyéndolo por medio de secadores de goma.

Acondicionamiento de Armadura en Remate de Columnas sobre 3º Piso.

Eliminación de dados de continuidad. Para asegurar un desempeño aceptable de la interfase entre hormigones extemporáneos es esencial la realización de una adecuada preparación del sustrato, de manera de lograr efectiva continuidad entre el hormigón constitutivo de los remates de columnas y el hormigón a colocar. A los efectos de la eliminación de partículas flojas como de proveer de una rugosidad que favorezca la adherencia con el material de refuerzo se recomienda la demolición de los dados de hormigón colados por encima del remate del nivel en estudio (sobre 3º Piso) y el posterior cepillado metálico, manual o mecánico, de la superficie. Saneado el sustrato, se sugiere la eliminación del polvo mediante una corriente de aire a presión.

Para mejorar la continuidad entre las columnas y su prolongación a construir, se deberá anclar la armadura longitudinal de las columnas mediante resina epoxi, en perforaciones de 18 mm de diámetro y 15 cm de profundidad practicadas sobre la sección normal límite existente y en correspondencia con las inmediaciones de las armaduras existentes en el nivel inferior, tal como se indica en el Esquema 1. Se aplicará un puente de adherencia epoxídico en la superficie de unión entre el hormigón existente y el hormigón a colocar.



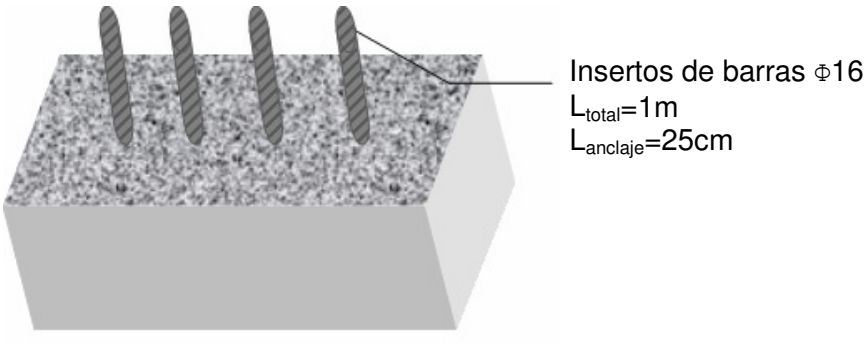
Esquema 1: Anclaje de barras para prolongación de columna.

Refuerzo de columnas. De acuerdo a las determinaciones efectuadas, las barras de acero de las armaduras de remates de columnas de la estructura sobre 3º Piso, es decir la armadura en espera para las columnas del 4º Piso, han manifestado una reducción de la resistencia a tracción del orden del 30% respecto del valor correspondiente a barras del mismo diámetro obtenidas del acopio. En este sentido y a los efectos de restablecer en los remates de columnas las prestaciones resistentes existentes previas al siniestro, se deberán practicar refuerzos en columnas mediante el agregado de insertos de barras que se vincularán a los extremos de las columnas existentes mediante unión epoxídica.

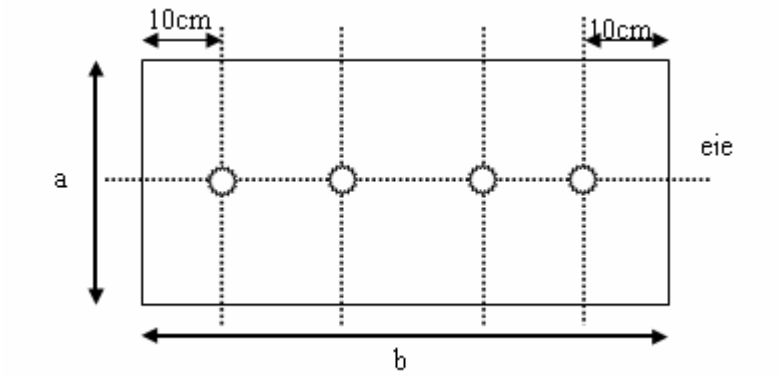
Los insertos estarán materializados por trozos de barras de acero Φ16 de 1m de longitud. Se deberán colocar 4 insertos por columna posicionados en la sección según se indica en los Esquemas 2 y 3. Los mismos se anclarán al extremo superior de las columnas en perforaciones practicadas a tal efecto y mediante unión epoxídica.

Una vez saneados los remates, es decir, una vez removidos los dados de continuidad de columnas, se procederá a la realización de cuatro perforaciones de 18 mm de diámetro y 25cm de profundidad, con eliminación del polvo resultante mediante corriente de aire a presión.

Una vez practicadas y limpias las perforaciones, se procederá a la colocación de resina epoxi en cantidad suficiente para llenar la mitad de la cavidad. Inmediatamente se deberá colocar el inserto, verificándose el rebase de resina por el extremo superior de la perforación.



Esquema 2: Anclaje de barras para refuerzo en columna.



Esquema 3: Detalle del anclaje de barras para refuerzo en columna.

CONCLUSIONES

Las evaluaciones realizadas sobre la estructura de un edificio, que en etapa de construcción fuera afectado por un incendio, permiten arribar a las siguientes conclusiones respecto del desempeño resistente.

- La resistencia de cálculo inferida para el hormigón, 20 MPa, en el nivel donde se desarrolló el incendio, resulta mayor que la resistencia característica adoptada por el proyectista en la concepción del diseño. Para recuperar la integridad mecánica y durable se deberá sellar las fisuras existentes en la cara superior de las losas sobre 3º Piso.

- Los valores de la velocidad promedio de pulso ultrasónico determinados sobre columnas próximas a la zona de incendio y lo suficientemente alejadas del siniestro, muestran que no existen diferencias significativas, infiriéndose que el incremento de temperatura provocado por la acción del fuego no ha derivado en consecuencias perjudiciales de magnitud apreciable.

- Las propiedades mecánicas del acero de armaduras manifiestan que no existen reducciones en el valor de la resistencia a tracción de barras correspondientes a las armaduras de losas sobre 3º Piso. Las armaduras de losas sobre 4º Piso, en espera a ser hormigonada, podrán utilizarse teniendo en cuenta las mermas resistentes del 11%. En las barras de acero de las armaduras de remates de columnas de la estructura sobre 3º Piso que forman parte de la armadura en espera para las columnas del 4º Piso, la reducción de resistencia del 30% da lugar a refuerzos en columnas mediante el agregado de insertos de barras que se vincularán a los extremos de las columnas existentes.

BIBLIOGRAFIA

(1) Informe de Asistencia y Servicios Técnicos Laboratorio LEMEIC, Departamento Construcciones, Facultad de Ingeniería, UNLP. Comitente Sr. L. Verdele. Abril-Mayo 2012.
(2) American Society for Testing and Materials. ASTM C 642-06 “Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete”. 2006.
(3) CYTED. DURAR. “Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado”. ISBN 980-296-541-3. 1997.
(4) Norma IRAM 1551-00. “Hormigón de cemento pórtland. Extracción, preparación y ensayo de testigos de hormigón endurecido”. 2000.

SISTEMA DE GESTION VIAL: APLICACIÓN EN LA CIUDAD DE MAR DEL PLATA

Daguerre Lisandro, Capra Bernardino, Frígoli Albert Elisa, Larsen Diego, Williams Eduardo [(1)]
Tidone Leda, Faiella Pablo [(2)], Bolgeri Fernando [(3)], Schvartzer Fabián [(4)]

[(1)] Lab. de Pavimentos e Ingeniería Vial (La.P.I.V.) Fac.de Ingeniería – Univ. Nac. La Plata
lapiv@ing.unlp.edu.ar; Tel: +54 221 4236687

[(2)] Ente Municipal de Vialidad y Alumbrado (EMVIAL)-Munic. Gral.Pueyrredón;

[(3)] Docente U.N.MdP., Jefe de Departamento Zona X Mar del Plata, DPVBA

[(4)] Docente Univ. Buenos Aires, Maestría Vial Univ. Nac. La Plata

Palabra clave: sistema de gestión vial, metodología pci, paver

INTRODUCCION

La ciudad de Mar del Plata es un importante centro balneario y puerto argentino ubicado en la costa del mar Argentino, en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. Es la cabecera del Partido de Gral. Pueyrredón y la urbe turística más importante de la Argentina tras Buenos Aires, ya que en época de verano puede aumentar su población más de un 300%. Según el Censo 2010, posee unos 614.350 habitantes,(3ra en la Pcia Bs. As. luego de La Matanza y La Plata). La ciudad se desarrolla en forma irregular sobre una superficie estimada de 80km^2. Cuenta actualmente con unas 10000 calles pavimentadas de las cuales un 40% son de Hormigón y las restantes de Concreto Asfáltico.

La problemática y complejidad de la red vial municipal, muchas veces hacen que la metodología de intervención aplicada, no responda desde el punto de vista técnico y económico a las realidades y necesidades integrales. Con el objetivo de mejorar esta situación, es que se plasmó un convenio entre la Municipalidad de General Pueyrredón con la Facultad de Ingeniería U.N.L.P., para realizar un plan de acción que permitiese implementar un *Sistema de Gestión Vial* (SGV) que sirviera -entre otros- para sistematizar y mejorar racionalmente el destino de las partidas presupuestarias asignadas.

Un Sistema de Gestión Vial es una herramienta de apoyo, que sobre la base del conocimiento integral del estado de situación en que se encuentran las diferentes arterias de la ciudad, posibilita la toma de decisiones de intervención con fundamento técnico-económico.

El Objetivo Principal ha sido determinar planes de intervención a mediano y largo plazo, tanto en tareas de Construcción, Rehabilitación como de Mantenimiento Vial de acuerdo al grado de deterioro encontrado en las calles urbanas.

Asimismo se ha tenido también como Objetivo Especifico de importancia, la de capacitar y generar los cuadros técnicos necesarios dentro del municipio, para que los mismos puedan tomar las acciones de intervención técnicas con el paso del tiempo y que en definitiva sirvan para retroalimentar el sistema o inventario generado, actualizándolo en forma periódica, de

acuerdo al estado y a la importancia de las distintas calles que forman la red vial pavimentada de la ciudad

Uno de los antecedentes considerados como referencia para comenzar con la implementación del SGV, es el llevado a cabo años anteriores en la ciudad de Buenos Aires [(1)]. En el citado trabajo el Ing. F. Schvartzer plantea la metodología para efectuar el relevamiento de las calles siguiendo el sistema desarrollado por el Ing. M. Shahin del Cuerpo de Ingeniero de los Estados Unidos[(2)].

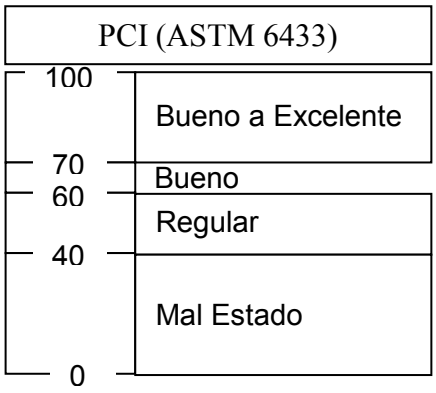
METODOLOGÍA e IMPLEMENTACION DEL PLAN DE GESTION

En un principio y visto la necesidad de disponer de información sistematizada, se decidió llevar a cabo un inventario vial considerando inicialmente la siguiente información:

a.- Clasificación de la red por tipología de calle: Hormigón, Asfalto
b.- Elementos de geometría, ancho, largo, existencia de cunetas, tipo de cordón, sumideros, tapas, etc.
c.- Estado de la condición superficial, identificación de fallas, densificación.
d.- Barrios, densidad poblacional

Obtenida la citada información para unas 10000 arterias y esquinas de la ciudad, la misma fue volcada en una base de datos y procesada a través del Software MICROPAVER 6.5, desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EEUU, y que está siendo implementado en Aeropuertos y Ciudades con mucha aceptación alrededor del mundo(3)(4).

A través de este, es posible calcular un Indice de Condición de Pavimento (PCI), con el que se califica en orden ascendente el estado de las calles pavimentadas, entre 0 (intransitable) y 100 (calzada nueva) puntos.

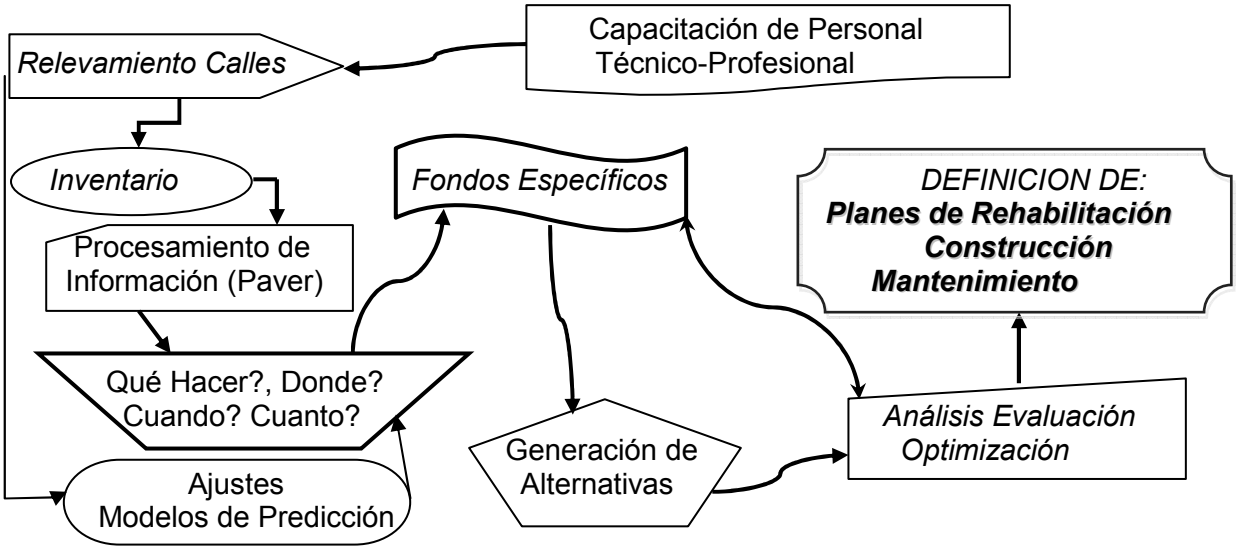


También es factible cuantificar en base a las mediciones efectuadas, y teniendo en cuenta los costos unitarios de diferentes ítems, la inversión necesaria ya sea para realizar trabajos de reparación puntual como por ejemplo en los baches detectados, o definir planes de intervención en el tiempo de acuerdo a distintos escenarios que se puedan plantear y poder así elevar a rangos aceptables el PCI de cada calle.

Las diferentes etapas en que se desarrolló el plan de trabajo para la implementación del SGV se esquematiza de la siguiente manera:

SISTEMA DE GESTION VIAL (SGV)

El diagrama de flujo con las distintas etapas intervinientes en el sistema de gestión vial se lo resume seguidamente:



Inventario, condición de estado de los pavimentos, análisis técnicas de necesidades, priorización, impacto de las decisiones de financiamiento, retroalimentación

1.- Gerenciamiento: que hacer, para que, cuando

Una serie de charlas sobre concientización general del sistema a implementar fue dirigida a funcionarios y técnicos de la repartición municipal para hacerlos partícipes e integrarlos en la toma de decisiones.

2.- Personal

A través del Ente Vial Municipal (Emvial), se realizó una selección de estudiantes avanzados en las carreras de Arquitectura e Ingeniería de la Univ. Nac. de Mar del Plata, siendo contratados como pasantes catorce (14) alumnos de cada Unidad Académica.

Se les efectuó la Capacitación teórica y práctica como relevadores de campo, se les hizo entrega de Manuales de relevamiento, con las tipificaciones de las fallas tanto para pavimentos flexibles como rígidos, la Metodología de evaluación, y las Planillas tipo. Algunos de ellos formaron parte del grupo que volcó y procesó la información levantada.

3.- Tareas de Campo

Se determinó un plazo para la realización del relevamiento. Se armaron grupos de dos y tres personas y se planificó la ciudad dividiéndola en 9 zonas. El trabajo de campo realizado fue revisado sistemáticamente con profesionales del La.P.I.V. y particularmente en la organización diaria a través del EMVIAL, con la supervisión integral de la Ing. Leda Tidone, y la colaboración del Ing. Pablo Faiella y del Ing. Fernando Bolgeri.

Las tareas de evaluación superficial de las calzadas tienen por objetivo determinar la *tipología, la cantidad y densidad* de las fallas de los pavimentos de asfalto como de hormigón.

Siguiendo la metodología indicada según el PCI y normalizada por ASTM, se reconocen unas 39 fallas diferentes con distinto grado de severidad. Cada una de las fallas es identificada con un número, su severidad mensurada como alta (high), media (médium) o baja (low) y la densidad con la que se la encuentra, varía según la falla, midiéndose en general en ml o como un porcentaje del área afectada o relevada.

4.- Software
En tres notebooks, se integró el software MicroPaver adquirido. Con el apoyo de personal de Catastro, de la Subsecretaría de Informática Municipal, profesionales de informática del EMVIAL y del Ing. A. Iregui, se fue adaptando el mismo a las necesidades locales y a la configuración de red que posee el EMVIAL.

5.- Generación de Base de Datos.¿Cómo ha sido procesada la información de campo?
Las calles relevadas por su tipología son:

- CONCRETO ASFALTICO (AC) y de HORMIGON (PCC)

Estas arterias se identifican por un código de Rama que proviene y coincide con el GIS de Catastro municipal, Asimismo se realizó un trabajo diferencial y específico con las particularidades que ofrece la geometría irregular de las esquinas.

6.- **Visualización gráfica del Índice de Condición del Pavimento (PCI), mediante el software ArcView GIS.**
Determinadas las diferentes patologías, cuadra por cuadra, su severidad y densidad *es posible calcular un índice de comportamiento del pavimento PCI, para cada calle y generar su salida numérica y gráfica.*

7.- Análisis técnico económico.
Con la información relevada y luego del procesamiento de los datos, se ha podido diagramar un plan de acción, contemplando la intervención en función de las necesidades técnicas y de la disponibilidad económica. En este sentido han sido analizados distintos escenarios considerando diferentes variables como zonas de circulación del tránsito pesado, turístico, colectivos, arterias principales, secundarias (según el Cod. de Ordenamiento Territorial), accesos a escuelas, hospitales, salas de primeros auxilios, tipos de fallas con prioridad de intervención para elevar el PCI de la cuadra etc.

PARTE EXPERIMENTAL
Inicialmente para ajustar la metodología de trabajo, se llevó a cabo una Prueba Piloto o Testigo en un sector de la ciudad que comprendía unas 2100 calles.

En 1328 calles con Hormigón, el PCI medio fue de 62.5 con un dSt 15.3 y COV 24.4%, Max. absoluto de 100 y min absoluto de 13. En 866 calles con Concreto Asfáltico el PCI medio resultó ser de 68.7, el dSt 22.5, COV 32.7 Max. absoluto de 100 y Min absoluto de 6.

Como conclusión, para elevar a mas de 70 el PCI tanto en los cruces de esquinas como en las calzada de las cuadras, las tareas contempladas abarcan a:

Reparación Pavimento Flexible (Asfalto), Bacheo Superficial, Bacheo Profundo; Fresado y recapado; Reparación Pavimento Rígido (Hº), Sellado de juntas, Bacheo (Reposición parcial o total de losa).

La intervención económica se calculó en las calles con Concreto Asfáltico en $ 8.750.000 y en las de Hormigón $47.000.000.- (Base: Precio Conc. Asf. $/tn800 y el H° 450$/m^3).

Barrios
Con la finalidad de tener en cuenta otras variables a la hora de realizar un análisis integral, ha sido procesada la información teniendo en cuenta la situación de los distintos barrios de la ciudad, su población (último censo 2010) y la superficie que esta ocupa (densidad poblacional), Se ha obtenido el costo de inversión a efectuar en cada uno de ellos, considerando como criterio básico elevar el estado de la red vial a un PCI mayor a 70.

En la tabla siguiente sintéticamente y a modo de ejemplo, se indican *algunos de los mas de 50 barrios*, con su población y densidad por ha, costos de inversión en calles, cruce de esquinas y totales, expresada en Módulos al que hay que multiplicar por el costo de la tonelada de mezcla asfáltica, para llevarlo a una unidad de valor monetario.

DATOS POBLACIONALES				PRESUPUESTO		
BARRIO	**Población 2010**	**Superficie Ha.**	**Densidad Poblacional**	**Calles**	**Esquinas**	**TOTAL**
9 de Julio	7791	79,4	98,12	6.585	2.668	9.253
Aeroparque	4965	74,3	66,82	1.924	780	2.704
Constitución	8964	109,5	81,86	12.079	4.895	16.974
El Martillo	4536	42	108,00	4.849	1.965	6.815
El Progreso	8536	78	109,44	6.375	2.583	8.958

MATERIALIZACION DE LOS RESULTADOSOBTENIDOS

Las acciones llevadas a cabo desde el municipio y que se enuncian a continuación han tenido como base el SGV implementado durante el año 2012:

A.- Barrio Peralta Ramos Oeste, reparación de las fallas principales, en un total de 32 cuadras.

B.- Barrio Constitución**:** Dado que la mayoría de las Calles de este Barrio cuentan con PCI ≤ 50, se tomó la decisión de efectuar tareas de Fresado y colocación de carpeta de concreto asfáltico en 5 cm, las mismas se realizan por Administración con Maquinaria y personal del EMVIAL, y cuya primera etapa se encuentra en ejecución.

C.- Se prevé intervenir en el Barrio LÓPEZ DE GOMARA, a efectos de reparar las calles con PCI < 40.

D.- Se están realizando de manera periódica por Administración, con fusoras y personal del EMVIAL, tareas de mantenimiento preventivo, que consiste en el sellado de juntas en distintos Barrios de la ciudad, teniendo en cuenta todas las calles de hormigón relevadas que requieren de la ejecución de este tipo de obra.

E.- En función de la disponibilidad de fondos públicos es que se decidió sobre la base de los datos recolectados llevar a cabo una licitación en un sector prioritario definido por los cuadros técnicos y la administración municipal. El mismo ha alcanzado zonas principales de circulación de colectivos dentro de la ciudad y calles de circulación primaria, totalizando unas 192 cuadras. Los criterios básicos persiguen elevar el PCI existente a valores superiores a 70.

CONSIDERACIONES FINALES

- A la fecha se encuentran relevadas en campo el 100 % de las cuadras pavimentadas, de las cuales un 90 % han sido cargadas en el software, y el resto están siendo procesadas. Ya concluida esta tarea inicial, se ha podido computar, planificar y presupuestar el Monto de Inversión necesario, para llegar a un nivel de servicio aceptable en la red vial pavimentada, con plazos predecibles en función de la posibilidades de financiación.

- De acuerdo a lo expresado, puede observarse que este Plan de Gestión Vial no resulta estático, sino que requiere una actualización continua en el tiempo, conforme se vayan

ejecutando obras, evolucionen las fallas existentes o se generen nuevas, a fin de contar con la información actualizada del estado de transitabilidad de las calles, como herramienta de gestión para la implementación de un Plan de Mantenimiento Correctivo en la actualidad y Preventivo a futuro.

- La capacitación y formación de cuadros técnicos, ha repercutido favorablemente al generarse nuevas inquietudes, formas de administrar y gerenciar sobre la base del conocimiento real del estado de situación en que se encuentran los pavimentos.

- El inicio de la implementación de un Sistema de Gestión Vial, con asistencia técnica desde la Universidad al estado municipal, ha demostrado ser una vía factible para mejorar y fortalecer la administración y recursos de los organismos públicos.

BIBLIOGRAFIA REFERENCIADA

(1) Sistema de Gerenciamiento de Pavimentos en la ciudad de Buenos Aires. Ing. Fabián Schvartzer et all 2006 CPA Mar del Plata

(2) Shahin, M.Y., Walther,J.A., (1990) Pavement Maintenance Management for Roads and Streets Using the Paver System.Technical Report nro M-90/05, U.S.Army Construction Engineering Laboratory, July

(3) Programs developed by US Army Corps of Engineers, Engineer Research And Development Center

(4) Norma ASTM D6433-09 PCI™ for roads and parking lots

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Mantenimiento de Pavimentos de Hormigon en calles de la ciudad de Rosario. Ing. Grosman, Ing. A. Caballero .1998 1er Provial Rosario Argentina
- Pavement Condition Index (PCI)para Pavimentos Asfálticos y de Concreto en Carreteras. Ing.Esp. L. R.Vásquez Varela. Febrero 2002. Ingepav.
- Comparison of Automated Pavement Distress Data Collection Procedures for LocalAgencies in the San Francisco Bay Area. Carlos M. Chang Albitres et all. TRB 07-1151.Enero 2007

MACROFIBRAS SINTÉTICAS PARA EL REFUERZO DE HORMIGÓN

Giaccio, Graciela M., Bossio, María E., Monetti, Diego H., Morea, Francisco, Torrijos, María C., y Zerbino, Raúl L.

Departamento Construcciones de la Facultad de Ingeniería Calle 115 y 48 La Plata, y Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica (LEMIT-CIC), Calle 52 entre 121 y 122 La Plata. zerbino@ing.unlp.edu.ar

Resumen

Dentro del proyecto "Hormigón y desarrollo sustentable" 11/I146 se realizan estudios tendientes a la caracterización y aprovechamiento del Hormigón Reforzado con Fibras (HRF) y en particular al uso de nuevas macrofibras sintéticas para la construcción civil. En este trabajo se muestran algunas de las líneas de investigación en marcha que incluyen estudios de la adherencia fibra-matriz, de la fluencia en flexión de elementos en estado fisurado sometidos a diferentes ciclos de cargas, y el uso de fibras para el refuerzo tipo overlay sobre sustratos de hormigón y de concreto asfáltico considerando la aplicación del HRF para la rehabilitación de caminos. En cada caso se describen las variables en estudio, se muestran algunos resultados comparando la respuesta del hormigón simple o reforzado con fibras de acero y se indican las conclusiones y líneas de trabajo futuro.

Palabras Claves: hormigón con fibras, fibras sintéticas, cargas de larga duración, reparaciones

Introducción

El Hormigón Reforzado con Fibras (HRF) es un material de alta performance que posibilita la obtención de estructuras y elementos más durables así como la realización de reparaciones y refuerzos. Recientemente se han desarrollado macrofibras sintéticas para el refuerzo de morteros y hormigones que compiten con las tradicionales fibras de acero en muchas aplicaciones. Las macrofibras sintéticas se utilizan en losas sobre el piso (pavimentos y playas de estacionamiento, caminos, pisos domésticos, aplicaciones vinculadas con la agricultura, etc.), en hormigón proyectado y construcción in situ, revestimiento de túneles; muros y estructuras para contención de aguas, elementos premoldeados, tanques de almacenamiento, tuberías y paneles para viviendas.

Entre las necesidades de estudio aparece la de valorar su adherencia. El mecanismo de falla del HRF se basa en la resistencia al arrancamiento de las fibras. En las fibras de acero intervienen la des-adhesión fibra-matriz y la fricción por deslizamiento, pero el principal mecanismo es el entrecruzamiento mecánico generado por la conformación de la fibra. Naaman & Najm (1) estudiaron fibras de acero lisas y conformadas encontrando que en las fibras con gancho decrece la carga a medida que el gancho se endereza al deslizar. En general la carga de arrancamiento crece al disminuir la relación agua/cemento, pero este factor juega un rol menor en el mecanismo de des-adhesión (2,3). En matrices de muy alta resistencia la carga de arrancamiento crece con la resistencia de la matriz tanto para fibras lisas, con extremos planos o con ganchos, siempre que no rompan las fibras (4). Los estudios sobre la respuesta de macrofibras sintéticas son mucho más recientes y limitados; en comparación con las fibras de acero, se encontraron mayores desplazamientos para la carga pico y menores deslizamientos a mayor velocidad de carga (5). Existe gran variedad de macrofibras sintéticas (6-8).

La segunda línea de trabajo surge del hecho de que, aunque muchas veces se especifica un HRF con el propósito de mejorar la vida en servicio de las estructuras, la información existente sobre el comportamiento en el tiempo del HRF en estado fisurado es bastante limitada. Esto es particularmente de interés en el caso de las macrofibras sintéticas donde su respuesta diferida podría constituir un impedimento para su uso. Actualmente para la

caracterización mecánica y diseño estructural del HRF se emplea el concepto de tensión residual, que representa la capacidad portante del HRF cuando las fisuras han alcanzado determinada magnitud; ajustándose de este modo a diversas condiciones de servicio. La norma EN 14651 incluye cuatro tensiones residuales para aperturas de fisuras entre 0,5 y 3,5 mm (9) mientras que la norma ASTM C-1609 (10) define dos tensiones residuales que se calculan para flechas iguales a 1/600 y 1/150 de la distancia entre apoyos. Existen recomendaciones para el diseño estructural (11) donde se considera la posibilidad de fisuración en servicio pero no se toma en cuenta el comportamiento en el tiempo del material fisurado. Tampoco lo tienen en cuenta el ACI 360R-10 (12) ni el nuevo fib Model Code 2010 (13) que sólo indica que la performance a largo plazo del HRF podría estar afectada por las deformaciones diferidas. Por esto motivo se deben conocer las condiciones de estabilidad del HRF bajo cargas de larga duración en estado fisurado.

La tercera línea se refiere al uso de fibras para reparaciones y refuerzos. Los pavimentos de hormigón son estructuras propensas a la fisuración, tanto a edad temprana como en servicio, debido a su gran superficie expuesta y a las solicitaciones que reciben por acción del clima y las cargas del tránsito. La incorporación de fibras aparece como una de las mejores alternativas técnico-económicas para mejorar la performance del hormigón en virtud de la respuesta post-fisuración que le confiere al material. Además de nuevos pavimentos, una de las aplicaciones del HRF donde compiten las macrofibras sintéticas con las fibras de acero es la construcción de overlays tipo whitetopping sobre antiguos pavimentos (14). Las fibras permiten reducir el espesor del refuerzo y ejercen una acción de costura tanto sobre las juntas constructivas como sobre eventuales fisuras, incrementando la vida en servicio y prestaciones generales del pavimento (15). La respuesta del overlay está íntimamente ligada al nivel de adherencia con el sustrato.

Parte experimental

Se describe a continuación la metodología utilizada y las variables analizadas en cada línea de trabajo sobre macrofibras sintéticas; las acciones se desarrollan en forma conjunta entre el Depto de Construcciones y el LEMIT, complementando la disponibilidad de equipos.

Para estudiar la adherencia fibra-matriz se realizaron de ensayos de arrancamiento tipo pull-out, empleando probetas compuestas por una única fibra inserta en una matriz de mortero. La Figura 1 muestra las distintas fibras, las probetas utilizadas y detalles del desarrollo de un ensayo. Dentro del amplio programa experimental desarrollado se consideraron como variables el tipo de fibra, el nivel de resistencia de la matriz (mortero) y la presencia de daño en la matriz. Se seleccionaron seis macrofibras sintéticas (M1 a M6) y como referencia dos fibras de acero conformadas (S1 y S2) y la misma fibra S1 con el extremo cortado (S1c) de forma tal de anular el efecto de anclaje mecánico.

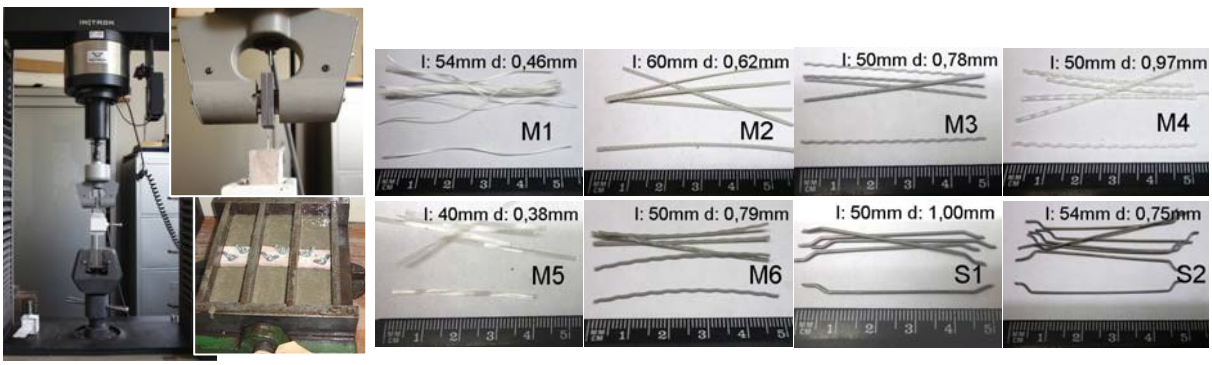


Figura 1. Ensayos de adherencia.

Se han desarrollado estudios de fluencia en flexión de HRF en estado fisurado sobre 4 HRF con respuestas postpico bien diferenciadas. El HRF A es un caso apropiado para pisos industriales con un postpico con endurecimiento; el HRF B es apto para reparación o refuerzo de elementos estructurales, aquí luego de la primera fisura existe una caída progresiva de la capacidad portante; el HRF C es una mezcla con una mínima capacidad residual que podría usarse para el control de fisuras por retracción y el HRF D es un ejemplo típico de HRF para refuerzos de pavimentos tipo whitetopping. Los HRF A y B incorporaron 60 y 25 kg/m^3 de fibras de acero conformadas de 50 mm de longitud y 0,75 mm de diámetro, los HRF C y D contenían 2,1 y 3 kg/m^3 de diferentes macrofibras sintéticas de 50 mm de largo. La Figura 2 muestra las curvas tensión - apertura de fisura obtenidas en ensayos de flexión realizados según EN 14651 (9), para facilitar la comparación entre los HRF la tensión se expresa como porcentaje de la carga de primera fisura.

Para estudiar distintos niveles de daño (tamaño de fisuras) se utilizan vigas entalladas que se cargan en flexión en tres puntos mediante un sistema servo-hidráulico con control por lazo cerrado que utiliza la señal de un clip gage ubicado a ambos lados de la entalla, deteniendo el ensayo para aperturas entre 0,2 y 1,5 mm. Las vigas fisuradas se colocan en pórticos y se someten a diferentes regimenes de carga: cargas permanentes, eventos de carga y descarga, y cargas lentas progresivas. Para medir el crecimiento de la apertura de fisura (COD) se fijan planchuelas a ambos lados de la fisura ubicando un reloj comparador en uno de los extremos. A las vigas que permanecen estables transcurridos varios meses bajo cargas sostenidas se las carga en forma rápida hasta la rotura, a fin de determinar su capacidad de carga remanente. La Figura 3 muestra el montaje de los ensayos de fluencia.

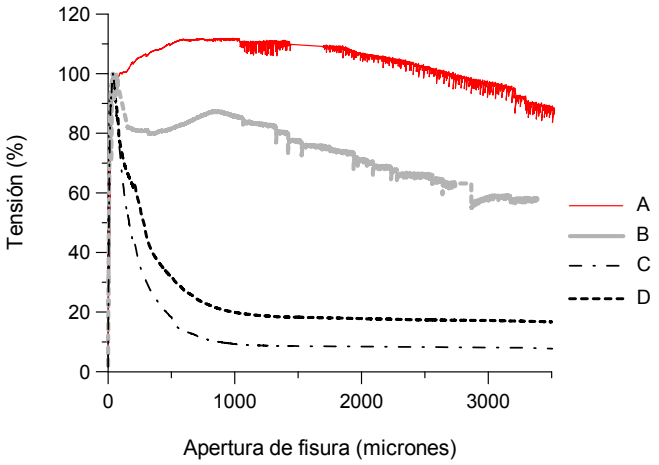


Figura 2. Curvas tensión – apertura de fisura obtenidas en ensayos de flexión bajo cargas rápidas de los HRF seleccionados.



Figura 3. Disposición de las vigas durante el desarrollo de los ensayos de fluencia en estado fisurado.

Considerando la aplicación del HRF para la rehabilitación de caminos se está analizando la respuesta mecánica de probetas compuestas sustrato-overlay sometidas a ensayos de flexión. Para localizar la falla se realiza una entalladura en el HRF midiendo la apertura de fisura mediante un extensómetro tipo clip gage, al mismo tiempo se registran las deflexiones y se observa el desarrollo de fisuras en la interfaz sustrato-overlay. Se analizan refuerzos de hormigones con fibras sintéticas y de acero, en diferentes contenidos, aplicados tanto sobre sustratos de concreto asfáltico como de hormigón simple. Se trataron las superficies del sustrato asfáltico a fin de modificar el grado de adherencia. Asimismo en sustratos de hormigón se eliminó la adherencia overlay-sustrato mediante un film plástico (Figura 4).



Figura 4. Ensayo de flexión sobre prismas compuestos sustrato-overlay.

Resultados y discusión

- Adherencia de macrofibras sintéticas

La Figura 5.a muestra respuestas carga-desplazamiento obtenidas en ensayos de distintas fibras, las curvas varían significativamente conforme las fibras analizadas. La Figura 5.b muestra la variación de la adherencia con la resistencia a compresión de la matriz. Con las fibras S1 y S2 existe un importante incremento de adherencia a medida que crece la resistencia de la matriz. En el caso de S1c (fibra de acero sin gancho) y M4 (macrofibra ondulada) el incremento de adherencia es moderado mientras que con las otras fibras sintéticas sólo se observan ganancias muy pequeñas de resistencia al arrancamiento cuando aumenta la resistencia del mortero. Mayores detalles se presentan en (16).

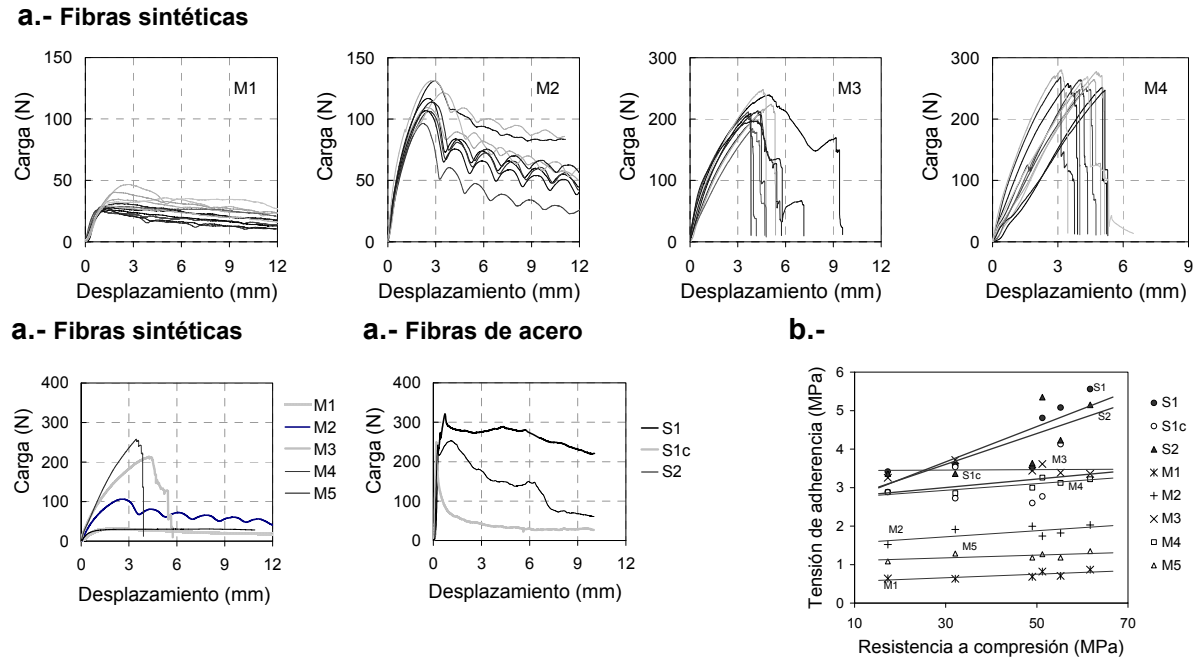


Figura 5. a) Respuestas carga-desplazamiento obtenidas en ensayos de arrancamiento de diferentes fibras; b) variación de la adherencia con la resistencia de la matriz.

- Respuesta bajo cargas de larga duración de HRF en estado fisurado

La Figura 6 muestra algunas de las respuestas observadas indicando la tensión aplicada y la evolución de la apertura de fisura (mayores detalles se presentan en (17)). Analizando las condiciones de estabilidad surge que:

- Con fibras de acero y postpico con endurecimiento (HRF A) la respuesta es estable si las cargas permanentes son menores al 80 % de f_{R4} y las fisuras preexistentes poseen anchos menores a 1 mm. Los eventos de carga y descarga provocan un crecimiento continuo de la apertura de fisura dependiendo los anchos remanentes del nivel de solicitación aplicado. Incluso vigas con daños importantes (fisuras mayores a 1 mm) conservan su capacidad portante manifestando la estabilidad del HRF bajo cargas de larga duración. En el caso del hormigón sin endurecimiento (HRF B) el comportamiento fue similar, pero las respuestas estables se dieron para menores niveles de esfuerzo. La capacidad de carga decrece a mayor fisuración inicial y los eventos de carga-descarga generan un crecimiento continuo de COD y mayor ancho de fisura comparado con el HRF con endurecimiento. Aquí se recomienda que los esfuerzos no superen 50 % de f_{R4}.
- Con fibras sintéticas y muy baja capacidad residual (HRF C) se observó gran crecimiento del COD para bajos esfuerzos y gran influencia de los eventos de carga-descarga. La fisura preexistente resulta determinante, a diferencia de las fibras de acero donde para aperturas iniciales de 0,2 y 0,5 mm no se observaban mayores diferencias.
- Con macrofibras sintéticas (HRF D), una capacidad residual del orden del 20 % de la carga de fisuración del hormigón de base y un nivel de fisura inicial pequeño (0,2 mm), fue posible sobrellevar esfuerzos hasta un 70 % de f_{R4}, incluso frente a eventos de carga-descarga. La respuesta diferida disminuye notablemente para fisuras > 2 mm.

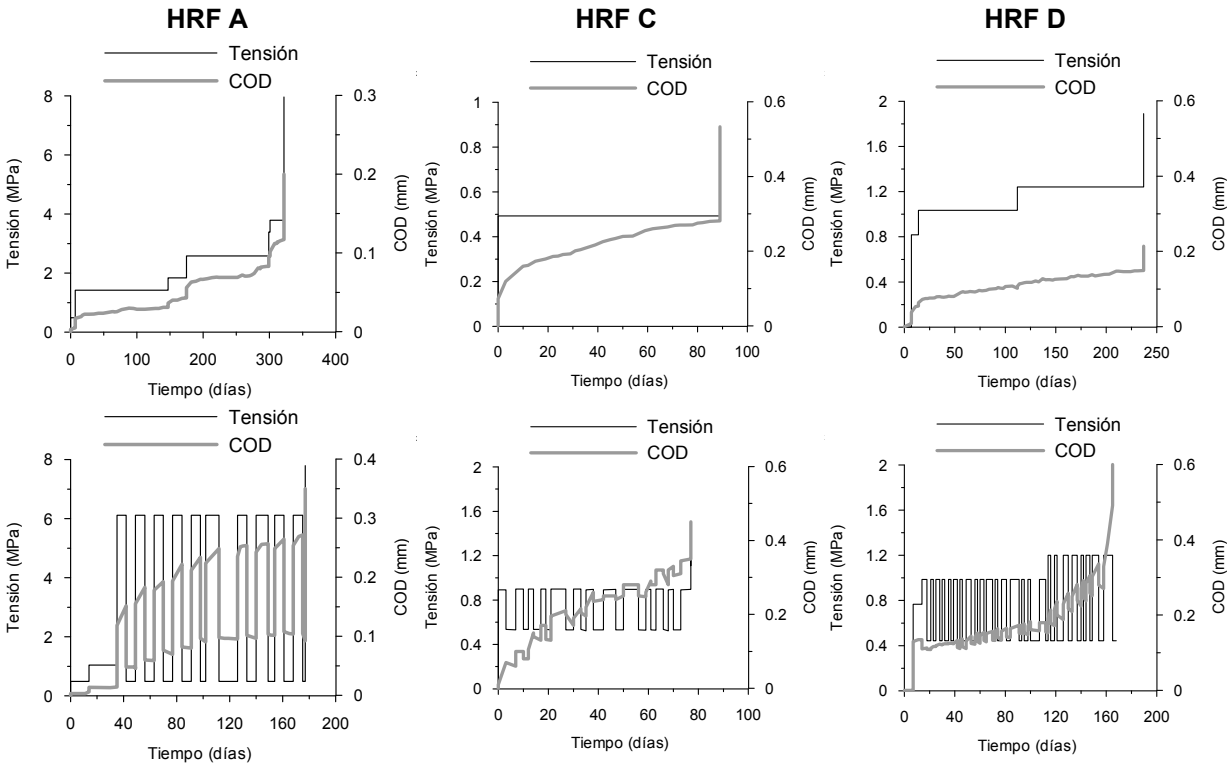


Figura 6. Ejemplos de ensayos realizados en diferentes HRF.

Los casos seleccionados cubren distintos tipos de HRF, dado que hay fibras diferentes, las conclusiones deben asociarse al tipo de postpico y no al tipo y contenido de fibras utilizado.

- Respuesta de probetas compuestas, refuerzos tipo overlay

La Figura 7 presenta algunos resultados recientes que comparan un sustrato de hormigón reforzado con un overlay de hormigón simple (B) y otro con fibras (F), y un concreto asfáltico con adherencia normal y modificada (e: escarificado) sobre el que se aplicaron overlays sin fibras (B), con fibras sintéticas (S) y con fibras de acero (A).

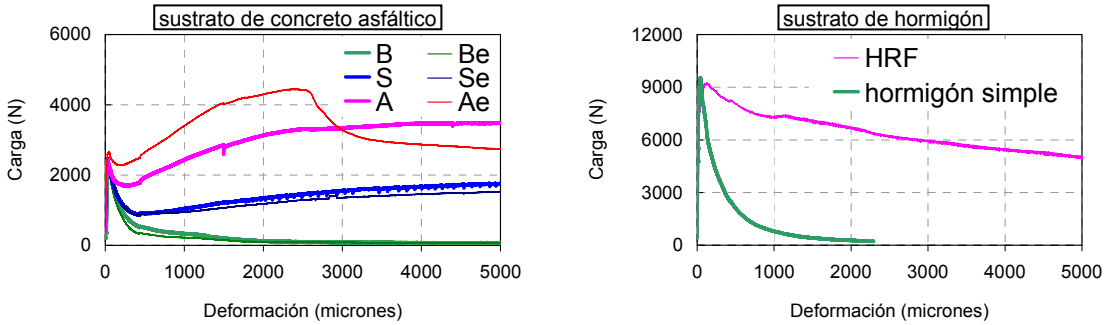


Figura 7. Curvas carga deformación en compuestos overlay – sustrato.

Conclusiones

Entre las conclusiones sobre el uso de macrofibras sintéticas se destacan las siguientes.

- Los niveles de adherencia de las macrofibras sintéticas oscilan entre 3 y 0,6 MPa. A diferencia de las fibras de acero conformadas, ante el aumento de la resistencia de la matriz los cambios de adherencia son pequeños.
- El nivel de fisuración inicial hace decrecer significativamente la respuesta diferida, en especial con las macrofibras sintéticas. Los eventos de carga-descarga incrementan las aperturas pero esto no incide en gran medida sobre las condiciones de estabilidad.
- Los estudios sobre compuestos overlay-sustrato muestran claramente la contribución de diferentes fibras en la capacidad residual.

Bibliografía

1. Naaman A., Najm H. 1991. Bond-slip mechanisms of steel fibers in concrete. ACI Mat J 88 (2): 135–145.
2. Chanvillard G., Aïtcin P. 1996. Pullout behavior of corrugated steel fibers. Adv Cem Based Mat 4: 28-41.
3. Markovich I., van Mier JG, Walraven J. 2001. Single fiber pullout from hybrid fiber reinforced concrete. Heron 26 (3).
4. Abu-Lebdeh T, Hamoush S, Heard W, Zornig B. 2011 Effect of matrix strength on pullout behavior of steel fiber reinforced very-high strength concrete composites. Cons Build Mat 25: 39–46.
5. Sandbakk, S., Døssland A. L., Kanstad, T. 2007. Pull-out testing of different fibre types. In Nordic Concrete Federation, Workshop proc no. 6: FRC, Trondheim, November 15th, 2007: 23-32.
6. Kaufmann J., Lubben J, Schwitter E. 2007. Mechanical reinforcement of concrete with bi-component fibers. Composites: Part A. 38: 1975–1984
7. Boshoff, W. P., Mechtcherine, V., van Zijl, G. P. A. G. 2009. Characterising the time-dependant behaviour on the single fibre level of SHCC. Cem Concr Res 39: 779–786.
8. Tagnit-Hamou A, Vanhove Y, Petrov N. 2005. Microstructural analysis of the bond mechanism between polyolefin fibers and cement pastes. Cem Concr Res 35: 364-370.
9. EN 14651:2005, Test method for metallic fibered concrete - measuring the flexural tensile strength CEN - European Committee for Standardization, Brussels, 2005, 1-17.
10. ASTM C 1609/C 1609M–07. Standard test method for flexural performance of fiber-reinforced concrete (using beam with third-point loading), ASTM Standards, Vol.04.02, 2007.
11. RILEM TC 162-TDF, Test and design methods for steel fiber reinforced concrete, σ–ε design method Mater Struct V36, N262, 2003, 560-567.
12. ACI 360R-10 Guide to Design of Slabs-on-Ground. ACI Committee 360, 2010.
13. fib Model Code 2010, First Complete Draft. Vol I, 318 p. Int Fed of Structural Concrete, 2010.
14. Miguez Passada D, González A, Violini D, Pappalardi M. Zerbino R. “Desarrollo e implementación de un hormigón reforzado con fibras sintéticas para la repavimentación de la ruta 24 de Uruguay”. 19 R. Técnica AATH, 2012, Argentina. ISBN 978-987-21660-6-9, pp. 311-318.
15. Bordelon AC, Roesler JR. Design with fiber-reinforcement for thin concrete overlays bonded to asphalt. ASCE J of Transp Eng, 2012.138:430-435.
16. Bossio, M.E., Giaccio, G., Torrijos, M.C. y Zerbino, R. Evaluación de la resistencia al arrancamiento de macrofibras sintéticas. 19 R. Técnica AATH, 2012, Argentina.. 487-494.
17. Monetti, D.H., Giaccio, G. y Zerbino, R. Efecto de eventos de carga y descarga en la respuesta de elementos fisurados de hormigón reforzado con fibras, 19 RT AATH 2012, Argentina. pp.295-302.

DETERMINACIÓN DEL ESTADO TÉRMICO Y TENSIONAL A EDAD TEMPRANA EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MASIVO

Claudio G. Rocco, Rafael Lamattina y E. Ignacio Villa

Departamento de Construcciones, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata
Calle 48 y 115 s/n, (B1900TAG) La Plata, Provincia de Buenos Aires, República Argentina
eivilla@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: hormigón masivo, método de los elementos finitos, métodos totalmente acoplados, métodos secuencialmente acoplados, elasticidad lineal.

INTRODUCCIÓN

Como es sabido, el hormigón es un material ampliamente utilizado en las construcciones civiles debido a que es relativamente económico, tiene alta resistencia a compresión, moderada resistencia a tracción y una alta durabilidad. Este material de naturaleza heterogénea tiene propiedades térmicas, mecánicas, reológicas que lo caracterizan y complejizan su estudio. El mismo se obtiene de la mezcla de cemento, agua, agregados de diferente tamaño y se pueden incorporar aditivos para otorgarle alguna propiedad especial. A diferencia de otros materiales, el hormigón tiene una relación constitutiva entre tensiones y deformaciones que responde a una ley lineal elástica sólo para muy bajos valores de la tensión. Además, a edad temprana dicha relación es fuertemente variable.

Al entrar en contacto el agua y los compuestos del cemento, comienzan a producirse las denominadas reacciones de hidratación que tienen la particularidad de ser exotérmicas. Esto quiere decir que durante el proceso de endurecimiento y fraguado, el material genera calor. Dado que las estructuras se encuentran en contacto con los fluidos del ambiente como el aire y el agua que se encuentran a distinta temperatura, se producen gradientes térmicos entre el exterior y el interior de la pieza. Estos últimos se traducen en deformaciones de la estructura que a su vez generan tensiones en la misma. Según el grado de restricción que posea el elemento estructural, se pueden producir tensiones de tracción que si superan la resistencia a tracción del material, conllevan a la aparición de fisuras con todas las consecuencias que esto supone.

Muchas de las estructuras en las que se emplea el hormigón son de gran tamaño, como por ejemplo presas, pavimentos, muros de contención, etc. En ellas, se utiliza hormigón masivo que se define como aquel que tiene un volumen tal, que las consecuencias de la generación de calor no pueden ser despreciadas. El presente trabajo, constituye una primera aproximación al estudio del problema termo-mecánico del hormigón masivo a través de métodos computacionales. El análisis realizado en este caso es lineal elástico, con flujo de calor **unidireccional** y propiedades térmicas y mecánicas **constantes** en el tiempo.

MODELADO DEL PROBLEMA

Fundamento Teórico

El Método de los Elementos Finitos utiliza (MEF) la discretización espacial y temporal del problema para poder integrar en forma numérica las ecuaciones diferenciales que describen matemáticamente el fenómeno físico. La expresión general que describe el balance térmico en un determinado volumen de control es la que sigue:

$$\int_S q \cdot dS + \int_V r \cdot dV = \int_V \rho \cdot \dot{U} \cdot dV \qquad (1)$$

En donde ρ es la densidad del material, $\dot{U}$ es la variación temporal de la energía interna, q es el flujo de calor a través de la superficie de control y r es el calor generado en el volumen de control.

El flujo de calor a través de la superficie S de control está dado por la expresión:

$$q = -\vec{q} \cdot \hat{n} \tag{2}$$

En donde $\vec{q}$ es el vector flujo de calor, y $\hat{n}$ es el versor normal a la superficie S.
Reemplazando la expresión (2) en la (1) resulta:

$$\int_V \rho \cdot \dot{U} \cdot dV = -\int_S \vec{q} \cdot \hat{n} \cdot dS + \int_V r \cdot dV \tag{3}$$

Aplicando el teorema de la divergencia en el término subrayado:

$$\int_S \vec{q} \cdot \hat{n} \cdot dS = \int_V \frac{\partial}{\partial x} \cdot q \cdot dV \tag{4}$$

Reemplazando (4) en (3):

$$\int_V \rho \cdot \dot{U} \cdot dV = -\int_V \frac{\partial}{\partial x} \cdot q \cdot dV + \int_V r \cdot dV \tag{5}$$

Derivando la expresión, se obtiene la ecuación diferencial:

$$\rho \dot{U} = -\frac{\partial}{\partial x} \cdot q + r \tag{6}$$

Para poder aplicar el FEM, se debe transformar la ecuación para que la integración numérica (comúnmente denominada “débil”) sea realizable. El método no resuelve analíticamente las ecuaciones que gobiernan el problema, sino que lo hace a través de la iteración en volúmenes e intervalos temporales discretos. Para lograr dicha transformación se multiplica la ecuación de balance térmico por una variación de temperatura δθ:

$$\int_V \delta\theta \cdot \rho \cdot \dot{U} \cdot dV = -\int_V \delta\theta \cdot \frac{\partial q}{\partial x} \cdot dV + \int_V \delta\theta \cdot r \cdot dV \tag{7}$$

A continuación, se aplica la regla de la cadena en el término subrayado:

$$\int_V \delta\theta \cdot \rho \cdot \dot{U} \cdot dV = \int_V \left(-\frac{\partial}{\partial x} \cdot (q \cdot \delta\theta) + q \cdot \frac{\partial \delta\theta}{\partial x} \right) \cdot dV + \int_V \delta\theta \cdot r \cdot dV \tag{8}$$

y luego, aplicando el Teorema de la Divergencia en el término subrayado, se obtiene:

$$-\int_V \frac{\partial}{\partial x}(q \cdot \delta\theta) \cdot dV = \int_S -\vec{q} \cdot \hat{n} \cdot \delta\theta \cdot dS = \int_S q \cdot \delta\theta \cdot dS \tag{9}$$

Se reemplaza la expresión (9) en la ecuación de balance térmico (8) y acomodando los términos resulta:

$$\int_V \delta\theta \cdot \rho \cdot \dot{U} \cdot dV - \int_V \frac{\partial \delta\theta}{\partial x} \cdot q \cdot dV = \int_S \delta\theta \cdot q \cdot dS + \int_V \delta\theta \cdot r \cdot dV \tag{10}$$

Esta es una expresión “débil” que puede ser utilizada para aplicar el método como se verá a continuación. El método discretiza el volumen en forma geométrica, e interpola las temperaturas entre los nodos a través de las funciones de forma:

$$\theta = N^N \cdot \bar{\theta}^N \tag{11}$$

En donde $\bar{\theta}^N$ son las temperaturas nodales y $N^N(x)$ son las funciones de interpolación. Utilizando la aproximación de Galerkin, la variación de temperatura también es interpolada a través de las mismas funciones:

$$\delta\theta = N^N \cdot \delta\bar{\theta}^N \tag{12}$$

En el programa Abaqus, las funciones de interpolación son lineales o cuadráticas para elementos uni,bi y tridimensionales. Introduciendo la interpolación y teniendo en cuenta que el flujo de calor se relaciona con el gradiente de temperaturas según la Ley de Fourier:

$$q = -k \cdot \frac{\partial \theta}{\partial x} \tag{13}$$

donde k es la conductividad térmica del material, resulta:

$$\delta\bar{\theta}^N \cdot \left(\int_V N^N \cdot \rho \cdot \dot{U} \cdot dV + \int_V \frac{\partial}{\partial x} N^N \cdot k \cdot \frac{\partial N^N}{\partial x} \cdot \bar{\theta}^N \cdot dV \right) = \delta\bar{\theta}^N \cdot \left(\int_V N^N \cdot r \cdot dV + \int_S N^N \cdot q \cdot dS \right) \tag{14}$$

En estado estacionario $\dot{U} = 0$. En estado transitorio, la ecuación anterior además de ser integrada espacialmente, debe ser integrada en forma temporal. Para ello, el programa utiliza el siguiente operador:

$$\dot{U}_{t+\Delta t} = \frac{(U_{t+\Delta t} - U_t)}{\Delta t} \tag{15}$$

Introduciendo el operador (15) en la ecuación de balance térmico (14) resulta:

$$\frac{1}{\Delta t} \cdot \int_V N^N \cdot \rho \cdot (U_{t+\Delta t} - U_t) \cdot dV + \int_V \frac{\partial}{\partial x} N^N \cdot k_{t+\Delta t} \cdot \frac{\partial}{\partial x} N^N \cdot \bar{\theta}^N{}_{t+\Delta t} - \int_V N^N \cdot r_{t+\Delta t} \cdot dV - \int_S N^N q_{t+\Delta t} \cdot dS = 0 \tag{16}$$

Este sistema de ecuaciones no lineal es resuelto mediante un método de Newton modificado. Una vez calculadas las temperaturas nodales, se procede al cálculo de las deformaciones. Ambos parámetros están relacionados a través del coeficiente de expansión térmica del material (α):

$$\varepsilon^{th} = \alpha(\theta) \cdot (\theta - \theta^0) - \alpha(\theta^I) \cdot (\theta^I - \theta^0) \tag{17}$$

En donde α(θ) es el coeficiente de expansión térmica, θ es la temperatura en t, θ^I es la temperatura en el tiempo t-i, θ^0 es la temperatura de referencia para el coeficiente de expansión térmica en la cual la deformación es nula. Finalmente, utilizando la relación constitutiva de Hooke, se calculan las tensiones.

Análisis Térmico

Se trabajó modelando bloques de hormigón de 2m x 1m x 1m en los que el flujo de calor sólo ocurre en la dirección Y. El hormigón tiene las siguientes propiedades térmicas:

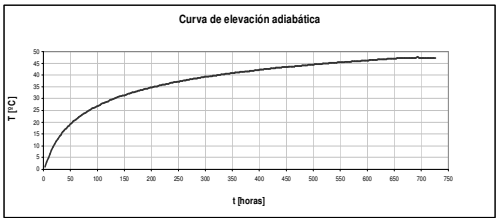
PROPIEDAD	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
DENSIDAD	ρ	2.40E-05	N/mm3
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	K	5.79E-07	kcal/mm.s.ºC
CALOR ESPECÍFICO	c	0.023	kcal/N.ºC
COEFICIENTE DE CONVECCIÓN Hº-AIRE	h	3.33E-09	kcal/mm2.s.ºC
CONDUCTIVIDAD DE LA INTERFAZ	Kb	5.79E-07	kcal/mm2.s.ºC
TEMPERATURA INICIAL	T0	20.00	ºC
TEMPERATURA AMBIENTE	Ta	25.00	ºC

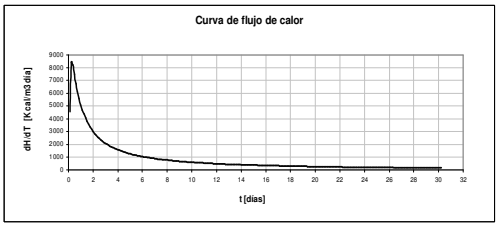
El parámetro Kb se estimó a partir de una expresión propuesta en el manual de Abaqus:

$$k_b = \frac{k_{liner}}{t_{liner}} \tag{19}$$

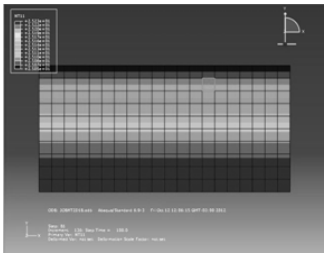
En donde k_{liner} es la conductividad de la interfaz (considerada igual a la del hormigón), y t_{liner} es el espesor de la interfaz (considerado igual a 1mm). Se considera que por ser de pequeño espesor, la masa y por lo tanto la energía interna de la interfaz puede ser despreciada. Se introdujo una curva de generación de calor obtenida a partir del registro de temperaturas de un ensayo adiabático.

La elevación adiabática de temperatura implica que no existe intercambio de calor entre el sistema y el entorno, lo cual es válido para las zonas nucleares del hormigón masivo.



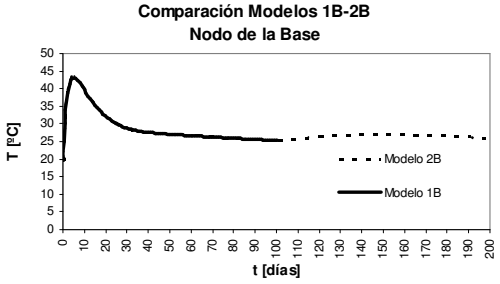


En un comienzo se trabajó con una malla de elementos finitos refinada en la zona de máximo flujo de calor (superior), pero luego se observó que se obtenían iguales resultados con una malla más gruesa de menor cantidad de elementos , lo que permite un ahorro computacional y de tiempo. Se corrieron 6 casos en total, la mitad de ellos fueron modelos 2D y la otra mitad 3D. En ellos se trabajó con 1, 2 y 5 bloques en serie.

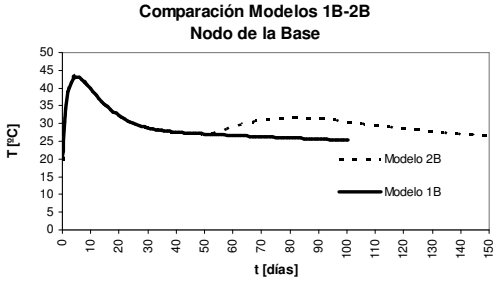


Resultados

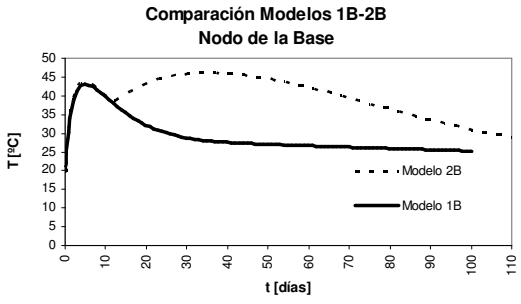
Un análisis interesante es estudiar cómo influye en la evolución de las temperaturas, el intervalo de tiempo entre la colocación de los bloques (secuencia de hormigonado). A continuación se detallan los gráficos en los que es posible observar que a menor Δt entre bloques, mayor es el 2do pico de temperatura:



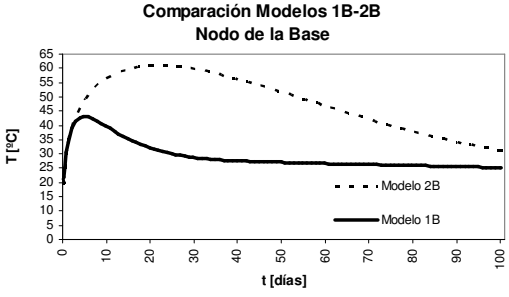
Δt = 100 días



Δt = 50 días



Δt = 10 días



Δt = 1 día

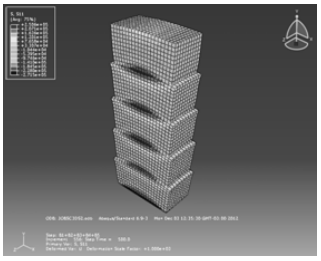
Análisis Tensional

Para esta segunda parte del trabajo, se utilizó el mismo material que tiene las siguientes propiedades mecánicas:

PROPIEDAD	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA	α	1.20E-05	1/ºC
MÓDULO DE ELASTICIDAD	E	27000.00	N/mm2
COEFICIENTE DE POISSON	v	0.30	-
RESISTENCIA MEDIA A LA COMPRESIÓN	f'cm	20.00	N/mm2
RESISTENCIA MEDIA A LA TRACCIÓN	f'tm	1.60	N/mm2

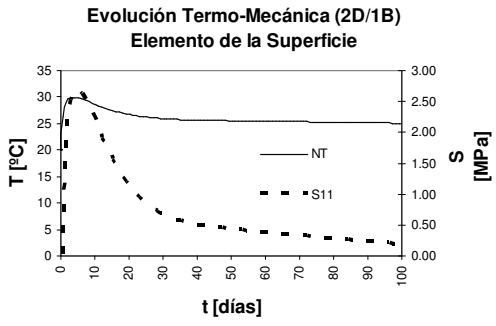
El programa ABAQUS, cuenta con dos tipos de procedimientos para el análisis de problemas termo- mecánicos. Uno de ellos es el denominado Fully Coupled Analysis (Análisis Totalmente Acoplado), en el cual el campo de tensiones depende del campo de temperaturas y a su vez el campo de temperaturas depende del estado tensional del cuerpo: $\sigma = f(\theta) \wedge \theta = f(\sigma)$ .Este tipo de análisis se da en problemas de deformación plástica de metales, fenómenos donde interviene fuertemente la fricción entre superficies, etc. Aunque no se trata del caso en estudio, tiene la ventaja de que los modelos son mucho más directos y fáciles de compilar. Por otra parte, el costo computacional es mayor.

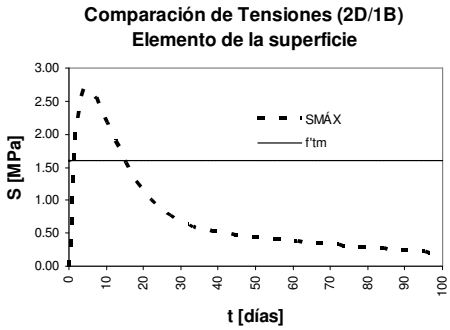
El segundo tipo de procedimientos que ofrece el programa es el Sequentially Coupled Analysis (Análisis Secuencialmente Acoplado), en el cual el campo de tensiones depende del campo de temperaturas, pero este último no depende del primero: $\sigma = f(\theta) \wedge \theta \neq f(\sigma)$. Este es el caso del proceso termo-mecánico de endurecimiento del hormigón, sin embargo este procedimiento requiere el armado de dos modelos por separado, uno de transferencia de calor en el cual se obtienen las temperaturas nodales como OUTPUT, y otro de análisis mecánico en la cual se ingresan dichas temperaturas como INPUT y se obtiene como OUTPUT las tensiones y deformaciones. En este segundo análisis se corrieron 12 casos, la mitad de ellos mediante procedimientos totalmente acoplados (FC), y la otra mitad secuencialmente acoplados (SC). También se dividió en modelos 2D/3D y se trabajó con 1,2 y 5 bloques en serie.



Resultados

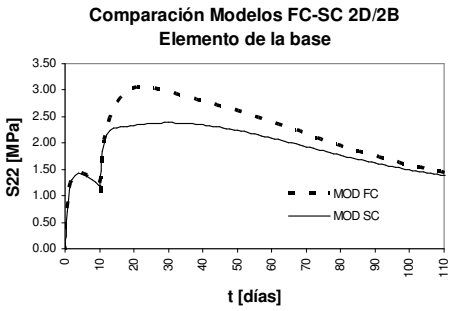
A continuación se observa la historia de temperaturas y tensiones del modelo

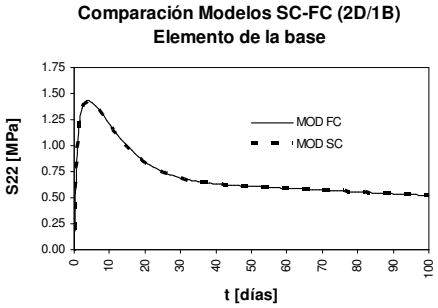




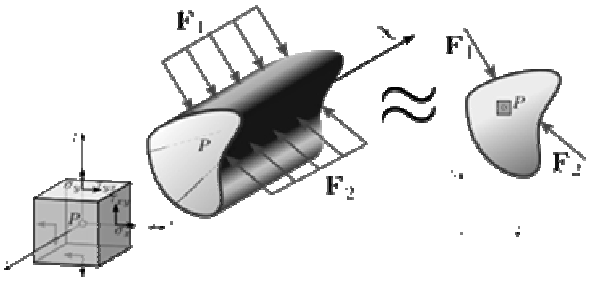
Es interesante observar en el gráfico de la derecha, que para el caso de un único bloque, la resistencia a tracción ya es superada en el material.

Durante el análisis de los modelos con más de un bloque, se encontró que existen diferencias en las tensiones entre los procedimientos FC y SC. Esto podría deberse a que la interfaz entre bloques introduce alguna inestabilidad en el modelo acoplado:



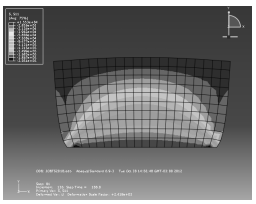


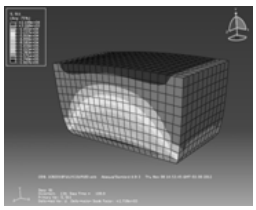
La aplicación de un modelo bidimensional siempre es conveniente, puesto que el cálculo, el costo computacional y el tiempo se reducen. Sin embargo, para poder representar la realidad (que siempre es tridimensional) a través de un modelo bidimensional, se deben cumplir las hipótesis de las deformaciones planas:

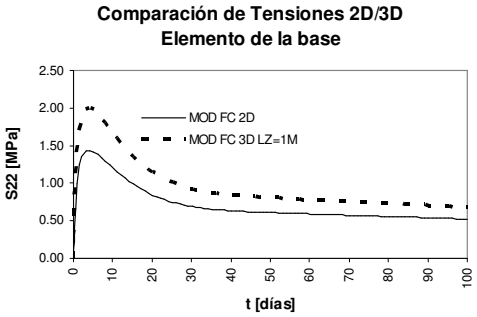


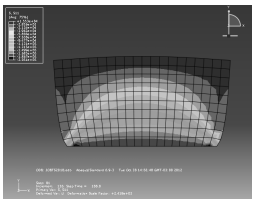
$$\begin{cases} u = u(x,y) \\ v = v(x,y) \\ w = 0 \end{cases} \qquad [\varepsilon] = \begin{bmatrix} \varepsilon_x & \gamma_{xy}/2 & 0 \\ \gamma_{xy}/2 & \varepsilon_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

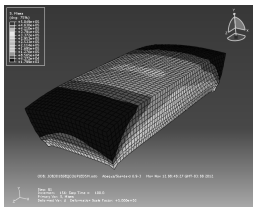
Un modelo de deformación plana, puede aplicarse en estructuras en las que una dimensión es mucho mayor que las otras dos, con lo cual se pueden despreciar las deformaciones en dicha dirección. A continuación se presentan 3 modelos de longitudes crecientes (1m, 5m, 10m) en donde se observa la creciente coincidencia de los valores tensionales:

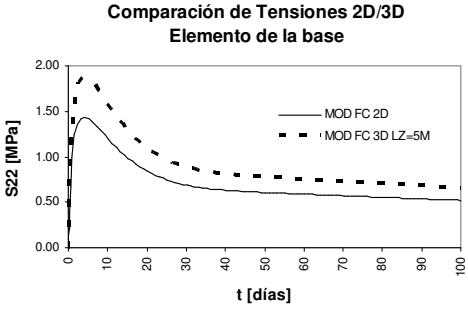


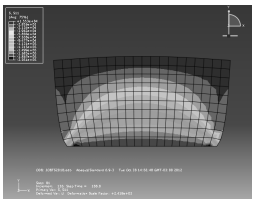


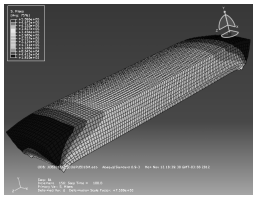


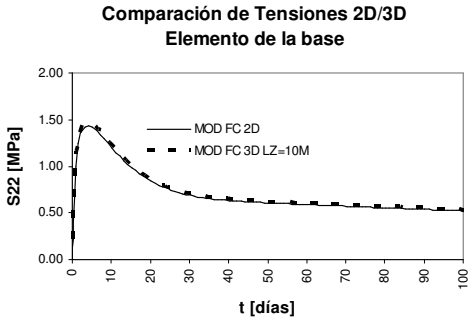






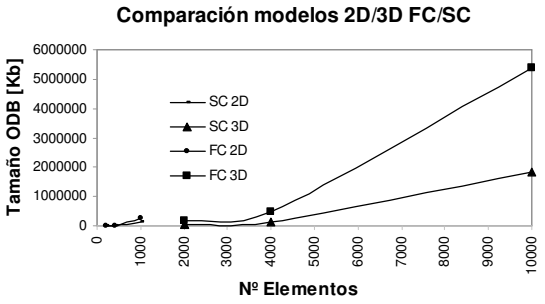


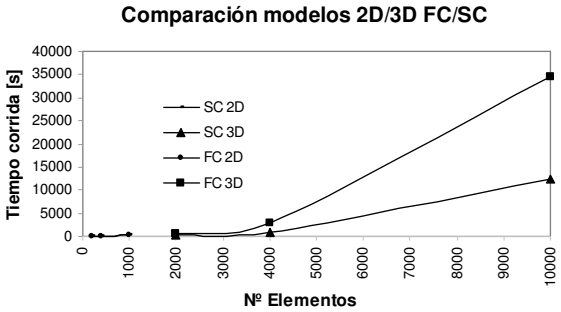




CONCLUSIONES

- El MEF puede constituir una herramienta muy útil para predecir la evolución térmica de una estructura de hormigón masivo y a partir de allí tomar las medidas correspondientes para mitigar la aparición de este tipo de fisuras.
- Un modelo lineal elástico como el presentado en este trabajo, permite obtener una noción del campo de tensiones de un elemento estructural, pero no aporta información sobre la aparición o la propagación de una fisura. La incorporación de un modelo de fisura cohesiva supone un avance en esta cuestión.
- Se debe prestar atención en la elección de un procedimiento FC o SC, debido a las diferencias en los resultados y costos computacionales que se obtienen con cada uno.





- Al considerar un análisis mediante un modelo bidimensional, debe prestarse atención al hecho de que la estructura real respete las hipótesis de la elasticidad plana.
- En este trabajo, se consideró que las propiedades del material permanecen constantes. Esto no es representativo del hormigón, ya que como se dijo es un material que evoluciona fuertemente a edad temprana. Un avance en esta cuestión sería incluir la variación temporal de dichas propiedades y de las condiciones de contorno como la temperatura ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

[1] ABAQUS, Theory Manual Version 6.9, Hibbitt, Karlsson and Sorensen Inc, 2009.
[2] CEB-FIP 90 Code Model
[3] American Concrete Institute. ACI-207 Mass Concrete (1998)
[4] Thermal studies of mass concrete structures. Technical Letter Nº 1110-2-542 US Army Corps of Engineer
[5] “Concreto, Estructura, Propiedades e Mareriais”. Metha y Monteiro
[6] “Problemas térmicos evolutivos en presas de hormigón”. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid. España.

ANÁLISIS NUMÉRICO DE LA ESTABILIDAD DE FISURAS EN PRESAS DE HORMIGÓN

E. Ignacio Villa, María P. Zappitelli y Claudio G. Rocco

Departamento de Construcciones, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata
Calle 48 y 115 s/n, (B1900TAG) La Plata, Provincia de Buenos Aires, República Argentina
eivilla@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: Presas de hormigón, fisuras de origen térmico, presiones internas, presiones hidrostáticas, factor de intensidad de tensiones

INTRODUCCIÓN

La ocurrencia de fisuras de origen térmico, producidas como consecuencia de los gradientes de masa y de superficie inducidos por el calor liberado durante la hidratación del cemento, es una de las patologías que se presentan con mayor frecuencia en las presas de hormigón. En general estas fisuras se localizan en el tercio medio de la distancia entre juntas de contracción, produciendo un plano de fractura vertical que suele iniciarse en el paramento de aguas arriba y propagarse hacia el interior de la presa en dirección perpendicular al mismo. Si bien estas fisuras no suelen comprometer la estabilidad estructural de la presa, al encontrarse sometidas en su interior a la acción de la presión hidrostática del embalse, tiende a favorecerse su propagación incrementando la permeabilidad de la presa debido a la filtración de agua, lo cual puede afectar sus condiciones de servicio.

Una estrategia convencional para remediar esta patología consiste en sellar la fisura mediante la inyección de resinas. En esta clase de intervenciones es importante diseñar la secuencia de inyección y las presiones máximas de trabajo de modo que la fisura permanezca estable, evitando su propagación como consecuencia del propio procedimiento de reparación. Las resinas se inyectan desde puntos distribuidos en todo el plano de la fisura, con una densidad que va disminuyendo desde las proximidades del frente de la misma hacia el paramento aguas arriba. Las condiciones de estabilidad de la fisura frente a este tipo de acciones dependen de la geometría de la estructura, de las propiedades del material constituyente, de la geometría de la fisura, de la ubicación de los puntos de inyección y de la magnitud de dichas presiones.

En este trabajo se implementó un modelo basado en la Mecánica de Fractura Elástica Lineal (MFEL), teoría propuesta inicialmente por Griffith para explicar los distintos mecanismos de rotura en un sólido fisurado (Griffith, 1920) y desarrollado posteriormente por Irwin (Irwin, 1957). Hasta la aparición de la MFEL, solo el agotamiento por colapso plástico del material tenía fundamentos físicos y matemáticos bien estructurados. La MFEL vino a llenar el vacío que existía en la situación extrema de agotamiento opuesta al colapso plástico, cuando la rotura se produce en condiciones de pequeña deformación y con niveles de solicitación muy inferiores a los límites de plasticidad del material.

La hipótesis fundamental de esta teoría establece que los procesos de fractura tienen lugar en una pequeña zona situada alrededor del extremo de la fisura, mientras el resto del sólido mantiene un comportamiento elástico y lineal. Los campos de tensiones y de desplazamientos próximos al extremo de la fisura tienen una estructura universal cuya dependencia de la geometría y de la solicitación exterior se establece mediante un factor de proporcionalidad denominado Factor de Intensidad de Tensiones, K_I (Meguid, 1989; Anderson, 1995).

La propagación de la fisura sobreviene cuando el K_I alcanza un valor crítico denominado tenacidad de fractura, K_{IC}, que es una propiedad intrínseca del material. En ese instante la fisura se propaga dividiendo al material, que fuera de la zona en proceso de fractura continúa teniendo un comportamiento elástico y lineal, en dos partes entre las cuales no hay interacción a través de la fisura (Kanninen and Popelar, 1985). De esta manera, el criterio local de rotura en Modo I queda determinado por la siguiente ecuación:

$$K_I / K_{Ic} = 1 \qquad (1)$$

En el caso de una presa de hormigón, la aplicabilidad de este modelo está justificada al ser las dimensiones de la estructura muy grandes en comparación con la longitud característica del material (Bazant and Planas, 1998).

En este trabajo se presentan expresiones que permiten calcular el Factor de Intensidad de Tensiones, K_I, en presas de hormigón fisuradas mediante la utilización del Método de los Elementos Finitos (MEFL), implementado a través de un código comercial de probada eficiencia (ABAQUS V6.9)

CASOS ESTUDIADOS

Para la determinación de K_I se llevó a cabo una simulación numérica tridimensional de la geometría completa de un módulo típico de una presa de hormigón. Por simplicidad se consideró que la fisura se encontraba contenida en el plano medio del módulo de la misma. De esta forma se impusieron condiciones de simetría en correspondencia con dicho plano y se modeló solo la mitad de la geometría.

Tanto la forma del módulo de presa como las dimensiones de la misma y su relación con las dimensiones del macizo rocoso de fundación fueron tomadas de las recomendaciones del USACE (USACE, 1995). En la Fig. 1 se observa el perfil de presa simulado así como la forma de las fisuras analizadas.

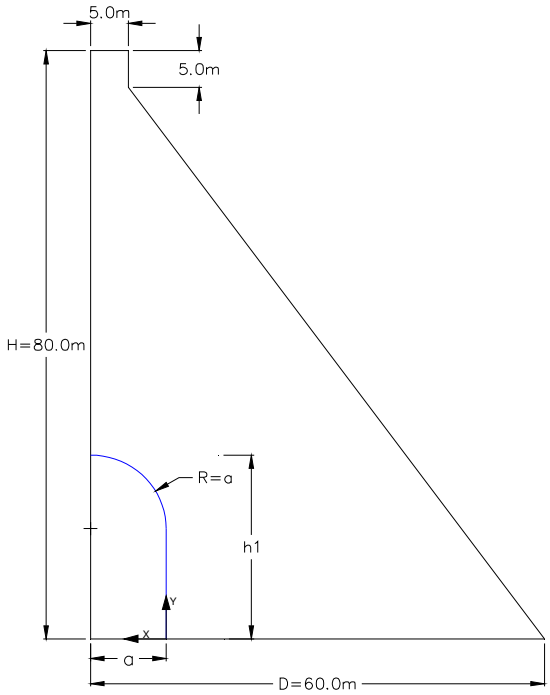


Figura 1 – Perfil de presa analizado

En la Tabla 1 se reseñan las características geométricas en función de las cuales se llevó a cabo el análisis de las seis fisuras estudiadas. Es importante destacar que la forma es la misma en todos los casos analizados, variando solamente sus dimensiones.

Caso	h_1 [m]	a [m]
0	12,5	2,5
1	12,5	5,0
2	25,0	5,0
3	25,0	10,0
4	50,0	10,0
5	50,0	20,0

Tabla 1 – Características geométricas

Para la discretización de la presa se utilizaron elementos tridimensionales hexaédricos de 8 nodos, con interpolación lineal de las funciones de forma e integración reducida, lo que genera una importante reducción del tiempo de cálculo. En el macizo rocoso se emplearon elementos tridimensionales hexaédricos de 6 nodos, en tanto que en el frente de la fisura se utilizaron elementos tridimensionales hexaédricos de 4 nodos. En la Fig. 2 se muestra la malla de elementos finitos utilizada, donde se puede observar la sección de la presa y el macizo de fundación.

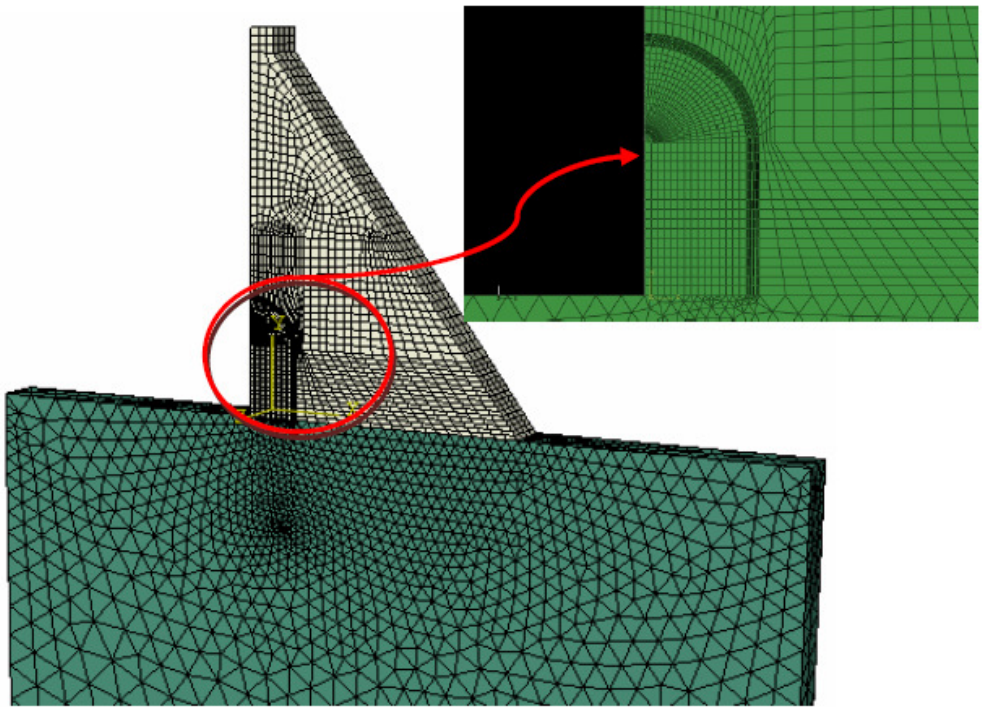


Figura 2 – Vista general del mallado utilizado para la discretización de la presa y del macizo rocoso

Se consideraron dos estados de carga, presiones de inyección y presiones hidrostáticas. Las presiones de inyección se simularon mediante la aplicación de una carga puntual de valor unitario sobre un nodo. Las presiones hidrostáticas se simularon actuando sobre el plano de la fisura para distintos niveles de la cota de embalse que incluyeron la situación de fisura parcialmente sumergida y fisura totalmente sumergida. Para la primera situación se analizaron cuatro niveles de embalse comprendidos entre el 20% y el 100% de la altura total de la fisura, h_1. Para la segunda situación los niveles de embalse variaron entre h_1 y la altura H correspondiente al coronamiento de la presa.

Para el caso de las presiones de inyección para cada posición de la carga se obtuvieron los valores de K_I arrojados por el código a lo largo del perfil del frente de la fisura en correspondencia con la cota de aplicación de la carga, como se observa en la Fig. 3.

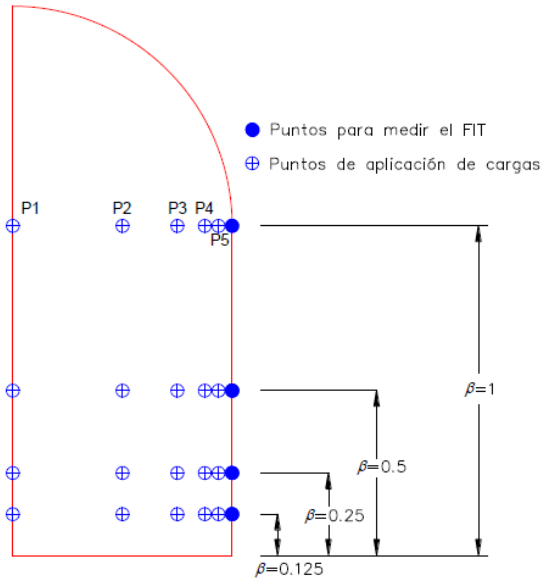


Figura 3 – Puntos considerados para la determinación de K_I

En cambio para las presiones hidrostáticas se obtuvieron los valores de K_I a lo largo del perfil del frente de la fisura en puntos ubicados a diferentes alturas respecto del plano de fundación.

Para ambos estados de carga se consideraron los primeros 10 contornos de integración, correspondiendo en todos los casos el K_I informado al promedio de estos 10 valores.

En la Tabla 2 se indican las propiedades mecánicas de los materiales considerados.

Parámetro	Roca	Hormigón
Módulo de Elasticidad, GPa	10,0	25,0
Coeficiente de Poisson	0,15	0,15

Tabla 2 – Propiedades mecánicas de los materiales

RESULTADOS

Para el caso de las presiones de inyección se obtuvieron los valores adimensionales del factor de intensidad de tensiones que se observan en la Tabla 3 del factor de intensidad de tensiones para el Caso 3, el cual se consideró por ser un caso intermedio.

Caso 3	K_I/K_0			
	$\beta=y/h$			
$\alpha=x/a$	1,000	0,500	0,250	0,125
1,0000	24,1	22,2	12,2	5,6
0,5000	26,5	26,5	19,9	14,0
0,2500	49,6	49,7	45,1	38,4
0,1250	117,6	116,7	113,8	105,8
0,0625	253,4	243,2	241,0	230,6

Tabla 3 – Valores adimensionales K_I/K_0

K_0 es un parámetro obtenido según la expresión (2):

$$K_0 = F(\alpha,\beta) / (HD^{1/2}) \quad (2)$$

donde:

$F(\alpha,\beta)$ es la magnitud de la carga aplicada en las caras de la fisura, en las coordenadas relativas α = x/a y β = y/h, referidas al sistema local de referencia x-y ubicado en el extremo inferior de la fisura (ver Fig. 1)

a es el ancho máximo de la fisura

h es la altura del frente vertical de fisura

H es la altura de la presa

D es el ancho de la presa en el plano de fundación

Para el caso de la presión hidrostática se obtuvieron, a través de un análisis de regresión por mínimos cuadrados, las expresiones (3) y (4) para el Factor de Intensidad de Tensiones adimensional en función de la cota relativa de embalse γ o β, para el caso de fisura parcialmente sumergida y completamente sumergida respectivamente.

$$K_I{}^a{}_{max} = \sum C_n \gamma^n \quad (3)$$

$$K_I{}^a{}_{max} = C_0 + C_1 \beta \quad (4)$$

$K_I{}^a{}_{max}$ se definde a partir de las expresiones (5) y (6):

$$K_I{}^a = K_I/K_0 \quad (5)$$

$$K_0 = \rho\, hD^{1/2} \quad (6)$$

siendo ρ la densidad del agua, *h* la cota de embalse y *D* una de las dimensiones de la presa Para el caso de presión hidrostática γ y β se definen como se indica a contiunación:

$$\gamma = h/h_1 \quad (7)$$

$$\beta = (h/h_1\text{-}1) / (H/h_1\text{-}1) \quad (8)$$

en las cuales *h* la altura de embalse, h_1 la altura máxima de la fisura y *H* la cota de coronamiento de la presa. Los valores de las constantes C_0 y C_n, tanto para el caso de fisura parcialmente sumergida como completamente sumergida se observan en las Tablas 4 y 5.

Parámetros de ajuste	Casos					
	0	1	2	3	4	5
C_1	0,572	0,828	1,097	0,926	1,69	0,902
C_2	-0,565	-1,632	-1,383	-1,327	-2,412	1,061
C_3	0,251	1,971	0,591	1,767	4,055	0,183
C_4	0,011	-0,907	0,171	-0,876	-2,458	-0,801

Tabla 4 – Parámetros de la función de ajuste para el cálculo de $K_I{}^a{}_{max}$ en fisuras parcialmente sumergidas.

Parámetros De ajuste	Casos					
	0	1	2	3	4	5
C_0	0,1147	0,1398	0,1721	0,265	0,2436	0,4311
C_1	0,268	0,3084	0,426	0,5499	1,0178	1,4161

Tabla 5 – Parámetros de la función de ajuste para el cálculo de $K_I^a{}_{max}$ en fisuras completamente sumergidas.

Mediante las expresiones anteriores es posible obtener el valor máximo del Factor de Intensidad de Tensiones adimensional en el frente de la fisura en función del nivel del embalse.

DISCUCIÓN FINAL Y CONCLUSIONES

El estudio realizado nos permite concluir que se han obtenido tablas y expresiones que permiten estimar el valor máximo de K_I debido a dos estados de carga diferentes, por un lado la acción de cargas puntuales aplicadas en las caras interiores de fisuras verticales y perpendiculares al paramento de aguas arriba en presas de hormigón. Las cuales simulan presiones de inyección, y por el otro a presiones hidrostáticas.

Las mismas pueden ser empleadas para el estudio de la estabilidad de fisuras de origen térmico frente a la acción de las presiones que se originan en el interior de las fisuras durante los trabajos de reparación mediante la aplicación de inyecciones de resinas a alta presión o durante el llenado del embalse o su operación.

BIBLIOGRAFÍA

[1] ABAQUS, User´s Manual Version 6.9, Karlsson and Sorensen Inc., 2011.
[2] ACI Committee 224, Control of Cracking in Concrete Structures (ACI 224R-01), American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2001.
[3] Bazant, Z.P., and Planas, J., Fracture and size effect in concrete and other quasibrittle structures, CRC Press LLC, 1998.
[4] Concrete dams-control and treatment of cracks, review and case histories, Bulletin Nº107, ICOLD, 1997.
[5] Gravity Dam Design, Engineering and design, EM 1110-2-2200, USACE, 1995.
[6] María.P Zappitelli, E.I gnacio Villa, José Fernández-Sáez y Claudio G. Rocco, Estabilidad de fisuras en presas de hormigón frente a la acción de presiones internas. Mecánica Computacional, 31:1173–1183, 2012.
[7] Rocco, C.G., Braun, M., Zappitelli, M.P. y Villa, E.I., Estabilidad de fisuras en presas de hormigón frente a la acción de presiones internas. Mecánica Computacional, 30:127–139, 2011.
[8] Villa, E.I., Braun, M., Zappitelli, M.P., Vaquero Hernández, A. and Rocco, C.G., Simulación numérica del proceso de inyección de fisuras en presas de hormigón. Anales de Mecánica de la Fractura, 28:625–630, 2011.

APLICACIÓN DE UN MÉTODO DE RESOLUCIÓN IMPLICÍTO Y UNO EXPLÍCITO AL ESTUDIO DE UN PROBLEMA DE FRACTURA NO LINEAL

María P. Zappitelli

Departamento de Construcciones, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata
Calle 48 y 115 s/n, (B1900TAG) La Plata, Provincia de Buenos Aires, República Argentina
paulazappitelli@hotmail.com

Palabras clave: Métodos implícitos, métodos explícitos, Método de los Elementos Finitos, Modelo de Fisura Cohesiva

INTRODUCCIÓN

El Método de los Elementos Finitos (MEF) es uno de los más utilizados para la resolución de una gran cantidad de problemas ingenieriles cuya solución exacta sería muy compleja. La utilización del MEF implica la integración de las ecuaciones diferenciales que gobiernan el fenómeno en estudio. Así por ejemplo, la ecuación de equilibrio que gobierna la respuesta dinámica lineal de un sistema de elementos finitos se expresa de la siguiente manera:

$$M^{NM}\ddot{u}^{M} + I^{N} - P^{N} = 0 \qquad (1)$$

donde M^{NM} es la matriz de masa, I^{N} el vector de fuerzas internas y P^{N} el de fuerzas externas.

La resolución de la ecuación (1) puede llevarse a cabo utilizando diferentes métodos entre los cuales se encuentran los métodos de integración directa, según los cuales la ecuación (1) se integra utilizando un procedimiento numérico paso a paso. El término “directa” significa que, previamente a la integración numérica, no se realiza una transformación de las ecuaciones a una forma diferente.

Los métodos de integración directa pueden ser a su vez de tipo implícito o explícito. Los de tipo explícito obtienen la solución de la ecuación (1), $U^{t+\Delta t}$, basada en la utilización de las condiciones de equilibrio en el tiempo t y por tal razón no requieren el cálculo de la inversa de la matriz de rigidez efectiva (suma de las matrices de rigidez y de amortiguamiento) en la solución paso a paso ni realizar un procedimiento iterativo. En cambio los métodos implícitos utilizan la condición de equilibrio en el tiempo $t+\Delta t$ para obtener la solución $U^{t+\Delta t}$, lo cual implica la necesidad de invertir la matriz de rigidez efectiva.

Los métodos explícitos son por definición condicionalmente estables, ya que requieren la utilización de un paso de tempo Δt más pequeño que el paso de tiempo crítico, $\Delta t_c = T_n/\pi$, donde T_n es el período más pequeño del ensamblaje de elementos con n grados de libertad. Si se utilizara un paso de tiempo mayor la integración sería inestable, lo cual significa que cualquier error de redondeo crece y genera que la respuesta calculada carezca de validez. En cambio los métodos implícitos son incondicionalmente estables ya que la solución, para cualquier condición inicial, no crece sin límites para cualquier paso de tiempo Δt, en particular para $\Delta t/T$ grande, donde T representa el período natural.

La solución implícita se reduce a un análisis estático si se desprecian los efectos de la masa y el amortiguamiento, mientras que esto no puede realizarse con un método explícito. Aplicar métodos explícitos a problemas cuasi-estáticos requiere algunas consideraciones especiales. Dado que una solución estática es una solución a largo plazo, es computacionalmente impracticable realizar la simulación explícita en una escala de tiempo real ya que requeriría un número excesivo de incrementos de tiempo pequeños. Para obtener una solución económica, el evento debe ser acelerado de algún modo.

El problema que se presenta se debe a que a medida que el evento se acelera, el estado de equilibrio estático se convierte en un estado de equilibrio dinámico en el que las fuerzas de inercia cada vez son más dominantes. El objetivo es modelar el problema en el período de tiempo más corto para el cual las fuerzas de inercia sean despreciables.

En el presente trabajo se aplica un criterio implícito de integración desarrollado por Hilber, Hughes y Taylor y el método explícito de diferencias centrales a la resolución de un problema clásico de Mecánica de Fractura no lineal correspondiente al comportamiento en fractura de una viga entallada de hormigón ensayada en régimen estático, con el objetivo de demostrar que puede aplicarse un método explícito a la resolución de problemas estáticos.

MODELADO DEL PROBLEMA

Fundamento numérico

El operador implícito de Hilber, Hughes y Taylor es un operador de parámetro único con amortiguamiento numérico controlable. Este amortiguamiento es más valioso en el esquema de paso de tiempo automático, debido a que el ruido numérico introducido por las ligeras altas frecuencias cuando se cambia el paso de tiempo, es removido rápidamente por una pequeña cantidad de amortiguamiento numérico, sin tener un efecto significativo en la respuesta a bajas frecuencias. Este operador reemplaza la ecuación (1) con el balance de fuerzas de d'Alembert al final del paso de tiempo y una ponderación promedio de las fuerzas estáticas al comienzo y al final del paso de tiempo:

$$M^{NM}\ddot{u}^{M}|_{t+\Delta t} + (1+\alpha)(I^{N}|_{t+\Delta t} - P^{N}|_{t+\Delta t}) - \alpha(I^{N}|_{t} - P^{N}|_{t}) + L^{N}|_{t+\Delta t} = 0, \quad (2)$$

El término $L^{N}|_{t+\Delta t}$ es la suma de todas las fuerzas del multiplicador de Lagrange asociadas con los grados de libertad *N*. La definición del operador se completa con la fórmula de Newmark para la integración de desplazamientos y velocidades:

$$u|_{t+\Delta t} = u|_{t} + \Delta t\, \dot{u}|_{t} + \Delta t^{2}\left((\frac{1}{2} - \beta)\ddot{u}|_{t} + \beta\ddot{u}|_{t+\Delta t}\right) \quad (3)$$

$$\dot{u}|_{t+\Delta t} = \dot{u}|_{t} + \Delta t\left((1-\gamma)\ddot{u}|_{t} + \gamma\ddot{u}|_{t+\Delta t}\right) \quad (4)$$

donde:

$$\beta = \frac{1}{4}(1-\alpha)^{2}, \quad -\frac{1}{3} \le \alpha \le 0, \quad \gamma = \frac{1}{2} - \alpha$$

El principal interés de este operador es su amortiguamiento numérico controlable y la forma en que éste funciona, creciendo lentamente para bajas frecuencias y más rápido para altas frecuencias. El control sobre la cantidad de dicho amortiguamiento es ejercida por el parámetro α. Cuando α*=0* no hay amortiguamiento y el operador es la regla del trapecio (β*=1/4*) pero para α*= -1/3* habrá un amortiguamiento significativo.

Por otro lado el método explícito de diferencias centrales se describe a partir de las siguientes expresiones:

$$\dot{\mathbf{u}}^{(i+\frac{1}{2})} = \dot{\mathbf{u}}^{(i-\frac{1}{2})} + \frac{\Delta t^{(i+1)} + \Delta t^{(i)}}{2}\ddot{\mathbf{u}}^{(i)} \quad (5)$$

$$\mathbf{u}^{(i+1)} = \mathbf{u}^{(i)} + \Delta t^{(i+1)}\dot{\mathbf{u}}^{(i+\frac{1}{2})} \quad (6)$$

Donde $\dot{\mathbf{u}}$ representa a la velocidad y $\ddot{\mathbf{u}}$ la aceleración. El superíndice *(i)* representa el número de incremento, *(i-1/2)* e *(i+1/2)* se refieren a valores a la mitad del incremento.

La clave de la eficiencia computacional del procedimiento explícito se encuentra en el uso de una matriz de masa diagonal:

$$\ddot{\mathbf{u}}^{(i)} = \mathbf{M}^{-1} \cdot (\mathbf{F}^{(i)} - \mathbf{I}^{(i)}) \tag{7}$$

El operador de diferencias centrales requiere de un procedimiento de arranque debido a que el valor de las velocidades medias debe ser definido. Los valores iniciales (para *t=0*) de la velocidad y la aceleración son fijados en cero, a menos que se proponga otro valor. Se establece la siguiente condición:

$$\dot{\mathbf{u}}^{(+\frac{1}{2})} = \dot{\mathbf{u}}^{(0)} + \frac{\Delta t^{(1)}}{2}\ddot{\mathbf{u}}^{(0)} \tag{8}$$

Finalmente, sustituyendo la expresión (8) en la expresión (5) se obtiene:

$$\dot{\mathbf{u}}^{(-\frac{1}{2})} = \dot{\mathbf{u}}^{(0)} - \frac{\Delta t^{(0)}}{2}\ddot{\mathbf{u}}^{(0)} \tag{9}$$

Descripción del modelo

Se propone, empleando los métodos descriptos, realizar una modelación 3D de tres geometrías de vigas entalladas presentes en la publicación de Roesler y otros. Se implementó un Modelo de Fisura Cohesiva (MFC) en un código comercial de cálculo por el Método de los Elementos Finitos (ABAQUS 6.9). En el MFC la zona dañada se representa mediante una fisura ficticia entre cuyas caras se pueden transmitir tensiones, cuya magnitud viene dada por la separación entre las mismas. La relación entre tensión y separación se materializa a través de la curva o función de ablandamiento, la cual es una propiedad del material y uno de los parámetros fundamentales del modelo. La curva de ablandamiento empleada en el presente trabajo es de tipo bilineal.

Para la resolución del problema se simuló la mitad de las vigas divididas en dos partes, una de ellas formada por los elementos cohesivos y la otra constituida por la viga propiamente dicha. Esta división en dos partes se empleó para poder realizar un mallado más fino en la zona cohesiva en relación al mallado en la viga propiamente dicha, ya que los elementos cohesivos requieren un importante refinamiento de la malla para funcionar adecuadamente. Para la vinculación de ambas partes se utilizaron Tie Constraints. Para ambos métodos la cantidad y tipo de elementos empleados fueron los mismos, sólo varió el tipo de resolución. Para poder aplicar la condición de simetría en el plano medio de la viga se emplearon Equation Constraints en las direcciones vertical y lateral.

En la Fig. 1 y en la Tabla 1 se presentan las características geométricas de las vigas. Por su parte, en la Fig. 2 y en la Tabla 2 se indican los parámetros de la función de ablandamiento del hormigón, habiéndose considerado en todos los casos E = 32 GPa y ν = 0,3.

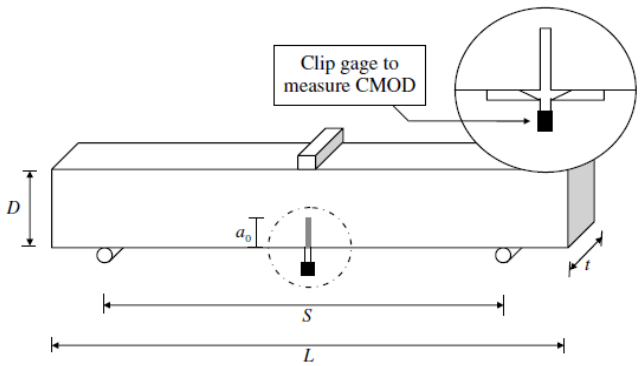


Figura 1 – Geometría de las vigas estudiadas

Caso	L [mm]	D [mm]	t [mm]	a0 [mm]	S [mm]
Viga 63-80	350	63	80	21	250
Viga 150-80	700	150	80	50	600
Viga 250-80	1100	250	80	83	1000

Tabla 1 – Parámetros geométricos de las vigas estudiadas

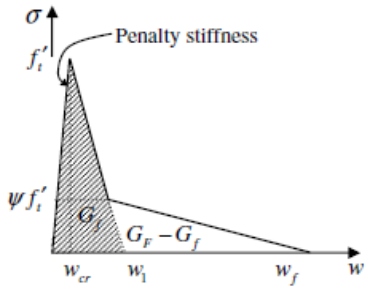


Figura 2 – Función de ablandamiento

Caso	Parámetros de la función de abladamiento						
	K [N/mm]	f´t [MPa]	GF [Nmm/mm^2]	Gf [Nmm/mm^2]	Wcr [mm]	Wf [mm]	φ
Viga 63-80	32000	4.15	0.106	0.055	1.30E-04	1.25E-01	0.25
Viga 150-80	32000	4.15	0.159	0.055	1.30E-04	2.27E-01	0.25
Viga 250-80	32000	4.15	0.193	0.055	1.30E-04	2.92E-01	0.25

Tabla 2 – Parámetros de la función de ablandamiento

El estado de carga aplicado consiste en un desplazamiento de 2.5mm en dirección vertical en el centro de la viga. Las vigas se encuentran simplemente apoyadas, y por ser simétricas respecto del plano medio se modeló sólo la mitad de las mismas aplicando condiciones de simetría, restringiendo los desplazamientos en la dirección del eje de las vigas. En la Fig. 3 se muestra el mallado de la geometría para la viga 250-80.

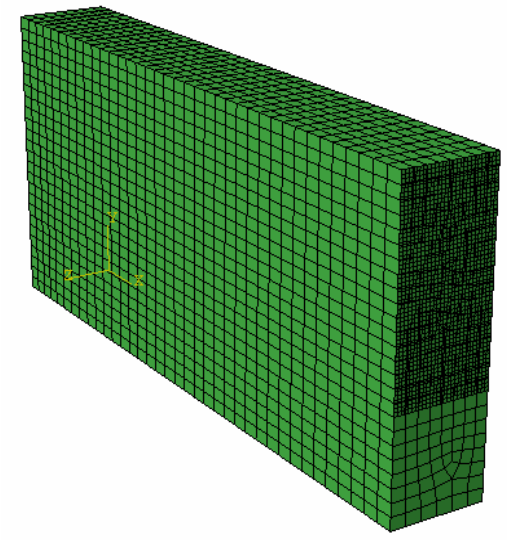


Figura 3 – Mallado correspondiente a la viga 250-80

En el método implícito se consideró la no linealidad de la geometría y el tamaño mínimo de incremento empleado fue de $1E^{-20}$ seg. En éste el período de tiempo empleado en la aplicación de la carga fue de 1 seg.

En los elementos cohesivos se aplicó viscosidad para ayudar a la convergencia, con un valor de $1E^{-5}$ 1/seg para la viga 63-80 y $1E^{-6}$ 1/seg para las vigas 150-80 y 250-80. En todos los casos se corroboró que la energía disipada por el parámetro viscoso no superara el 10% de la energía de deformación.

Para la modelación de la viga empleando el solver ABAQUS/Explicit se utilizó el comando Mass Scaling para acelerar el tiempo de resolución del problema y poder de esta manera considerarlo cuasi-estático. Para ello se especificó que debían escalarse los elementos de masa que se encontraran por debajo del mínimo incremento target, que en este caso fue de 0.001 seg para la viga 63-80, 0.005 seg para la viga 150-80 y 0.007 seg para la viga 250-80. Al terminar la simulación se verificó que la energía cinética no superara el 10% de la energía de deformación y así verificar la hipótesis de comportamiento cuasi-estático. Además la energía cinética no debía presentar una forma oscilante a lo largo del tiempo.

En el método explícito se tuvo que aplicar el desplazamiento a lo largo de un período de tiempo, coincidente con la duración del ensayo, y no en forma instantánea. Dicho período fue de 60 seg y para su aplicación se utilizó una curva de amplitud tipo smooth step, para evitar problemas de discontinuidades en el cálculo de las derivadas primeras y segundas.

RESULTADOS

A partir del empleo de los métodos implícito y explícito se obtuvieron las curvas Carga-CMOD (Carga- apertura de fisura) para cada una de las geometrías de vigas indicadas en la Tabla (1) y se las comparó con los resultados experimentales presentes en la publicación de Roesler y otros, como se observa en la Fig. 4.

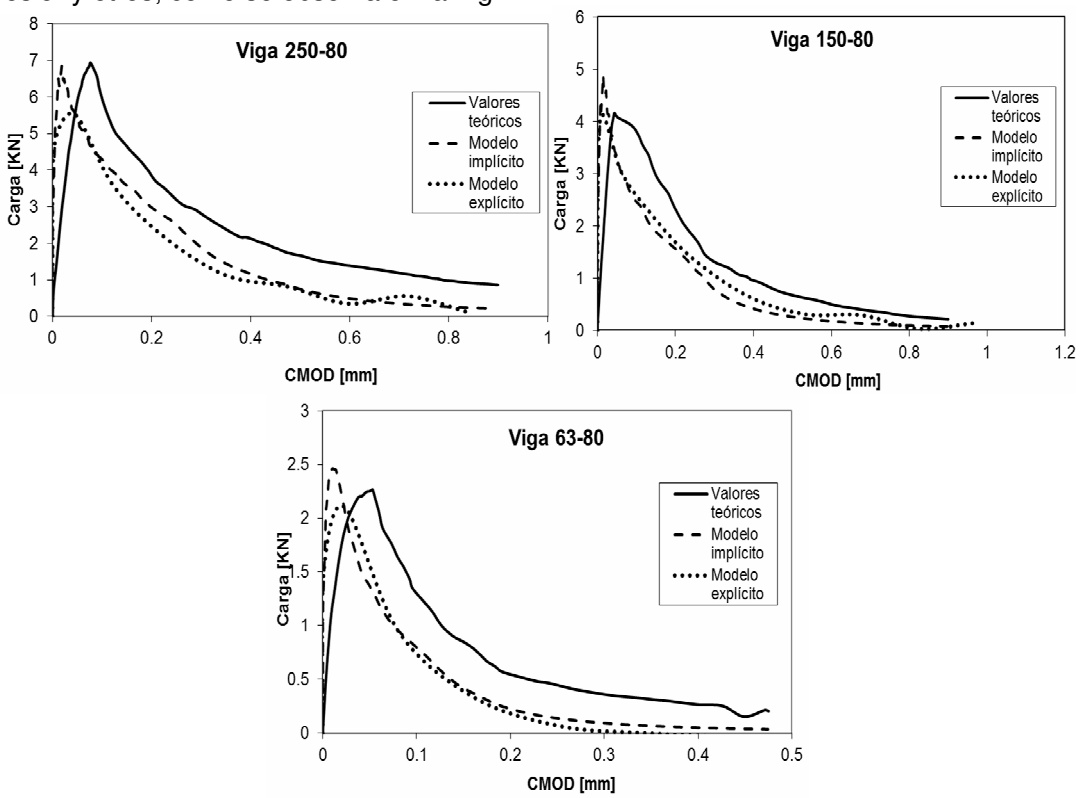


Figura 4 – Curvas Carga-CMOD

Para hacer efectiva la comparación se consideraron los valores máximos de las distintas variables estudiadas y se los comparó con los valores máximos experimentales, a través de la estimación del error alcanzado, como se observa en las Tablas 4 y 5.

	Viga 63-80		Viga 150-80		Viga 250-80	
	Máxima carga [KN]	Máximo CMOD [mm]	Máxima carga [KN]	Máximo CMOD [mm]	Máxima carga [KN]	Máximo CMOD [mm]
Experimental	2.27E+00	4.75E-01	4.16E+00	9.00E-01	6.94E+00	8.99E-01
Implícito	2.46E+00	4.75E-01	4.89E+00	9.02E-01	6.85E+00	8.91E-01
Explícito	2.10E+00	4.38E-01	4.09E+00	9.70E-01	5.53E+00	8.41E-01

Tabla 4 – Valores máximos de Carga y CMOD

	Comparación con valores experimentales					
	Viga 63-80		Viga 150-80		Viga 250-80	
	Máxima carga [KN]	Máximo CMOD [mm]	Máxima carga [KN]	Máximo CMOD [mm]	Máxima carga [KN]	Máximo CMOD [mm]
Implícito	8.70%	0.14%	17.36%	0.18%	1.34%	0.89%
Explícito	7.40%	7.81%	1.74%	7.79%	20.23%	6.47%

Tabla 5 – Comparación con valores experimentales

Como puede observarse el error obtenido con el modelo es muy bajo en relación con los valores experimentales. En particular el error es menor con respecto a la solución con el método explícito al considerar máxima carga, excepto para la viga 250-80. Para el caso de máxima CMOD el error es menor para el método implícito.

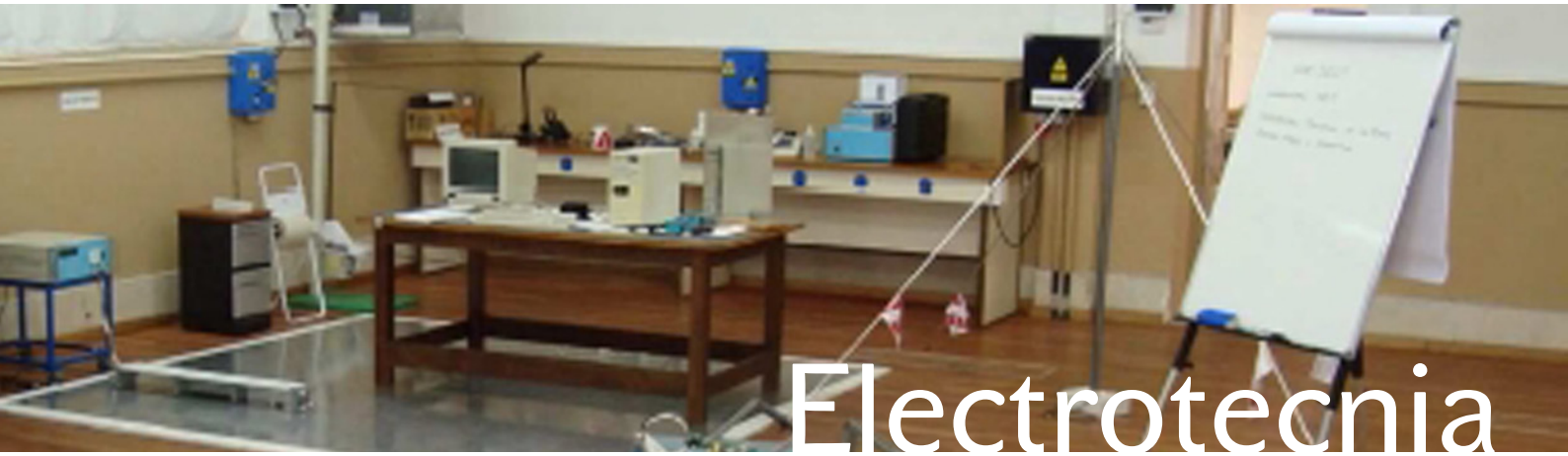
DISCUSIÓN FINAL Y CONCLUSIONES

En el presente trabajo se proponía resolver un problema clásico de Mecánica de Fractura no Lineal con el Método de los Elementos Finitos utilizando un método implícito y otro explícito y validar los resultados obtenidos con los modelos con resultados experimentales. A partir de lo expuesto en el apartado Resultados, podemos considerar que se cumplió con ello.

A partir del reducido error obtenido podemos considerar que la aproximación alcanzada con ambos métodos, con el mallado y las condiciones de borde empleadas, son aceptables. Por lo tanto pudimos comprobar que el método explícito puede emplearse para la resolución de problemas estáticos, ya que los resultados obtenidos con el mismo son tan válidos como los obtenidos con el método implícito. De esta forma podemos tomar ventaja de todas las bondades de la solución explícita, en particular para el caso de problemas complejos altamente no lineales, como el presente en el que se emplean elementos cohesivos, los cuales originan cambios en la rigidez del problema debido al ablandamiento que sufren, situación que lleva a que la resolución utilizando métodos implícitos sea inestable y requiera el empleo de amortiguadores viscosos que actúan como estabilizadores. Los métodos explícitos eliminan esa necesidad, por ser la solución más estable.

BIBLIOGRAFÍA

[1] J. Roesler, G.H. Paulino, K. Park, C. Gaedicke. Concrete fracture prediction using bilinear softening. Cement & Concrete Composites 29, pp. 300-312, 2007
[2] ABAQUS, User's Manual Version 6.9, Hibbitt, Karlsson and Sorensen Inc, 2009.
[3] ABAQUS, Theory Manual Version 6.9, Hibbitt, Karlsson and Sorensen Inc, 2009.
[4] K.-J. Bathe. Finite Element Procedures. Cap 5 pp. 471-477. Prentice Hall, 1996.
[5] E.I. Villa y J.F. Bissio. Aplicación de un modelo no lineal al estudio del comportamiento en fractura del hormigón. Primera Jornadas de Investigación y Transferencia, Facultad de Ingeniería, UNLP, pp. 160-167, 2011.



Electrotecnia

CRITERIOS DE DIAGNÓSTICO DE MÁQUINAS ROTANTES DE MEDIA TENSIÓN

Carlos A. WALL
IITREE-LAT-FI-UNLP
Argentina

Leonardo J. CATALANO
IITREE-LAT-FI-UNLP
Argentina

Javier RIOS
UTFSM
Chile

Pablo TRINCADO
UTFSM
Chile

Calle 48 y 116 – CPA: B1900AMF – La Plata – República Argentina – caw@iitree-unlp.org.ar

Resumen *– Se presenta un análisis de distintas normas y publicaciones en las que se encuentran descripciones de procedimientos y criterios de evaluación del estado del aislamiento de máquinas rotantes de media tensión.*
En esta publicación se consideran normativas a nivel internacional que contemplan procedimientos de medición y criterios de evaluación de los distintos parámetros involucrados.
Como resultado del mencionado análisis se ha elaborado un procedimiento de ensayo que contempla la medición de los distintos parámetros a determinar durante las pruebas que se realizan con la máquina fuera de servicio (off-line).
Los ensayos a realizar incluyen: medición del nivel descargas parciales (DPs), registros de oscilogramas y registros digitales de DPs en función de la fase de la tensión aplicada, determinación de capacidad, factor de pérdidas (tg δ), resistencia de aislamiento e índice de polarización (IP).
Para el diagnóstico se consideran los parámetros dieléctricos medidos, parámetros combinados y parámetros derivados de las magnitudes medidas.

Palabras clave: Máquinas rotantes, curva de vida, descargas parciales (DPs), capacidad, factor de pérdidas, tg δ.

1 INTRODUCCIÓN

Las máquinas rotantes cumplen un papel fundamental en toda cadena de producción en las que se encuentren emplazadas. Es bien conocida la criticidad que poseen tanto los generadores de energía eléctrica como los motores utilizados en procesos industriales, siendo de vital importancia en la producción, ya que ella depende el desempeño que posean estas máquinas, debiendo cumplir de acuerdo a lo programado, su papel en forma eficiente.

Para evitar que, tanto los generadores como los motores, sufran salidas de servicio en forma inesperada que provoquen interrupciones en producción, se deben llevar a cabo dentro de un plan de mantenimiento, mediciones que permitan evaluar el estado de las unidades y las acciones correctivas a implementar, si estas son requeridas.

Para una evaluación de carácter predictivo, se requiere un seguimiento que contemple un periodo regular de mediciones y de esta forma poder confeccionar una curva de vida para cada uno de los parámetros contemplados.

Se presenta un análisis de distintas normas internacionales en las que se encuentran procedimientos y criterios de evaluación del estado del aislamiento de máquinas rotantes de media tensión.

Se consideran normativas a nivel internacional que contemplan procedimientos de medición y criterios de evaluación de los distintos parámetros involucrados.

Del mencionado análisis se ha elaborado un procedimiento integral de ensayo con mediciones de distintos parámetros (off-line) que da como resultado la expectativa de vida de la máquina.

Los ensayos a realizar incluyen: medición del nivel descargas parciales (DPs), registros de oscilogramas y registros digitales de DPs en función de la fase de la tensión aplicada, determinación de capacidad, factor de pérdidas (tg δ), resistencia de aislamiento y índice de polarización (IP).

2 GENERALIDADES

2.1 Objetivo

El objeto es elaborar un criterio que permita realizar la evaluación del estado de aislamiento de las máquinas rotantes y con éste establecer una estrategia de mantenimiento que evite las salidas de servicio durante periodos no programados.

2.2 Parámetros considerados

Los siguientes parámetros dieléctricos se consideran para el diagnóstico:

- Descarga Parcial (DP) - Medición de la carga aparente (Q) de acuerdo a la norma IEC 60270:2000 [1].
- Capacidad
- Factor de Pérdidas (tg δ) – Incremento de la tg δ
- Resistencia de aislación
- Índice de polarización (IP)
- Corriente de absorción del aislamiento

La magnitud de las DPs reflejan los puntos críticos del aislamiento con deterioro localizado.

El factor de pérdidas muestra el estado global del material dieléctrico, los incrementos de la tg δ se consideran proporcionales al volumen de vacuolas (cavidades dentro del material aislante) con actividad de DPs.

La resistencia de aislación, la respuesta de absorción y el IP revelan fundamentalmente la humedad absorbida y la contaminación.

3 SOLICITACIONES A APLICAR

Los ensayos a realizar son con tensión alterna y continúa, con alterna se realizan los ensayos de Factor de Pérdidas, Capacidad y DPs, y con continua se determina la Resistividad del aislamiento y el IP.

3.1 Ensayos con tensión alterna

Se determina en primer lugar el nivel de la tensión a utilizarse "U_{ensayo}", tensión que se aplica fase-masa y típicamente corresponde al 100% de la tensión fase-masa de un de ensayo de rutina y/o mantenimiento predictivo.

Es recomendable que la solicitación alterna se incremente gradualmente en escalones de 20% de U_{ensayo} hasta alcanzar el 100% de U_{ensayo}, valor que se mantiene por un periodo de entre 10 a 15 minutos con el objeto de establecer un estado cuasi-estacionario en los parámetros eléctricos del aislamiento. Luego de este periodo la tensión se reduce en escalones de 20% de U_{ensayo} hasta cero. De este modo se podrá observar la evolución de los parámetros dieléctricos, los posibles cambios o histéresis entre el perfil de ascenso y descenso, etc.

Las mediciones se realizan en cada escalón de tensión alterna en valor eficaz, aunque para el caso de las DPs la normativa distingue que son relevantes las mediciones en perfil de descenso. También se pueden comparar los valores obtenidos en el ascenso de tensión con los del descenso.

3.2 Ensayos con tensión continua

Se determina en primer lugar el nivel de la tensión nominal de ensayo a utilizarse, típicamente en los rangos 1; 2,5 y 5 kV. La tensión se aplica fase-masa durante un periodo de 10 minutos. Adicionalmente se puede hacer de forma complementaria la aplicación de escalones de tensión continua de 1 kV con 1 minuto de duración hasta alcanzar el valor de ensayo, típicamente 5 kV.

4 ENSAYOS: Procedimiento y evaluación

Se plantea la realización de ensayos con tensión alterna y continua, los primeros son Factor de pérdidas, Capacidad y Descargas Parciales, mientras que los con tensión continua son Resistividad del aislamiento e Índice de polarización.

4.1 Factor de Pérdidas del aislamiento (tg δ) y capacidad

El procedimiento de medición se toma de la norma IEEE Std. 286-2000 [2], la evaluación de resultados se realizan de acuerdo a la norma DIN VDE 0530 [3] y recomendaciones del CRIEPI [4].

De acuerdo a lo establecido en la Norma DIN VDE 0530 [3], para los ensayos de mantenimiento preventivo, los aislamientos de las máquinas rotantes se evalúan con respecto a incrementos del factor de pérdidas medidos en escalones de tensión:

$$\Delta_0 \equiv \tan\delta_{0,2} < 30 \times 10^{-3} \qquad \Delta_1 \equiv \frac{\tan\delta_{0,6} - \tan\delta_{0,2}}{2} < 2{,}5 \times 10^{-3}$$

$$\Delta_2 \equiv \tan\delta_{0,6} - \tan\delta_{0,4} < 5 \times 10^{-3} \qquad \Delta_3 \equiv \tan\delta_{0,8} - \tan\delta_{0,6} < 6 \times 10^{-3}$$

$$\Delta_4 \equiv \tan\delta_{1,0} - \tan\delta_{0,8} < 7 \times 10^{-3}$$

De acuerdo a las recomendaciones del Criterio CRIEPI el factor de pérdidas de las máquinas rotantes debe cumplir:

$$\Delta_{\text{CRIEPI}} \equiv \tan\delta_{1,0} - \tan\delta_{0,2} < 20 \times 10^{-3}$$

Los valores de tan δ se normalizan a 20º C. En la Fig. 1 se presenta una curva de capacidades y en la Fig. 2 la correspondiente a la tan δ ambas en función de la tensión aplicada.

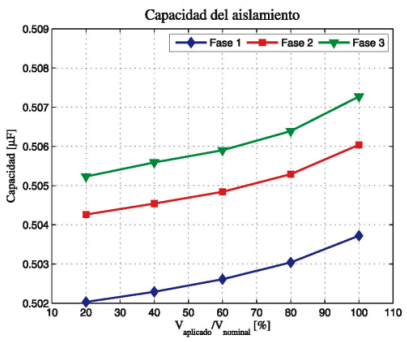


Fig. 1 – Curva de capacidad

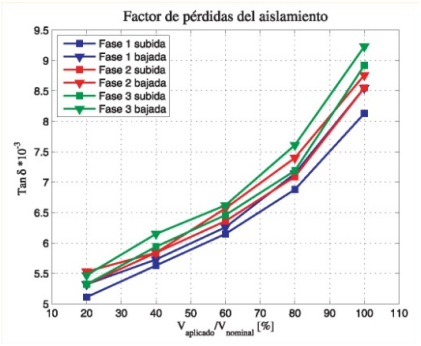


Fig. 2 – Curva de tan δ

La capacidad se utiliza como herramienta de diagnóstico, principalmente en cuanto a su variación positiva o negativa durante los 10 minutos que dura el ensayo a tensión nominal.

4.2 Descargas Parciales (DPs)

El procedimiento de medición utilizado toma como referencia la norma IEEE Std. 1434-2000 [5], se utiliza el mismo esquema de solicitaciones del ensayo de factor de pérdidas y se mide en forma simultánea con él. Las mediciones se llevan a cabo con un sistema de medición que cumple con los lineamientos establecidos en la norma IEC 60270:2000 [1], los circuitos de ensayos son los especificados por la misma.

Se mide el valor de la carga aparente Q [pC] y se compara con valores de referencia, por ejemplo para una máquina nueva este valor está en el rango de 5.000 pC. Si se dispone de registros con mediciones anteriores se observa el incremento en el valor de Q, se debe prestar atención que el incremento sea homogéneo para todas las fases y que mantenga cierta regularidad de incremento en el tiempo. Un incremento repentino de las DPs en una sola fase de la máquina resulta un signo de deterioro riesgoso. En la Fig. 3 se observa la variación de Q en función de la tensión aplicada.

También se determinan las tensiones de ignición (TIDP) y de extinción (TEDP) de DPs. En estas mediciones no existe un umbral definido se adopta como tal el nivel de ruido. El ruido y otros mecanismos de ajuste, son definidos en una etapa previa de medición y calibración en vacío, es decir, con todo el sistema de medida, pero sin la máquina conectada.

Por otro lado se determinan la distribución, el tamaño y la cantidad de las DPs, junto con la fase de ocurrencia, esto permite complementar el diagnóstico ya que se comparan con patrones característicos. El procedimiento considerado es el que se indica en la TS IEC 60034-27:2006 [6]. En la Fig. 4 se presenta un ejemplo correspondiente a una fase de un generador de 160 MVA.

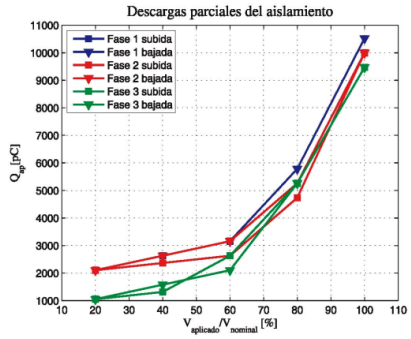


Fig. 3 – Curva de "Q" en función de U $_{aplicada}$

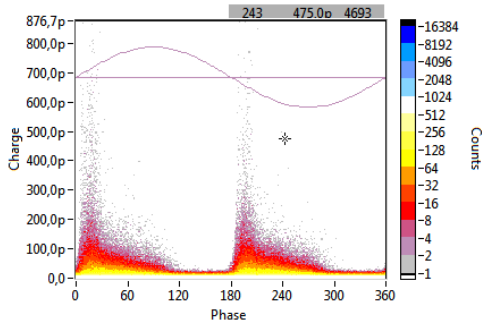


Fig. 4 – Distribución de DPs en función de la fase

4.3 Resistencia de aislamiento e Índice de polarización (IP)

Para el procedimiento de medición se toma como referencia la norma IEEE Std. 43-2000 [8]. Se aplica la tensión anteriormente fijada a una fase con las otras dos aterrizadas durante 10 minutos, donde se mide y grafica la corriente de pérdidas del aislamiento y se determina la resistencia del aislamiento en el tiempo. Adicionalmente se determinan parámetros clásicos como el IP cuyo rango normal según el tipo de aislamiento, se encuentra entre 2 y 6, interpretando humedad en el aislamiento para valores pequeños y agrietamiento superficial para valores altos. También son determinadas, las componentes de la corriente, como fuga resistiva, polarización y absorción.

Con la resistencia de aislamiento a los 10 min y la capacidad se puede determinar las constantes de tiempo del aislamiento por fase.

Complementaria y adicionalmente se aplica a cada fase contra masa, una tensión continua graduada en escalones de 1 kV, variable entre 1 y 5 kV. El tiempo en cada nivel de tensión es de 1 minuto, se registra la variación de la resistencia de aislamiento en función del tiempo

y se grafican los valores de las corrientes al minuto final de cada escalón con su nivel de tensión.

En las Fig. 5 y Fig. 6 se aprecian gráficas correspondientes a la corriente de absorción y respuesta a escalones de tensión respectivamente.

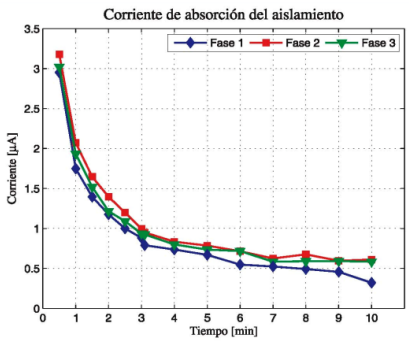


Fig. 5 – Corriente de absorción

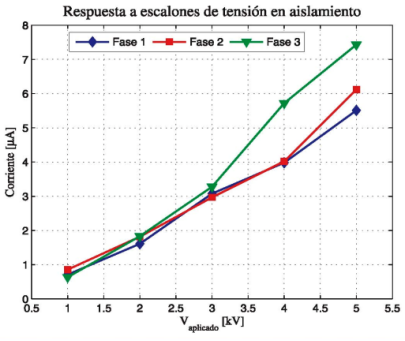


Fig. 6 – Respuesta a escalones de tensión

5 ANÁLISIS COMBINADOS DE MEDICIONES Y MAGNITUDES DERIVADAS

Luego de realizados los ensayos y obtenidos los resultados existen criterios de evaluación que combinan diferentes mediciones y otros que se realizan con magnitudes derivadas de las obtenidas en las pruebas.

5.1 Análisis de DPs y tg δ

En la evaluación de resultados se utilizan las recomendaciones del CRIEPI [4], en la que se analiza el incremento global del la tg δ entre el 20 y 100 % de la solicitación aplicada y el nivel de la carga aparente máxima (Q), medidos a la tensión de operación fase-masa del devanado. Los criterios de evaluación se resume en la Tabla I.

TABLA I. EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL AISLAMIENTO “tg δ-DPs”

Estado	tg δ	DPs
Devanados en buen estado	$\tan\delta_{1,0} - \tan\delta_{0,2} < 20 \times 10^{-3}$	$Q < 10.000\ pC$
Devanados en observación	$20 \times 10^{-3} < tan\,\delta_{1,0} - \tan\delta_{0,2} < 65 \times 10^{-3}$	$10.000\ pC < Q < 30.000\ pC$
Devanados en riesgo crítico	$\tan\delta_{1,0} - \tan\delta_{0,2} > 65 \times 10^{-3}$	$Q > 30.000\ pC$

5.2 Energía integrada de las DPs (W_{DPs})

Se determina la energía integrada de las descargas por ciclo, W_{DPs}, la evaluación se realiza en base a la publicación de J.S. Simons “Diagnóstico del aislamiento de máquinas de alta tensión” [7], en la misma se indica la relación de W_{DPs} y el contenido de vacuolas que se presenta en la Tabla II.

La determinación de la W_{DPs} se realiza de acuerdo a lo indicado en las ecuaciones (1) y (2)

$$W_D = 2\pi U^2 C_x \left(tg\delta x - tg\delta_{x-1}\frac{C_{x-1}}{C_x}\right) \quad \left[\frac{\mu J}{ciclo}\right] \qquad (1)$$

$$W_{DPs} = \frac{2\pi U^2 C_x \left(tg\delta x - tg\delta_{x-1}\frac{C_{x-1}}{C_x}\right)}{1000\ C_x} \quad \left[\frac{\mu J}{ciclo \cdot pF}\right] \qquad (2)$$

TABLA II. EVALUACIÓN EN FUNCIÓN DE LA ENERGÍA INTEGRADA DE LAS DPs

Estado	Energía integrada de las DPs
Máquinas con bajo nivel de vacuolas	$W_{DPs} < 5 \left[\frac{\mu J}{ciclo \cdot pF}\right]$
Máquinas con nivel moderado de vacuolas	$5 \left[\frac{\mu J}{ciclo \cdot pF}\right] < W_{DPs} < 20 \left[\frac{\mu J}{ciclo \cdot pF}\right]$
Máquinas con nivel elevado de vacuolas	$20 \left[\frac{\mu J}{ciclo \cdot pF}\right] < W_{DPs} < 50 \left[\frac{\mu J}{ciclo \cdot pF}\right]$

La energía integrada es calculada a partir de los incrementales del factor de pérdidas, tiene su justificación en la acción complementaria de los mecanismos de pérdidas del sistema de aislamiento, indicando que todo cambio anormal en los incrementos del factor de pérdidas es consecuencia de la actividad media de las descargas parciales de los estratos internos. Es decir, este parámetro no es sensible a las descargas externas tipo corona de ranura o cabezal.

6 CONCLUSIONES

En la Tabla III se resumen las diferentes solicitaciones, ensayos y criterios de evaluación utilizados.

TABLA III. RESUMEN DE ENSAYOS Y SOLICITACIONES

Solicitación	Ensayo	Criterio de Diagnóstico
Tensión alterna de frecuencia industrial	Factor de Pérdidas	Diferencia de la tan δ para los distinto escalones de solicitación. (*)
	Descargas Parciales	Análisis del nivel de Carga Aparente (Q). (*)
		Evaluación de patrones con amplitud y taza de repetición de DPs en función de la onda de tensión aplicada.
		Evaluación de la energía integrada de las DPs
Tensión continua	Resistencia de Aislamiento e Índice de polarización	Evolución entre diferentes mediciones. Criterios de humedad o agrietamiento superficial
(*) A través de estas dos magnitudes se emplea un diagnóstico de parámetros combinados.		

El criterio de evaluación descripto ha sido aplicado con éxito en gran cantidad de máquinas a los largo de varios años y permite realizar una evaluación del estado global del aislamiento.

Adicionalmente a las mediciones que se presentan en este procedimiento, se utiliza como herramienta de diagnóstico consideraciones similares a la aquí presentadas, pero tomando en cuenta la data histórica medida de igual forma. De este modo se puede construir la "Carta Δ", en la cual se grafica la variación de la capacidad más la tg δ vs. las DPs (Δ=ΔC+tgδ). Con esta "Carta Δ" se puede realizar una estimación de la vida residual del aislamiento, también llamada curva de vida, en la Fig. 7 se presenta un ejemplo.

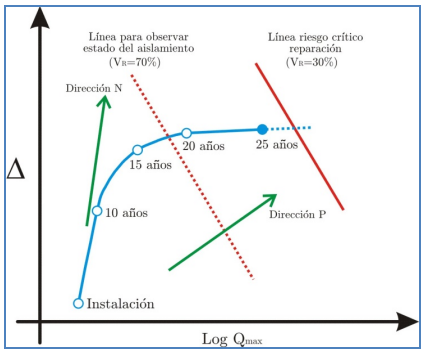


Fig. 7 – Carta "Δ" del aislamiento

La dirección "N" indica la tendencia de envejecimiento normal, originada en el proceso térmico-mecánico-eléctrico homogéneamente distribuido en todo el aislamiento.

La dirección "P" considera un crecimiento continuo de la amplitud máxima de las DPs, con evidencia de deterioro localizado.

Se destaca la utilización de diferentes fuentes bibliográficas debido a que no existe hoy en día una norma precisa que integre todos los factores que influyen en el deterioro del sistema de aislamiento.

Hay que resaltar que el éxito del procedimiento se maximiza cuando se realizan mediciones en forma periódica según el estado del aislamiento. Para una máquina sana la periodicidad es de 2 a 3 años, mientras que en una máquina con sospechas de riesgo la periodicidad puede ser de 3 a 6 meses. Así se obtiene una mejor evaluación de la evolución de cada uno de los parámetros descritos.

7 REFERENCIAS

[1] IEC 60270-2000. Third Edition. "High-voltage test techniques - Partial discharge measurements".
[2] IEEE Std. 286-2000. IEEE Recommended Practice for Measurement of Power Factor Tip-Up of Electric Machinery Stator Coil Insulation.
[3] DIN VDE 0530. Acapite 6. Ensayos dieléctricos de devanados de máquinas rotatorias.
[4] Evaluación de aislamiento de generadores por parámetros dieléctricos combinados. Central Research Intitute of Electrical Power Industry (CRIEPI) Japon.
[5] IEEE Std. 1434-2000. IEEE Trial-Use Guide to the Measurement of Partial Discharges in Rotating Machinery.
[6] IEC 60034-27:2006. Rotating electrical machines – Part 27: Off-line partial discharge measurements on the stator winding insulation of rotating electrical machines.
[7] Diagnostic testing of high-voltage machine insulation. J. S. Simons, B.Sc. (Eng.), C. Eng., M.I.E.E.IEEPROCEEDINGS, Vol. 127, Pt. B, No. 3, MA Y1980.
[8] IEEE Std. 43-2000. IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery.

DESBALANCES EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN. EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS MÉTODOS EXISTENTES PARA SU DETERMINACIÓN.

Pedro E. Issouribehere, Juan C. Barbero, Gustavo A. Barbera, Fernando Issouribehere, H. Gastón Mayer

IITREE-LAT FI UNLP

48 y 116 B1900AMF, La Plata, Argentina – gbarbera@iitree-unlp.org.ar

1. RESUMEN

La experiencia en mediciones de Calidad de Servicio con equipos del mercado muestra que diferentes fabricantes han implementado la medición de los desbalances utilizando algoritmos de cálculo basados en distintas definiciones, lo cual dificulta la interpretación de los resultados, aún para quien esté advertido de las diferencias que pueden esperarse.
En este trabajo se presenta un estudio comparativo de los resultados obtenidos con las distintas definiciones y criterios para determinar el factor de desbalance, basado en registros temporales de tensiones y corrientes trifásicas correspondientes a condiciones normales de operación en distintas plantas industriales. Este estudio reveló que el desempeño de instrumentos de medición de calidad de suministro y de protecciones que miden el factor de desbalance mediante alguno de estos algoritmos podría resultar objetable en condiciones similares, que pueden ser frecuentes en plantas industriales.

2. INTRODUCCIÓN

El desbalance de una variable trifásica es una condición en la que las tres fases presentan diferencias en el módulo y/o desplazamientos angulares entre fases distintos de 120 grados eléctricos. La variable trifásica indicada de manera genérica puede ser indistintamente, la tensión fase-neutro, la tensión de línea o la corriente de un sistema trifásico.
El método que computa correctamente el grado de desbalance de una variable trifásica es el que emplea las componentes de secuencia de esa variable, y por lo tanto requiere una medición trifásica, tanto del módulo como de la fase de la variable.
A lo largo de los años se han propuesto diferentes simplificaciones para determinar un factor de desbalance a partir de mediciones del módulo solamente. Esas simplificaciones sólo son válidas para determinar el desbalance de una terna de fasores ABC, a partir de mediciones de los módulos de la terna de las diferencias (fasoriales) A-B, B-C, C-A. Es decir, las fórmulas simplificadas sólo tendrían validez para determinar el desbalance de la terna de tensiones fase-neutro, a partir de mediciones de las magnitudes de la terna de tensiones de línea, dado que para el caso de las corrientes las equivalencias carecen de sentido práctico.
En consecuencia, las expresiones aproximadas no serían aplicables para determinar el desbalance de las tensiones de línea ni el desbalance de las corrientes.
Sin embargo se encuentra en la bibliografía y aún en instrumentos de medición de calidad de energía, que esos métodos aproximados son empleados para determinar indistintamente el desbalance de tensiones (de fase o de línea) y de corrientes.
A fin de comparar los valores de los factores de desbalance obtenidos con las distintas aproximaciones, en relación al método basado en las componentes de secuencia, se aplicaron los diversos algoritmos a mediciones de tensiones de fase y de corriente realizadas en una acería provista de un horno de arco eléctrico y en una planta industrial con un variador de velocidad.
En el apartado siguiente se presentan definiciones y expresiones aproximadas para el factor de desbalance que se encuentran en normas y en bibliografía.

3. DEFINICIONES.

Factor de desbalance a partir de las componentes simétricas

La definición verdadera del factor de desbalance de tensiones ([1], [2], [3], [4]) corresponde a la relación entre los módulos de las componentes de secuencia inversa y directa de la tensión, según:

$$K = 100\,\frac{U^-}{U^+} \qquad (1)$$

Con:

$$U^- = \frac{1}{3}\left(\dot{U}_A + \dot{U}_B\, e^{j\frac{4}{3}\pi} + \dot{U}_C\, e^{j\frac{2}{3}\pi}\right)$$

$$U^+ = \frac{1}{3}\left(\dot{U}_A + \dot{U}_B\, e^{j\frac{2}{3}\pi} + \dot{U}_C\, e^{j\frac{4}{3}\pi}\right)$$

Siendo:

U^- y U^+ las componentes de secuencia inversa y directa, y $\dot{U}_A$, $\dot{U}_B$, $\dot{U}_C$ las tensiones fase-neutro, expresadas en forma fasorial.
Se considera que esta definición corresponde al valor verdadero del factor de desbalance, porque además, claramente puede ser aplicada también a las tensiones de línea y a las corrientes.

IEEE

Existen distintas definiciones del desbalance de tensiones y corrientes en diferentes documentos del IEEE. Esto, sumado a las interpretaciones que han hecho distintos autores y fabricantes de instrumentos y de protecciones, ha creado confusión en cuanto a la medición del desbalance.
Las diferencias de interpretación surgen porque, aparte de las distintas definiciones, nunca se indica si en el caso de las tensiones, deben emplearse las tensiones de fase o las tensiones de línea.
En [5] y [6] se definen dos factores, aplicables tanto sea a tensiones como a corrientes:

a) *Factor de desbalance*: relación de la componente de secuencia negativa a la componente de secuencia positiva. Esta definición es idéntica a la expresada en (1).

b) *Razón de desbalance*: Considerando los valores eficaces de las componentes fundamentales del sistema trifásico, se define como la diferencia entre el mayor valor y el menor valor, referida al valor medio de los tres valores eficaces.
Formalmente:

$$K = \frac{3\cdot(Umax - Umin)}{U_1 + U_2 + U_3}\cdot 100 \qquad (2)$$

Siendo:
U_{max} el máximo valor de los módulos de las tres tensiones (de fase o de línea).
U_{min} el mínimo valor de los módulos de las tres tensiones (de fase o de línea).
U_1, U_2, U_3 los módulos de las tres tensiones (de fase o de línea).
En [2] se aplican dos formas de medir el desbalance, pero en un apartado titulado *Desbalance de tensiones de fase en sistemas trifásicos*. Una de ellas es la definición dada por (1) y la otra:

c) *Desbalance porcentual*: La máxima desviación respecto al valor medio de cada fase, referida al valor medio de las tres fases. Es decir:

$$K = \frac{Max\left(|U_1 - U_{med}|, |U_2 - U_{med}|, |U_3 - U_{med}|\right)}{U_{med}}\cdot 100 \qquad (3)$$

Siendo:
$U_{med} = (U_1 + U_2 + U_3)/3$ y U_1, U_2, U_3 los módulos de las tres tensiones (de fase o de línea).

En [3] se define un factor de desbalance mediante (1), llamándolo indistintamente *voltage imbalance* y *voltage unbalance*, y para estimarlo se propone la expresión (3) para la cual, si bien no hay indicación específica, se presenta un ejemplo en el que se emplean las *tensiones de línea*.
También en [7] se define el desbalance de tensiones con la expresión (3) y se presenta un ejemplo en el que se emplean las *tensiones de línea*, pero no hay indicaciones acerca de las magnitudes a emplear.
La definición dada en **a)** corresponde, tal como se mencionó, a (1). Las confusiones aludidas surgen con el empleo y aplicabilidad de (2) y (3).
En efecto, de lo expuesto y considerando diferentes documentos del propio IEEE, cabe interpretar que (2) y (3) se pueden emplear indistintamente para determinar el factor de desbalance tanto para tensiones de fase como para tensiones de línea, dado que no se indica explícitamente que deban usarse exclusivamente unas u otras.

NEMA

National Electrical Manufacturers Association of USA adopta en [8] la definición b) del IEEE, con la misma ambigüedad en cuanto al empleo de tensiones de fase o de línea, si bien en el ejemplo de

cálculo que se presenta se emplean las *tensiones de línea*[1]. Esta misma definición es adoptada por ANSI [9].

CENELEC

CENELEC [12] adoptó la expresión presentada en [1]. Esta definición está mencionada como método alternativo de cálculo en [13]. Esta expresión es exacta y se deriva del cálculo del desbalance de la terna de *tensiones de fase* a partir de las componentes de secuencia.

$$K = 100\sqrt{\frac{1-\sqrt{3-6\beta}}{1+\sqrt{3-6\beta}}} \qquad (4)$$

Siendo:

$$\beta = \frac{U_{AB}^4 + U_{BC}^4 + U_{CA}^4}{\left(U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{CA}^2\right)^2}$$

U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} los módulos de las *tensiones de línea*.

Pillay-Hofmann-Manyage

En [14] y [15] se propone una expresión aproximada que evita el empleo de álgebra fasorial con las componentes simétricas, y da una buena aproximación al valor real del factor de desbalance:

$$K = 82\sqrt{\frac{3\cdot\left(U_{ABM}^2 + U_{BCM}^2 + U_{CAM}^2\right)}{U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}}} \qquad (5)$$

Siendo:

U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} los módulos de las tres *tensiones de línea*.

U_{ABM}, U_{BCM}, U_{CAM} diferencia entre la magnitud de cada tensión de línea y el promedio de las tres.

A modo de ejemplo, en la Tabla I se consideran dos ternas de tensiones (Figura 1) y se calculan las componentes de secuencia y los factores de desbalance obtenidos con las distintas variantes, las cuales fueron computadas con tensiones de línea y con tensiones de fase.

Tabla I: Comparación de los factores de desbalance.

Terna de tensiones	$U_a = 0.95\ e^{-j10,7^\circ}$ $U_b = 1.18\ e^{-j120.2^\circ}$ $U_c = 0.91\ e^{+j131.5^\circ}$	$U_a = 1.01\ e^{+j3.1^\circ}$ $U_b = 1.01\ e^{-j124.8^\circ}$ $U_c = 0.98\ e^{+j121.8^\circ}$
Comp. secuencia	$U^+ = 1.0\ e^{j0^\circ}$ $U^- = 0.021\ e^{-j12.3^\circ}$ $U^0 = 0.192\ e^{-j116^\circ}$	$U^+ = 1.0\ e^{j0^\circ}$ $U^- = 0.052\ e^{j40.6^\circ}$ $U^0 = 0.035\ e^{j142^\circ}$
K_{CS}	2.14 %	5.18 %
$K_{CENELEC}$	2.14 %	5.18 %
K_{Pillay}	2.16 %	5.16 %
K_{IEEEb_UL}	3.54 %	8.77 %
K_{IEEEb_Uf}	26.8 %	2.99 %
K_{IEEEc_UL}	2.10 %	4.83 %
K_{IEEEc_Uf}	16.4 %	1.18 %

La definición de CENELEC concuerda exactamente con el cálculo del desbalance a partir de las componentes de secuencia. El método de Pillay-Hofmann-Manyage tiene un error pequeño y lo mismo ocurre con método c) de la IEEE aplicado a las tensiones de línea.

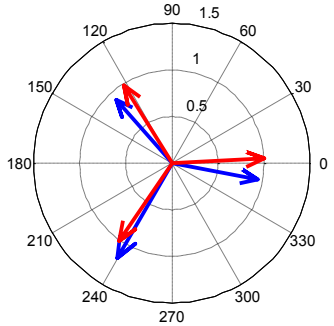


Figura 1. Ternas consideradas en Tabla I

[1] En [10] se indica que NEMA emplea las tensiones *fase-neutro*, sin embargo en lugar de citar como referencia un documento de NEMA se cita a [11], cuando en realidad en [11], al igual que en [16] se indica que NEMA emplea las *tensiones de línea*.

4. VERIFICACIÓN EXPERIMENTAL

Se emplearon registros temporales de tensiones y corrientes trifásicas para efectuar determinaciones ciclo a ciclo de los factores de desbalance aplicando las distintas definiciones y criterios. Los resultados se presentan a continuación.

CASO 1: HORNO DE ARCO ELÉCTRICO

La Figura 2 muestra un diagrama unifilar de la red de alimentación del horno de arco eléctrico. La acería se encuentra alimentada desde la red pública en 13.2 kV. Los puntos 1 y 2 indican los puntos de medición.

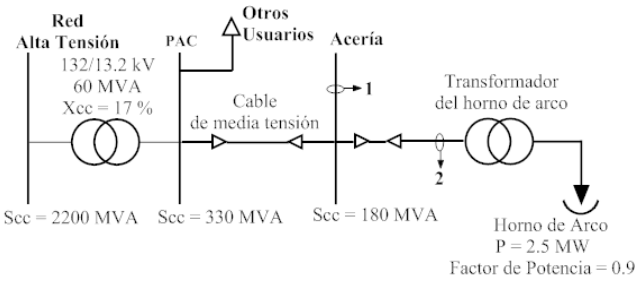


Figura 2. Diagrama unifilar de la acería.

Los registros obtenidos y el post-procesamiento efectuado para el cálculo de los diversos factores de desbalance se presentan en las Figuras 3 a 12.

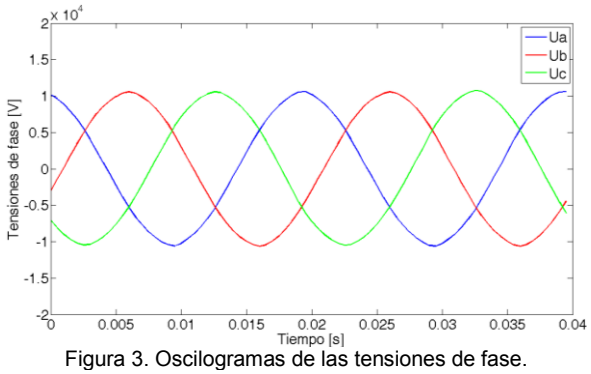


Figura 3. Oscilogramas de las tensiones de fase.

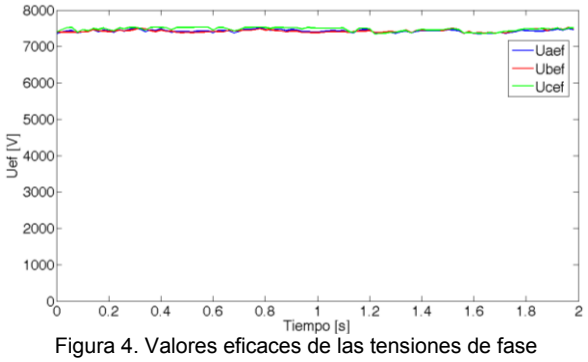


Figura 4. Valores eficaces de las tensiones de fase



Figura 5. Componentes de secuencia de tensiones de fase.

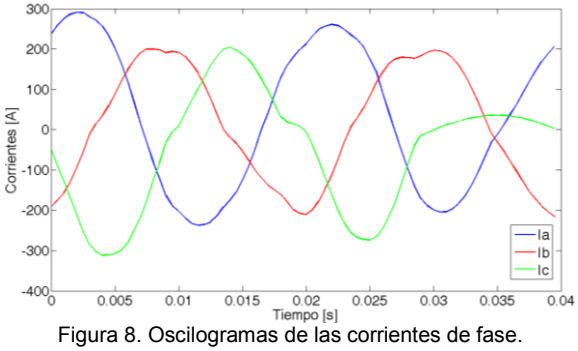


Figura 8. Oscilogramas de las corrientes de fase.

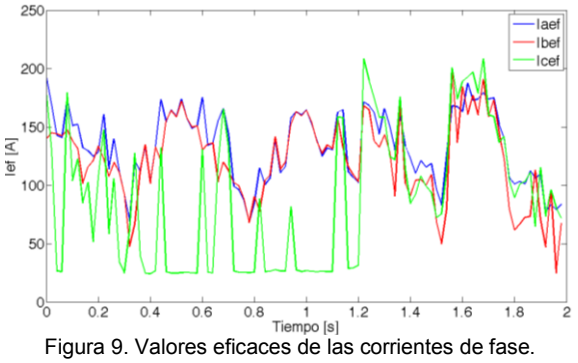


Figura 9. Valores eficaces de las corrientes de fase.

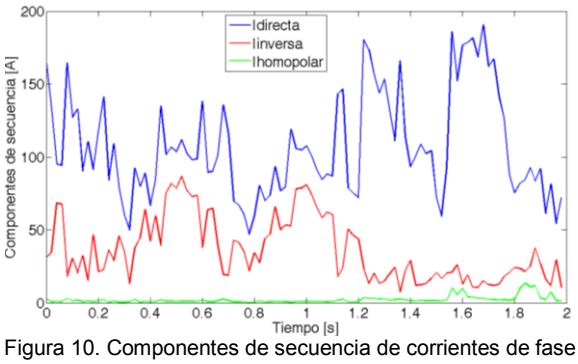


Figura 10. Componentes de secuencia de corrientes de fase

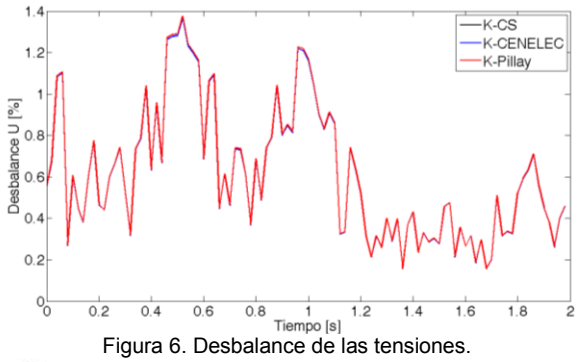


Figura 6. Desbalance de las tensiones.

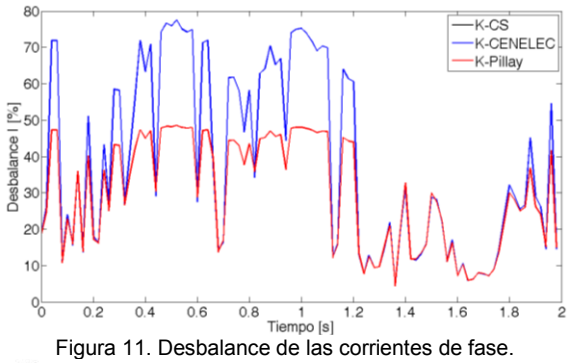


Figura 11. Desbalance de las corrientes de fase.

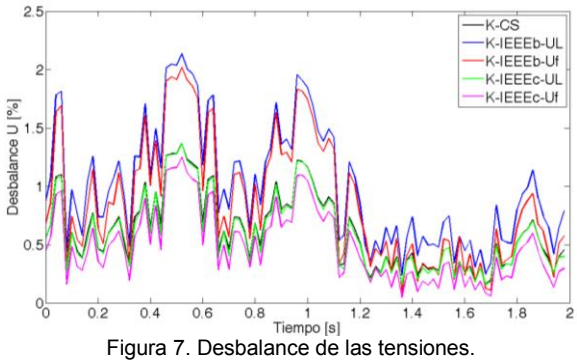


Figura 7. Desbalance de las tensiones.

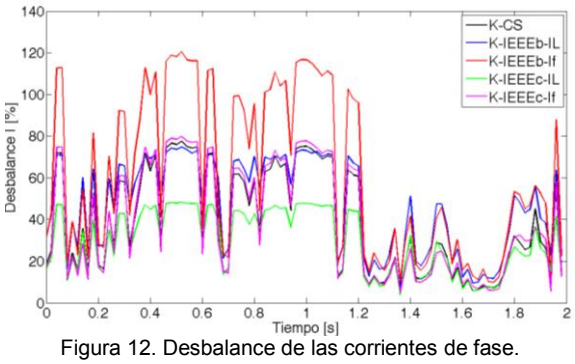


Figura 12. Desbalance de las corrientes de fase.

Para las tensiones, se observa que la (3) de IEEE empleada con las tensiones de línea describe muy bien el desbalance de las tensiones de fase dado que la componente de secuencia inversa tiene poco peso.
En el caso de las corrientes, se encuentra que la (3) de IEEE con las corrientes de fase describe aceptablemente el desbalance real en todo el registro. Mientras que (3) de IEEE con corrientes de línea se aparta notablemente del valor real cuando la componente de secuencia inversa es comparable con la componente de secuencia directa.

CASO 2: MOTORES CON VARIADORES DE VELOCIDAD

La Figura 13 muestra un diagrama unifilar de la red de alimentación del variador de velocidad (VFD), y los puntos numerados como 1 y 2 donde se realizaron las mediciones.

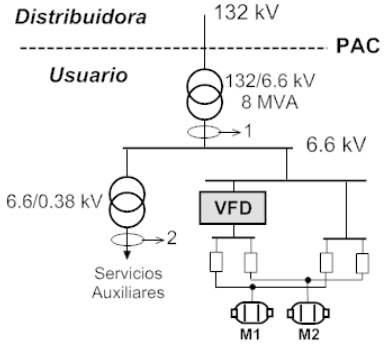


Figura 13. Diagrama unifilar de la instalación.

Los registros y el post-procesamiento efectuado se presentan en las Figuras 14 a 23.
En los registros de tensiones se observa una importante componente de modo común que se traduce en que la componente homopolar resulta mayor que la componente de secuencia inversa. Cabría esperar que las determinaciones del desbalance que no están basadas en las componentes de secuencia resulten notablemente distorsionadas. Sin embargo, (3) de IEEE empleada con las tensiones de línea describe muy bien el desbalance de las tensiones de fase dado que en las tensiones de línea el modo común resulta suprimido.
En el caso de las corrientes, en que la característica de la carga impone que la componente homopolar sea nula, se encuentra que (3) de IEEE con corrientes de fase describe aceptablemente el desbalance real.

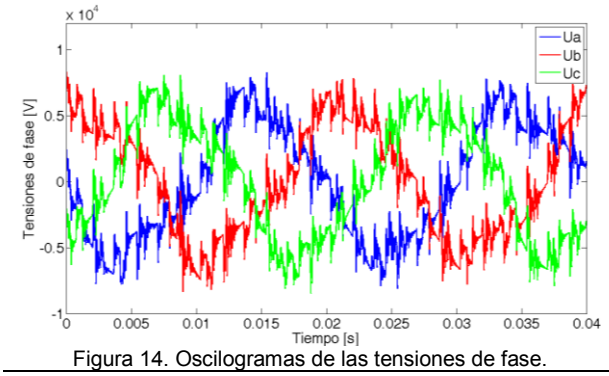


Figura 14. Oscilogramas de las tensiones de fase.

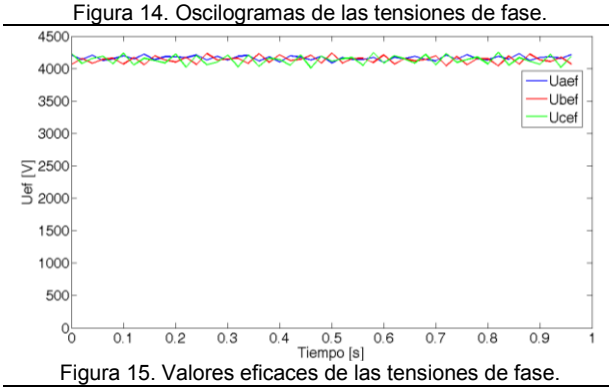


Figura 15. Valores eficaces de las tensiones de fase.

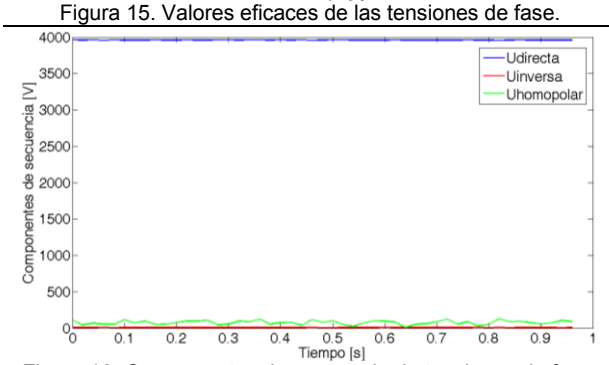


Figura 16. Componentes de secuencia de tensiones de fase.

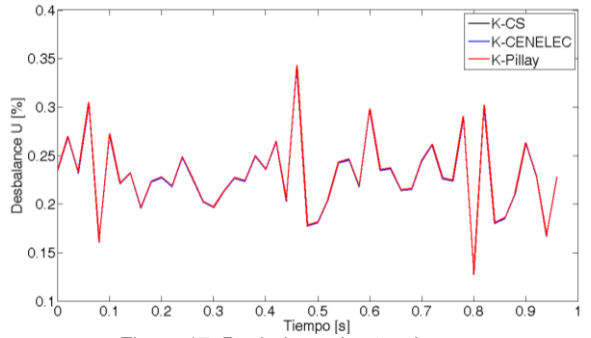


Figura 17. Desbalance las tensiones.

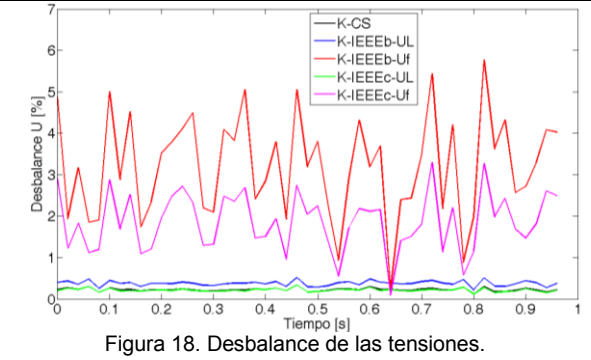


Figura 18. Desbalance de las tensiones.

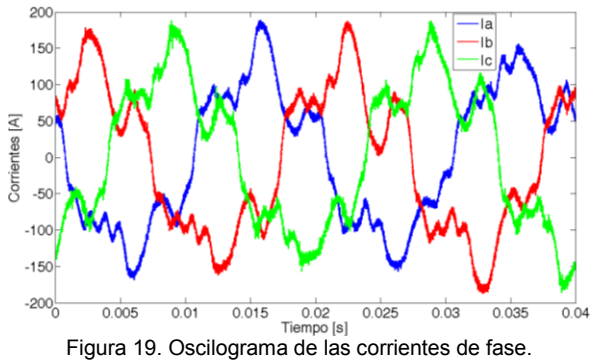


Figura 19. Oscilograma de las corrientes de fase.

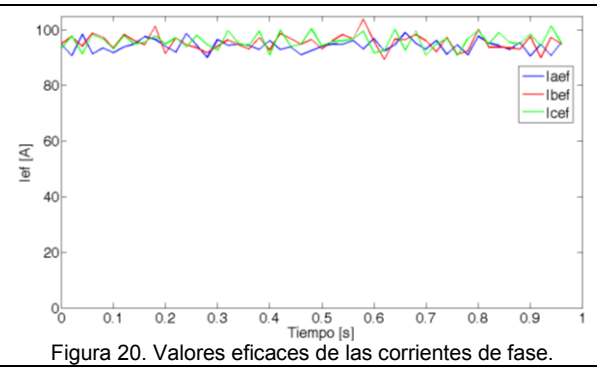


Figura 20. Valores eficaces de las corrientes de fase.

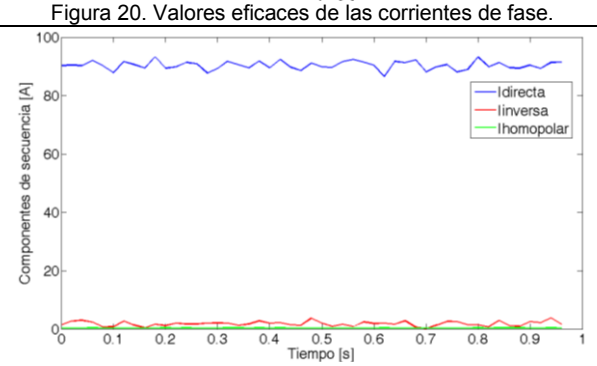


Figura 21. Componentes de secuencia de corrientes de fase

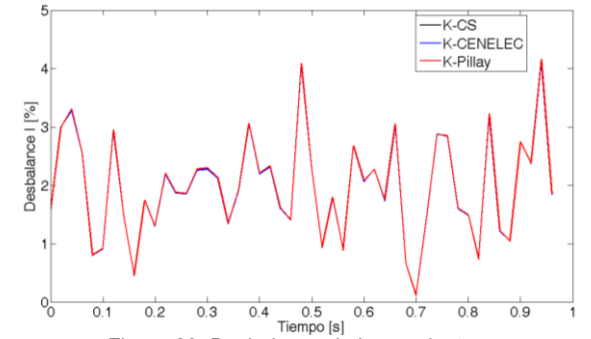


Figura 22. Desbalance de las corrientes.

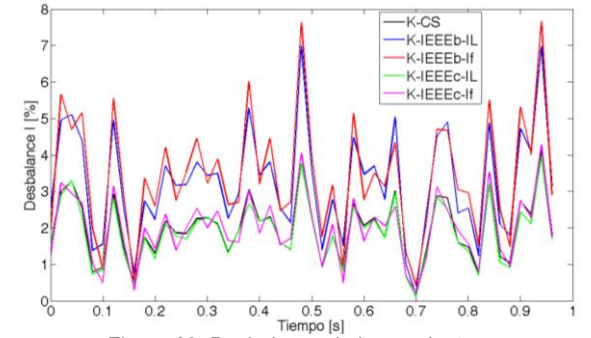


Figura 23. Desbalance de las corrientes.

5. CONCLUSIONES

El estudio realizado en este artículo permite comparar las diversas definiciones y establecer las condiciones en las que los algoritmos de cálculo que se aparten a la definición estricta IEC, aún resultan aceptables. La definición verdadera del factor de desbalance dada por (1) puede ser aplicada tanto para tensiones (de fase y de línea) como para corrientes.

La expresión (2) que es la definición de NEMA y una de las del IEEE, los resultados son inaceptables a lo largo de todos los registros analizados, tanto con las tensiones de fase como con las de línea.

En cuanto a (3) y (5), empleadas con las tensiones de línea describen muy bien el desbalance de las tensiones de fase, cuando la componente de secuencia inversa fue apreciablemente menor que la de secuencia directa.

Las expresiones (4) y (5) deben ser utilizadas con tensiones de línea para evaluar el factor *K* de desbalance de las tensiones fase-neutro.

Los resultados obtenidos con la expresión (4) son exactos ya que dicha expresión deriva de (1) [16].

El hecho de que las expresiones (4) y (5) se deban emplear con tensiones de línea para determinar el factor *K* de desbalance de las tensiones fase-neutro, indicaría que dichas expresiones deberían emplearse para determinar desbalances de corrientes, si se toman los recaudos para obtener por medición directa los módulos de IAB, IBC e ICA requeridos.

Sin embargo, la expresión (3) utilizada con corrientes de fase es la que mejores resultados proporcionó, incluso en las porciones de los registros con elevada componente de secuencia inversa.

Los valores que se indican como referencia en diferentes países [10] deben ser considerados a la luz de estas conclusiones, teniendo presente la definición que se ha empleado para determinarlos.

Del mismo modo se debe proceder al considerar los valores medidos por los distintos registradores de calidad de energía existentes en el mercado. Adicionalmente, el conocimiento de las diferencias mencionadas es particularmente útil para analizar el comportamiento de las protecciones eléctricas. Dependiendo del método de cálculo que utilicen las mismas, pueden dar lugar a salidas de servicio intempestivas y erróneas del equipamiento al cual están protegiendo.

Si bien los desbalances de las tensiones de la red en los suministros trifásicos no están regulados actualmente en Argentina para la prestación de los servicios eléctricos públicos de Distribución – tampoco las corrientes de las respectivas cargas – el contenido de este trabajo podrá ser de utilidad para la definición de los procedimientos de control en el futuro.

6. BIBLIOGRAFÍA

[1] A. Robert and J. Marquet. “Assessing Voltage Quality with relation to Harmonics, Flicker and Unbalance”. CIGRE WG 36.05, Paper 36-203. 1992

[2] IEEE-1993. “IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants”. (Red Book) ANSI-IEEE Std. 141, 1993

[3] IEEE-1995. “IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality”. IEEE Std. 1159. 1995.

[4] IEC-2003. “Electromagnetic compatibility. Testing and measurement techniques. Power Quality Measurement Methods”. IEC 61000-4-30. 2003.

[5] IEEE-1987. “IEEE guide for self-commutated converters”. ANSI/IEEE Std 936-1987.

[6] IEEE-2000. “The Authoritative Dictionary of IEEE Standards Terms. Seventh Edition”. ANSI/IEEE Std 100-2000.

[7] IEEE-2004. “IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators”. IEEE Std. 112 (Revision of the IEEE Std. 112-1996).

[8] NEMA-2003. “Motors and Generators”. National Electrical Manufacturers Association of USA. Standard MG1-2003, Section 14.36.

[9] ANSI-NEMA 1995. “Electric Power Systems and Equipment–Voltage Ratings (60 Hz)”. ANSI C84.1 - 1995.

[10] CIGRE-2004. “Power Quality Indices and Objectives”. Joint Working Group CIGRE C4.07 / CIRED. Final WG Report. March, 2004.

[11] M.H.J. Bollen. “Definitions of Voltage Unbalance”. IEEE Power Engineering Review, November 2002.

[12] CENELEC 1999. “Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems”. European standard EN 50160, CENELEC, Brussels/Belgium, 1999. November 1999.

[13] IEC 2003. Electromagnetic Compatibility (EMC), Part 4, Section 30: Power Quality Measurement Methods, IEC Std. 61000-4-30.

[14] P. Pillay and M. Manyage. “Definitions of Voltage Unbalance”. IEEE Power Engineering Review, May 2001.

[15] P. Pillay, P. Hofmann and M. Manyage. “Derating of Induction Motors Operating With a Combination of Unbalanced Voltages”. IEEE Transaction on Energy Conversion, Volume 17, Issue 4. Dec. 2002.

[16] *Signal Processing of Power Quality Disturbances*. Math H. J. Bollen and Irene Y. H. Gu. IEEE Press series. ISBN-13-978-0-471-73168-9.

METODOLOGÍA PARA LOS ESTUDIOS DE REACELERACIÓN Y REARRANQUE DE MOTORES DE INDUCCIÓN CORRESPONDIENTE A UNA PLANTA INDUSTRIAL

Autores: Barbero, Santiago; Barbieri, María. B;. Beroqui, Mario. C; Biteznik, Carlos E.

Lugar de Trabajo: Instituto de Investigaciones Tecnológicas para Redes y Equipos Eléctricos IIITREE-LAT FI-UNLP iitree@iitree-unlp.org.ar Calle 48 esq.116 (B1900AMF)

Palabras clave: Huecos tensión – Rearranque – Reaceleración – Industria

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las industrias dependen fuertemente de la alimentación eléctrica para sus procesos. Las eventuales interrupciones en el servicio eléctrico implican consecuencias no deseadas vinculadas a pérdidas económicas importantes o inclusive consecuencias ambientales. Es por eso que resulta de gran interés, conocer el comportamiento y la respuesta de las instalaciones ante eventuales interrupciones en su alimentación eléctrica. En el caso de plantas industriales con gran cantidad de motores, ante la aparición huecos de tensión, los motores involucrados perderán cupla acelerante (se frenarán) y como consecuencia absorberán mayor corriente, generando una mayor caída de tensión. Este fenómeno puede llevar al colapso de tensión y en consecuencia a la parada de la planta. En el caso que el motor recupere la velocidad nominal sin desconectarse, al fenómeno se lo conoce como reaceleración. Si en cambio, el motor es desconectado y luego es reconectado, bajo ciertas condiciones, se denomina rearranque.

El objeto de este trabajo es presentar los aspectos claves a tener en cuenta al momento de desarrollar un sistema de reaceleración de una planta industrial, de forma que se minimicen las consecuencias negativas y se asegure la continuidad de los procesos críticos de la misma. Para ello es necesario identificar las perturbaciones más comunes y su efecto en la carga, al igual que poseer modelos dinámicos que resulten adecuados para la simulación. Se debe establecer, además un criterio para determinar si el escenario de reaceleración simulado es aceptable o no.

Se utilizará un programa de simulación que permita analizar los fenómenos electromecánicos que se producen durante la perturbación y la posterior reaceleración del parque motor.

2 PERTURBACIONES

Las perturbaciones a las que puede estar sometida una planta son principalmente cortocircuitos, sean estos internos o bien originados en la red de alimentación externa. Este tipo de falla se ve reflejada en barras de la carga como variaciones de tensión, generalmente denominados huecos de tensión. La amplitud del hueco de tensión queda definida por la diferencia entre la tensión nominal previa al hueco y la tensión durante el hueco. Como se mencionó anteriormente, la causa de su generación, puede ser debido a cortocircuitos producidos en la red o por sobrecargas (arranque de motores de potencia elevada, conexión de grandes cargas, conexión de transformadores o sobrecarga en general de la red) que provocan una caída de tensión excesiva [1].

La profundidad del hueco depende de la potencia de la red y de la proximidad de la falla (o del punto donde se origina la sobrecarga) al punto donde se está observando el hueco de tensión. Los huecos más severos son los producidos por los cortocircuitos trifásicos. Este tipo de perturbaciones resultan apreciables sólo en la componente directa, siendo nulas las secuencias inversa y homopolar.

2.1 Efectos de los huecos de tensión en los motores.

La conexión de motores en las barras, modifica la forma de los huecos de tensión. Cuando se genera un hueco, la tensión en los terminales del motor disminuye en módulo. Esto genera que el flujo magnético en el entrehierro tienda a reducirse, decreciendo con una constante de tiempo del orden de algunos ciclos. Durante esta caída, el motor aporta corriente a la falla que causa el hueco de tensión. Este aporte reduce la profundidad del hueco en bornes de la máquina en los primeros instantes del mismo.

La disminución de la tensión genera una caída en la cupla eléctrica, la cual es proporcional al cuadrado de la tensión (en valor eficaz). Mientras tanto la cupla de la carga, permanece constante. Como consecuencia el motor disminuye su velocidad. Mientras el motor se desacelera, se tendrá una mayor corriente y un factor de potencia menor, lo cual podría disminuir aun más la tensión. En el caso que el hueco no sea muy profundo, es posible que el motor alcance un nuevo estado de funcionamiento a una menor velocidad. En cambio, si los huecos son profundos, el motor continuará desacelerándose hasta que finalmente se detenga o que la tensión se restituya. Usualmente, las constantes de tiempo mecánicas de los motores eléctricos, suelen ser del orden del segundo o más. En caso que los huecos se deban a cortocircuitos, dichas fallas son liberadas en tiempos pequeños en comparación a estas constantes de tiempo, con lo cual la tensión se recuperara antes de que el motor se detenga por completo.

En el momento en que la tensión vuelve a sus valores normales, se genera el fenómeno opuesto al anterior. El flujo en el entrehierro aumenta nuevamente, generando una gran corriente. Luego, el motor se reacelera hasta llegar a las condiciones de funcionamiento previas a la falla. Durante la reaceleración, el motor consume una corriente mayor a la nominal con un factor de potencia menor, lo cual genera una disminución de tensión post falla que puede durar varios segundos.

3 MODELIZACION

Resulta esencial poseer modelos de simulación que representen de la forma más correcta el comportamiento de las máquinas para los distintos estudios. Para ello se adopta como modelo eléctrico del motor de inducción el esquema de doble jaula. Además, se determinan ciertas pautas complementarias a tener en cuenta al momento de desarrollar los modelos:

a) Priorizar a aquellos motores cuyo funcionamiento resulta crítico para diversos procesos de la planta:

En el caso que no se logre la reaceleración de la planta en su totalidad, puede requerirse que parte de la carga sea desconectada para no perder todos los motores. En ese caso, se requiere realizar una clasificación de los motores, señalando distintas prioridades. Es posible desconectar aquellos motores menos prioritarios en orden de garantizar que los considerados esenciales para los procesos sigan en funcionamiento y evitar así graves consecuencias de tipo medioambiental o económicas en la planta. Esta priorización, establece también el orden del rearranque de aquellos motores que fuesen desconectados. Se propone adoptar distintas prioridades como las que se detallan a continuación.

- Prioridad A: se consideran a aquellos motores cuyo funcionamiento resulta vital para la planta. Se pretende que permanezcan conectados, pero en caso de ser necesario son los últimos motores en desconectarse y serán los primeros en rearrancar.
- Prioridad B: son menos importantes y por tal motivo puede ser retrasado su rearranque (entre los 5 y 30 segundos). De ser necesario, es posible sub categorizar a los motores en grupos más pequeños. De esta forma, el rearranque se puede hacer en escalones de tiempo y se reduce el impacto en la red debido a las corrientes de arranque. Se proponen tres subdivisones:
  - B_1: rearrancan en un primer escalón entre los 5 y 10 segundos.
  - B_2: rearrancan en un segundo escalón entre los 12 y 20 segundos.
  - B_3: rearrancan en un tercer escalón entre los 22 y 30 segundos.

- Prioridad D: son los motores individuales que como no tienen funciones críticas, se consideran como deslastre de carga. Es decir, que son los primeros en ser desconectados y no se contempla su rearranque inmediato.
- Prioridad SP: Son los motores resultantes del agrupamiento de carga que no resultan esenciales, pero debido a que son conformados por varios motores de baja potencia, su lógica de desconexión resultaría prácticamente imposible de implementar y por lo tanto no se considera posible su desconexión controlada.

b) Considerar en forma independiente o agrupada a los motores de la planta:
Una representación individual de todo el parque motor de la planta implicaría un trabajo engorroso que no aportaría mejores resultados que si se considerasen a aquellas máquinas de pequeña potencia como si fuesen un motor equivalente. Se debe establecer entonces, un criterio que sea apto para el agrupamiento de los motores.

Para ello, se ordena a los motores por su potencia y su prioridad según lo estipulado anteriormente. Aquellos motores que no resulten críticos y que además tengan una potencia pequeña en relación a la demanda total de la planta, se los agrupa formando motores equivalentes. Se asume entonces, que los motores de potencia menor o igual a los 50kW vinculados a una misma barra, son motores agrupables. El motor equivalente resultará de la suma de las potencias de los motores que lo componen y su tensión será la nominal de la barra asociada. Con esta simplificación no se debe modificar la morfología de la planta, por lo tanto existirán varios motores equivalentes dependiendo de la barra donde estén conectados. Además, se debe tener en cuenta que las prioridades de los motores a agrupar coincidan.

c) Caracterizar a los motores según el tipo (compresores, bombas, ventiladores, etc.).
Las curvas de cupla/velocidad de las distintas cargas varían según su función, por lo tanto es conveniente caracterizar cada carga de forma que el modelo a usar se adecúe a las características reales de la máquina. A su vez, se debe considerar una curva genérica que represente los motores agrupados mencionados anteriormente ya que pueden estar compuestos por diversos tipos de motores. En forma general, se definen cinco tipos de cargas dentro de la planta: compresores, ventiladores, bombas, motores equivalentes agrupados y cargas no rotantes [2]. Dentro de esta última categoría se consideran a las cargas estáticas propiamente dichas y a aquellos motores que tengan variadores de velocidad. A los efectos de los estudios a realizar, el comportamiento de las cargas estáticas y los variadores es equivalente.

d) Red de Suministro
Se debe contar con un modelo que represente la red externa del área donde se encuentra la planta para poder considerar el efecto de los transitorios en la misma. Para los generadores del área (internos o externos a la planta) se debe contar con modelos completos de los mismos y sus sistemas de control y protección.

4 CRITERIOS PARA LA SIMULACION

En adición a las consideraciones complementarias que se detallaron anteriormente, es necesario establecer un criterio que permita determinar como aceptable o no la reaceleración de la instalación en estudio.
Cuando se estudia la reaceleración de los motores, es necesario determinar el nivel de tensión al que deben llegar las barras y en cuánto tiempo. Como se mencionó previamente, si los motores no logran recuperarse, podrían generar un colapso de tensión en la planta.
Además, se debe garantizar que las protecciones de sobrecorrientes pertenecientes a la instalación, no actúen. En caso que se desconozcan los valores de las protecciones, según las normas de IEC y ANSI, los transformadores deben soportar la corriente de cortocircuito durante al menos 2 segundos. Lo cual implica que admiten una corriente equivalente a la potencia aparente nominal dividida la reactancia de cortocircuito (en por unidad) durante 2

segundos. Con esto se define un valor de I^2*t que no debe ser superado durante el transitorio de reaceleración.

Para considerar la reaceleración aceptable, se adopta como criterio que las tensiones en las barras de la instalación alcancen valores superiores a los indicados en la Tabla I al cabo de 2 segundos y que no actúe ninguna protección de sobrecorriente.

Tabla I. Tensiones mínimas admitidas a partir de los 2 segundos.

Unominal [kV]	PU. mínima
132	0,95
33	0,85
13,8	0,80
Motor	0,70

5 CASO DE APLICACIÓN

Se analizó la reaceleración de una planta industrial, donde se aplicó la metodología mencionada anteriormente. La red modelada consiste en 51 subestaciones (SE) en distintos niveles de tensión 33kV, 13,8 kV, 6,6 kV 2,3 kV y 0,38 kV. Cada SE dispone de varios transformadores y al menos dos niveles de tensión. La carga de la planta está constituida por más de 2500 motores que se representaron por 353 motores entre individuales y equivalentes. El consumo de la totalidad de la planta es aproximadamente 50 MW. La misma se alimenta a través de una subestación 132/33 kV localizada en el mismo predio industrial. El sistema de alta tensión, además de abastecer a las cargas industriales del polo petroquímico, comparte el suministro con las subestaciones pertenecientes a la distribución residencial del área.

A la SE de 132 kV también se conecta a través de su transformador de máquina un cogenerador que además de electricidad produce vapor para la planta industrial. El transformador es de 155 MVA - 132/11,5 kV, y el generador es de valores nominales 155 MVA, 11,5 kV y factor de potencia 0.85. La máxima potencia activa que puede erogar la Central es del orden de 130 MW.

Las fallas en el sistema externo más severas, con duraciones mayores a los 200 ms y tensiones menores a 0,4 pu en 132 kV, producen la salida del generador conectado en el nodo de 132 kV (por inestabilidad o actuación de sus protecciones [3]). Para evitar esta situación se dispone de un sistema de formación de Isla eléctrica de la planta y el generador [4]. Ante esta situación se debe recurrir al corte de carga de la planta para evitar el colapso de tensión del sistema dado el alto consumo de corriente de los motores durante la reaceleración de los mismos. El sistema de deslastre de carga debe ser tal que permita mantener la carga prioritaria en servicio ante el pasaje a Isla y desconectar la carga no esencial. De este modo, se reduce el consumo de corriente requerida y se evita el colapso.
El sistema de Pasaje a Isla está ajustado con los siguientes escalones de tensión

- Si la tensión de secuencia directa de 132 kV se encuentra en valores inferiores a 0,4 pu durante 0,2 seg, da señal de formación de isla.
- Si la tensión de secuencia directa de 132 kV se encuentra en valores inferiores a 0,8 pu y durante 0,6 seg da señal de formación de isla.

Se simularon diez casos de fallas en dos escenarios de la red interna, uno considerado completo o de funcionamiento normal (E1) y otro (E2) con varios elementos fuera de servicio (Transformadores y cables). Para cada caso, se determinó la carga de deslastre y la carga de rearranque necesaria para garantizar que los casos simulados resulten aceptables. La cantidad de carga a desconectar surge de analizar los criterios de aceptación mencionados en el apartado **4** de este trabajo. Es decir que los niveles de tensión al cabo de 2 segundos de comenzada la falla deben ser superiores a los indicados en la Tabla I y las protecciones de sobrecorriente de los transformadores no deben actuar. En este caso debido a la existencia de un generador y su posible operación en condición de isla, es necesario

verificar que además las protecciones asociadas a la formación de isla tampoco actúen. Se verifica además, que las caídas de tensión que provocan los rearranques de grupos de motores sean aceptables.

Para analizar estas condiciones en cada caso se generan distintos tipos de resultados:

- Flujos de potencia a los dos segundos de transcurrida la falla en cada SE. Este flujo representa la situación transitoria de reaceleración de los motores que han quedado conectados.
- Flujos de potencia post-falla al cabo de 40 segundos de simulación.
- Evolución temporal de las tensiones de 132kV, 33 kV, 13,8 kV y bornes secundarios de los transformadores de las distintas subestaciones para apreciar el transitorio de reaceleración y rearranque de los grupos de motores, verificando que no existan sobrecorrientes inaceptables en los mismos.
- Evolución temporal de las tensiones terminales de todos los motores (en p.u.) para apreciar la evolución de la tensión durante la reaceleración.
- Tablas con los niveles de tensión en motores y SE al cabo de 2 segundos.

A modo de ejemplo, se presenta la evolución de tensión en barras de la instalación para alguno de los casos analizados. En todos estos casos los motores de prioridad SP se consideran conectados, lo cual representa la situación más desfavorable.

Falla Trifásica en 132 kV con formación de Isla en 280 ms, en el escenario 1 (E1).

En la Fig. 1 se detalla la evolución de tensión en los bornes del generador perteneciente a la planta. En orden de evitar que el generador salga de servicio, se debe garantizar que la tensión al segundo de ocurrida la falla sea superior a 0,8 pu (la protección de subtensión del generador se ubica en 0.8 pu, 1 seg.). Se simularon tres casos distintos. La curva celeste corresponde a la desconexión de motores de prioridad D, B_1; B_2 y B_3 (22 MW). Se observa que al cabo de un segundo la tensión llega a 0,82 pu. Las curvas roja y verde corresponden a alternativas con menor desconexión de carga. Se desconecta los motores tipo D, B_2 y B_3 (19 MW) y otra alternativa se desconectan los D y los B_3 (16 MW). En estos dos últimos casos al cabo de un segundo de ocurrida la falla, la tensión en bornes del generador es menor a 0,8 pu., con lo cual en estas situaciones se produciría la actuación de la protección de subtensión del generador.

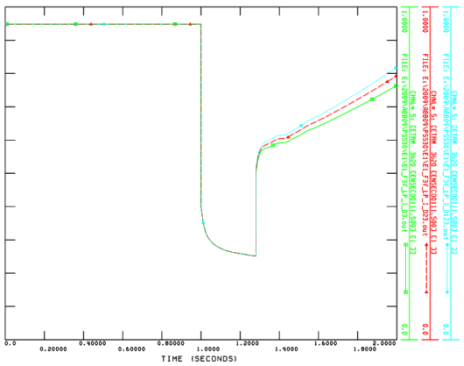


Fig. 1 - Evolución temporal de la tensión en bornes de la máquina generadora, al segundo de producida la falla

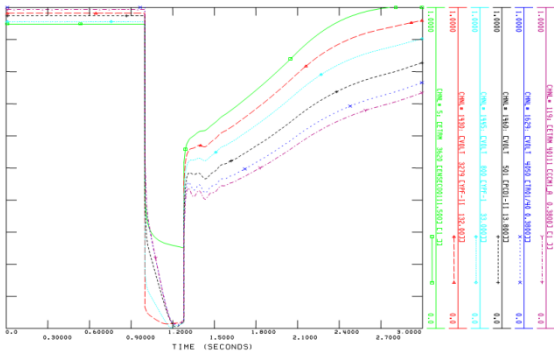


Fig. 2 - Evolución temporal del Perfil de tensiones en distintos niveles, durante los primeros segundos de reaceleración en el Escenario 1

En la Fig. 2 se presenta un gráfico con las tensiones durante los primeros dos segundos después de producida la falla para el caso de desconexión de motores de prioridad D, B_1, B_2 y B_3. En la misma se presentan los peores perfiles de tensión de los distintos niveles de la planta.

En la gráfica se observan: la tensión terminal del generador (verde), la tensión en 132 kV (rojo), tensión en 33 kV (celeste), tensión en 13,8 kV (negro), tensión bornes de baja tensión de una SE (azul). La curva de color violeta representa los terminales del motor de prioridad A que está más comprometido en la reaceleración. Se observa que esta última se encuentra en torno a 0,73 pu a los 2 segundos de ocurrida la falla. Se aprecian las caídas de tensión

en los distintos niveles de transformación. La mayor caída se da entre los niveles de 33 kV y 13,8 kV, esto es una indicación de los puntos críticos a mejorar en la instalación.

Falla Trifásica en 132 kV de 200 ms de duración en el escenario 2 (E2) sin formación de Isla.

Para este caso, se analizó la desconexión de carga necesaria, probándose las tres alternativas mencionadas en el caso anterior. En la Fig. 3 se vuelcan las tensiones resultantes de las tres alternativas analizadas en una barra de alimentación de 13,8 kV. En la misma, se observa para alternativa de desconexión D y B_3, la actuación de la protección de sobrecorriente del transformador de 33/13,8 kV (curva verde) por lo cual no resulta aceptable. De las otras dos alternativas D, B_1, B_2 y B_3 (curva celeste) y D, B_2 y B_3 (curva roja), se elige la de mínima desconexión de carga.

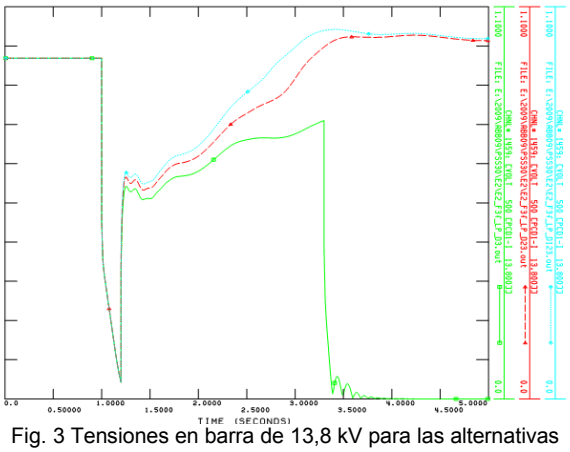


Fig. 3 Tensiones en barra de 13,8 kV para las alternativas analizadas.

6 COMENTARIOS FINALES

- Se establece una metodología para la clasificación y modelización de la carga de una gran planta industrial a fin de analizar la reaceleración y/o rearranque.
- Se establecen criterios de desempeño del sistema en cuanto a la recuperación de las tensiones durante los transitorios originados por las fallas que provocan huecos de tensión a fin de decidir la cantidad mínima de desconexión de carga por deslastre.
- Se arma un modelo completo de una planta particular y de la red externa que la alimenta, particularmente del generador que puede quedar en isla con la planta.
- Se realizan simulaciones de distintas fallas (externas e internas) y se establece la carga mínina a desconectar en función de la profundidad y duración del hueco de tensión resultante.
- Con los resultados obtenidos siguiendo esta metodología se establecen las bases para la implementación del “Sistema de Reaceleración y Rearranque de una planta”.

7 REFERENCIAS

[1] Math H. J. Bollen “The Influence of Motor Reacceleration on voltage sags” IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 31. N° 4, Julio/Agosto 1995.

[2] M. Barbieri, P. Arnera, M. Beroqui, J. Vernieri; “Demandas industriales. Su representación en estudios dinámicos”. Encuentro Regional Latinoamericano de la CIGRE (Conseil International des Grands Réseaux Electriques).Trabajo: 38-26. Puerto Iguazú, Argentina, 18-5 al 23-5-2003.

[3] M. Barbieri, M. Beroqui, D. LLarens, J. Riubrugent, F. Balboni; "Modificación del sistema de excitación de un grupo de autogeneración de una industria petroquímica para evitar situaciones de inestabilidad observadas en la operación”.Trabajo presentado en: 5o. Encuentro Regional Latinoamericano de la CIGRE. Ciudad del Este, Paraguay, Mayo 1993.

[4] J.L. Agüero, M Beroqui, B. Barbieri; “Formación de islas eléctricas conformadas por un generador, parte de una distribuidora eléctrica y plantas industriales”. Publicado en Actas del IX Encuentro Regional Latinoamericano de CIGRE (IX ERLAC), Foz do Iguaçu (Brasil), Mayo 2001. Publicado anales del Congreso.

DESARROLLOS ELECTRÓNICOS Y FOTÓNICOS EN SISTEMAS DE COMUNICACIONES ÓPTICAS

Costanzo Caso Pablo A., Rabal Sebastian, Morbidel Leonardo, Tenaglia Carlos, Natoli Alejandro, Emanuel Paulucci, Bulus Rossini Laureano A.

pcostanzo@ing.unlp.edu.ar

Centro de Investigaciones Ópticas (CONICET– CIC), Cno. Centenario y 506, La Plata, Argentina.
Dpto. Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata

Palabras Claves: comunicaciones ópticas, fibras ópticas, transmisores, receptores.

1. INTRODUCCIÓN: En este trabajo se hace una breve descripción de las principales líneas de investigación y desarrollo del grupo de Sistemas de Comunicaciones Ópticas. Dentro del grupo se desarrollan las siguientes líneas de trabajo:

Fotónica en Microondas y RF (MW & RF Photonics) consiste en actividades de I+D en tecnologías y dispositivos fotónicos que procesen, controlen, reciban o generen señales de MW y RF. Entre los sistemas más conocidos que operan en MW se encuentran los radares, conformador de haces, comunicaciones satelitales, transpondedores satelitales, enlaces de radio, a los cuales mediante tecnología fotónica se intenta agregarle o mejorarle alguna de sus características.

Sistemas y Redes de Comunicaciones Ópticas involucra actividades de I+D en cada uno de los bloques involucrados en un sistema de comunicaciones ópticas, cualquiera sea su aplicación. De acuerdo a su capacidad se pueden diferenciar las redes de acceso, donde las tasas de transmisión son ~Gb/s; las redes ópticas metropolitanas y de transporte, cuyas tasas por canal están entre 10 y 100 Gb/s, los cuales a su vez son multiplexados en longitudes de onda (WDM).

2. TRANSMISOR ÓPTICO DE 10GB/S: Actualmente los sistemas de comunicaciones ópticas de alta capacidad superan ampliamente las tasas de transmisión de Gb/s. El subsistema transmisor formado principalmente por un láser junto con la electrónica de control, debe cumplir con ciertos requerimientos de manera de asegurar que su operación sea confiable y eficiente, y no degrade la capacidad o desempeño del enlace. En este trabajo se analizaron y desarrollaron los distintos bloques que componen a un transmisor óptico el cual es capaz de transmitir señales moduladas en intensidad a una tasa de 10 Gb/s.

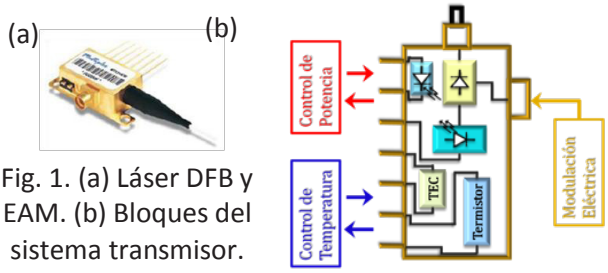


Fig. 1. (a) Láser DFB y EAM. (b) Bloques del sistema transmisor.

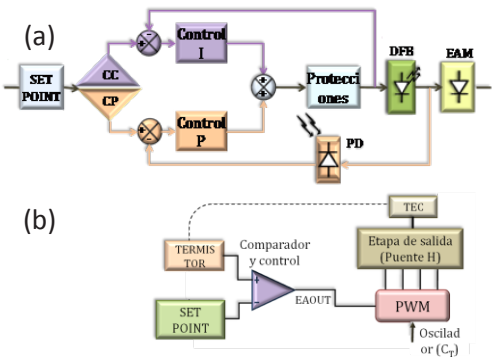


Fig. 2. (a) Control de potencia, y (b) control de temperatura.

2.1. Módulo Láser y Sistema de Control: El módulo empleado se muestra en la Figura 1(a) y está dado por un diodo láser de realimentación distribuida (DFB) de la firma Fujitsu, centrado en una longitud de onda de 1550 nm, con un ancho de banda de la portadora óptica <10 MHz. El módulo incluye un modulador de intensidad de electro-absorción (EAM), mediante el cual la señal de modulación es aplicada de manera independiente de la alimentación del láser, y además cuenta con: un fotodiodo, para controlar la potencia óptica, un termistor, para sensar la temperatura del láser, y un *termo-eléctric cooler* (TEC),

que funciona como actuador para enfriar o calentar el dispositivo. De manera de alcanzar los 10 Gb/s de capacidad es necesario asegurar la estabilidad, tanto de la longitud de onda central del láser como de la potencia transmitida. Caso contrario, el receptor tendría serios problemas por falta de sincronismo o superposición de canales adyacentes, o requeriría de un gran rango dinámico para evitar la saturación, o en caso de baja señal, la falta de sensibilidad. De esta manera es necesario implementar un riguroso sistema de control de potencia y de temperatura en el transmisor como se muestra en la Figura 1(b).

El control de la potencia óptica de salida se realiza mediante la corriente de alimentación del láser. El sistema desarrollado permite sensar tanto la corriente de alimentación como la potencia óptica de salida mediante el fotodetector, y luego se cierra el lazo de control como se muestra en la Figura 2(a). Por otro lado, el lazó de control de temperatura puede verse en la Figura 2(b), donde el sensor está dado por un termistor y el actuador por el TEC. Este es alimentado por un generador PWM y un puente de transistores que generan la corriente en sentido y magnitud adecuada para que el TEC caliente o enfríe el láser. Los circuitos desarrollados con tecnología SMD pueden verse en la Figuras 3(a), (b) y (c).



Fig. 3. (a) Láser DFB con modulador de EA, (b) Control de temperatura, y (c) control de potencia.

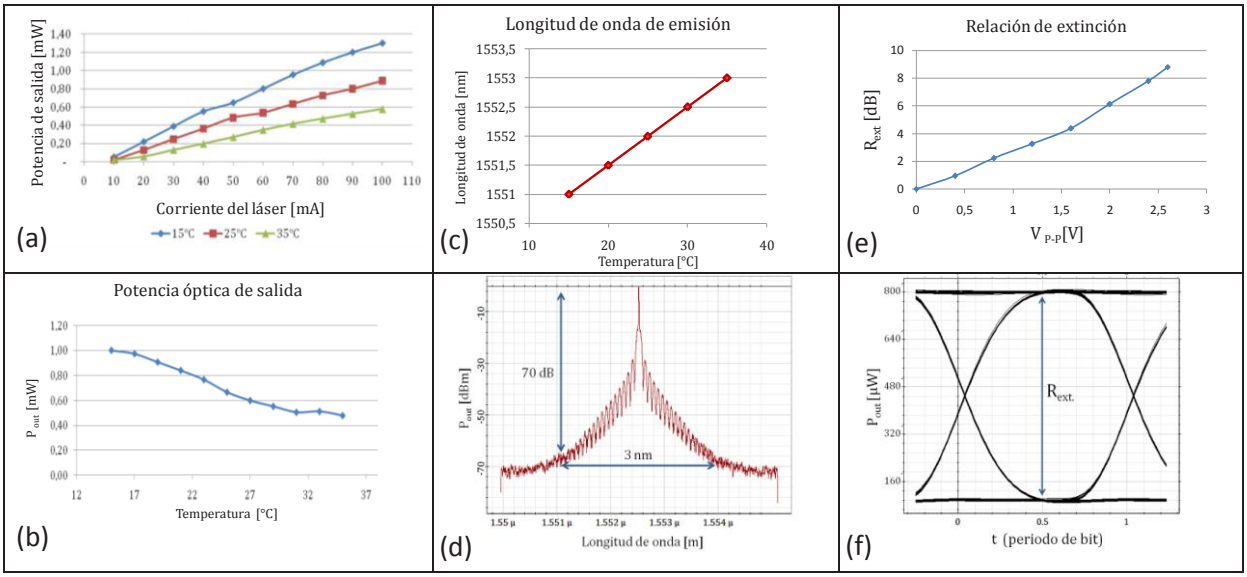


Figura 4. (a)-(f). Respuesta del sistema transmisor.

2.2. Caracterización y respuesta: El sistema transmisor fue caracterizado y medido en el laboratorio utilizando instrumentos para monitorear los parámetros controlados por los circuitos desarrollados. Las Figuras 4(a)-(f) muestran los resultados obtenidos. En (a) se observa como la potencia óptica crece con la corriente de alimentación para tres valores de temperatura. En (b) se muestra como la potencia de salida se reduce con el incremento de la temperatura. En (c) se muestra como varía la longitud de onda central de emisión del láser en función de la temperatura. En (d) se muestra el espectro del láser medido con un analizador de espectro óptico (OSA). En (e) se observa como aumenta la relación de contraste entre los valores de tensión correspondientes a los bits "1" y "0", en función de la tensión pico a pico de entrada al modulador. Finalmente, en (g) se observa el diagrama de ojos para una señal de 1Gb/s.

3. RECEPTOR ÓPTICO DE 2GHZ DE ANCHO DE BANDA: Las redes de acceso ópticas permitieron brindar a los usuarios un ancho de banda muy superior a los típicos

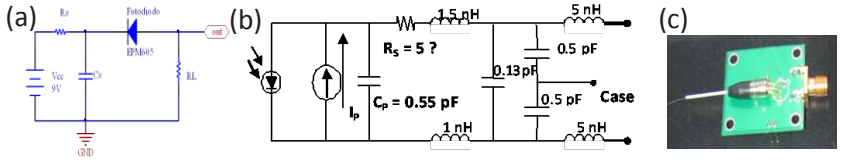


Fig. 1. (a) Circuito fotodetector, (b) modelo de RF, y (c) implementación.

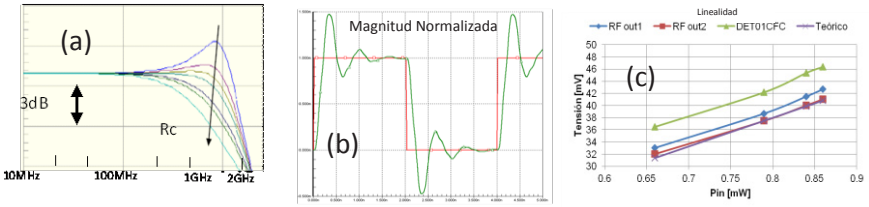


Fig. 2. Respuesta (a) espectral, (b) temporal, y (c) linealidad.

encontrados en redes de acceso de cobre o inalámbricas, alcanzando tasas que pueden superar el Gb/s. De esta manera, varias tecnologías y estándares fueron apareciendo como GPON, EPON, HFC y FTTx, donde la fibra óptica llega hasta los hogares a próximo a estos, y los receptores utilizados en las terminales de abonados deben ser aptos para soportar estos anchos de banda. Este trabajo se centró en el diseño y desarrollo de las etapas de entrada de un receptor óptico: el circuito fotodetector de 2 GHz de ancho de banda, y un preamplificador para redes HFC con una ganancia de 15 dB en 0,3-1,3GHz.

3.1. Circuito Fotodetector: es el responsable de convertir la potencia óptica recibida en una señal eléctrica, generalmente en una corriente, que a continuación es amplificada y transformada en un nivel de tensión por un amplificador de transimpedancia para un posterior procesamiento. La Figura 1(a) muestra el circuito fotodetector, (b) el modelo de alta frecuencia, y (c) el circuito desarrollado. La respuesta espectral y temporal del circuito fotodetector puede verse en las Figuras 2(a) y (b) respectivamente. En (a) puede observarse como el espectro cambia en función de la resistencia de carga, la cual varía entre 50 y 150Ω, y en (b) la respuesta a una onda cuadrada mostrando un tiempo de subida de 150 ps, un sobrepico del 40 % y una frecuencia natural del 1,57 GHz. En la Figura 2(c) se observan los resultados obtenidos en el análisis de linealidad para dos de los circuitos fotodetectores desarrollados de manera similar (RFout1 y RFout2), los cuales a su vez se comparan con los resultados numéricos y con un fotodetector de referencia (Thorlabs DET01CFC). Si bien este último muestra valores de tensión más grandes, estos se debe a que usa una tensión de alimentación mayor, y lo importante es observar el comportamiento lineal semejante que poseen las cuatro curvas.

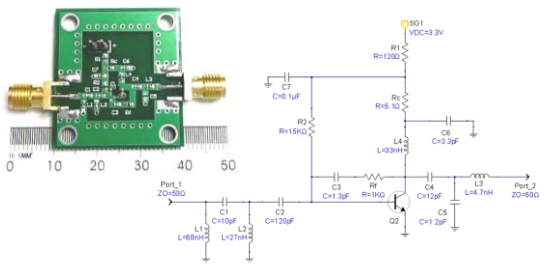


Fig. 3. Amplificador desarrollado y esquemático.

3.2. Amplificador de transimpedancia: El preamplificador se encarga de transformar la corriente generada por el fotodiodo en una tensión de salida apta para ser acondicionada y procesada por ejemplo por un circuito digital. Las condiciones ideales de un buen preamplificador son: alta transresistencia (T_R = Rf), elevado ancho de banda, baja figura de ruido (NF < 3 dB) y bajo consumo de potencia. Para el diseño se utilizaron técnicas de alta frecuencia basadas en el empleo de la matriz de parámetros S que además sirve para caracterizar el amplificador. En particular los requerimientos del diseño fueron: i) S_{11}: Coeficiente de reflexión a la entrada <-10dB; S_{12}: Coeficiente de transmisión inversa <-20dB;

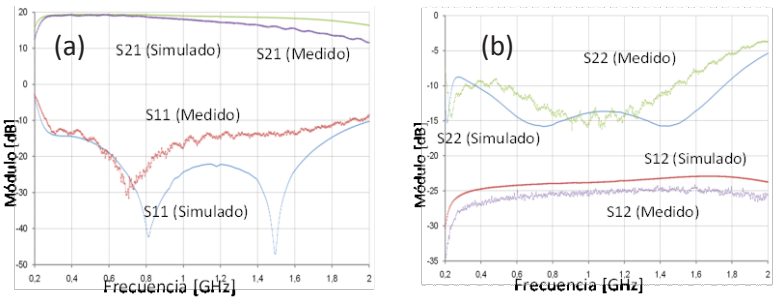


Fig. 4. (a) y (b) Parámetros S simulados y medidos.

S_{21}: Coeficiente de transmisión directa (ganancia) >15dB; S_{22}: Coeficiente de reflexión a la salida <-10dB. El circuito diseñado y simulado, y la implementación definitiva se muestran en la Figura 3. Donde fueron consideradas para el diseño las redes de adaptación de la entrada, de la salida, el circuito de polarización, estabilización y configuración de la ganancia. A partir del prototipo se realizaron las mediciones correspondientes y fueron comparadas con las simulaciones del circuito modelado. Las Figuras 4(a) y (b) muestran los resultados obtenidos donde puede apreciarse que el prototipo tiene un comportamiento similar al modelo simulado, cumpliendo con los requerimientos.

4. PLATAFORMA DE COMUNICACIONES GIGABIT ETHERNET POR FO : Este proyecto consiste en el diseño y desarrollo de un sistema de comunicaciones ópticas empleando el estándar Gigabit Ethernet Full-Duplex, siendo la capa física del mismo un enlace de FO entre dos puntos distantes al menos 15 Km. Entre los objetivos planteados se pretende: (i) Analizar y medir los efectos de dispersión cromática y de modo de polarización; (ii) métodos de codificación y decodificación, y (iii) incrementar la potencia transmitida mediante amplificadores ópticos, y estudiar los efectos no lineales generados.

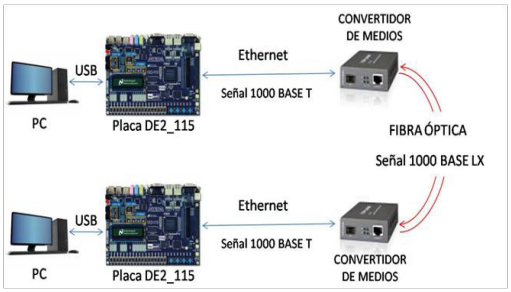


Fig. 1. Sistema de comunicaciones Gigabit Ethernet Óptico

El enlace de comunicaciones puede observarse en la Figura 1, donde cada uno de los bloques del sistema están dados por: *La PC:* será la encargada de recibir los datos y realizar la comparación entre la información que se recibe y la que se transmite, con el objeto de confeccionar y visualizar un diagrama de ojos que permita observar la distorsión del canal, ruido, sincronismo, etc. Se comunica a través de un puerto USB con la placa de desarrollo de FPGA a ambos lados del enlace. *La Placa de Desarrollo de FPGA DE2_115 de la Firma Altera*: se encuentra conformada por la FPGA Cyclone IV E de Altera. Esta placa será la encargada del procesamiento de los paquetes de datos transmitidos y recibidos, ya que permite la entrada y salida de señales Gigabit Ethernet. De los diversos periféricos que cuenta esta placa, los puertos Gigabit Ethernet son los de mayor velocidad de procesamiento. Se comunicará con el convertidor de medios a través de un cable de cobre trenzado Ethernet estandarizado a 1000Base-T, permitiendo una conexión entre el convertidor y la placa de hasta 100 metros. *El convertidor de medios*: es el encargado de convertir la señal de un determinado formato eléctrico en un determinado formato óptico y viceversa. Dado que se cuenta en el laboratorio con fibras ópticas monomodo, se escogió el modelo MC210CS de la firma TP LINK que posee las siguientes características: (i) Tx: longitud de onda central 1310 nm y la potencia óptica media entre -11,5 y -3 dBm (compatible con el estándar 1000BASE-LX). (ii) Rx: Potencia óptica media recibida entre -19 y - 3dBm (estándar 1000BASE-LX), las cuales definen la sensibilidad y potencia de saturación del receptor. (iii) Funciona con fibra monomodo y permite un enlace de hasta 15 Km. Convierte señales de tipo 1000BASE-LX/LH a cobre 1000Base-T, o viceversa. Para la conexión de las señales ópticas utiliza conectores SC.

Se pretende que este trabajo sea el punto de partida para el desarrollo de un Receptor de Comunicaciones Ópticas de Alta Capacidad, permitiendo trabajar con velocidades superiores al Gigabit Ethernet, y observar el comportamiento de la señal para su pre/post procesamiento y acondicionamiento.

5. CONFORMACIÓN ÓPTICA DE HACES (OPTICAL BEAMFORMING - OBF): Un OBF es un dispositivo de procesamiento fotónico de señales que permite controlar el patrón de irradiación de RF o MW de un conjunto de antenas (PAA) mediante las fases o los retardos temporales de las señales que alimentan cada elemento del conjunto. Tanto en sistemas de comunicaciones como en radares, la operación en banda ancha (mayores a GHz) y la posibilidad de operar con múltiples frecuencias simultáneamente requiere de sistemas que utilicen conjuntos de antenas y líneas de retardo reales (TTD) para evitar la aparición de

haces fantasmas. No obstante, las implementaciones electrónicas de TTDs son pesadas y voluminosas, con pobres características eléctricas (son sensibles a EMI y tienen un alto nivel de *crosstalk*) degradando el desempeño del sistema. En este sentido, la tecnología fotónica es apta para la implementación de TTDs sin los problemas asociados a las implementaciones en MW como fueron mencionados.

Un PAA es un conjunto de antenas ubicadas de manera ordenada, una próxima a la otra. Cada una de las antenas se denomina elemento del conjunto, los cuales están separados una distancia *d* como se muestra en la Figura 1 para un conjunto lineal de cuatro elementos. El ángulo de irradiación del conjunto θ se relaciona con la diferencia de fase Δφ o diferencia de tiempos Δτ, de las señales que alimentan progresivamente cada uno de los elementos, como se muestra en las ecuaciones (1) y (2), donde *f* es la frecuencia de operación y *c* la velocidad de propagación de una onda EM en el vacío. A partir de dichas ecuaciones puede observarse el problema mencionado anteriormente donde la diferencia de fase depende de la frecuencia, no ocurriendo lo mismo para la diferencia de tiempo. En este trabajo se diseñó un sistema óptico conformador de haz que genera diferencias de tiempos o retardos programables empleando segmentos de fibra óptica y redes de Bragg (FBG), y se analizó la respuesta del patrón de irradiación del conjunto de antenas que alimenta frente a variaciones de diferentes magnitudes y parámetros del sistema propuesto.

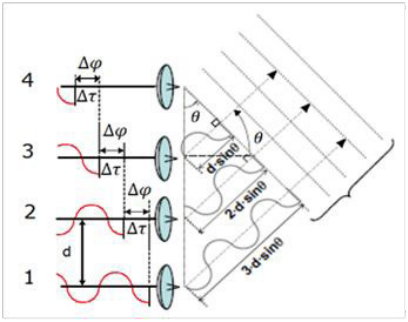


Fig. 1. PAA lineal de 4 elementos

$$\Delta\varphi = (2\pi \cdot d \cdot f/c)\sin\theta \quad (1)$$

$$\Delta\tau = (d \cdot \sin\theta)/c \quad (2)$$

5.1. Diseño del sistema OBF: El sistema propuesto se muestra en la Figura 2, donde un láser sintonizable provee la portadora óptica, que es modulada externamente con una señal de RF por medio de un modulador E/O. La señal modulada es dividida en 4 por un divisor de potencia y direccionada hacia las líneas de retardo a través de circuladores ópticos. Las TTDs están formadas por segmentos de fibra óptica de longitud bien definida, y reflectores basados en FBGs que determinan los retardos de propagación. El espaciamiento entre FBGs sucesivas que operan a la misma longitud de onda define el retardo relativo que permite obtener un ángulo de dirección particular. Las señales ópticas retardadas, reflejadas por las FBGs son redirigidas hacia los fotodiodos y luego al PAA. La conformación del haz de RF en una dada dirección se consigue combinando las señales de cada elemento del conjunto. Para seleccionar entre diferentes ángulos, se emplean distintos conjuntos de FBGs con diferente λ de reflexión y diferente espaciamiento. De esta manera, usando un láser sintonizable, los retardos pueden ser determinados eligiendo la λ apropiada, es decir, el conjunto de FBGs apropiado.

5.2. Retardos Temporales: El retardo necesario entre las señales de RF que alimentan dos elementos consecutivos esta dado por la ecuación (2). Dicho retardo, traducido en el recorrido de la señal óptica que se propaga en la FO y se refleja en las FBGs puede verse en la ecuación (3), donde *θ* es el ángulo de dirección, λ la longitud de onda de trabajo y n_0 el índice de refracción de la fibra. La Figura 3 muestra la tabla de retardos y las figuras correspondientes necesaria para definir las longitudes de los tramos de fibra que separan las FBGs y definen los ángulos de direccionamiento especificados.

$$2\Delta z = \frac{c\Delta t}{n_0} \Longrightarrow \Delta z = \frac{\lambda}{4n_0} \cdot \sin(\theta) \quad (3)$$

5.3. Análisis de la respuesta del sistema: Se simuló el comportamiento del patrón de irradiación del sistema diseñado para estudiar la influencia de las posibles desviaciones de algunos parámetros debidas a inexactitudes durante la implementación, como errores en la longitud de las fibras, en el grabado de las redes de Bragg, o en la λ de la fuente láser. La Figura 4 muestra los resultados obtenidos de las simulaciones. Todos los patrones corresponden a un ángulo de dirección de +45°, asociado a λ1 = 1550nm. Los gráficos

polares muestran los resultados correspondientes a 20 realizaciones aleatorias, y los gráficos lineales muestran el patrón de radiación ideal y el error cuadrático medio alrededor del mismo. (a) Muestra la respuesta frente a una desviación en la λ central de las redes de

Especificaciones

-Frecuencia: 1 GHz (λ = 300 mm)
-Número de elementos: 4
-Distancia entre elementos: d = λ /2 = 150 mm
-Rango de direccionamiento: 112.5°(dividido en 5 sectores de 22.5°)
-Long. de onda (FBGs):$\lambda_{1...5}$ = 1550, 1551, 1552, 1553, 1554 nm
-Ancho de banda de 3 dB (FBGs): 0.2 nm
-Reflectividad: 99%
-Potencia del láser: 10 mW
-Ancho de línea del láser: 0.1 MHz

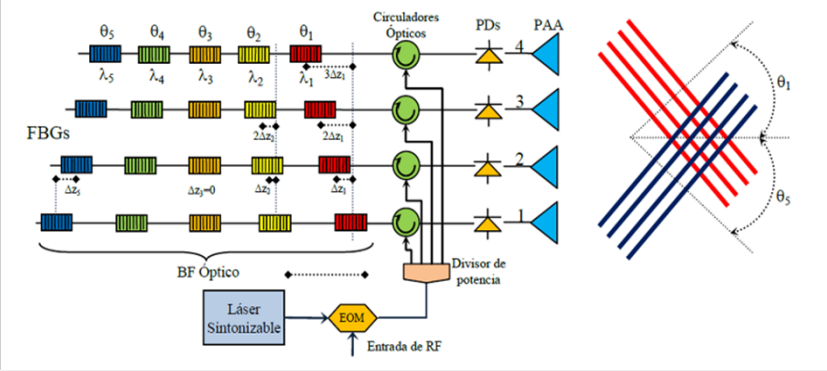


Fig. 2. Sistema OBF de 4 elementos y 5 retardos programables

# Haz	θ[°]	Δt[ps]	Δz[mm]	t1[ps]	t2[ps]	t3[ps]	t4[ps]
5	45	354	35	1115	1469	1822	2176
4	22.5	191	19	1115	1306	1498	1689
3	0	0	0	1115	1115	1115	1115
2	-22.5	-191	-19	1115	924	732	541
1	-45	-354	-35	1115	761	408	54

(a)

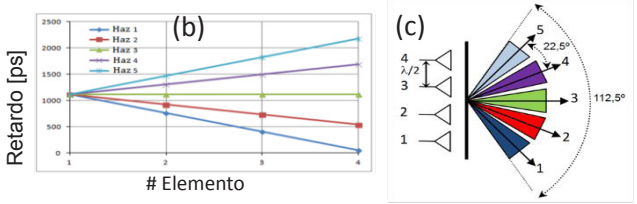


Fig. 3. (a) Tabla de retardos. (b) Diagrama de retardos. (c) Ángulos de direccionamiento del PAA.

Bragg considerando una distribución normal con media 1550 nm y una desviación estándar 0,066 nm (= 0,2/3 nm) (la interferencia entre las respuestas de FBGs contiguas puede despreciarse debido a que están separadas espectralmente 1 nm). (b) Muestra la respuesta frente a una desviación en la longitud de las FOs, considerando una distribución normal con media 36 mm y una desviación estándar de 1 mm. En este caso, el patrón de irradiación no se modificó sustancialmente. Finalmente, (c) muestra la respuesta frente a una desviación en la λ del láser, considerando una distribución normal con media 1550 nm y una desviación estándar de 0,05 nm. Nuevamente, el patrón de irradiación no se modificó considerablemente.

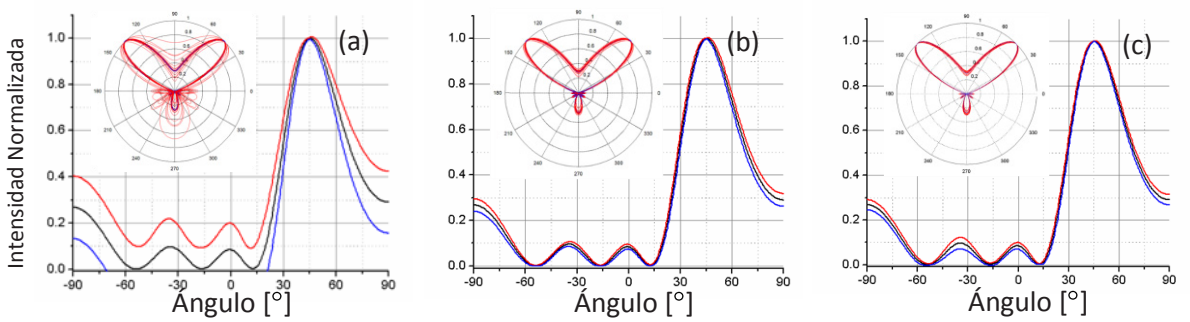


Fig. 4. Patrón de irradiación para variaciones en λ de Bragg (a), longitud de FO (b), y λ del láser (c).

6. DISPOSITIVO PARA ENRUTAMIENTO EN REDES ÓPTICAS: Técnicas de multiplexación en λ WDM representan una solución factible para utilizar el enorme ancho de banda de la FO frente a la gran demanda de los servicios de telecomunicaciones, multimedia e internet. Múltiples canales multiplexados pueden operar simultáneamente en una única fibra pero a diferentes λs o portadoras ópticas. Cada uno de los canales puede ser modulado independientemente, adoptar diferente formatos de modulación, incluso podrían coexistir canales analógicos y canales digitales. De esta manera, empleando

técnicas de WDM es posible utilizar casi completamente el ancho de banda de la FO monomodo (~ 50 THz), mediante canales independientes que posean tasas de 1-10 Gb/s compatibles con las velocidades del procesamiento electrónico actuales.

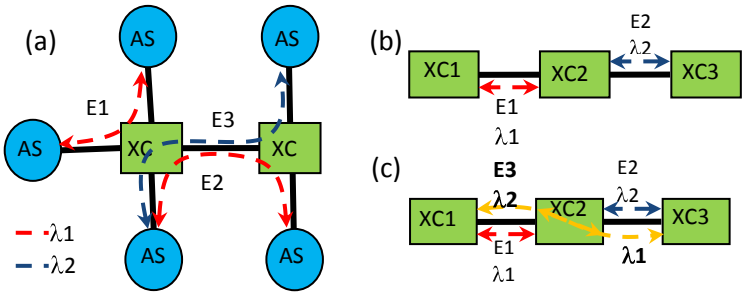


Fig. 1. (a) Redes con enrutamiento de λ, (b) Restricción de continuidad de λ, y (c) conversión de λ para eliminar las restricción.

En una red WDM es posible direccionar los datos a sus respectivos destinatarios mediante sus λs. El uso de las λs para el direccionamiento se lo conoce como enrutamiento por longitud de onda, y a la red que emplea está técnica se la denomina: *wavelength-routed network*. Estas redes consisten en conmutadores ópticos de longitudes de onda (XC). Cada uno de estos enrutadores tiene puertos de salida y entrada, los que se conectan a nodos de acceso o bien a otros enrutadores mediante FO. Las estaciones de acceso (AS) multiplexan en el tiempo los datos provenientes de los usuarios finales usando una única portadora óptica o canal WDM. Una AS, a su vez, provee la conversión O/E y viceversa para comunicar la red óptica con el equipamiento electrónico convencional. La Fig. 1(a) muestra los componentes mencionados presentes en una red con enrutamiento óptico. Pueden observarse dos enlaces que no comparten la misma FO, E1 y E2 (líneas rojas), con lo cual pueden utilizar la misma longitud de onda λ1 (reutilización de canales), y dos que comparten parcialmente la misma FO, E2 y E3, con lo cual deben utilizar canales diferentes λ1 y λ2. A esto se lo conoce como restricción de continuidad de λs. En las redes de enrutamiento por λ con restricción de continuidad, a cada enlace entre nodos fuente y destino se le asigna la misma λ a lo largo de la ruta establecida. Si se considera la Fig. 1(b) puede observarse que dos enlaces han sido establecidos: (i) Entre nodo 1 y 2 en la longitud de onda λ1, y (ii) Entre nodo 2 y 3 en la longitud de onda λ2. Ahora si se considera que es necesario establecer una comunicación entro los nodos 1 y 3 y la red tiene solamente disponibles dos λs, este enlace sería imposible realizarlo aun sabiendo que hay una λ disponible en cada enlace parcial dentro de la ruta. Esto se debe a la restricción de continuidad de λ en la red, lo que produce que muchas peticiones de comunicación sean bloqueadas.

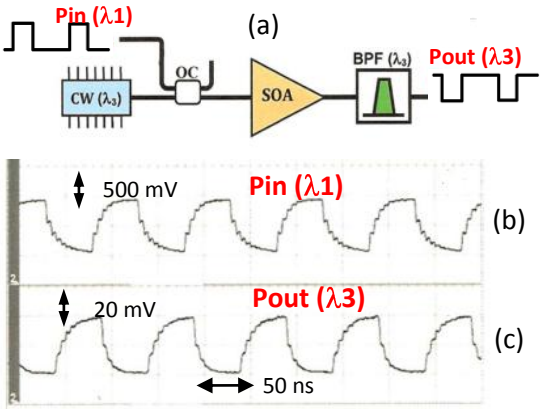


Figura 2. (a) Conversor de λ. (b) Potencia de entrada en λ1, y (c) de salida en λ3.

Es sencillo eliminar las restricciones de continuidad de λ si es posible convertir los datos recibidos en una λ a una diferente y retransmitirlos al nodo siguiente. Esta técnica se conoce como conversión de λ y a la red que la utiliza *wavelength converted network*. En la Fig. 1(c) se observa como en el nodo 2 se realiza una conversión de λ1 a λ2 y la conexión entre los nodos 1 y 3 puede ser establecida. Este tipo de redes mejora la eficiencia resolviendo los conflictos de longitudes de onda encontrados al establecer la ruta de comunicación entre la fuente y el destino.

6.1. Conversión de λ basada en SOA: En este trabajo se diseñó y desarrolló un dispositivo conversor de λ para enrutamiento de redes ópticas. El sistema desarrollado se basa en el efecto no lineal denominado modulación de ganancia cruzada (XGM) en amplificadores

ópticos de semiconductor (SOA) el cual se muestra en la Fig. 2(a). La señal de entrada modulada en intensidad modula la ganancia del SOA debido a la saturación de la ganancia. Un láser de onda continua, a la longitud de onda deseada para la salida, es modulado por la variación de la ganancia del SOA. Este sistema basado en XGM produce una señal de salida que se encuentra invertida respecto del la original, es sencillo y posee una excelente respuesta hasta frecuencias de 10Gb/s con algo de degradación en la relación de extinción de la señal. El sistema desarrollado está formado por: un láser de onda continua (CW) operando a $\lambda 3$ = 1557.4 nm, un acoplador óptico 50:50, un SOA Kamelian OPA-20-N-CFP, y un filtro óptico pasa banda (BPF) centrado en $\lambda 3$ del láser. La Fig. 2(b) y (c) muestran la entrada y la salida, respectivamente, del sistema conversor de λ.

7. CONCLUSIONES: En este trabajo se mostraron resultados obtenidos hasta el momento en cinco desarrollos del grupo de trabajo. Los mismos han permitido formar recursos humanos, generar conocimientos e introducir las herramientas y tecnologías electrónicas y fotónicas para el desarrollo de estos dispositivos. El objetivo final es formar profesionales altamente capacitados capaces generar tecnología de punta y proveer soluciones en el campo de las comunicaciones y redes ópticas.

-Se desarrolló un sistema transmisor para comunicaciones ópticas de hasta 10Gb/s.

-Se desarrollaron las etapas de entrada de un receptor de comunicaciones ópticas apto para trabajar en sistemas de más de un GHz de ancho de banda.

-Se encuentra en desarrollo una plataforma de comunicaciones Gigabit Ethernet por FO.

-Se diseño un sistema óptico conformador de haz que opera en una frecuencia de 1 GHz y emplea TTDs basadas en FBGs para controlar el ángulo de direccionamiento de un conjunto de antenas.

-Se desarrollo un dispositivo fotónico para conversión de longitud de ondas basado en el efecto no lineal XGM en SOA. Este dispositivo puede ser utilizado como enrutador óptico de longitud de onda en redes ópticas metropolitanas y WANs.

Agradecemos a la Facultad de Ingeniería de la UNLP, al CIOp y a la ANPCyT (PICT378/08) por el soporte prestado, y los grupos GPS del LEICI, por la colaboración para realizar las mediciones del receptor, e IFOG del CIOp, por la colaboración en el montaje de los circuitos impresos. En orden alfabético: AN becario y AA de la FI-UNLP; CT es becario de la FI-UNLP; EP es becario Conicet y AD de la FI-UNLP; LABR es investigador CIC-PBA y JTP de la FI-UNLP; LM es becario de la FI-UNLP y CIC-PBA; PACC es investigador Conicet y profesor de la FI-UNLP; SR es becario CIC-PBA.

5. REFERENCIAS

[1] Carlos Tenaglia, Laureano A. Bulus Rossini, Pablo A. Costanzo Caso, “Transmisor de comunicaciones ópticas de 10Gb/s,” Trabajo Final Ingeniería Electrónica, FI-UNLP, 2012.

[2] Leonardo Morbidel, Laureano A. Bulus Rossini, Pablo A. Costanzo Caso, “Receptor de comunicaciones ópticas de 2GHz de ancho de banda,” Trabajo Final Ingeniería Electrónica, FI-UNLP, 2012.

[3] Alejandro Natoli, Laureano A. Bulus Rossini, Pablo A. Costanzo Caso, “Plataforma de comunicaciones Gigabit Ethernet por fibra óptica,” Reporte interno, CIOp y Facultad de Ingeniería UNLP, 2012.

[4] Pablo A. Costanzo Caso, Sebastian Rabal, Emanuel Paulucci, Alejandro Giordana, y Laureano A. Bulus Rossini, “Practical impairtmaents in FBG-based rue time delays,” Latinoamerican Optics and Photonics Conference (LAOP) 2012, 13-15 de Noviembre, Sao Sebastian, Brasil. pp.1-3.

[5] Pablo A. Costanzo Caso, Sergio Granieri, and Azad Siahmakoun, “All-Optic Wavelength Conversion and Pulse Reshaping with Two FP Coupled Cavities,” OSA Photonics in Switching, July 25-29, 2010, Monterey, California, USA.

[6] Pablo A. Costanzo Caso, Azad Siahmakoun, and Sergio Granieri, “Optical Leaky Integrator with Inverted and Non-inverted Accumulation,” WILEY, Microwave and Optics Technol. Lett., vol. 53, n. 9, pp. 2034-2037, September 2011. ISSN: 1098-2760.

Lector de tarjetas SD en microcontrolador NXP

Ing. Luis Antonini*; Ing. Jorge Osio*; Ing. Jose Rapallini

Centro de Técnicas Analógico – Digitales (CeTAD)
Calle 116 y 48 2° piso - Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de La Plata La Plata, Argentina
*Becario CIC – Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Bs. As.
luis_antonini@live.com.ar ; jorge.osio@ing.unlp.edu.ar

I. INTRODUCCIÓN

Los microcontroladores LPC2400 de NXP son ideales para todo tipo de aplicaciones en el área de comunicaciones, dado que cuentan en forma integrada con numerosos controladores con los cuales se puede implementar diversas interfaces. El microcontrolador LPC2478 [1] es el que se utiliza para esta aplicación porque es el único de esta familia que además cuenta con interfaz para display gráfico.Se utiliza el "Kit de desarrollo educativo LPC 2400" [2] para la implementación del sistema lector de tarjetas SD.

Finalizado este desarrollo, el sistema lector de tarjetas se adiciona al "Sistema Host USB para gestionar archivos entre dispositivos" [3].

El sistema host USB permite detectar y configurar diversos dispositivos pertenecientes a la clase de almacenamiento masivo. Incluye un sistema de archivos FAT 32 por medio del cual se puede realizar diferentes acciones.

El control del sistema se efectúa utilizando un teclado reducido diseñado específicamente para este sistema. La visualización de los diferentes eventos se realiza en una PC por medio de la interfaz RS-232.

II. PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LA INTERFAZ SD

La comunicación entre un microcontrolador y las tarjetas "Secure Digital" [4][5], SD, se realiza mediante una interfaz de nueve líneas; una línea de clock, una de comandos, tres líneas de alimentación y cuatro de datos. La tensión de alimentación utilizada es de 3.3 V.

La especificación SD define tres capacidades para las tarjetas:

- Capacidad estándar (SDSC): hasta 2 GB.
- Alta capacidad (SDHC): más de 2 GB hasta los 32 GB.
- Capacidad extendida (SDXC): más de 32 GB.

El bus de datos tiene dos modos de configuración y operación, el modo SD y el modo SPI. A su vez el primer modo puede operar con una línea de datos (1 bits) o con sus cuatro líneas de datos paralelas (4 bits).

Las tarjetas SD contienen un microprocesador, el mismo le otorga algunas características específicas propias de esta interfaz, tales como:

- Independencia del host en relación con los detalles de la forma de borrado y programación de la memoria flash.
- Sistema de corrección de errores similar al encontrado en los discos magnéticos.
- Control de la alimentación para reducción del consumo de alimentación.

El bus de las tarjetas SD está integrado por un único máster (el host) y múltiples esclavos (las tarjetas).

Al insertar una nueva tarjeta, se realiza un proceso de configuración por medio del cual se determina el tipo de tarjeta, el tamaño de bloque, el tamaño total y disponible, entre otras características. Este proceso se realiza utilizando la línea de comandos.

Para leer o escribir uno o más sectores de memoria de una tarjeta SD, el software del host simplemente debe utilizar los comandos específicos para lectura o escritura y esperar que el comando finalice de ejecutarse. De esta forma el host no interviene en la forma en que la memoria se borra, programa o lee. Esta característica es importante en relación a la compatibilidad a futuro con nuevas tarjetas.

Otra característica de estas tarjetas es el ingreso y salida del modo de ahorro de energía en forma automática. Una vez que se completa una operación, la tarjeta automáticamente entra a este modo para ahorrar energía si no se recibe otro comando en un intervalo de tiempo de 5 ms. El host no debe enviar ningún comando para que esto ocurra ni tampoco tienen que enviar un comando para que la tarjeta salga de este modo.
Existen dos formas o modos para la lectura o escritura de la memoria de una tarjeta SD:

- Modo de bloque único: en este modo el host lee o escribe un único bloque de memoria, el tamaño de cada bloque es fijo y pre establecido durante la configuración de cada tarjeta.
- Modo de bloque múltiple: es similar al modo anterior, pero en este caso el host puede leer múltiples bloques.

En el caso de operar en el modo SD con una sola línea de datos, la tasa máxima de transferencia es de 25 MBit/s y de utilizar las cuatro líneas de datos dicha tasa se incrementa hasta los 100 MBit/s.

III.DESCRIPCION DEL MICROCONTROLADOR LPC2478

Este microcontrolador tiene un núcleo con arquitectura ARM7TDMI-S, diseñado con un alto nivel de integración. Tiene integrado memoria flash de 512 kB de alta velocidad para el programa de aplicación, esta memoria incluye una interfaz especial de 128 bit lo que permite al CPU ejecutar instrucciones secuenciales desde la memoria flash a una velocidad máxima de 72 MHz.
El programa de aplicación fue realizado utilizando e lenguaje de programación C y la aplicación Keil uVision4 y programado mediante el sistema ISP (In Circuit Serial Programing).
El bloque controlador SD [6, pp.551-563] adhiere a la especificación “MultiMedia Card Specification V2.11” y a la especificación “Secure Digital Memory Card Physical Layer Specification v0.96”. El mismo permite acceder a una única tarjeta SD utilizando el modo SD de uno o cuatro bits. Su diagrama en bloques se muestra en la figura 1.
El sistema de archivos FAT 32 requiere un reloj de tiempo real para establecer la fecha y hora de creación o modificación de un archivo. Este microcontrolador cuenta con un bloque específico llamado RTC (“Real Time Clock”), el cual va a ser utilizado en esta implementación para cumplir con este requerimiento.
El bloque controlador de Host USB [3, pp.389-393] se encuentra conformado por una interfaz de registros que cumple con la especificación OHCI (“Open Host Controller Interface”), una interfaz serie y un controlador DMA. Permitiendo implementar dos puertos USB.

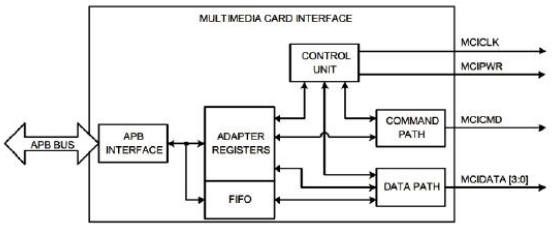


Figura 1. Diagrama en Bloques del controlador SD.

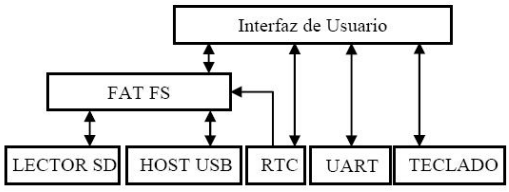


Figura 2. Diagrama en Bloques del sistema integrado.

IV. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA INTEGRADO

El sistema lector de tarjetas SD en conjunto con el sistema host USB conforman un módulo que permite detectar, configurar y transferir archivos con dispositivos USB pertenecientes a la clase de almacenamiento masivo o “Mass Storage” y diferentes tarjetas SD del tipo SDSC o SDHC. La memoria de estos dispositivos debe utilizar el formato de archivo del tipo FAT 12, 16 o 32.
Dicha implementación en software se divide en siete bloques principales los cuales realizan una función específica dentro del sistema, los mismos se muestran en la figura 2.
Descripción de los bloques:

- El bloque Lector SD configura el controlador SD del microcontrolador, conjuntamente se agrupan las funciones para detectar, configurar y establecer una comunicación con una única tarjeta SD.
- En el bloque Host USB se configura el controlador USB del microcontrolador y se desarrollan las funciones necesarias para detectar y configurar dispositivos, así como también enviar y recibir datos.

- En el bloque RTC se implementa el sistema de reloj en tiempo real.
- En el bloque UART se configura el controlador RS232 del microcontrolador para comunicarse con un PC.
- En el bloque TECLADO se implementa las funciones específicas para controlar el sistema.
- En el bloque FAT FS se implementan las funciones para operar con el sistema de archivos Fat 12, 16 y 32.
- Finalmente, en el bloque de interfaz de usuario, se implementan las funciones necesarias para poder controlar el sistema.

A. El módulo Lector SD

La configuración del módulo SD incluido en el microcontrolador se realiza en este bloque. Se lo configura para operar en el modo SD de 4 bits con una frecuencia de reloj, en modo de transferencia, de 16,5 MHz.

El conector de tarjetas incluye dos contactos mecánicos por medio de los cuales se puede detectar cuándo una tarjeta se encuentra presente en el conector y si la misma se encuentra protegida contra escritura.

Al insertar una tarjeta SD, por medio de uno de los contactos mencionados, se detecta este evento, se alimenta la tarjeta y, posteriormente, se la configura.

Durante el proceso de configuración sólo se reconocen tarjetas del tipo SDSC o SDHC con un tamaño de bloque de
512 bytes. En caso que la tarjeta insertada no corresponda a
uno de estos tipos se detiene el proceso invalidando el uso de la misma hasta tanto sea retirada.

En este bloque se especifican las funciones de lectura y escritura utilizando el modo de lectura de bloques múltiples, reduciendo el tiempo de transferencia.

Por medio de estas funciones el bloque superior accede a dicha memoria especificando el número de bloque donde empezar a leer o escribir y a cuantos bloques se pretende acceder.

B. El módulo Host USB

Este bloque se encarga de configurar el controlador OHCI USB del microcontrolador e implementar las funciones para detectar, configurar y administrar las comunicaciones con distintos dispositivos USB conectados al bus. Conjuntamente se implementan las funciones específicas de la clase de almacenamiento masivo.

Cuando se conecta un dispositivo USB al bus, este evento se detecta automáticamente, dando inicio al proceso de enumeración. Durante este proceso se corrobora la clase de dispositivo conectado al bus y en caso de no pertenecer a esta clase se inactiva.

El bloque superior accede a la memoria de cada dispositivo, especificando el puerto USB a acceder, el bloque donde empezar a leer o escribir y la cantidad de bloques a acceder.

Los detalles de la implementación del módulo Host fueron presentados en [3], es por esto que aquí solo se hace una breve mención del mismo.

C. Sistema de archivos FAT

El sistema de archivos se implementa en el bloque denominado “FAT FS”. Para tal fin se utiliza el módulo genérico FAT FS disponible sin restricciones de uso.

Dicho módulo implementa todas las funciones necesarias para acceder a unidades de memoria con un sistema de archivo FAT 12, 16 ó 32. Este módulo es independiente del protocolo de comunicación utilizado para acceder a la memoria. Para su utilización simplemente hay que desarrollar las funciones necesarias para comunicarse con el tipo de interfaz utilizada.

Para tal fin se escribieron cinco funciones, cuatro de ellas se relacionan con el lector de tarjetas y con el host USB. La función restante, se relaciona con el bloque RTC. Las cuatro primeras funciones inicializan las distintas unidades, determinan su estado y finalmente leen o escriben en su memoria.

La función destinada al bloque RTC obtiene la fecha y la hora en el formato que requiere el sistema FAT FS. El módulo FAT FS brinda al bloque superior una serie de funciones para acceder a los archivos y carpetas existentes en la unidad.

D. La interfaz RS232

Esta interfaz se implementa en el bloque denominado UART, se utiliza para visualizar el sistema desde una PC.

Esta interfaz se configura seleccionando adecuadamente el divisor del clock para generar el baud rate apropiado (9600 para esta aplicación). Luego para enviar un caracter sólo es necesario escribir un registro especifico. La interfaz automáticamente envía cada carácter.

Utilizando esos registros se implementan en este bloque las funciones necesarias para otorgarle al bloque superior la capacidad de transmitir a un PC una cadena de caracteres.

En la PC se recibe los caracteres utilizando la aplicación Hyper Terminal o cualquiera similar que pueda acceder al puerto serie.

E. El teclado

Su diseño es específico para el sistema, se halla conformado por cuatro pulsadores. Cada uno de los pulsadores se conecta a un pin GPIO del microcontrolador utilizando su resistencia de pull-up interna.

Al presionar un pulsador, la línea cambia su estado a un nivel bajo generando una interrupción. Al detectar este evento, se chequea cuál pin es la fuente de la interrupción y, posteriormente, se actualiza dos variables; una indica el suceso y la otra el pulsador presionado. La interfaz de usuario, cuando requiera el ingreso de un comando, debe chequear estas variables.

Cada pulsador tiene una función específica asignada, una para la acción retroceder o cancelar, una para aceptar y, lo dos restantes, para seleccionar arriba o abajo.

F. La interfaz de usuario

Este bloque es el encargado de controlar el sistema, el usuario selecciona el comando a ejecutar y los parámetros necesarios utilizando el teclado y visualiza el resultado obtenido en la PC.

Cuando el usuario conecta un dispositivo USB de la clase de almacenamiento masivo o inserta una tarjeta SD, el sistema detecta automáticamente su conexión y lo configura, quedando la unidad lista para acceder a sus archivos o carpetas.

El usuario puede listar y acceder a todos los archivos y carpetas existentes en el directorio raíz o dentro de las carpetas del dispositivo seleccionado. Tiene la posibilidad de crear carpetas o eliminarlas. También puede eliminar archivos.

Otra posibilidad es copiar un archivo, ya sea de una carpeta a otra en un mismo dispositivo o entre dos dispositivos distintos, sea el dispositivo una tarjeta SD o USB.

Los archivos en el sistema FAT tienen ciertos atributos, como la fecha de creación, el tipo de archivo, si es un archivo oculto, solo lectura, etc. El usuario puede acceder a estas características con solo seleccionar el nombre de archivo o carpeta. También, puede obtener el espacio total y el espacio disponible de la unidad.



Figura 3. Imagen de la placa de desarrollo con una tarjeta SD y pen drives conectados.

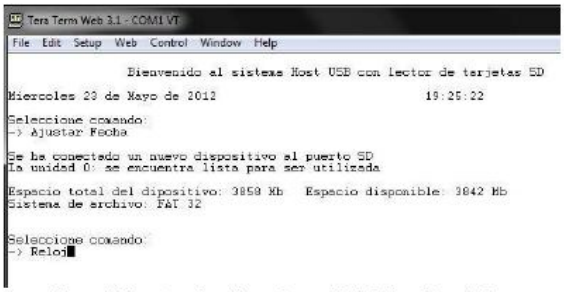


Figura 4. Mensajes obtenidos en la pantalla del Hyper Terminal.

Se incorporan funciones que permiten retirar en forma segura una tarjeta SD o un dispositivo USB. Al seleccionar esta función luego de especificar el dispositivo a retirar, el sistema retira su alimentación. De esta forma el dispositivo puede ser retirado sin sufrir daños.
Adicionalmente, el usuario puede acceder a la hora y fecha actual y si lo desea puede modificarla o ajustarla.

V. RESULTADOS OBTENIDOS

En la figura 3 se muestra el sistema en funcionamiento implementado en el kit de desarrollo antes citado. Se han conectado en sus dos interfaces USB diferentes pen drives. En el lector SD se ha insertado una tarjeta SDHC de 4 Gb de capacidad.
Al encender la placa de desarrollo, en la ventana del software Tera Term, se visualiza un mensaje de bienvenida con la hora y fecha actual. Se indica al usuario que seleccione un comando, esta acción se realiza utilizando los pulsadores “flecha arriba” o “flecha abajo” y el pulsador “aceptar” del teclado. Si en vez de seleccionar un comando, el usuario, inserta un dispositivo, el sistema automáticamente lo detecta y configura.
Una vez finalizada la configuración, de ser exitosa, se muestra en pantalla el espacio disponible, el espacio total de la unidad y su sistema de archivos. Se indica, además, que la unidad está lista para utilizarse. De ocurrir algún tipo de error se muestra en pantalla la eventualidad y se le solicita al usuario que retire el dispositivo.
En la figura 4 se pueden ver los mensajes obtenidos durante el inicio y configuración de un dispositivo SD mediante el software de interfaz serial “tera term”.

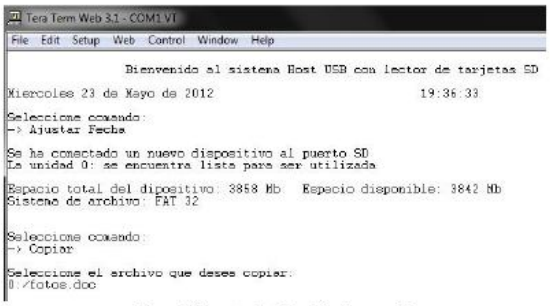


Figura 5.Proceso de selección de un archivo.

TABLA I. TRANSFERENCIAS REALIZADAS

Tiempo (segundos)	Tipo de Transferencia		
	Tamaño de Paquete	*desde*	*hacia*
60	29.366 MBytes	USB 1ó USB 2	SD
58	29.366 MBytes	SD	USB 1ó USB 2
50	29.366 MBytes	SD	SD
93	29.366 MBytes	USB 1	USB 2
92	29.366 MBytes	USB 2	USB 1

Seleccionado un comando, (de necesitar un paramento adicional), se muestran las distintas opciones al usuario de forma tal que pueda seleccionarlas utilizando el teclado en forma clara y simple.
Por ejemplo, en caso de tener que seleccionar un archivo, el sistema muestra las unidades disponibles. Seleccionada una unidad, se muestran los archivos y carpetas que esta contiene, al seleccionar un archivo se da por finalizado el proceso, en caso de seleccionar una carpeta, se abre la misma y se muestra su contenido. De esta forma se selecciona un archivo rápidamente y sin la necesidad de utilizar un teclado alfanumérico. En la figura 5 se muestra el proceso de selección de un archivo que se pretende copiar.
En la Tabla 1 se muestran los tiempos de transferencia entre un dispositivo USB y la SD; dos dispositivos USB y desde la SD a sí misma. Mediante dicha Tabla se puede evaluar el tiempo necesario para la transferencia de archivos de diferentes tamaños entre los distintos dispositivos, esto permite determinar si hay algún factor en cada tipo de transferencia que hace que el tiempo requerido no sea directamente proporcional al tamaño de archivo.

VI.CONCLUSIONES

Finalizado el desarrollo del lector de tarjetas SD y la posterior integración al sistema host USB se realizaron diferentes pruebas con el objetivo de chequear su funcionamiento y performance.
El funcionamiento de cada uno de los comandos implementados en el bloque de interfaz de usuario fueron probados con anterioridad en el sistema host USB, no obstante cada uno se probó con distintas tarjetas SD de diferentes tamaños.

Se pudo copiar, crear carpetas o eliminar archivos y carpetas satisfactoriamente en un intervalo de tiempo similar al empleado por la interfaz USB. Los archivos con que se trabajó en estas pruebas no superaron en tamaño al orden de los Kbytes.
Corroborado el correcto funcionamiento de cada comando, se realizaron distintas pruebas con la finalidad de determinar el tiempo necesario para copiar un archivo entre una tarjeta SD y un dispositivo USB. Para estas pruebas se utilizó un archivo de texto con un tamaño total de 29.3 MBytes.
El tiempo requerido para copiar un archivo, desde la tarjeta SD hacia un dispositivo USB o hacia una ubicación perteneciente a la misma tarjeta, es de aproximadamente un minuto. El tiempo requerido para copiar el mismo archivo de un dispositivo USB a otro es aproximadamente dos minutos.
El resultado obtenido supera las expectativas, obteniendo mejor tiempo de transferencia en el lector SD que en el sistema host USB.
De la misma forma que en el sistema host USB, el microcontrolador seleccionado superó las expectativas, la única dificultad de su utilización se encontró en el manual de usuario. El mismo detalla sintéticamente el controlador SD y todos sus registros.
Otra dificultad encontrada recurrentemente durante el desarrollo del sistema lector SD fue la escasa información sobre el proceso de configuración de las tarjetas. Las notas de aplicación encontradas, sólo configuraban tarjetas SDSC por lo cual fue necesario valerse de una minuciosa lectura de la especificación SD.

VII.TRABAJO A FUTURO

Como trabajo a futuro, se pretende incluir un display al sistema de manera tal de poder visualizar los distintos eventos sin la necesidad de interactuar con una PC.
Esta implementación se pretende realizar en dos etapas. En la primera se va a utilizar un display LCD alfanumérico de 2x20 caracteres. Si bien este display es pequeño para la información que se necesita mostrar, se pretende probar que es posible utilizar correctamente el sistema, estando destinado a aplicaciones donde se requiera un dispositivo pequeño de bajo consumo.
En la segunda etapa se va a implementar un display gráfico del tipo TFT o similares, utilizando el controlador de display integrado al microcontrolador.
Una vez concluidas cada una de estas etapas el sistema será totalmente portable y podrá utilizarte en distintas aplicaciones, requieran estas un dispositivo pequeño o no.

REFERENCIAS

[1] “Data sheet del producto LPC2478”, http://www.nxp.com/documents/data_sheet/LPC2478.pdf,29 de septiembre de 2010.
[2] L. A. Antonini, J. R. Osio, J. Rapallini, “Kit de desarrollo educativo LPC2400”, II Congreso Microelectrónica Aplicada, La Plata, Argentina, 2011.
[3] L. A. Antonini, J. R. Osio, J. Rapallini, “Sistema Host USB para gestionar archivos entre dispositivos”, II Congreso Microelectronica Aplicada, La Plata, Argentina, 2011.
[4] “Complete Specification SD Card v1.9”, SanDisk, 2003.
[5] “Advanced Security SD Extension Simplified Specification”, SD Card Association, 2010.
[6] “UM10237 LPC24XX User Manual”, http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10237.pdf, 26 de agosto de 2009.

Sistema Embebido para Corrección de Errores Implementado en Lógica Programable

Leonardo Capossio *, Jorge R. Osio, Walter Aroztegui, Jose A. Rapallini

Centro de Técnicas Analógico – Digitales (CeTAD)
Calle 116 y 48 2° piso - Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de La Plata La Plata, Argentina
*Becario CIC – Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Bs. As.

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es desarrollar un Sistema Embebido sobre una FPGA, para la corrección de errores en caracteres alfanuméricos representados en una matriz de pixeles LCD de 5x8. Los caracteres alfanuméricos serán obtenidos a partir de una comunicación USB con una PC, y luego de recibidos se modificará aleatoriamente 2 pixeles. Finalmente se entregarán los caracteres con errores uno por uno al Bloque de Corrección de Errores donde se procesarán para recobrar el carácter original. Los resultados se presentarán en un LCD de 2 Líneas con representación de caracteres en una matriz de 5x8 pixeles.

II. PARTE EXPERIMENTAL y RESULTADOS,

El Sistema se compone de un procesador MicroBlaze (Xilinx) de Arquitectura 32-bit RISC embebido en la FPGA, el cuál actúa como controlador principal del sistema. Este procesador se comunica y controlará los siguientes periféricos a través de un BUS (PLB – Processor Local Bus):

- 256MB de Memoria DDR2
- Interfaz con LCD
- Interfaz USB
- Interfaz RS-232
- Bloque de Corrección de Errores

El diseño del Sistema se realizo en la herramienta XPS de Xilinx que permite configurar el MicroBlaze, conectar los periféricos y generar el mapa de memoria de todo el sistema. Finalmente XPS hace la síntesis del sistema y genera el “bitstream” el cuál es utilizado para programar el hardware de la FPGA. La programación del MicroBlaze realizada en C con el entorno de desarrollo Xilinx SDK, que además de simulación cuenta con debugging (depuración de código) en hardware.

La interfaz con el LCD es resuelta mediante un bloque de GPIO (General Purpose Input-Output o Entrada-Salida de Propósito General) de 11-bits (8 bits de datos y 3 de control) conectado al procesador. Las rutinas para el controlador LCD siguen las normas de los controladores HITACHI HD44780 e implementadas por software.

La interfaz USB es implementada por un módulo de la empresa Digilent conectado al MicroBlaze. Este módulo llamado “USB_EPP_IF” transforma los datos serie provenientes del puerto USB en datos tipo Paralelo, como el modo EPP del puerto paralelo de una PC. La interfaz para enviar y recibir datos desde la PC, es a través del programa “Adept”, de distribución gratuita.

El Bloque de Corrección de Errores (BCE) se implemento en lógica personalizada dentro de la FPGA. Este Bloque se comunica con el procesador mediante el bus PLB, y tiene la función de corregir los errores en los caracteres recibidos. Este desarrollo se realizó en VHDL con el ISE

III. DISCUSIÓN y CONCLUSIONES

En el presente trabajo se investigaron las alternativas de ECC disponibles en la actualidad. El requerimiento de este trabajo es corregir hasta dos pixeles con errores en un

matriz de 5x8 pixeles de LCD, con hasta un pixel erróneo por fila o columna (errores no correlacionados).

Una implementación paralela de código Hamming SEC cumple con los requerimientos expuestos. Se realizará una codificación Hamming apropiada para el largo de fila y de columna que minimice el tiempo de procesamiento.

Esta implementación se realizo enteramente en Hardware, en forma de dos coprocesadores, un codificador y un decodificador Hamming. Estos co-procesadores se comunicarán con el procesador principal mediante el bus FSL.

Esto permitió obtener un Sistema Embebido que tiene un almacenamiento en memoria más confiable gracias a la detección y corrección de errores.

BIBLIOGRAFÍA.

- *"Introducción a los Dispositivos FPGA. Análisis y Ejemplos de Diseño"*, 2005, Bozich Eduardo Carlos (Trabajo Final FI UNLP)
- *"Diseño de un microprocesador en un dispositivo FPGA con VHDL",* Mineo Marcos (Trabajo Final FI UNLP)
- *"Digital Systems Design with FPGAs and CPLDs"*, 2008, Ian Grout.
- *"VHDL: Hardware Description and Design"*, 1989, Roger Lipsett et. al.
- *"Digital System Design with VHDL (2nd Edition)"*, 2004, Mark Zwolinski
- *"Embedded Systems Design with Platform FPGAs: Principles and Practices"*, 2010, Ronald Sass and Andrew G. Schmidt, Morgan Kauffmann
- *"Genesys Board Reference Manual", Digilent Inc.*
- *"Standard IEEE 1284". Marzo, 1994.*
- *"Embedded Systems Design with Platform FPGAs: Principles and Practices"*, 2010, Ronald Sass and Andrew G. Schmidt, Morgan Kauffmann
- *"Error Correction Coding: Mathematical Methods and Algorithms"*, 2005, Todd K. Moon.

"Parallel Double Error Correcting Code Design to Mitigate Multi-Bit Upsets in SRAMs", Riaz Nasser, Jeff Draper, 2008.

"Error Correcting Code Analysis for Cache Memory High Reliability and Performance", Daniele Rossi et.al., 2011.

Adaptador USB a LPT para la recuperación de equipos de rehabilitación

Javier Barragan; Fernando Anaut, Jorge Osio*[1]; José Rapallini[1]; Flavio Ferrari [2];
Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de La Plata

jorge.osio@ing.unlp.edu.ar.
1 Centro de Técnicas Analógico – Digitales (CeTAD)
2 UNITEC
*Becario CIC – Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Bs. As

Resumen — El proyecto contempla el diseño de un Sistema Emulador de un puerto LPT a través de la interfaz USB.

Debido a la necesidad de recuperar los equipos que requieren una interfaz LPT y a la extinción de esta interfaz en las computadoras modernas, surge esta propuesta orientada a la recuperación de equipos de rehabilitación.

En este proyecto solo se trata el modo unidireccional SPP del protocolo LPT, dejando las bases necesarias para tratar los demás modos en un futuro proyecto.

Una vez seleccionados y estudiado dichos componentes, se procede con el diseño de cada componente que forma parte del Sistema emulador. La creación de una Interfaz Gráfica de Usuario para que el usuario pueda controlar desde la PC el dispositivo LPT conectado al sistema, la creación de un archivo INF único para que la PC reconozca el sistema emulador, la selección de los archivos DLL necesarios para manejar los puertos de la PC, y la escritura de un firmware con las funciones necesarias para que el microcontrolador maneje las diferentes tareas de la interfaz; forman parte de las tareas que comprenden la segunda etapa.

Palabras Clave – Sistemas Embebidos, Protocolo USB, Protocolo LPT, Codiseño HW/SW .

I. INTRODUCCIÓN

Este proyecto está orientado a la reutilización de dispositivos electrónicos utilizados por personas que sufran algún tipo de discapacidad. Integrándose a otros proyectos (distintos tipos de switch, control de entorno, etc.) que surgieron dentro del UNITEC (Unidad de Investigación y Desarrollo para la Calidad de la Educación en Ingeniería con orientación al uso de TIC), con el fin de brindar los elementos necesarios para solucionar las dificultades que les impiden en normal aprendizaje a personas que sufran algún tipo de discapacidad.

A partir de la necesidad de que ciertos dispositivos no queden obsoletos, el proyecto contempla el estudio del funcionamiento de los diferentes protocolos para luego diseñar, tanto en Hardware como en Software, la solución necesaria para que dichos dispositivos puedan seguir teniendo la utilidad a pesar de la modernización de los demás elementos dentro del entorno en que son utilizables. La elección del puerto USB como interfaz de adaptación, tiene que ver con la existencia del mismo en todas las computadoras actuales.

Tanto el Protocolo USB como el Protocolo LPT, forman parte fundamental del trabajo porque son los medios por los que la información viaja hacia los “extremos” de la Interfaz. La información se transmite por el medio USB entre la PC y la interfaz, luego en el dispositivo se añade el dato al medio LPT.

El microcontrolador MC9S08JM60 y la placa de desarrollo DEMOJM, conforman la totalidad del Hardware de la Interfaz. El microcontrolador se caracteriza por tener un Módulo controlador USB, con lo cual se justifica su elección debido al tipo de comunicación que se realiza en este proyecto. Particularmente el microcontrolador forma parte de la DEMOJM, ya que está última es la que acondiciona el camino de la información, que llega tanto de la PC como del dispositivo, para que el microcontrolador tenga la oportunidad de analizarla y procesarla según la función asignada.

Una GUI (Graphical User Interface) es una interfaz gráfica en la PC, en la que el usuario puede controlar o manipular el dispositivo conectado mediante el envío de diferentes tipos de datos. Para poder lograr este fin, la GUI utiliza archivos dll. Los archivos DLL, son los archivos que dan la posibilidad de manipular a gusto los periféricos de la PC, a través de funciones propias que cada dll brinda al usuario. En este caso, se utilizan dos archivos dll para poder manipular tanto los puertos paralelos LPT como los puertos USB de la PC a través de la creación de una GUI particular para el proyecto.

El archivo INF es un archivo de texto que contiene toda la información necesaria para que la PC

reconozca que tipo de dispositivo se conectó a ella y además se encarga de la instalación de drivers de dispositivos para los componentes de hardware. Cada tipo de dispositivo debe tener un archivo INF único. En este proyecto, se diseñó el archivo INF que contiene los datos necesarios para que a pesar de que la interfaz se conecte vía USB, la PC reconozca el dispositivo conectado como si fuera un LPT.

El firmware es el encargado de indicarle al microcontrolador como debe funcionar según la aplicación a la cual fue destinado. Está compuesto por archivos que contienen las configuraciones y las funciones de todos los elementos que componen al microcontrolador.

Tanto el Firmware, como el archivo INF y la GUI; forman parte fundamental de la comunicación entre la PC y el dispositivo. Para lograr este fin, tiene que existir algo que los vincule y que asegure la comunicación entre ellos. Como se observa en la figura 1, para lograr la conexión entre el archivo INF y la PC existe un identificador llamado GUID que figura tanto en la GUI como en el archivo INF y por el cual se asegura la conexión entre estos dos bloques. Para la conexión entre el archivo INF y el Firmware, los identificadores que deben estar presente tanto en el archivo INF como en el firmware para asegurar la conexión, son los descriptores USB como por ejemplo el PID y el VID.

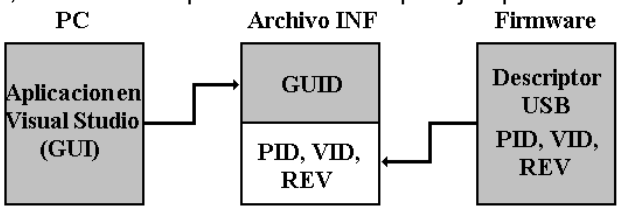


Figura 1. Diagrama en Bloques PC-INF-Firmware.

II. DESCRIPCIÓN DE DRIVERS Y LA GUI DE APLICACIÓN

La Interfaz Gráfica de Usuario, a la que se referirá como GUI hace el manejo de la computadora más intuitivo usando metáforas gráficas. La GUI es la herramienta necesaria que el Usuario tiene para poder manipular desde la PC el puerto paralelo LPT y el dispositivo LPT que se conecte al Sistema emulador. Esto se logra debido a que la GUI contiene los drivers necesarios para cumplir con las funciones de escribir y leer el puerto LPT de la PC y además enviar o recibir vía USB los diferentes tipos de información que provienen o se envían hacia el sistema emulador.

La composición de la GUI de este proyecto, se muestra en la figura 2, en donde se observa el registro de datos, el de estados y control.

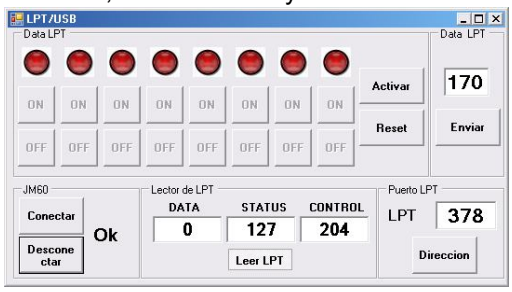


Figura 2. GUI creada para el proyecto

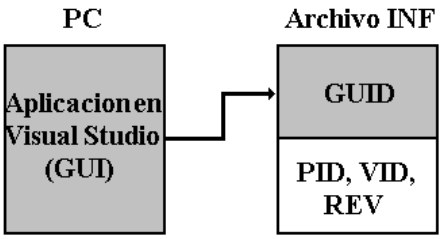


Figura 3. Conexión entre la GUI y archivo INF

La forma de vincular nuestra GUI con el archivo INF, es a través del identificador GUID, que es un número único que debe estar presente tanto en el archivo INF como en la GUI. Para esta última parte, este número se agrega en las propiedades de la dll que vincula la conexión USB [1], el archivo SimpleUSB.dll [2].

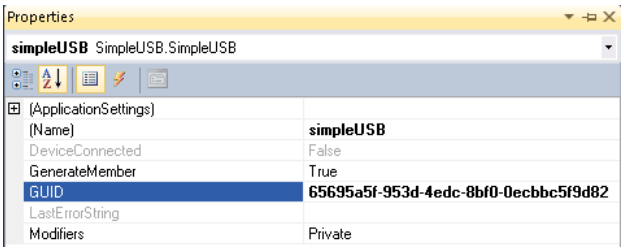


Figura 4. Declaración del GUID en el Visual Studio

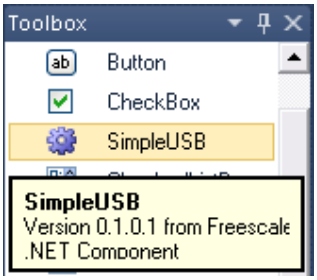


Figura 5. Icono del driver SimpleUSB

Por lo tanto, si se configura correctamente el GUID en la GUI y el INF se soluciona una parte de la conexión USB.

Para vincular el driver simpleusb.dll a una GUI, no hace falta más que arrastrarlo dentro del cuadro de herramientas (toolbox) del Visual Studio. Luego, aparecerá un ícono que representará al driver, como muestra la figura siguiente.

Luego, con solo arrastrar dentro del cuadro de diseño el ícono ya se tiene a disposición el driver en nuestra aplicación. Por lo tanto, con solo utilizar dentro del código las funciones que el driver tiene se podrá manipular el puerto USB como se necesite, tanto como para enviar como para recibir datos.

Es un poco más complicado vincular el archivo inpout32.dll ([4] y [5]). Para lograr dicha vinculación es necesario crear un archivo .cs, donde se contiene el llamado al archivo y la declaración de sus funciones. En la figura siguiente se observa dicha declaración que se encuentra en el archivo .cs creado.

```
[DllImport("inpout32.dll", EntryPoint = "Out32")]
public static extern void Output(int adress, int value);
[DllImport("inpout32.dll", EntryPoint = "Inp32")]
public static extern int Input(int adress);
```

Figura 6. Declaración del driver Inpout32.dll

Luego con solo llamar en el código principal de la aplicación a sus funciones, se podrán manipular sin ningún problema los puertos LPT.

III. FIRMWARE DEL MICROCONTROLADOR

El firmware es el software que contiene el microcontrolador, el cual contiene las diferentes funciones necesarias para manejar o controlar las tareas que el microcontrolador debe realizar. En esta aplicación el firmware es el encargado de contener toda la configuración y funciones necesarias para comunicar la placa DEMOJM, con la PC y con el dispositivo LPT. Además de encargarse de recibir los datos en formato USB provenientes de la PC y transformarlos para enviarlos en formato paralelos al dispositivo LPT.

Como se indica anteriormente, y como indica la figura 7, existen identificadores presentes tanto en el archivo INF como en el Firmware que deben coincidir sus valores para poder asegurar la conexión. Estos identificadores se conocen con el nombre de Descriptores USB [6],[7].

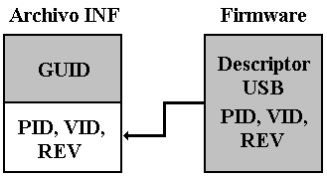


Figura 7: Conexión entre Archivo INF y el Firmware

A. *DESCRIPTORES DE USB*

Para lograr la conexión entre el archivo INF y el firmware que se encuentra en el microcontrolador, se requieren unos números identificadores característicos en una comunicación USB que proporcionan la información que define qué tipo de dispositivo se está queriendo conectar al host USB de la PC. A este tipo de números se los denomina Identificadores o Descriptores [6].

Todos los dispositivos USB tienen una jerarquía de descriptores que describen el dispositivo al host, con el siguiente tipo de información:

- Que dispositivo es.
- Quién lo fabrico.
- Qué versión de USB es compatible con él.
- De cuántas maneras puede ser configurado.
- El número de endpoints y sus tipos, etc.

Cada uno de estos ofrece una pequeña descripción del comportamiento del dispositivo. Los descriptores se encuentran en el archivo Usb_Description.c del firmware.

A continuación, se realiza una descripción de los descriptores que se modificaron para la aplicación.

B. *DESCRIPTORES DE DISPOSITIVOS*

Cada dispositivo USB conectado a un host USB debe tener un identificador único de proveedor o

fabricante (VID) [6], un identificador de producto (PID), la combinación de cadenas de serie (Serial Strings), entre otros identificadores. Estos en particular se encuentran dentro de los descriptores de dispositivo. Con el fin de funcionar correctamente estos valores deben figurar y coincidir tanto en el archivo INF como en el firmware, como se ve en la Figura 8 y 9.

```
; ========== Manufacturer/Models sections ===========

[Manufacturer]
%ProviderName% = Tesis,NTx86,NTamd64

[Tesis.NTx86]
%USB\MyDevice.DeviceDesc% =USB_Install, USB\VID_15A2&PID_0050&REV_0100

[Tesis.NTamd64]
%USB\MyDevice.DeviceDesc% =USB_Install, USB\VID_15A2&PID_0050&REV_0100
```

Figura 9. Declaración de los descriptores en el archivo INF

```
Usb_Descriptor.c
Path: C:\Documents and Settings\Administrador\Mis documentos\Visual ...\Usb_Descriptor.c
 *
 ************************************************************************
#include "Usb_Descriptor.h"

const USB_DEV_DSC Device_Dsc =
{
    sizeof(USB_DEV_DSC),    /* Size of this descriptor in bytes     */
    DSC_DEV,                /* DEVICE descriptor type               */
    0x0002,                 /* USB Spec Release Number in BCD format*/
    0x07,                   /* Class Code                           */
    0x01,                   /* Subclass code                        */
    0x00,                   /* Protocol code                        */
    EP0_BUFF_SIZE,          /* Max packet size for EP0,             */
    0xA215,                 /* Vendor ID    //little-endian for USB */
    0x5000,                 /* Product ID:  //little-endian for USB */
    0x0001,                 /* Device release number in BCD format  */
    0x01,                   /* Manufacturer string index            */
    0x02,                   /* Product string index                 */
    0x00,                   /* Device serial number string index    */
    0x01                    /* Number of possible configurations    */
};
```

Figura 8. Declaración de los descriptores en el Firmware

Los VIDs se utilizan generalmente para distinguir entre los diferentes proveedores o fabricantes de productos. En este caso se utiliza el VID que caracteriza a los productos de Freescale. Su número hexadecimal de VID es 15A2.

Los PIDs normalmente se utilizan para distinguir entre diferentes productos de un mismo fabricante. En este caso, el PID y el REV son a elección del desarrollador y sus valores hexadecimales son 0050 y 0100 respectivamente.

Otros valores importantes que se encuentran en los descriptores de dispositivos, son Class Code, Subclass Code y Protocol Code. Como se observa en la Figura 8, toman los valores 07, 01 y 00 respectivamente. Estos tres valores en conjunto indican que tipo de dispositivo se conecta, en este caso un dispositivo de comunicación de puerto paralelo.

C. DESCRIPTORES DE ENDPOINTS

Cuando se declara un endpoint, se define si es para una transferencia IN (dispositivo a la PC) o OUT (PC al dispositivo), el tipo de transferencia que soporta ya sea por interrupciones, isocrónicas, o a granel (bulk), cuantos datos soporta cada endpoint, etc [6].

En esta aplicación se utiliza solo dos endpoints del tipo bulk, ya que es el tipo de transferencia es más conveniente si se quiere enviar o recibir datos en formato del protocolo LPT. Los endpoints contienen una especie de paquetes de tamaño de 1 byte, por donde se envían los datos o información.

El endpoint 3 es el encargado del transportar los valores del Registro de Datos y de Control. Como en este proyecto el modo LPT a tratar es el modo unidireccional SPP, los valores de estos dos registros se transportan desde la PC al dispositivo LPT, por la tanto se configura al endpoint 3 como del tipo OUT.

Pero en el caso del endpoint 4 que se encarga de transportar los valores del Registro de Estados, el tipo de transferencia es del tipo IN porque en este registro el dispositivo LPT envía su estado a la PC. En la figura 10, se observa la declaración en el firmware de los endpoints a utilizar.

```
 /* Endpoint Descriptor*/
 /* Size of descriptor
                    Endpoint descriptor identifier
                           In or Out
                                    Endpoint type
                                            Max packet size
                                                              Interval
{sizeof(USB_EP_DSC), DSC_EP, _EP03_OUT, _BULK, (word)(UEP3_SIZE << 8), 0},
{sizeof(USB_EP_DSC), DSC_EP, _EP04_IN , _BULK, (word)(UEP3_SIZE << 8), 0}
```

Figura 10. Declaración del endpoint 3

```
struct
{
  byte bLength;
  byte bDscType;
  byte string[sizeof("Tesis")*2];
} const sd001
  ={
    sizeof(sd001),DSC_STR,
    'T',0,
    'e',0,
    's',0,
    'i',0,
    's',0
  };
```

```
struct
{
  byte bLength;
  byte bDscType;
  byte string[sizeof("LPT Virtual")*2];
} const sd002
  ={
    sizeof(sd002),DSC_STR,
    'L',0,
    'P',0,
    'T',0,
    ' ',0,
    'V',0,
    'i',0,
    'r',0,
    't',0,
    'u',0,
    'a',0,
    'l',0
  };
```

Figura 11. Descriptores de cadenas del proyecto

D. DESCRIPTORES DE CADENAS

Contienen la descripción del dispositivo en formato Unicode (strings) [6]. Está compuesto de tres estructuras de código, en las cuales se envía la información adicional del dispositivo. En este caso, se envía “LPT Virtual” que es la información que lee Windows apenas detecte el dispositivo cuando todavía no se le instalo el archivo INF. En la Figura 11, se observa el fragmento referido en el código del firmware.

IV. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA INTEGRADO

Para corroborar la funcionalidad del sistema emulador de puerto LPT, se utilizó una placa paralela que emula el funcionamiento del dispositivo LPT SPP a conectarse. En la figura siguiente se observa el diagrama en bloques del sistema para estas pruebas.

A través de la GUI se escribe y se lee el puerto LPT de la PC y sus datos son enviados hacia el firmware del microcontrolador a través de la conexión USB entre la PC y la interfaz DEMOJM. Este firmware se encarga de recibir losdatos y distribuir cada bit de información en los puertos configurados como salidas del microcontrolador. Los datos llegan al conector DB25 de la placa paralela y se reproducen sus valores en los leds que representan los tres registros del puerto paralelo.

B. Firmware

A. Conexión con el conector LPT

En este caso, se utilizan 8 pines del puerto PTD del microcontrolador para enviar los 8 bits del Registro de Datos, 5 pines del puerto PTE por el cual se envían los 5 bits más altos del Registro de Estados, y los 4 pines más bajos del Registro de Control se representan a través del puerto PTF.

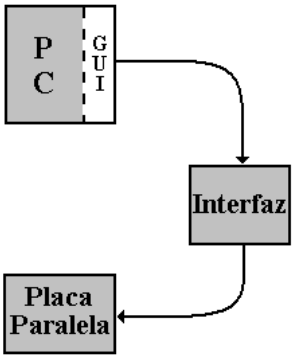


Figura 12. Diagrama en bloques

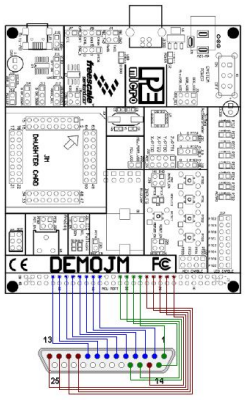


Figura 13. Conexión de los pines

En la figura 13, se observa la conexión entre los pines utilizados del microcontrolador y los pines del conector paralelo DB25. Los pines del conector DB25 del 2 al 8 son los correspondientes al Registro de Datos, del 10 al 13 y el 15 son los pines referidos al Registro de Estado y los pines 1, 14, 15 y 16 son los del Registro de Control. Además, los pines libres en el conector DB25 son líneas de masa o tierra (GND).

Los cambios necesarios para la aplicación, son básicamente los que se realizaron en el archivo principal (main.c), donde se habilitan y configuran los puertos a utilizar como salida, este tipo de configuración se realiza en el archivo de entradas y salidas de propósito general (GPIO.c). Otro archivo importante es el USB_User_API, este archivo tiene la funcionalidad de encargarse de toda la configuración referida a los endpoints que utiliza el firmware para comunicarse con la aplicación GUI.

V. RESULTADOS OBTENIDOS

A. Placa de Pruebas

Las pruebas se realizaron con una placa o entrenador que emula el funcionamiento de un dispositivo paralelo. Esta placa es parte de una serie de dispositivos que la Editorial Cekit editó como Cursos de Electrónica Aplicada. El cual contiene todos los elementos necesarios para que el usuario pueda armar la placa por su propia cuenta.La placa cuenta con la posibilidad de ser alimentada a través de una fuente incorporada a ella, pero en este caso se alimenta a través del pin 1 (Vdd) de la DEMOJM.

B. Pruebas del Registro de Datos

Existen dos formas de escribir el Registro de Datos del puerto LPT a través de la GUI. La primera es mediante la opción de modificar bit a bit el byte de dicho registro y la segunda es escribiendo el valor decimal que el usuario desee enviar como dato.

Básicamente, las pruebas realizadas consisten en testear los dos modos de escritura del Registro de Datos que tiene la GUI, y observar si los valores enviados son realmente los que llegan a la placa. Para

ello se utiliza otro programa llamado Monitor LPT. En la figura siguiente se realiza el envío del dato 169 desde el módulo que permite manipular bit por bit el registro. Los resultados son los mismos que se ven en el Monitor LPT.

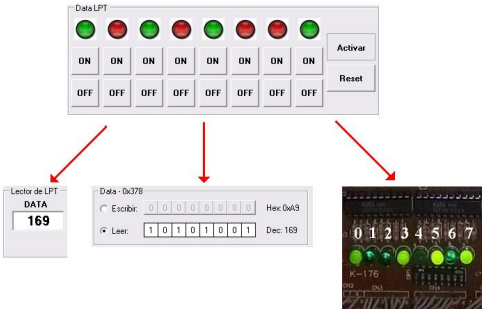


Figura 15. Envío de datos bit por bit al Registro de Datos

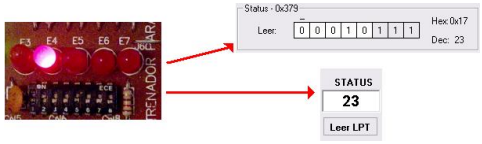


Figura 16. Prueba con el Registro de Estados

C. Pruebas del Registro de Estados

Se define al Registro de Estados como el registro encargado de ser el indicador del estado actual de los dispositivos LPT, tales como el estado ocupado, errores de la interfaz o de periférico. Este registro es solamente de lectura, por lo tanto el encargado de manipularlo es el mismo dispositivo LPT conectado.

La placa paralela tiene la opción de mediante un interruptor simular el valor que el dispositivo enviaría a la PC como dato de estado. En este caso se envía el valor que el dispositivo envía para indicar que todavía no está preparado para recibir datos, el valor BUSY se representa por el seteo del bit 4 del Registro de Estados en modo SPP. En la figura siguiente se observan los leds de la placa paralelo junto al interruptor DIP utilizado para simular el valor de BUSY y además se observan los resultados correctos obtenidos tanto en la GUI como en el programa Monitor LPT.

D. Pruebas Del Regisrto De Control

El registro de control es utilizado como control de la interfaz y señalización de establecimiento de comunicación (handshaking) de la PC al dispositivo.

En esta prueba, se setea el bit cero del registro de control con el fin de avisarle al dispositivo LPT que hay datos válidos en la línea de datos para serle enviados desde la PC. Esta función se la llama STROBE.

El seteo del bit se realiza con el programa Monitor LPT para constatar que también puede utilizarse otro programa en simultáneo a la GUI, siendo esta ultima la encargada de comunicarle al dispositivo los cambios realizados en el puerto físico paralelo a través del Monitor LPT.

En la figura siguiente se observa la escritura en el Monitor LPT y las predecibles lecturas en los Leds de la placa paralela y en el cuadro de lectura del registro de control de la GUI.

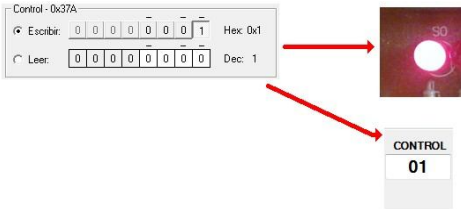


Figura 17. Prueba con el Registro de Contro

En base a estas pruebas realizadas se puede afirmar que los resultados obtenidos fueron más que satisfactorios, en cuanto a la implementación del protocolo LPT mediante el puerto USB. Pues, se demuestra que mediante los drivers diseñados y el firmware implementado en el Microcontrolador se puede implementar un puerto LPT virtual, en donde mediante el envío de datos se configuran los registros de dicho protocolo y se verifican los cambios mediante los programas mencionados.

VI. CONCLUSIONES

Se diseñó un programa de aplicación básico que utiliza el puerto paralelo virtual para el envío de datos. Dejando sentadas las bases para el diseño de cualquier programa que requiera una interfaz de datos con un dispositivo cualquiera que contenga un puerto paralelo. Mediante un conjunto de drivers genéricos se estableció una conexión entre las direcciones de los registros del puerto paralelo asignados por Windows con un puerto USB. Logrando que al conectar un dispositivo en el puerto USB, el mismo se enumere como un LPT virtual.

Por otro lado se configuró un sistema integrado básicamente por un JM60, mediante el

cual se reciben los datos por el puerto USB y se mapean al puerto paralelo de manera correcta. Dicho funcionamiento se plasmó en la placa de pruebas del puerto paralelo Cekit k-176 que permite visualizar el estado de los registros del puerto paralelo mediante leds.

De todos los modos de comunicación del LPT se implementó el unidireccional SPP. Aunque la idea principal fue tratar todos los modos de comunicación, se optó por solo tratar el modo SPP debido a la complejidad y extensión del código que hubiera sido necesario para tratar todos los módulos de comunicación del LPT.

VII. TRABAJO A FUTURO

La implementación del modo unidireccional SPP deja las bases necesarias para la implementación de los demás modos. Como diferencia principal, en los modos EPP y ECP el Registro de Datos es bidireccional. Por lo tanto deberá cambiarse tanto el firmware como la GUI con el fin de poder tener la posibilidad de recibir datos enviados desde el dispositivo paralelo. En este caso el Registro de Estados lo escribe el dispositivo LPT, por lo tanto el proceso de transferencia de datos de este registro deja el conocimiento para hacer las modificaciones necesarias en el Registro de Datos.

Se realizó la implementación en hardware mediante un kit de desarrollo que contiene el JM60 y algunos periféricos. Quedaría como trabajo a futuro el diseño de una placa que contenga el microcontrolador con el hardware necesario tanto para la comunicación USB, como para la comunicación con dispositivos con puerto LPT.

La utilización de los archivos DLL seleccionados nos permiten utilizar la GUI creada para este proyecto solamente en sistemas operativos de la firma de Windows. La tarea a futuro sería crear los propios archivos DLL o buscar nuevos DLL, e implementarlos con el fin que permitan utilizar la GUI en otros Sistemas Operativos.

REFERENCIAS

[1] “WinUSB Device”, msdn.microsoft.com, 2011.
[2] “SimpleUSB”, David Arnold, 2003.
[3] “Introducción a Visual Studio 2010”, msdn.microsoft.com, 2010.
[4] “Inpout32”, Logix4U.net, 2000.
[5] “Archivos DLL”, msdn.microsoft.com, 2011.
[6] Jan Axelson, USB Complete. Madison, Lakeview research,1999-2005.[7] Jan Axelson, USB Mass Storage. Madison, Lakeview research, 2006.

CONTROL DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CON ASISTENCIA DE RED PARA LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO*

García Clúa, José G.[1,2], Inthamoussou, Fernando A.[1], Cendoya, Marcelo G.[1], Mantz, Ricardo J.[1] y De Battista, Hernán [1]

[1] Lab. de Electrónica Industrial, Control e Instrumentación, LEICI, FI-UNLP.
[2] Dpto. de Ingeniería Química, FI-UNLP.
Calle 48 y 116, CC 91 (1900), La Plata, Argentina. E-mail: jose.garciaclua@ing.unlp.edu.ar

Palabras Claves: producción de hidrógeno, energía solar, control.

INTRODUCCIÓN

La capacidad de almacenamiento y transporte de energía de alta calidad hace del hidrógeno un excelente vector energético [1]. Debido a que no se encuentra naturalmente aislado, este elemento requiere una determinada cantidad de energía para su extracción de diversas fuentes, las cuales se pueden clasificar en combustibles fósiles, biomasa o agua [2]. Entre los diversos métodos de producción de hidrógeno existentes se destaca la electrólisis del agua, cuya principal ventaja es que admite la energía eléctrica generada a partir de fuentes renovables. El hidrógeno producido de esta manera queda exento de emisiones de carbono, condición necesaria para que este vector energético constituya una alternativa sustentable a los combustibles fósiles [3].

La disminución progresiva de costos de las tecnologías eólica y solar desde los años '70 ha hecho posible que en la actualidad la electrólisis a partir de la energía eléctrica generada por éstas sea una opción viable en términos económicos [4]. Este trabajo considera el aprovechamiento de la energía solar a partir de la conversión fotovoltaica (PV), cuyo potencial es tal que un país en particular podría cubrir en teoría la demanda total de combustible con hidrógeno basado en este recurso renovable [5]. Sin embargo las variaciones estacionales y condiciones climáticas locales hacen de éste un recurso fuertemente estocástico. Por lo tanto uno de los mayores desafíos es compatibilizar la variabilidad de la energía entregada por los paneles fotovoltaicos con los requerimientos de operación de los electrolizadores para garantizar especificaciones de calidad y eficiencia de la electrólisis.

Los electrolizadores alcalinos constituyen la tecnología más madura para realizar la electrólisis. Entre las ventajas que los tornan comercialmente competitivos, especialmente en baja y mediana escala, se destacan la eficiencia del proceso y la pureza del gas producido [1]. Algunos de los requerimientos de operación impuestos por el fabricante son los que se describen en [6]:

1. Mantener la corriente por encima de un valor mínimo (típicamente 25-40% de la corriente nominal), si se desea operar con una eficiencia suficiente y producir los gases con una pureza aceptable.
2. Operar a corriente fija nominal para obtener la máxima tasa de producción de hidrógeno, la cual es proporcional a la transferencia de carga.
3. Operar a corriente fija de mantenimiento, para evitar interrupciones bruscas que pueden acelerar la corrosión de los electrodos e incrementar la difusión de gases.

Para la implementación de los sistemas de producción PV de H_2 se han propuesto en la literatura diversas configuraciones [7-10]. El presente trabajo evalúa un sistema de producción PV de H_2 con asistencia de red y acoplamiento DC. Este sistema consiste básicamente

* Artículo publicado en las Actas de HYFUSEN 2011 (Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energía: IV Congreso Nacional – III Congreso Iberoamericano). 6 al 9 de junio de 2011. Mar del Plata (01-77).

en paneles fotovoltaicos, convertidor DC/DC, electrolizador e inversor para la conexión a red. La asistencia de la red sólo tiene por objeto aportar las condiciones de operación que den grados de libertad para cumplir las especificaciones, pero su participación aquí es reducida al máximo para garantizar la producción limpia de H_2 (es decir, sólo a partir de recursos renovables). El control que se propone hace hincapié en los problemas para conciliar los requerimientos de la conversión fotovoltaica con los de la electrólisis previamente citados. El control del convertidor de los paneles compatibiliza la generación fotovoltaica con los requerimientos básicos de operación del electrolizador dando prioridad al rendimiento de conversión del recurso renovable. En forma complementaria, el control del inversor del lado de la red permite establecer condiciones de calidad del suministro de potencia para garantizar la calidad del H_2 producido y la vida útil del electrolizador. El control global del sistema juega un papel fundamental en la interacción de tales controles individuales, por lo que se propone un supervisor encargado de comandarlos. Desde el punto de vista teórico la síntesis de éste se efectúa con base en conceptos de sistemas de control híbrido. Para satisfacer los requisitos expuestos se aplica como criterio minimizar el aporte de potencia de la red, el cual se verifica con resultados de simulación.

MÉTODOS

I)-MODELO DEL ACOPLAMIENTO DC DE UN SISTEMA PV-H_2 ASISTIDO POR RED

Para el sistema de producción PV de H_2 bajo estudio se propone una de las configuraciones representadas con el esquema de acoplamiento DC de la Fig.1 [7-9]. La posición de las llaves indica la existencia o no de conexión a la red eléctrica y/o reutilización del H_2 producido mediante celdas de combustible. La conexión a red se realiza a través de un inversor y su función aquí es proporcionar un soporte para poder satisfacer la demanda de producción de H_2 independientemente de las variaciones de la radiación solar. Según se destaca en la Fig.1, en este trabajo el hidrógeno almacenado no se reutiliza para inyectar energía eléctrica al sistema, por lo que su demanda puede ser para combustible de transportes u otras aplicaciones [10]. El acoplamiento DC tiene la ventaja de que la tensión y frecuencia de la red es independiente de las fuentes conectados al bus común de tensión continua, que en nuestro caso son los subsistemas de conversión PV (paneles fotovoltaicos - convertidor DC/DC) y de producción de H_2 (electrolizador). Otra ventaja de esta estructura es que reduce el número de convertidores intervinientes, por lo que se obtiene una mejora tanto en la eficiencia como en el costo total [11]. Téngase en cuenta que puede simplificarse aún más esta configuración eliminando el convertidor DC/DC que conecta el electrolizador al bus común, si el dimensionamiento de éste es el adecuado.

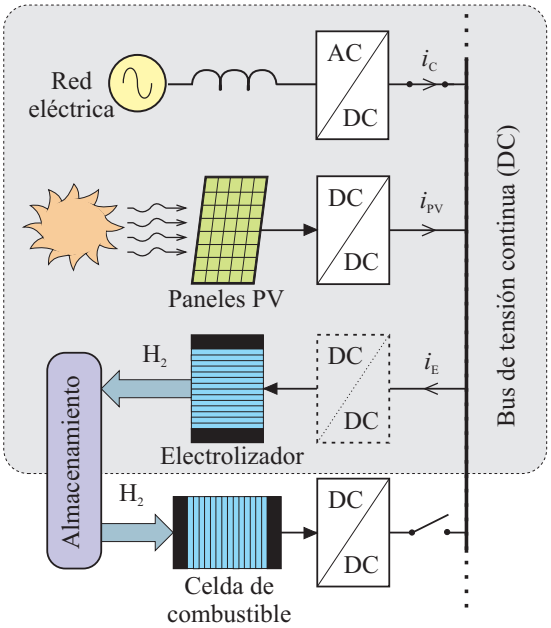


Figura 1.
Esquema de producción PV de H_2 con acoplamiento DC

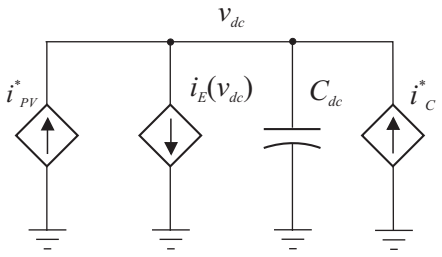


Figura 2.
Circuito equivalente del acoplamiento DC

El comportamiento eléctrico de los subsistemas acoplados al bus común de tensión continua v_{dc} se puede caracterizar con fuentes de corriente controladas conectadas en paralelo, como se muestra en el circuito de la Fig.2. El capacitor C_{dc} a la salida del inversor permite suavizar las fluctuaciones debidas al desbalance de potencia. La dinámica del bus resulta dominante respecto de la de los subsistemas, por lo que para los fines de este trabajo éstos se van a representar con las curvas estáticas que se describen a continuación.

Subsistema de conversión PV

Dado un panel solar de n_p módulos en paralelo y n_s celdas en serie cada uno, la ec.(1) expresa explícitamente la dependencia de su corriente i_S con su tensión en bornes v_S:

$$i_S = n_p \left[I_{ph}(\lambda, T_S) - I_{rs}(T_S) \left(\exp\left(\frac{v_S}{n_s V_T} \right) - 1 \right) \right], \tag{1}$$

donde I_{ph} e I_{rs} son corrientes en cada celda dependientes de su temperatura T_S. La primera es generada por radiación solar λ y la segunda es la corriente inversa de saturación de la juntura *pn*. La tensión umbral V_T es proporcional a T_S. Por simplicidad se despreciaron las resistencias paralelo y serie de las celdas. El convertidor DC/DC actúa como interfaz entre el panel solar y el bus común, adaptando la tensión v_S al valor v_{dc}. Se elige un convertidor elevador *boost* porque permite obtener $v_{dc}/v_S > 1$. Dicho cociente en estado estacionario está dado por el ciclo de trabajo de la llave electrónica comandada por el control del convertidor. Distintas estrategias de control más conocidas como técnicas MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) se han propuesto para extraer la máxima potencia del panel (p^*_S) [12]. Cualquiera de éstas busca aproximar con mínimo error la tensión v_S a la siguiente expresión:

$$v_S^*(\lambda, T_S) = n_s V_T \left[W\left(\exp(1) \left(\frac{I_{ph}}{I_{rs}} + 1 \right) \right) - 1 \right], \tag{2}$$

donde $W(x)$ es la función de Lambert que satisface $x = W \exp(W)$ [13]. Si se desprecian las pérdidas, la potencia p_{PV} de salida del convertidor es igual a la de entrada, p_S. Bajo esta hipótesis el subsistema de conversión PV con control MPPT se puede representar con una fuente de corriente i^*_{PV} dependiente de la radiación, la temperatura y la tensión del bus según la siguiente expresión:

$$i_{PV}^*(\lambda, T_S, v_{dc}) = \frac{p_{PV}^*}{v_{dc}} = \frac{i_S(v_S^*) v_S^*}{v_{dc}}. \tag{3}$$

En la Fig.3 se representan en un plano tensión - corriente los puntos de operación (v_{dc}, i^*_{PV}) del subsistema de conversión PV a simular. Éstos se ubican en las curvas de trazo fino generadas con valores discretos de λ y valor de T_S fijo.

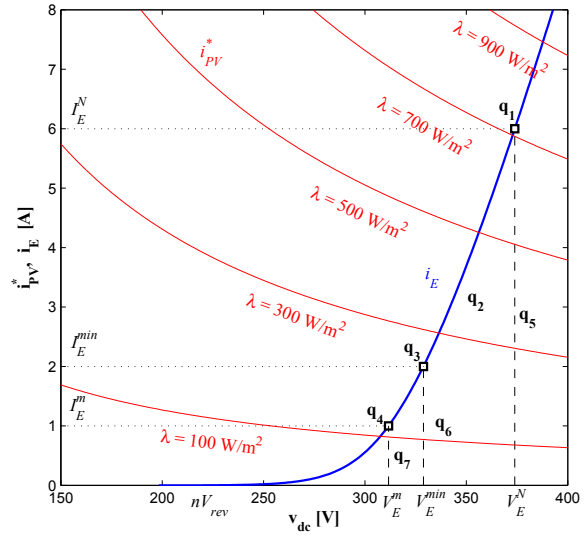


Figura 3. *Plano tensión-corriente de los subsistemas acoplados.*

Subsistema de producción de H_2

El electrolizador alcalino se puede modelizar con una fuente de corriente i_E dependiente de su tensión en bornes. Si no media un convertidor DC/DC dicha tensión es directamente la del bus. La dependencia de i_E con u_{dc} se expresa con la siguiente curva empírica [14]:

$$i_E = A\left[\frac{s}{r}W\left(\frac{r}{st}\exp\left(\frac{1}{s}\left(\frac{v_{dc}}{n} - V_{rev} + \frac{r}{t}\right)\right)\right) - \frac{1}{t}\right], \quad (4)$$

donde n es el número de celdas electrolíticas conectadas en serie, V_{rev}, la tensión reversible por celda, A, la superficie de electrodo, {r, s, t}, coeficientes dependientes de la temperatura del electrolito y $W(x)$, la función de Lambert. En la Fig.3 se muestran los puntos de operación (v_{dc}, i_E) del electrolizador propuesto, los cuales se ubican en la curva de trazo grueso del plano tensión - corriente. La tasa de producción de hidrógeno f_{H2} queda establecida por i_E según la siguiente ley proporcional [14]:

$$f_{H_2} = \eta_F \frac{nV_m}{zF} i_E, \quad (5)$$

donde η_F es la eficiencia de corriente, z = 2, el número de electrones transferidos por molécula de H_2, F, la constante de Faraday y V_m, el volumen molar de un gas ideal en condiciones normales.

Subsistema de conexión a red

La conexión de la red eléctrica se realiza a través de un inversor trifásico alimentado por tensión. Éste se compone de tres pares de llaves bidireccionales. Cada par es comandado con la señal de control w_k, $k \in$ {1, 2, 3}, la cual toma el valor 1 cuando conduce la llave superior y -1 cuando lo hace la inferior. La alimentación proveniente de la red se representa con un sistema trifásico perfecto de tensiones y corrientes sinusoidales e_k e i_k respectivamente. Para el diseño del controlador resulta conveniente transformar las ternas e_k, i_k y w_k en los pares (e_d, e_q), (i_d, i_q) y (w_d, w_q) del marco de referencia en cuadratura d-q. Actuando sobre w_d y w_q el controlador regula las corrientes i_d e i_q que producen la siguiente corriente media a la salida del convertidor:

$$i_C = \frac{3}{4}\left(w_d i_d + w_q i_q\right). \quad (6)$$

Por lo tanto el subsistema de conexión a red se puede representar con una fuente de corriente dependiente del control de conmutación de las llaves. En este trabajo se aplica el control del inversor propuesto en [6]. En el plano tensión-corriente de la Fig.3 el estado estacionario de i_C se puede visualizar como la diferencia de i^*_{PV} e i_E, dado que no se deriva corriente por el capacitor C_{dc} cuando el circuito equivalente se encuentra en equilibrio.

II)- CONTROL SUPERVISOR DISCRETO

Los electrolizadores admiten distintos modos de operación que se caracterizan por la corriente i_E suministrada. Como se describió previamente, con la corriente nominal I^N_E el electrolizador entrega la máxima tasa de producción de H_2, f^N_{H2}. Con corrientes dentro del intervalo (I^{min}_E, I^N_E) se genera H_2 dentro de las especificaciones a la tasa f^*_{H2}. Por tanto a la corriente I^{min}_E corresponde la mínima tasa de H_2 de pureza aceptable, que llamamos f^{min}_{H2}. Por último, con la corriente I^m_E el electrolizador opera en modo mantenimiento, donde el escaso H_2 producido se desecha a causa de su impureza.

Estas cuatro formas de operar del electrolizador se relacionan con el tipo de alimentación disponible. Si se dispusiera únicamente del subsistema de conversión PV, la operación del electrolizador dependería de la radiación incidente, la cual afecta necesariamente la referencia de potencia de control del convertidor. Si la alimentación proviniera sólo de la red, la elección del modo podría basarse en requerimientos de la producción ajustando la referencia de tensión del bus al control del inversor. Cuando se dispone de ambas fuentes de energía el problema de control se vuelve más complejo debido a las posibilidades de combi-

nación de referencias de los respectivos controles. La Tabla I presenta siete combinaciones de interés, las cuales son tratadas como estados discretos q_i del sistema (ver Fig.3).

q	p^{ref}_{PV}	v^{ref}_{dc}	$Dom(q)$	f_{H2}
q_1	P^N_E	V^N_E	$i^*_{PV} \geq I^N_E$	f^N_{H2}
q_2	p^*_{PV}	v^*_{dc}	$I^{min}_E < i^*_{PV} < I^N_E$	f^*_{H2}
q_3	P^{min}_E	V^{min}_E	$i^*_{PV} \geq I^{min}_E$	f^{min}_{H2}
q_4	P^m_E	V^m_E	$i^*_{PV} \geq I^m_E$	0
q_5	p^*_{PV}	V^N_E	$i^*_{PV} < I^N_E$	f^N_{H22}
q_6	p^*_{PV}	V^{min}_E	$i^*_{PV} < I^{min}_E$	f^{min}_{H2}
q_7	p^*_{PV}	V^m_E	$i^*_{PV} < I^m_E$	0

Tabla I. *Estados discretos del sistema PV-H_2.*

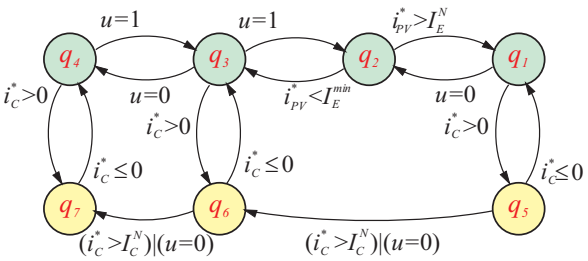


Figura 4. *Autómata híbrido que modeliza las transiciones discretas del control supervisor.*

Los controles de cada subsistema necesitan un supervisor que les indique las referencias que deben fijar (estado q_i) con base en algún criterio particular, lo que comúnmente recibe el nombre de "gestión de energía". En este trabajo el criterio es satisfacer la demanda de H_2 minimizando el aporte de energía asociado a la asistencia de la red. La demanda se representa con la variable discreta u que indica el estado del medio de almacenamiento de H_2 ('u = 1':'vacío' y 'u = 0':'lleno'). El aporte de la red se monitorea con la corriente del inversor i^*_C, que es una variable continua. La síntesis del supervisor consiste en determinar una ley de conmutación entre estados discretos según la evolución de estados continuos y discretos de entrada. Esta interacción entre estados continuos y discretos se denomina híbrida y se puede modelizar con autómatas híbridos [15]. La Fig.4 muestra el autómata que modeliza las acciones de un control supervisor diseñado con base en el análisis de los aspectos energéticos y dinámicos del sistema híbrido bajo estudio.

RESULTADOS DE SIMULACIÓN

Para evaluar el desempeño del control supervisor propuesto se simuló un modelo del sistema PV-H_2 con un panel solar de 3.5 kW (n_p = 8 y n_s = 300) y un electrolizador alcalino de 2.25 kW (n = 179 y A = 17 cm^2). La corrientes de operación del último son I^N_E = 6 A, I^{min}_E = 2 A y I^m_E = 1 A. En la Fig.5 se muestran los resultados de simulación para el caso de demanda alta de H_2.

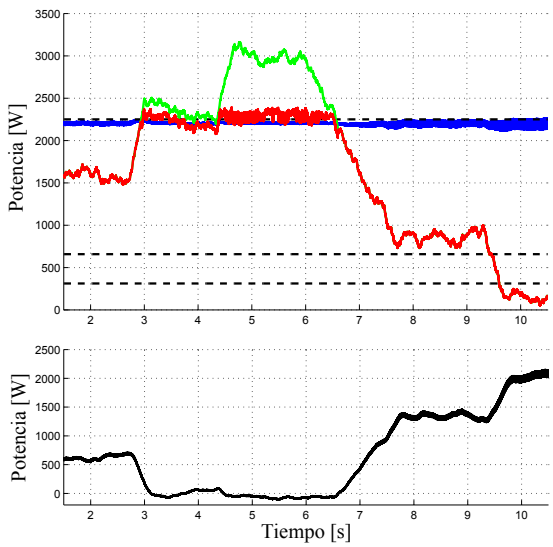


Figura 5. *Simulación del sistema PV-H_2 con control supervisor para el estado 'u = 1'.*

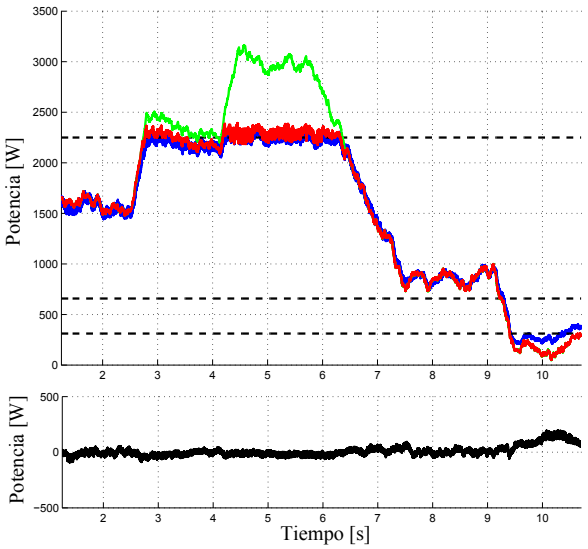


Figura 6. *Simulación del sistema PV-H_2 con control supervisor para el estado 'u = 0'.*

La secuencia de estados transitados q_5 - q_1 - q_5 satisface la potencia nominal del electrolizador (curva azul). Esta situación se mantiene porque la potencia suministrada por la red (curva negra) no supera el valor P^N_C admitido. El mayor suministro desde la red coincide con la mínima potencia solar extraída (curva roja) alrededor de los 10 s. Esta última es la máxima disponible (curva verde) en los tiempos donde no supera la nominal del electrolizador.

La Fig.6 ilustra la situación de baja demanda para un mismo perfil de radiación solar. Aquí la secuencia q_2 - q_1 - q_2 - q_3 permite que la potencia del electrolizador (curva azul) se mantenga dentro de los límites de calidad gracias al nivel de radiación extraída (curva roja), que hace prácticamente innecesario el aporte de energía de la red (curva negra). Finalmente la fuerte caída de radiación disponible (curva verde) fuerza la secuencia q_4 - q_7, por la cual la red aporta parte de la potencia de mantenimiento.

CONCLUSIONES

La electrólisis del agua es un método de producción de H_2 libre de emisiones de $C0_2$ cuando se asocia con las tecnologías renovables. Un sistema PV-H_2 constituye una de las opciones más viables de implementación de este concepto. Entre las diversas configuraciones propuestas para dicho sistema, en este trabajo se consideró la que acopla los paneles solares y el electrolizador a un bus de tensión continua e incluye conexión a la red eléctrica. La participación de la red tiene como fin compatibilizar los requerimientos de los electrolizadores con la variabilidad del recurso solar. Desde el punto de vista del control esta configuración ofrece interesantes desafíos en lo que se refiere a la coordinación de los controles del convertidor de los paneles y el inversor de la red. Para los fines del análisis de las distintas situaciones de control se propuso un modelo simplificado que permite identificar estados discretos en un plano tensión-corriente. Se sintetizó un control supervisor que conmutando entre dichos estados satisface la demanda de H_2 con la condición de reducir al mínimo la potencia vinculada a la asistencia de la red. Mediante esta estrategia de control se prioriza la producción de H_2 “limpio”. Se obtuvieron resultados de simulación que próximamente serán contrastados con datos experimentales de un prototipo a escala en preparación.

Bibliografía

[1] Zoulias E. y Lymberopoulos N., “Hydrogen-based autonomous power systems”, Ed. Springer, 2008, pp. 25-40.
[2] Edwards P., Kuznetsov V., David W. y Brandon N., En. Policy, **36**, 2008, 4356-62.
[3] Dunn S., Int. J. Hydrogen Energy, **27**, 2002, 235-264.
[4] Levene J., Mann M., Margolis R. y Milbrandt A., Solar En., **81**, 2007, 773-780.
[5] Kroposki B., Levene J., Harrison K., Sen P. y Novachek F., National Renewable Energy Laboratory’s tech. report, NREL/TP-581-40605, 2006.
[6] García Clúa J., De Battista H. y Mantz R., Int. J. Hydrogen Energy, **35**, 2010, 5786-92.
[7] Barbir F., Solar Energy, **78**, 2005, 661-669.
[8] Deshmukh S. y Boehm R., Ren & Sust Energy Reviews, **12**, 2008, 2301-2330.
[9] Zhou T., “Control and Energy Management of a Hybrid Active Wind Generator…”, PhD thesis, 2009, pp. 15-21.
[10] Korpås M. y Greiner C., Renewable Energy, **33**, 2008, 1199-1208.
[11] Fingersh L., National Renewable Energy Laboratory’s tech. report, NREL/TP-500-34364, 2003.
[12] García Clúa J., Mantz R. y De Battista H., Int. J. Hydrogen Energy, **33**, 2008, 3455-3459.
[13] Jain A. y Kapoor A., Solar Energy Materials & Solar Cells, **81**, 2004, 269-277.
[14] García Clúa J., Mantz R. y De Battista H., Applied Energy, **88**, 2011, 1857-1863.
[15] Lunze J. y Lamnabhi-Lagarrigue F., “Handbook of Hybrid Systems Control”, Cambridge Univ. Press, 2009, pp. 59-71.

ELECTRODOS CAPACITIVOS. CAPTURA DE SEÑALES BIOMÉDICAS SIN CONTACTO

Spinelli, Enrique; Haberman, Marcelo; García Pablo García y Guerrero Federico

LEICI, Departamento de Electrotecnia, Fac. de Ingeniería, UNLP
CC 91 (1900) La Plata, spinelli@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: amplificador para biopotenciales, electrodos activos, electrodos capacitivos.

1. Introducción

Las líneas de investigación actuales en adquisición de biopotenciales, apuntan a mantener una alta calidad en las señales reduciendo la invasividad. Esta tendencia se observa tanto en técnicas diagnósticas como en dispositivos de asistencia. Con este objetivo, a partir del año 2000 varios grupos de investigación comenzaron a desarrollar métodos para adquirir biopotenciales en forma capacitiva, es decir a través de una película dieléctrica sin utilizar gel conductor (Harland *et al*, 2000). De este modo, el electrodo sólo se apoya sobre la piel o sobre la ropa del paciente: el contacto, como se muestra en la Fig. 1, es a través de un plástico o de una tela y se evitan así todo tipo de problemas de alergias o irritaciones por el uso prolongado de electrodos.

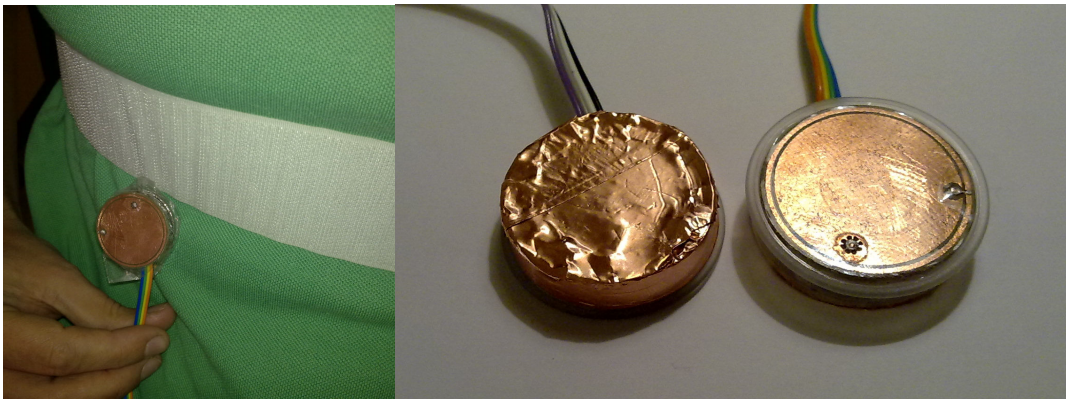


Figura.1 Electrodos capacitivos. Los biopotenciales son captados a través de la ropa o sobre la piel, a través de un film dieléctrico.

El esquema de medida es muy simple y consiste básicamente en un amplificador acoplado en alterna (Fig.2 (b)); las dificultades que plantea no son conceptuales sino tecnológicas y el problema no es complejo sino complicado. Cuando se capturan biopotenciales a través de la ropa, la capacidad de acoplamiento C_S es de apenas decenas de pF, exigiendo impedancias de entrada de cientos de GΩ para conseguir bajos niveles de ruido y frecuencias de corte compatibles con señales biomédicas (centésimas de Hz).

Las altas impedancias involucradas hacen a esta técnica muy vulnerable a fuentes de interferencia electromagnética, y demandan técnicas específicas de blindaje. Además, las bajas capacidades de acoplamiento ponen de manifiesto el efecto de pequeñas capacidades parásitas y de la capacidad de entrada de los amplificadores, siendo necesario neutralizar sus efectos. Todo esto exige incorporar circuitos accesorios que, corrigiendo un aspecto, necesariamente degradan otro, por ejemplo el ruido propio del electrodo.

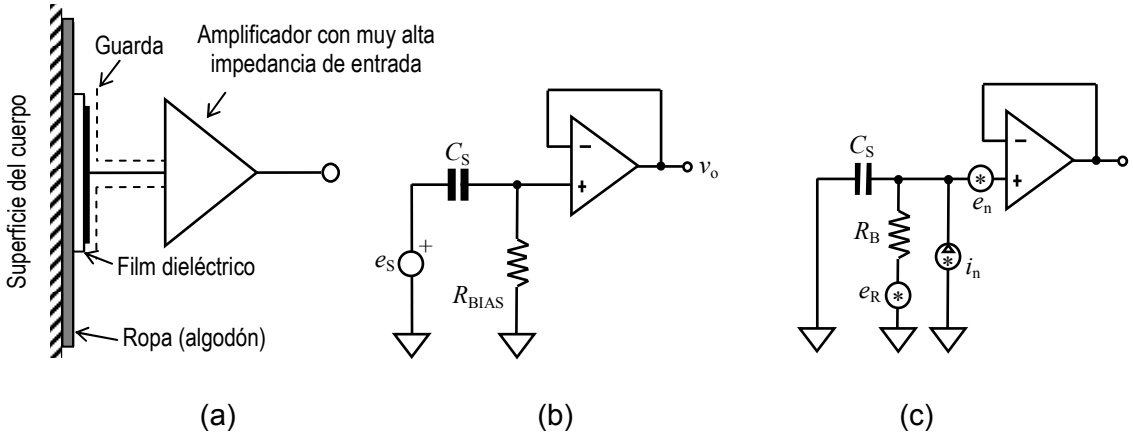


Figura 2. (a) Esquema general del método de medida, (b) su circuito equivalente y (c) incluyendo las principales fuentes de ruido.

2. Desarrollo de un Electrodo Capacitivo

Estimación del nivel de ruido

Las principales fuentes de ruido en un electrodo capacitivo son la tensión de ruido del resistor de polarización y el ruido propio del amplificador operacional AO (tensión de ruido e_n y corriente de ruido i_n). Incorporando estas fuentes de ruido al circuito simplificado de la Fig.2 (b) , resulta el circuito de la Fig.2 (c). El resistor de polarización R_B aporta ruido, pero es necesario para brindar un camino a las corrientes de polarización del AO, que de otro modo se integrarían en la capacidad C_S llevando al amplificador a su saturación.

La densidad espectral (PSD) de ruido e_o, para frecuencias por encima de la frecuencia de corte de ruido $f_N=(2\pi R_{B\cdot EQ}C_S)^{-1}$, pude aproximarse por (Spinelli & Haberman, 2010):

$$e_o^2 \approx \frac{kT}{(\pi C_S f)^2}\frac{1}{R_B} + \frac{i_n^2}{(2\pi C_S f)^2} + e_n^2 \qquad (1)$$

Integrando esta PSD en el ancho de banda de interés definido entre las frecuencias de corte inferior y superior f_1, f_2, respectivamente, el ruido total queda dado por:

$$E_o^2 = \int_{f_1}^{f_2}\left(\frac{kT}{(\pi C_S f)^2}\frac{1}{R_B} + \frac{i_n^2}{(2\pi C_S f)^2} + e_n^2\right)df \qquad (2)$$

Considerando que el ancho de banda usualmente es de varias décadas (f_2>>f_1), esta expresión puede aproximarse como:

$$E_o^2 \approx \frac{kT}{(\pi C_S)^2}\frac{1}{R_B f_1} + \frac{i_n^2}{(2\pi C_S)^2}\frac{1}{f_1} + E_n^2 \qquad (3)$$

Se observa aquí que para conseguir bajos niveles de ruido son deseables altos valores de C_S, R_B y f_1 y, como era de esperar, amplificadores con bajos niveles de ruido en corriente y en tensión i_n, e_n. También se observa en (3) que el ruido no depende de la frecuencia de corte superior f_2 sino exclusivamente de f_1. El aporte de R_B al ruido es significativo para valores menores que un valor crítico $R_{B.C}$ dado por $R_{B.C} = 4kT/i_n^2$.

Valores típicos de los parámetros

Algunos de estos parámetros están impuestos por las condiciones de medida; por ejemplo C_S es de algunas decenas de pF (≈10-20pF) cuando se capturan biopotenciales a través de

telas de algodón, hasta algunas centenas (≈100-200pF) cuando el electrodo se apoya sobre la piel con un film dieléctrico delgado.

La frecuencia de corte inferior f_1 depende de la aplicación, siendo de 0.05 Hz para electrocardiograma (ECG) hasta algunas decenas de Hz en algunas aplicaciones de electromiograma (EMG) (f_1≈0.05-20Hz). Considerando las bajas capacidades de acoplamiento C_S, para conseguir frecuencias de corte de ruido f_N por debajo de f_1, para ECG el resistor R_B debe ser cientos de GΩ, siendo deseables valores de R_B de alrededor de 1 TΩ. En cuanto a las características de ruido del amplificador, para OA de bajo ruido con alta impedancia de entrada (CMOS, JFET) son típicos valores de ruido en corriente de 0.1-1 fA/√Hz. El ruido en tensión no es un parámetro importante pues usualmente su contribución no es significativa frente a los dos primeros términos de (3).

Por ejemplo, adquiriendo ECG a través de un tela de algodón (C_S=10pF), con f_1=0.05, f_2=100Hz y una R_B =1 TΩ; utilizando como AO el OPA320 (i_n=0.6fA/√Hz, e_n=0.6μV_{RMS} de 0.05 a 100Hz), resulta un ruido total E_O a la salida de 42μV_{RMS}: un nivel de ruido algo elevado aun para ECG, que se reduce a 4.4 μV_{RMS} para una capacidad de acoplamiento de 100pF. En este caso la resistencia de polarización crítica $R_{B.C}$ es de 46 GΩ.

El circuito de Fig. 2 (b) representa un modelo limitado, digamos "ideal". Un electrodo capacitivo "real" necesita algunos circuitos adicionales para la neutralización de la capacidad de entrada C_{in} de los AO y el manejo de una *guarda activa* para evitar el ingreso de interferencia por campo eléctrico (Fig.3 (a)). El nodo de entrada, que corresponde a la entrada no-inversora del AO, es el punto más sensible del circuito y es necesario "cubrirlo" con una *guarda activa*, es decir con un conductor que se encuentre a su mismo potencial. De este modo, no existirá diferencia de potencial entre este nodo y la guarda que lo circunda y no ingresarán corrientes al nodo desde el exterior de la guarda. El AO deberá manejar la capacidad C_{SH} entre la entrada del AO y la guarda (Fig. 4), para mantener el potencial de ésta independientemente de la corriente que circule por ella. Esta capacidad C_{SH} también incluye la capacidad de entrada de modo diferencial del AO.

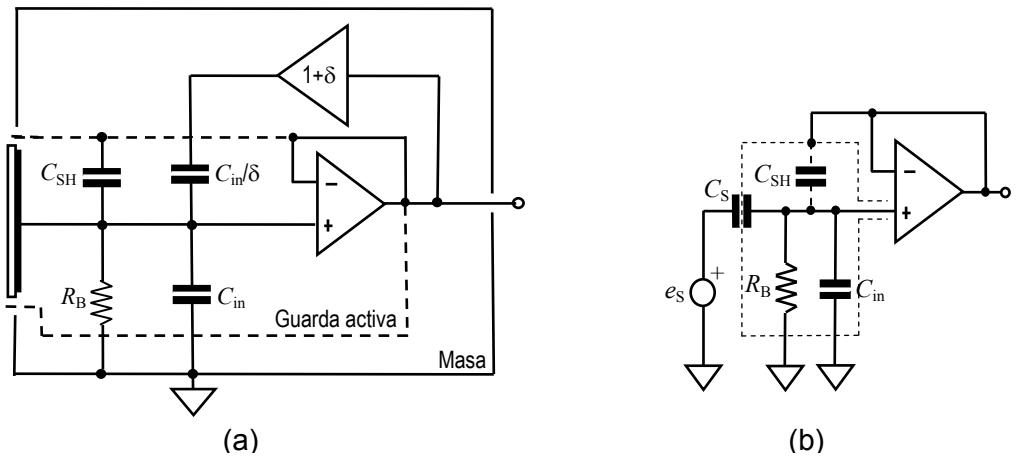


Fig. 3. (a) Esquema de un electrodo capacitivo con circuitos de guarda activa y neutralización de capacidad de entrada. (b) Circuito equivalente simplificado para análisis de los efectos de la guarda activa.

Neutralización de la capacidad de entrada Cin

La capacidad de entrada de los AO puede ser del orden de la capacidad de acoplamiento C_S. Dado que esta última capacidad es fuertemente variable, debido al efecto divisor de potencial (Huhta & Webster, 1973), una tensión de modo común V_{CM}, puede producir significativa tensión de modo diferencial V_D, degradando el rechazo de la tensión de modo

común producida por la tensión de línea (Fig 4 (a)). Los efectos de la capacidad C_{in} pueden neutralizarse utilizando el esquema de la Fig. 4 (b) donde, mediante una realimentación positiva de ganancia (1+δ), a través del capacitor C_C se inyecta en el nodo de entrada una corriente idéntica a la que circula por C_{in}. De este modo, las variables eléctricas del circuito toman los valores que corresponden a un circuito sin C_{in}: sus efectos son neutralizados.

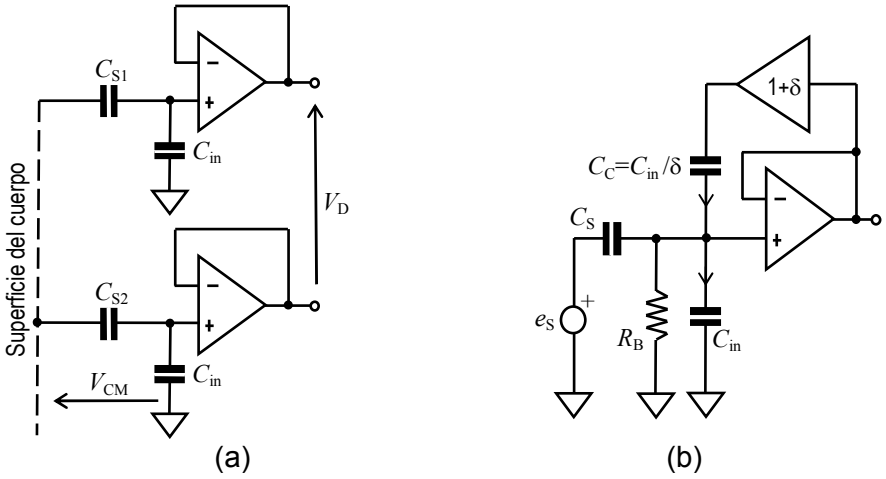


Figura 4. (a) Efecto divisor de potencial. Debido a desbalances en las capacidades de acoplamiento C_{Si}, una tensión de modo común V_{CM} produce tensión de modo diferencial. (b) Esquema simplificado del circuito de neutralización de C_{in}.

Efecto de la neutralización y guarda activa en el ruido total

Como se comentó previamente, el ruido en tensión del amplificador en general no contribuye significativamente al ruido total dado por (3), pero tanto la neutralización como la guarda activa, son técnicas que utilizan realimentación positiva e incrementan el aporte de e_n al ruido total. Incorporando estos circuitos accesorios al esquema simplificado de la Fig.2 (c), resulta el circuito de la Fig. 5, el cual incluye exclusivamente el efecto de la tensión de ruido de los A.O. y considera frecuencias de trabajo por encima de f_N (se omite R_B).

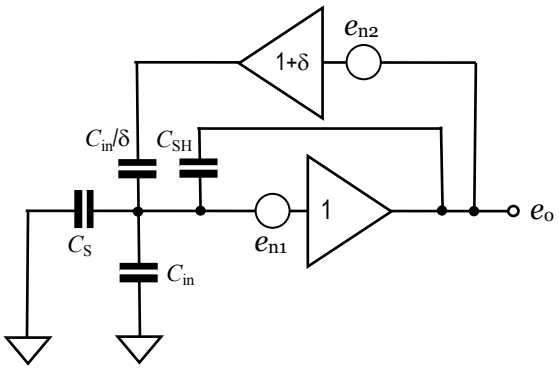


Figura 5. Circuito equivalente para el cálculo del efecto de la tensión de ruido de los AO considerando los circuitos de guarda activa y neutralización.

Resolviendo este circuito, la tensión de ruido de salida, considerando que ambos A.O son de similares características (e_{n1}=e_{n2}) está dada por:

$$e_o^2 = e_{n1}^2\left[\left(C_S + C_C + C_{in} + C_{SH}\right)^2 + \left(C_C + C_{in}\right)^2\right]\Big/C_S^2 \qquad (4)$$

Tomando valores típicos de los parámetros: C_S=10pF, C_C=5.6pF, C_{in}=4pF, C_{SH}=10pF, resulta $e_o \approx 3.2 e_n$.

Incremento de R_B por bootstraping

El resistor R_B debe ser de valor elevado, de alrededor de 1TΩ. Si bien existen resistores comerciales de este orden, son difíciles de conseguir. Una solución es simular el resistor R_B utilizando un resistor de menor valor y técnicas de bootstraping para "multiplicar" su impedancia. El circuito, que se muestra en la Fig. 6 (a), presenta una impedancia de entrada dada aproximadamente por:

$$R_{\mathrm{B.EQ}} \approx R_1 \, R_2 / R_3 \;\; ; \tag{5}$$

es decir, incrementa el valor de R_1 en un factor R_2/R_3. Por supuesto, que esto tiene un costo a pagar (en realidad varios). Uno de ellos es un incremento en el ruido total del electrodo. Para estimarlo, es necesario considerar el ruido de cada uno de los resistores y el ruido propio del AO, según el circuito equivalente de la Fig. 6 (b).

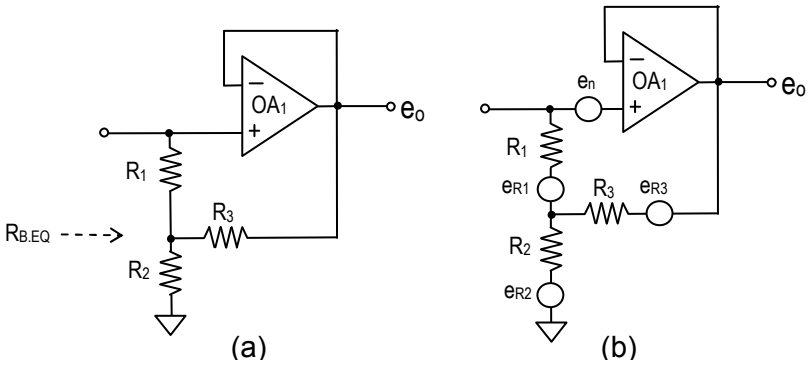


Figura 6. (a) circuito bootstrap para "multiplicar" resistencia y (b) su circuito equivalente considerando el ruido propio de sus componentes.

Resolviendo el circuito de la Fig. 6(b), el ruido total a la salida resulta:

$$e_{\mathrm{o}}^2 \approx e_{\mathrm{n}}^2 \left(1 + R_2/R_3\right)^2 + e_{\mathrm{R1}}^2 \left(1 + R_2/R_3\right)^2 + e_{\mathrm{R2}}^2 + e_{\mathrm{R3}}^2 \left(1 + R_2/R_3\right)^2 \tag{6}$$

Reemplazado el ruido propio de los resistores por la expresión de Nyquist de ruido térmico, resulta:

$$e_{\mathrm{o}}^2 \approx e_{\mathrm{n}}^2 \left(1 + R_2/R_3\right)^2 + 4kTR_1 \left(1 + R_2/R_3\right)^2 + 4kTR_2 + 4kTR_3 \left(1 + R_2/R_3\right)^2 \tag{7}$$

Teniendo en cuenta que R_1>> R_2, R_3 ; R_2/R_3>>1 ; e_{n}<<e_{R1}, la expresión (7) puede aproximarse por:

$$e_{\mathrm{R_{B.EQ}}}^2 \approx 4kTR_1 \left(R_2/R_3\right)^2 \,, \tag{8}$$

mientras que el ruido de un resistor R_{B} real de R_1xR_2/R_3 ohms es $e_{\mathrm{R_B}}^2 \approx 4kTR_1 \left(R_2/R_3\right)$. El resistor simulado $R_{\mathrm{B.EQ}}$ tiene un ruido mayor que un resistor real R_{B} de igual valor según:

$$e_{R_{\mathrm{B.EQ}}} \approx e_{R_{\mathrm{B}}} \sqrt{R_2/R_3} \tag{9}$$

Por ejemplo, un resistor R_{B} =1TΩ a 300 K tiene un ruido propio de 128 μV/√Hz, mientras que un resistor del mismo valor simulado como 10 GΩx100 presenta 1.28 mV/√Hz. Este incremento se verá reflejado en el ruido total del electrodo. Remplazando el ruido del resistor e_{R} de la ecuación (1) por la expresión (8) resulta:

$$e_{\mathrm{o}}^2 \approx \frac{kT}{\left(\pi C_{\mathrm{S}} f\right)^2} \frac{1}{R_1} + \frac{i_{\mathrm{n}}^2}{\left(2\pi C_{\mathrm{S}} f\right)^2} + e_{\mathrm{n}}^2 \,, \tag{10}$$

que es idéntica a (1) con $R_B = R_1$. Es decir, utilizando bootstraping para aumentar el valor de R_1 se reduce la frecuencia de corte $f_N=(2\pi R_{B.EQ}C_S)^{-1}$, pero el ruido es equivalente a tener $R_B=R_1$: debe utilizarse el mayor valor de R_1 posible.

Implementación del electrodo capacitivo

Se construyó un electrodo capacitivo que contiene guardas activas y neutralización de la capacidad de entrada. Su esquema se muestra en la Fig. 7. Para R_B se utilizó el mayor valor que pudo conseguirse: 10 GΩ, y un circuito bootstrap x100. Esta R_B es menor que $R_{B.C}$ y su contribución al ruido total no será despreciable. La expresión (10), teniendo en cuenta los efectos de los circuitos de guarda activa y neutralización, se transforma en:

$$E_o^2 \approx \frac{kT}{(\pi C_S)^2}\frac{1}{R_1 f_1} + \frac{i_n^2}{(2\pi C_S)^2}\frac{1}{f_1} + \alpha^2 E_n^2 \qquad (11)$$

donde α es el segundo factor en (4). Tomando los valores típicos del AO OPA320, R_1=10 GΩ y C_S=100pF, f_1=0.05 Hz. El ruido total en (11) resulta:

$$E_o^2 \approx (9.2\mu V)^2 + (4.3\mu V)^2 + (3.2)^2(0.6\mu V)^2 = (10.3\mu V)^2, \qquad (12)$$

que es un valor aceptable para ECG.

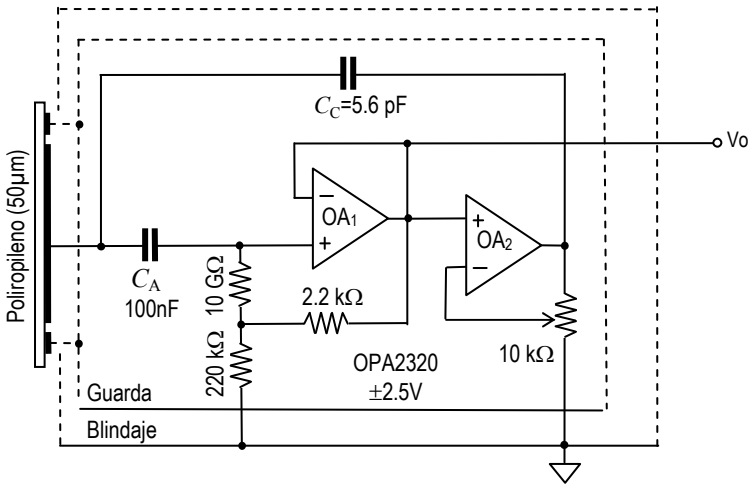


Figura 7. Circuito completo del electrodo capacitivo construido

3. Conclusiones

Se diseñó y construyó un electrodo capacitivo que permite adquirir señales de ECG con un calidad aceptable a través de una película dieléctrica sin utilizar gel conductor. Para este tipo de electrodo es importante mantener muy altas impedancias especialmente en el nodo de entrada. Esto significa altas resistencias de pérdidas y bajas capacidades, lo cual exige un cuidadoso diseño del circuito impreso. El uso de técnicas de bootstrapping para simular resistores de polarización R_B de elevado valor incrementa el ruido total, pero esta solución es viable para la adquisición de señales de ECG.

4. Referencias

Harland C, Clark T y Prance R (2000), "Electrical potential probes-new directions in the remote sensing of the human body," *Measurement Science and Technology*, Vol. 13 pp.163-169.

Spinelli E y Haberman M (2010), "Insulating electrodes: a review on biopotential front-ends for dielectric skin-electrode interfaces," *Physiological Measurement*, Vol. 31, pp.183-198.

Huhta J. y Webster J. (1973), "60-Hz Interferente in Electrocargiography. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol 20, pp. 91-101.

IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMO MULTIVARIABLE BUMPLESS BASADO EN MODO DESLIZANTE

Gustavo D. Garbati[1], Fabricio Garelli[2]
[1] Centro de Tecnología Aplicada CTA, YPF. *gustavodg@gmail.com*
[2]Laboratorio de Electrónica Industrial, Control e Instrumentación (LEICI), Departamento de Electrotecnia, FI-UNLP. *fabricio@ing.unlp.edu.ar*

1. INTRODUCCIÓN

Una práctica común en el control automático, especialmente en las industrias que involucran procesos químicos, es llevar la planta de forma manual a su punto de operación para luego conectar los controladores, con el objetivo de que el sistema comience a funcionar automáticamente. Es bien conocido que si no se toman medidas adecuadas, la conexión directa de los controladores puede causar perturbaciones en las entradas de la planta y un considerable deterioro de la respuesta del sistema.

Las estrategias que evitan los "saltos" en las acciones de control para reducir sus efectos transitorios asociados al cerrar el lazo de realimentación se denominan estrategias o algoritmos *bumpless*.

En la actualidad, existen aún una gran cantidad de controladores que están implementados analógicamente, en particular en ambientes industriales. Estos tipos de controladores son muy sensibles a las conmutaciones en la entrada a la planta (efecto *bump*), por la dificultad que presentan para fijar las condiciones ideales de conexionado y evitar las discrepancias en las acciones de control.

Debido a la importancia práctica del problema, se han reportado una gran cantidad de trabajos que abordan el estudio y desarrollo de estrategias bumpless. Una de las primeras publicaciones fue la propuesta por Hanus *et al.* (1987), la cual se basa en el concepto de "referencia realizable", que ha sido aplicado a muchos proyectos de la vida real. Numerosos artículos que han sido reportados en la literatura, (Turner y Walker, 2000; Mulder *et al.*, 2001; Zaccarian, 2005; Wu, 2002; Zheng *et al.*, 2006; Edwards y Postlethwaite, 1998) han sido aprovechados para ser aplicados como estrategias bumpless.

Este trabajo pretende mostrar la validez, con resultados experimentales, de una estrategia bumpless basada en acondicionamiento de referencia por modo deslizante (Garelli *et al.*, 2008), aplicada a una planta de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO). El trabajo propuesto en (Garelli *et al.*, 2008) presenta conceptos teóricos de sistemas de estructura variable y de modos deslizante para resolver problemas que surgen en la conexión del lazo abierto al lazo cerrado en sistemas MIMO. También, las mismas ideas son aplicadas para realizar la conmutación entre distintos controladores sintonizados para diferentes puntos de operación de un sistema bajo control. Una de las principales ventajas que presenta es que se puede aplicar a controladores para los cuales los algoritmos bumpless convencionales no fueron pensados, e incluso con mínimos requerimientos de diseño y poco esfuerzo de implementación. A su vez, presenta propiedades de robustez propias de los modos deslizantes. El fenómeno conocido por la palabra inglesa *chattering*, se produce cuando el estado del sistema no se desliza sobre la variedad de deslizamiento, degradando la respuesta de los controles de estructura variable. El *chattering* no afecta la presente aplicación, que a diferencia de otras estrategias no requiere del modelo de la planta para su aplicación.

La experiencia práctica se realizó sobre una planta piloto multivariable conocida como "tanque cuádruple", propuesta por Johansson (2000), y que fue construida en el laboratorio LEICI. Cabe destacar que esta planta ha sido una de las más utilizadas en los últimos años para evaluar estrategias de control multivariables (Aström *et al.*, 2002; Garelli *et al.,* 2006; Bianchi *et al.,* 2008; Gündeş *et al.*, 2009). Su éxito radica en que la misma posee características que permiten representar numerosas problemáticas existentes en los sistemas MIMO a escala industrial.

2. ESTRATEGIA BUMPLESS BASADA EN MODO DESLIZANTE

La figura 1 muestra un diagrama esquemático del sistema de control con la estrategia bumpless manual-automático propuesta por Garelli *et al*. (2008). El objetivo del lazo de estructura variable, indicado por el recuadro punteado en la figura 1 y sumado a la entrada del controlador original $C(s)$, es el establecimiento de un régimen deslizante, de tal manera que las salidas del controlador **u** sean forzadas a coincidir con las entradas de la planta **û**, evitando así saltos en las entradas de la planta cuando el lazo de control principal es cerrado.

Aunque el método propuesto considera procesos multivariables, las mismas ideas pueden ser obviamente aplicadas a sistema de una entrada – una salida como un caso particular.

$P(s) \in R^{m \times m}$ representa la planta que será controlada, mientras que $C(s) \in R^{m \times m}$ es un controlador multivariable (centralizado o descentralizado) diseñado para trabajar a lazo cerrado en un punto de operación P_0. Se considera que este controlador es bipropio; en consecuencia, tiene la siguiente realización,

$$C(s):\begin{cases}\dot{\mathbf{x}}_c = \mathbf{A}_c\mathbf{x}_c + \mathbf{B}_c\mathbf{e}_c \\ \mathbf{u} = \mathbf{C}_c\mathbf{x}_c + \mathbf{D}_c\mathbf{e}_c\end{cases} \quad (1)$$

con $\mathbf{D}_c$ siendo una matriz no singular.

El filtro $F(s)$ tiene le objetivo de suavizar la señal $\mathbf{w}_s$ sumada a la entrada del controlador y garantizar la condición necesaria (Utkin, 2009), para el establecimiento del régimen deslizante, es decir, que la función de conmutación $\mathbf{s}(\mathbf{x})$ tenga grado relativo uno con respecto a la acción discontinua $\mathbf{w}$. Este filtro puede ser representado en el espacio de estados como,

$$F(s):\begin{cases}\dot{\mathbf{x}}_f = \mathbf{A}_f\mathbf{x}_f + \mathbf{B}_f\mathbf{w} \\ \mathbf{w}_s = \mathbf{C}_f\mathbf{x}_f\end{cases} \quad (2)$$

con $\mathbf{A}_f = -\mathbf{C}_f = \lambda_f\mathbf{I}_m$ y $\mathbf{B}_f = \mathbf{I}_m$.

La señal discontinua $\mathbf{w} \in R^m$ está dada por

$$\mathbf{w}(\mathbf{x}) = \mathbf{M}(\mathbf{x})sign(\mathbf{s}(\mathbf{x})) \quad (3)$$

donde $\mathbf{x} = [x_c \; x_f]^T$, $\mathbf{M}(x)$ es una matriz de ganancia diagonal, y

$$\mathbf{s}(\mathbf{x}) = [s_1(\mathbf{x})s_1(\mathbf{x}) \ldots s_m(\mathbf{x})]^T = \hat{\mathbf{u}} - \mathbf{u}(x_c, e_c) \quad (4)$$

es la función de conmutación, con $\mathbf{u} \in R^m$ y $\hat{\mathbf{u}} \in R^m$ siendo los vectores que contienen las salidas del controlador y las entradas a la planta respectivamente.

En (Garelli *et al.*, 2008) se analiza la existencia de un régimen deslizante colectivo en términos de la teoría de estabilidad dada por las funciones de Lyapunov. Particularmente se demuestra que, si la derivada de la función de conmutación $\mathbf{s}(\mathbf{x})$ es expresada como

$$\dot{\mathbf{s}} = \mathbf{d}(\mathbf{x}) - \mathbf{D}(\mathbf{x})\text{sign}(\mathbf{s}(\mathbf{x})) \quad (5)$$

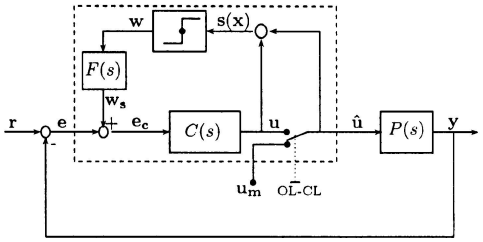


Fig. 1: Estrategia bumpless por MD para sistemas multivariables

entonces una condición suficiente para la existencia del MD (con convergencia a la superficie S en tiempo finito) es que para $\mathbf{x} \in S_d \subset S$, con S_d siendo del domino de interés sobre la superficie $S = \{\mathbf{x} : \mathbf{s}(\mathbf{x}) = 0\}$,

$\mathbf{D}(\mathbf{x})$ sea definida positiva, $\mathbf{D}(\mathbf{x}) + \mathbf{D}^T(\mathbf{x}) > 0$ (6)

$$\|\mathbf{d}(\mathbf{x})\| < d_0 < \frac{\lambda_0}{\sqrt{m}} \text{ con } \lambda_{min}(\mathbf{x}) > \lambda_0 > 0 \quad (7)$$

donde λ_{min} es el menor autovalor de ½ $(\mathbf{D}(\mathbf{x}) + \mathbf{D}^T(\mathbf{x}))$.

Luego, de (1), (2) y (4) se obtiene fácilmente

$$\begin{aligned}\mathbf{d}(\mathbf{x}) &= \dot{\hat{\mathbf{u}}} - \mathbf{C}_c\mathbf{A}_c\mathbf{x}_c - \mathbf{C}_c\mathbf{B}_c\mathbf{e}_c - \mathbf{D}\dot{\mathbf{e}} - \mathbf{D}_c\mathbf{C}_f\mathbf{A}_f\mathbf{x}_f \quad (8)\\ &= \dot{\hat{\mathbf{u}}} - \mathbf{C}_c\mathbf{A}_c\mathbf{x}_c - \mathbf{C}_c\mathbf{B}_c\mathbf{e}_c - \mathbf{D}\dot{\mathbf{e}} - \lambda_f\mathbf{D}_c\mathbf{w}_s\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mathbf{D}(\mathbf{x}) &= \mathbf{D}_c\mathbf{C}_f\mathbf{B}_f\mathbf{M} \quad (9)\\ &= -\lambda_f\mathbf{D}_c\mathbf{M}\end{aligned}$$

Por lo tanto, el establecimiento del MD se garantizará siempre y cuando $\mathbf{d}(\mathbf{x})$ y $\mathbf{D}(\mathbf{x})$ satisfagan las condiciones (6) y (7). Claramente, la matriz $\mathbf{D}(\mathbf{x})$ depende de la ley control (3), y en consecuencia la condición (6) puede ser satisfecha por la elección de los signos de los elementos de la diagonal en $\mathbf{M}$.

Para sistemas multivariables de gran dimensión, seleccionar por inspección cada signo de los elementos de $\mathbf{M}$ puede resultar bastante tedioso. Un procedimiento alternativo para este tipo de sistemas es tomar

$$\mathbf{M} = \eta \cdot \mathbf{D}_c^{-1}, \quad \eta \in R^+ \quad (10)$$

de modo que

$$\mathbf{D}(\mathbf{x}) = -\lambda_f \cdot \eta \cdot \mathbf{I}_m \quad (11)$$

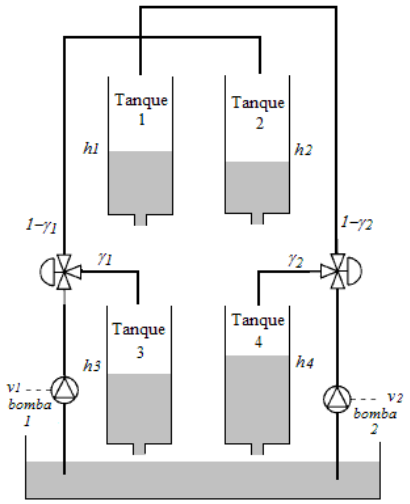


Fig. 2: Esquema de la planta "tanque cuádruple"

sea siempre definida positiva, y luego elegir η para satisfacer (7).

3. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA UTILIZADA PARA LA VALIDACIÓN

Para la validación experimental del método bumpless de la sección 2 se utilizó una de las plantas de laboratorio más representativas en cuanto a evaluación de estrategias de control multivariable, conocida como "tanque cuádruple". Su esquema se puede observar en la figura 2. Uno de los principales atributos que la vuelven atractiva para utilizarla como banco de pruebas, es que puede presentar tanto características de fase mínima cómo de fase no mínima, dependiendo de cómo se ajustan dos válvulas divisoras de caudal.
La misma consiste en cuatro tanques dispuestos en dos niveles diferentes e interconectados de una manera particular. La planta tiene dos señales de control v_1 y v_2 (tensiones de entrada a las bombas de agua) y las señales de salida los niveles de los tanques inferiores h_3 y h_4.

Considerando el esquema de la figura 2 y aplicando balance de masas y la ley de Bernoulli, se obtiene el siguiente modelo matemático,

$$\begin{cases} \dot{h}_1 = -\dfrac{a_1}{A_1}\cdot\sqrt{2\cdot g\cdot h_1} + \dfrac{K_2\cdot v_2}{A_1}\cdot(1-\gamma_2) \\ \dot{h}_2 = -\dfrac{a_2}{A_2}\cdot\sqrt{2\cdot g\cdot h_2} + \dfrac{K_1\cdot v_1}{A_2}\cdot(1-\gamma_1) \\ \dot{h}_3 = \dfrac{a_1}{A_3}\cdot\sqrt{2\cdot g\cdot h_1} - \dfrac{a_3}{A_3}\cdot\sqrt{2\cdot g\cdot h_3} + \dfrac{K_1\cdot v_1}{A_3}\cdot\gamma_1 \\ \dot{h}_4 = \dfrac{a_2}{A_4}\cdot\sqrt{2\cdot g\cdot h_2} - \dfrac{a_4}{A_4}\cdot\sqrt{2\cdot g\cdot h_4} + \dfrac{K_2\cdot v_2}{A_4}\cdot\gamma_2 \end{cases} \qquad (12)$$

donde $\dot{h}_i$ es la variación de la altura del nivel de líquido del tanque i, a_i es el área del orificio de descarga del tanque i, A_i es el área de la sección de tanque, K_i es la constante de proporcionalidad entre la tensión de entrada y el caudal de la bomba de agua i, g la aceleración de la gravedad, γ_i es el porcentaje de caudal que fluye a los tanques inferiores y v_i es la tensión de entrada a la bomba i. Se demuestra en (Johansson, 2000) que cuando $0<\gamma_1+\gamma_2<1$ el sistema presenta características de fase no mínima, es decir, que el sistema tiene ceros multivariables en el semiplano derecho, mientras que si $1<\gamma_1+\gamma_2<2$ el sistema resulta de fase mínima, posee ceros multivariables en el semiplano izquierdo.
El sistema (12) puede linealizarse en torno a un punto de operación determinado por $\bar{h}_i$ y $\bar{v}_i$. En efecto, agregando las ganancias de los sensores de nivel K_c se obtiene el siguiente modelo lineal,

$$\dot{\hat{\mathbf{h}}} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{T_2} & 0 & 0 \\ \frac{1}{T_5} & 0 & -\frac{1}{T_3} & 0 \\ 0 & \frac{1}{T_6} & 0 & -\frac{1}{T_4} \end{bmatrix} \cdot \hat{\mathbf{h}} + \begin{bmatrix} 0 & \frac{K_2 \cdot (1-\gamma_2)}{A_1} \\ \frac{K_1 \cdot (1-\gamma_1)}{A_2} & 0 \\ \frac{K_1 \cdot \gamma_1}{A_3} & 0 \\ 0 & \frac{K_2 \cdot \gamma_2}{A_4} \end{bmatrix} \cdot \hat{\mathbf{v}} \qquad (13)$$

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & K_c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_c \end{bmatrix} \cdot \hat{\mathbf{h}}$$

siendo $\hat{h}_i = h_i - \overline{h}_i$ y $\hat{v}_i = v_i - \overline{v}_i$, y donde las constantes de tiempo T_i son:

$$\frac{1}{T_1} = \frac{a_1}{A_1} \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot \overline{h}_1}} \qquad \frac{1}{T_5} = \frac{a_1}{A_3} \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot \overline{h}_1}} \qquad (14)$$

$$\frac{1}{T_2} = \frac{a_2}{A_2} \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot \overline{h}_2}} \qquad \frac{1}{T_6} = \frac{a_2}{A_4} \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot \overline{h}_2}}$$

$$\frac{1}{T_3} = \frac{a_3}{A_3} \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot \overline{h}_3}}$$

$$\frac{1}{T_4} = \frac{a_4}{A_4} \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot \overline{h}_4}}$$

En el diseño del controlador, fue necesario utilizar el modelo matemático ajustado a los datos experimentales obtenidos de la planta piloto construida (figura 3). Para tal fin, se consideraron aspectos prácticos derivados de la implementación experimental (Garbati *et al.,* 2009). Uno de estos fue la diferencia obtenida entre los ensayos experimentales y las simulaciones con el modelo no-lineal comúnmente utilizado para la planta. Para explicar estas divergencias, se propuso la introducción de un coeficiente de descarga C_d, el cual

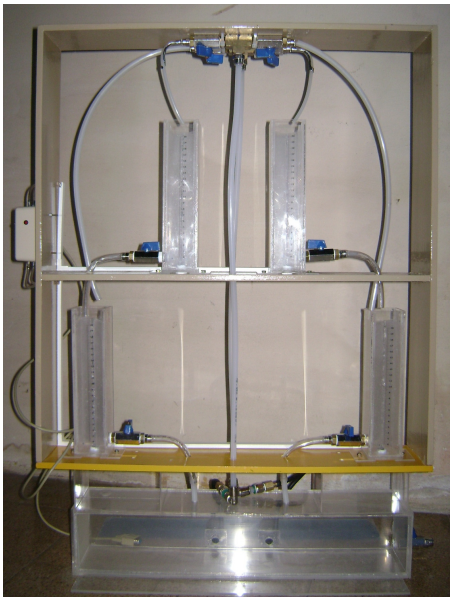


Fig. 3: Planta de tanque cuádruple construida en el LEICI.

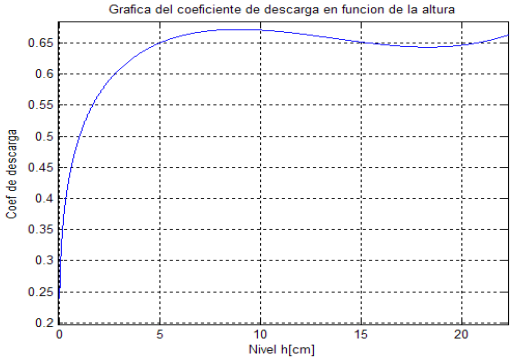


Fig. 4: Coeficiente de descarga C_d en función del nivel del tanque

fue obtenido para cada tanque. En la figura 4 se puede observar una curva de ajuste de C_d en función del nivel para un tanque particular. Luego, con el fin de considerar las pérdidas del sistema y ajustar el modelo a los datos experimentales, en Garbati *et al*. (2009) se concluyó que es suficiente afectar al modelo matemático (12), tanto estática como dinámicamente, por el valor del coeficiente de descarga $C_d(h)$ en el punto de operación. A continuación se puede observar como C_d afecta a la expresión de estado estacionario de un tanque, ecuación (15), y también a las constantes de tiempo del sistema linealizado, ecuación (16).

$$\bar{h} = \left(\frac{\bar{Q}_e}{C_d(\bar{h}) \cdot a} \right)^2 \cdot \frac{1}{2 \cdot g} \qquad (15)$$

$$\frac{1}{T} = C_d(\bar{h}) \cdot \frac{a}{A} \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot \bar{h}}} \qquad (16)$$

4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

A fin de evaluar la validez del desarrollo descripto, se conectó a la planta un controlador PI descentralizado en su configuración de mínima fase.

4.1 Descripción de la experiencia

La planta se configuró en su condición de mínima fase con γ_1= 0.7 y γ_2=0.6, ya que se cumple $1<\gamma_1+\gamma_2<2$. Para el desarrollo del controlador se consideró el punto de operación $\bar{\mathbf{y}} = (\bar{h}_3; \bar{h}_4) = (12; 14)$ cm, $\hat{\mathbf{u}} = (\bar{v}_1; \bar{v}_2) = (2.7; 3.4)$ V y las especificaciones de la tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones para sintonizar el controlador:

	Lazo de h_3	Lazo de h_4
Sobrepaso máx. [%]	10	15
Tiempo establecimiento [s]	50	80

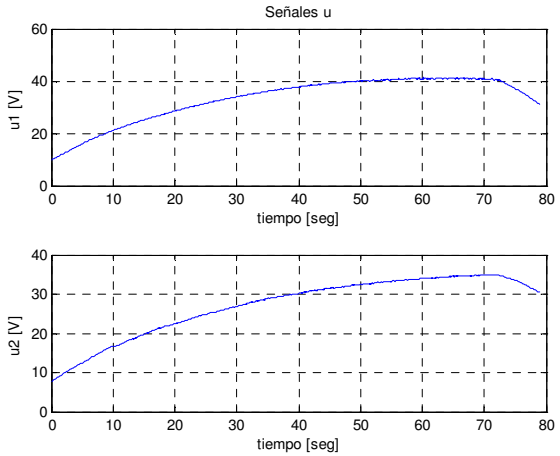


Fig. 5: Gráficas señales de salida del controlador sin estrategia bumpless MD

Cerrando el lazo con el controlador descentralizado PI, y utilizando el modelo linealizado de la planta (13) modificado por el factor de descarga según (15) y (16), resultan dinámicas de segundo orden por cada lazo. Utilizando las ecuaciones de respuesta transitoria de segundo grado y considerando las especificaciones de la tabla 1, se obtuvo el siguiente controlador,

$$c_{11}(s) = \frac{0.822 \cdot (s + 0.127)}{s} \qquad (17)$$

$$c_{12}(s) = c_{21}(s) = 0 \qquad (18)$$

$$c_{22}(s) = \frac{0.55 \cdot (s + 0.125)}{s} \qquad (19)$$

La experiencia consistió en llevar la planta en forma manual con un vector de entrada constante al punto de operación P_0 es decir $\mathbf{u}_m = (\bar{v}_1; \bar{v}_2) = (2.7; 3.4)$ V, y luego mediante un bloque de conmutación realizar la conexión del modo manual al automático cuando ambos niveles de salida hayan sobrepasado el 90%

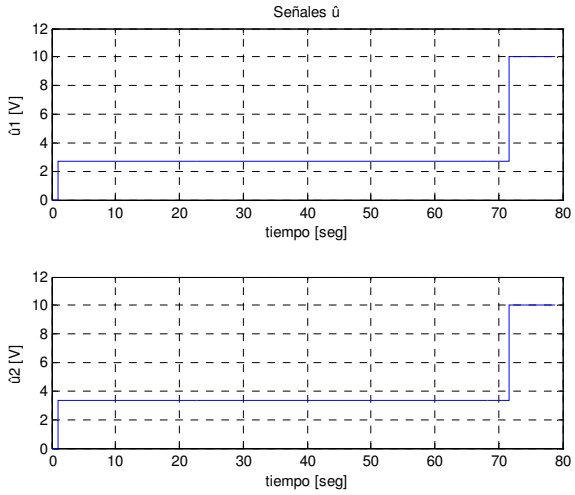


Fig. 6: Gráficas señales de entrada a la planta sin estrategia bumpless MD

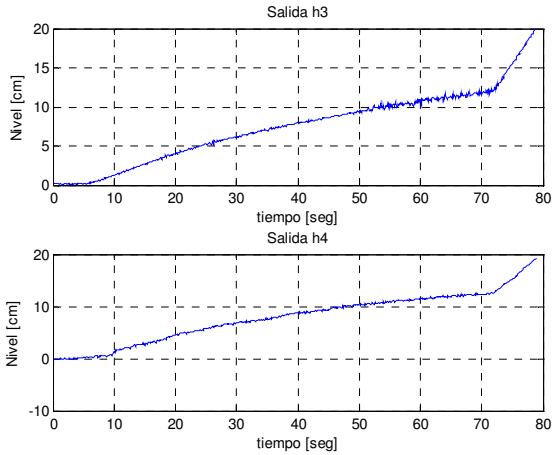


Fig. 7: Gráficas niveles tanques inferiores sin estrategia bumpless MD

del valor correspondiente al punto de operación. De esta manera, para la señal de entrada inyectada y el controlador (17)-(19), en t_s = 76 seg. se produce la conmutación de lazo abierto a lazo cerrado.

4.2 Conmutación manual-automático sin estrategia bumpless

La figura 5 muestra las señales de salida del controlador descentralizado $C(s)$, en la misma se puede observar que toman valores hasta de 40 Volts instantes antes de ser conectados a la planta, las inconsistencias existentes entre las salidas del controlador $\mathbf{u}$ y las entradas a la planta $\mathbf{u}_m$ generan una saturación en la señal de control de los actuadores, en el momento de conmutación manual-automático, como muestra la figura 6, siendo en este caso limitadas por la placa adquisidora de datos en 10 Volts. Estos saltos en la acción de control provocan a su vez un rápido incremento en los niveles de los tanques inferiores (salidas del sistema), como muestra la figura 7, dando como resultado el desborde de los mismos, y debiendo por tanto interrumpirse la operación de la planta antes de t = 80 seg.

4.3 Implementación estrategia de control bumpless

Con el fin de mejorar la respuesta del sistema, se introdujo el lazo bumpless propuesto como se muestra en la figura 1.

Para el filtro de 1er orden $F(s)$ se utilizó λ_f = -0.05, que se corresponde a una constante de tiempo mucho más rápida que la de lazo abierto de la planta. Por otro lado, tomando $\hat{\mathbf{u}} = cte$ y considerando las ecuaciones (1), (2), (3) y (4) y el esquema de la figura 1 se obtiene que,

$$\dot{\mathbf{s}}(\mathbf{x}) = -\dot{\mathbf{u}}(x_c, e_c) = \mathbf{d}(\mathbf{x}) - \mathbf{D}(\mathbf{x}) \cdot \text{sign}(\mathbf{s}(\mathbf{x})) \quad (20)$$

$$\mathbf{d}(\mathbf{x}) = -\mathbf{C}_c \cdot (\mathbf{A}_c \cdot \mathbf{x}_c + \mathbf{B}_c \cdot \mathbf{e}_c) - \mathbf{D}_c \cdot (-\dot{\mathbf{y}} + \mathbf{C}_f \cdot \mathbf{A}_f \cdot \mathbf{x}_f) \quad (21)$$

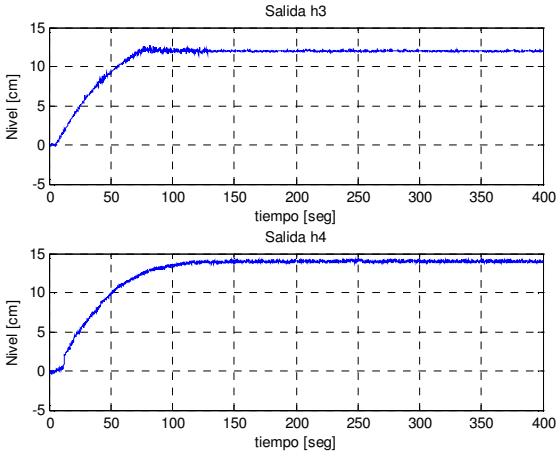


Fig. 8: Gráficas niveles tanques inferiores con estrategia bumpless MD

$$\mathbf{D}(\mathbf{x}) = -\mathbf{D}_c \cdot \mathbf{C}_f \cdot \mathbf{B}_f \cdot \mathbf{M} \cdot \text{sign}(\mathbf{s}(\mathbf{x})) \qquad (22)$$

Por lo tanto, para los valores esperados en $\mathbf{x}_c$, $\mathbf{e}_c$ y $\mathbf{x}_f$ en función de las señales aplicadas $\mathbf{u_m}$ y para cotas razonables en $\dot{\mathbf{y}}$, encontramos que $\mathbf{M}=20\mathbf{I_2}$ satisface (7), es decir que el término (22) "domina" al (21).

A su vez, considerando $\mathbf{M}=20\mathbf{I}_2$, de (9), (17) y (19) se obtiene:

$$\mathbf{D}(\mathbf{x}) = \mathbf{D}_c = \begin{bmatrix} 0.822 & 0 \\ 0 & 0.55 \end{bmatrix} \qquad (23)$$

la cual es claramente definida positiva, cumpliendo la condición (6) de Lyapunov.

Se puede observar, figura 8, que las variables controladas alcanzan el punto de operación sin sobrepasos ni transitorios indeseados después de la conmutación al modo automático. Esto se debe a que como puede observarse en la figura 9, la salida del controlador $\mathbf{u}$ es aproximadamente igual a $\mathbf{u}_m$ para el momento de la conmutación manual – automático.

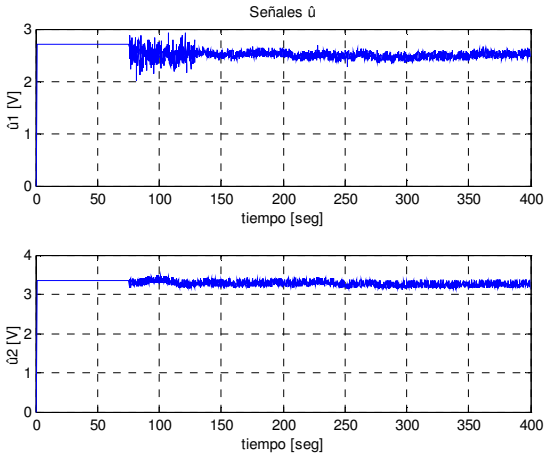


Fig. 9: Gráficas señales de entrada a la planta con estrategia bumpless MD

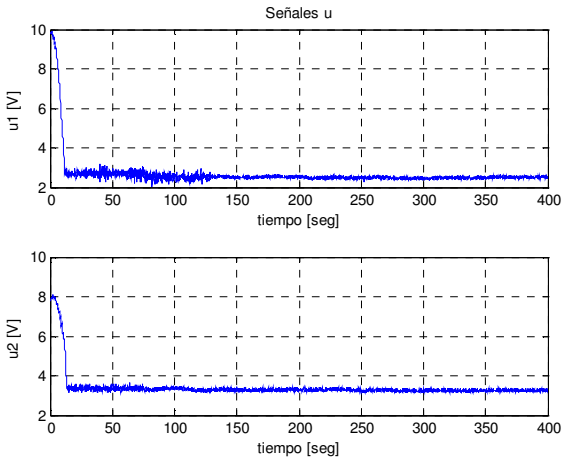


Fig. 10: Gráficas señales de salida del controlador con estrategia bumpless MD

La estrategia por modo deslizante propuesta logra que la señales de salida **u** del controlador sean aproximadamente iguales a la señales de entrada $\mathbf{u}_m$, la figura 10 muestra como evolucionan temporalmente las señales de salida **u** del controlador, hasta alcanzar los valores fijados por $\mathbf{u}_m$. La figura 11 muestra la función discontinua **w** generada por la estrategia de control. Se puede observar en la figura 12 como las señales $\mathbf{w}_s$ decrecen hasta encontrar máximos negativos, siendo éstos donde logra, la estrategia propuesta, igualar las señales de la salida **u** del controlador con las señales $\mathbf{u}_m$ luego señales $\mathbf{w}_s$ tenderán a cero ya que los niveles de los tanques inferiores (señales de salida) tienden al punto de funcionamiento.

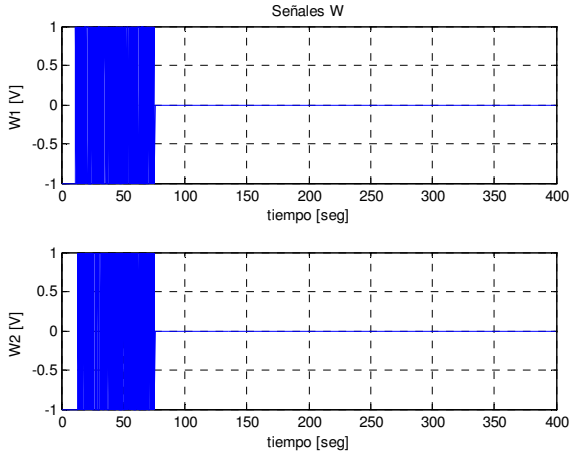


Fig. 11: Gráficas señales discontinua **w**

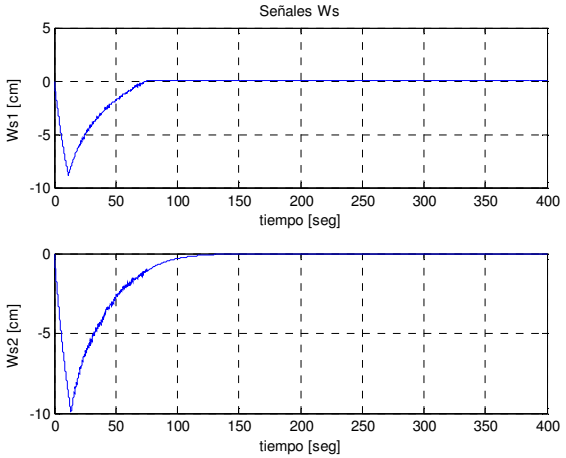


Fig. 12: Gráficas señales $\mathbf{w}_s$

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se describió y validó experimentalmente una estrategia de control bumpless por modo deslizante, que sumada a un controlador (centralizado o descentralizado) reduce el efecto producido por la conmutación del modo manual al automático en una planta multivariable.

La estrategia desarrollada fue validada experimentalmente sobre una planta piloto de tanques acoplados, con un controlador principal descentralizado similar a los controladores multi-lazo extensamente utilizados en aplicaciones industriales. Los resultados obtenidos muestran la potencialidad de la estrategia propuesta, como técnica bumpless, para solucionar problemas de conmutación a la entrada de la planta.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado mediante los proyectos de investigación ANPCyT PICT-2011-0888, CONICET PIP 112-2011-00361 y UNLP I164.

REFERENCIAS

Aström, K.; Johansson, K.; Wang, Q. (2002) Design of decoupled PID controllers for two-by-two systems. *IEEE Proceedings on Control Theory and Applications*, 149:74–81.

Bianchi, F.; Mantz, R.; Christiansen, C. (2008) Multivariable PID control with set-point weighting via BMI optimisation. *Automatica*, 44(2):472–478.

Edwards, C.; Postlethwaite, I. (1998) Anti-windup and bumpless transfer schemes. *Automatica, 34,* 199-210.

Garbati, G.; Aguerre, E.; Garelli, F. (2009) Aspectos prácticos para la implemantación y el modelado de una planta piloto de control multivariable. *RPIC*, 787-792.

Garelli, F.; Mantz, R.; De Battista, H. (2008) Collective Sliding-Mode Technique for Multivariable Bumpless Transfer. *Ind. Eng. Chem. Res., 47*, 2721-2727.

Garelli, F.; Mantz, R.; De Battista, H. (2006) Limiting interactions in decentralized control of MIMO systems. *Journal of Process Control, 16*(*5*):473–483.

Gündeş, A.; Mete, A.; Palazoglu, A. (2009) Reliable decentralized PID controller synthesis for two-channel MIMO processes. *Automatica*, 45(2), 353-363.

Hanus, R.; Kinnaert, M.; Henrotte, J. (1987) Conditioning technique, a general anti-windup and bumpless transfer method. *Automatica*, *23*, 729-739.

Johansson, K. (2000) The quadruple-tank process: a multivariable laboratory process with an adjustable zero. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 8(3):456–465.

Mulder, E.; Kothare, M.; Morari, M. (2001) Multivariable anti-windup controller synthesis using LMI. *Automatica*, *41*, 1407-1416.

Turner, M.; Walker, D. (2000) Linear quadratic bumpless transf. *Automatica*, *36*, 1089-1101.

Utkin, V.; Guldner, J. (2009) Sliding Mode Control in Electro-Mechanical Systems, Second ed., Taylor & Francis, London.

Wu, W. (2002) Anti-windup schemes for a constrained continuous stirred tank reactor process. *Ind. Eng. Chem. Res., 41,* 1796-1804.

Zaccarian, L.; Teel, A. (2005) The L_2 (*l*) bumpless transfer problem for linear plants: Its definition and solution. *Automatica*, *41,* 1273-1280.

Zheng, K.; Lee, A.; Bentsman, J.; Taft, C. (2006) Steady-state bumpless transfer under controller uncertainty using the state/output feedback topology. *IEEE Trans. Control Syst. Technol., 14*, 3-17.

Estimación de la conductividad del cráneo y cuero cabelludo mediante Tomografía de Impedancia Eléctrica

Mariano Fernández-Corazza, Leandro Beltrachini, Nicolás von Ellenrieder, Carlos H. Muravchik

Laboratorio de Electrónica Industrial, Control e Instrumentación (LEICI)
Dto. Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata
C.C. 91, C.P. 1900, La Plata, Argentina - marianof.corazza@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: EIT, FEM, anisotropía, cráneo, conductividad eléctrica.

1. INTRODUCCIÓN

Conocer los valores de conductividad eléctrica de los tejidos que conforman la cabeza humana es necesario para poder construir modelos confiables que permitan una mayor precisión en la caracterización de fuentes de actividad neuronal. Esto es útil, por ejemplo, en el caso de epilepsias focales, o bien para hallar zonas de actividad neuronal relacionadas con diversos estímulos. Existen técnicas que tratan de resolver este problema de manera no invasiva basándose en mediciones tomadas sobre el cuero cabelludo, pero para utilizarlas es necesario contar con un modelo eléctrico de la cabeza que en muchos casos se reduce a un mapa de la conductividad eléctrica.

EIT es una técnica que se basa en inyectar una pequeña corriente en un cuerpo y medir el potencial eléctrico resultante sobre la superficie mediante un arreglo de sensores [1]. Entre sus diversas aplicaciones, puede ser utilizada para estimar la conductividad eléctrica de la cabeza. El mayor problema es la baja resolución espacial del mapa de conductividad resultante obtenido a partir de EIT. En este trabajo se analiza combinar la información anatómica estructural de imágenes de resonancia magnética (RM), con la técnica de EIT. A partir de las imágenes de RM se segmenta la cabeza en diferentes tejidos, en los que se supone una conductividad eléctrica homogénea. Se utiliza entonces la técnica de EIT para realizar una estimación paramétrica de la conductividad del cuero cabelludo y del cráneo. Este último está mayormente conformado por dos subcapas externas de hueso compacto y una interna de hueso esponjoso que no poseen un espesor uniforme a lo largo del mismo por lo que la conductividad pierde homogeneidad. A su vez existe anisotropía ya que la conductividad tangencial a través de la capa esponjosa es mayor que la transversal o radial [10, 13]. Un fenómeno similar ocurre en el cuero cabelludo donde existen zonas con músculos, los cuales presentan una mayor conductividad en la misma dirección que la de las fibras que los componen [10].

En resumen, se propone utilizar EIT como herramienta no invasiva para estimar una pequeña cantidad de parámetros que son las conductividades homogéneas equivalentes de los principales tejidos de la cabeza, isótropas o anisótropas dependiendo del modelo que se quiera construir. Se obtendría como resultando un mapa de conductividades de excelente resolución espacial, dada por las imágenes de RM, y con valores de conductividades específicos para cada individuo al ser medidos *in vivo*.

2. MÉTODOS

2.1. Modelo Eléctrico de la cabeza

Para este trabajo se plantea un modelo tridimensional de tres capas que representan cerebro, cráneo y cuero cabelludo. Primero se utiliza un modelo esférico que consiste en tres esferas concéntricas representando las capas mencionadas anteriormente, con el radio exterior de 9cm, y los interiores de 8.7cm y 7.8cm, y cada capa está caracterizada por un valor de conductividad global e isótropo. Luego se utiliza un modelo con geometría realista, en donde

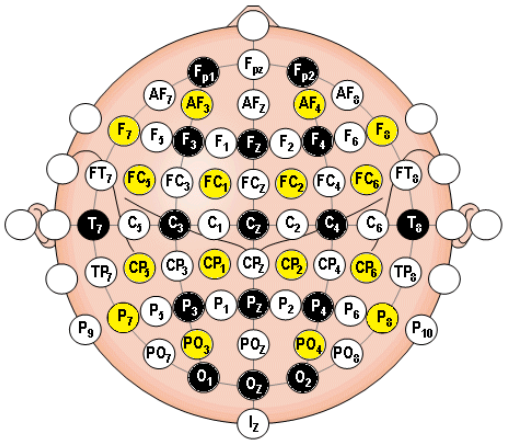


Figura 1: Posicionamiento de los 64 electrodos basado en el sistema 10-10.

las superficies que delimitan los tres tejidos se obtienen mediante imágenes de RM. Si bien mediante esta técnica es posible obtener las geometrías personalizadas para cada individuo, en este trabajo se utiliza el modelo ICBM152, que está basado en el promedio de 152 individuos. De esta forma los resultados que se obtienen pueden considerarse más generales. Para el cerebro, cuya conductividad no se pretende estimar mediante este método, se cuenta con un modelo realista en el cual la distribución de la conductividad es heterogénea y anisótropa, ya que incluye materia gris, blanca y líquido encefalorraquídeo, correspondiente a un promedio de 81 personas [6].

Tanto para el cráneo como para el cuero cabelludo la literatura muestra un amplio rango en los valores de conductividad. Para el cráneo los valores van desde 0.008 S/m hasta 0.04 S/m, mientras que para el cuero cabelludo van de 0.25 S/m a 0.45 S/m (e.g. [10, 5, 3]). En cuanto a la anisotropía del cráneo (cr), una relación tangencial:normal de 10:1 es lo más aceptado [13, 5]. Para el cuero cabelludo (cc) la relación es menor (aproximadamente 1.5:1 [10]) por lo que generalmente se lo modela como isótropo. Para este estudio de simulación se utilizan dos modelos, uno isótropo con conductividades σ_{iso}^{cr} =0.01 S/m y σ_{iso}^{cc} =0.4 S/m, y otro anisótropo con conductividades tangenciales σ_t^{cr} =0.015 S/m y σ_t^{cc} =0.45 S/m y radiales σ_r^{cr} =0.0015 S/m y σ_r^{cc} =0.3 S/m.

La elección del valor de corriente a inyectar en la simulación no es trivial, ya que se desea que se encuentre dentro de los niveles permitidos para ser aplicado sobre pacientes reales en trabajos futuros. En distintos estudios [8, 4] se analiza específicamente la máxima corriente admitida para EIT. El umbral de percepción utilizando electrodos estándar para EEG ronda entre los 100 y $200\mu A$, volviéndose apenas incómodo a los $400\mu A$. Se elige entonces $100\mu A$ como valor de corriente para producir simulaciones realistas, valor que además cumple con la norma IEC60601.

Dentro de las combinaciones de pares de electrodos que permite el sistema de posicionamiento estándar 10-10 con 64 electrodos (Fig. 1), se elige para la inyección de la corriente, el par C3-C4 para el cual tanto el ángulo entre ambos electrodos como la cantidad de sensores cercanos son relativamente elevados. En un trabajo anterior se determinó que esta situación es la más apropiada para lograr una buena estimación de las conductividades [3]. Los 62 electrodos restantes son utilizados para medir el potencial eléctrico. En un escenario donde se realicen mediciones sobre pacientes reales sería conveniente obtener mediciones con distintas combinaciones de electrodos para la inyección de la corriente, con el objetivo de obtener un valor robusto frente a posibles variaciones locales.

2.2. Problema Directo

El problema directo consiste en calcular el potencial eléctrico resultante al aplicar la corriente. Se trata de un problema de electromagnetismo con condiciones de borde de Neumann que se puede resolver a partir de las ecuaciones de Maxwell. Para bajas frecuencias, se puede utilizar la aproximación cuasi-estática para reducir la complejidad del problema [1] cuando las frecuencias involucradas están por debajo de $\sim 10kHz$ (para estas frecuencias la longitud de la onda electromagnética sería mucho mayor que las dimensiones de la cabeza). En EIT esto no constituye un problema ya que la frecuencia de trabajo corresponde a la de la onda de corriente inyectada, que puede elegirse arbitrariamente.

Partiendo de $\vec{\nabla} \times \vec{E} = 0$, el campo eléctrico $\vec{E}$ puede ser expresado como $\vec{E} = -\vec{\nabla}\Phi$. Además, la densidad de corriente $\vec{J}$ es proporcional al campo eléctrico [11], $\vec{J} = \boldsymbol{\sigma}\vec{E}$, donde $\boldsymbol{\sigma}$ es la conductividad eléctrica del medio representada por un tensor. Aplicando la divergencia a la densidad de corriente y teniendo en cuenta que dentro del volumen Ω la misma es cero (no hay fuentes de corriente), y que, por el contrario, sobre la superficie $\delta\Omega$ se encuentran la fuente y el sumidero de corriente orientadas en dirección normal a la superficie, el problema queda definido por

$$\begin{cases} \vec{\nabla}\left(\boldsymbol{\sigma}\left(\vec{x}\right)\vec{\nabla}\Phi\left(\vec{x}\right)\right) = 0 & \text{en } \Omega \\ \boldsymbol{\sigma}\left(\vec{\nabla}\phi\left(\vec{x}\right)\right)\cdot\hat{n} = \vec{J} & \text{en } \delta\Omega \end{cases}, \tag{1}$$

donde $\vec{x} = (x, y, z)$ representa un punto genérico del espacio. En un modelo esférico, este problema puede resolverse analíticamente utilizando polinomios de Legendre y coordenadas esféricas [11, 7, 3]. Para resolver el problema utilizando una forma de cabeza realista se recurre al método de elementos finitos (FEM).

Como se busca cumplir con la primera condición de (1), se propone una función de peso ω que satisfaga

$$\int_{\Omega} \omega\vec{\nabla}\left(\boldsymbol{\sigma}\left(\vec{x}\right)\vec{\nabla}\Phi\left(\vec{x}\right)\right)d\Omega = 0, \tag{2}$$

lo que se conoce como el método de residuos pesados, en donde Φ es el potencial que se quiere calcular. Aplicando propiedades del gradiente y de la divergencia, la expresión (2) puede escribirse como

$$\int_{\Omega} \vec{\nabla}(\omega\boldsymbol{\sigma}\vec{\nabla}\Phi)d\Omega - \int_{\Omega} \vec{\nabla}\omega\cdot\boldsymbol{\sigma}\cdot\vec{\nabla}\Phi d\Omega = 0, \tag{3}$$

conocida como la formulación débil del problema. Luego, aplicando el Teorema de Green al primer término, se obtiene

$$\int_{\Omega} \vec{\nabla}\omega\cdot\boldsymbol{\sigma}\cdot\vec{\nabla}\Phi d\Omega = \int_{\delta\Omega} \omega\,\underbrace{\boldsymbol{\sigma}\vec{\nabla}\Phi\cdot\hat{n}}_{\vec{J}}\,d(\delta\Omega). \tag{4}$$

Para resolver estas integrales, se discretiza el volumen en tetraedros y se aplica una interpolación lineal dentro de ellos (FEM de primer orden). La integral de volumen de (4) se resuelve para cada elemento de la disctretización, obteniendo una matriz K_e (llamada matriz elemental) para cada tetraedro, y el conjunto ensamblado de todas las K_e forma la llamada matriz de rigidez K del problema. Esta matriz es de $n \times n$, donde n es la cantidad de puntos (vértices de tetraedros) de la discretización. Se logra así linealizar el problema quedando de la forma $KU = F$, donde U es el vector incógnita formado por el potencial eléctrico en los vértices (de $n \times 1$) y F es el vector independiente. Es posible demostrar que F está formado por todos ceros salvo $+I$ y $-I$ en los elementos ubicados en los puntos de inyección de la corriente. Más detalles de la resolución de la integral de volumen pueden encontrarse en [2]. Allí se llega a que la matriz elemental queda expresada según la formulación matricial

$$K_e = \frac{B^T\boldsymbol{\sigma}B}{36V}, \tag{5}$$

donde B es una matriz de transformación de 3×4 que depende de la ubicación de los vértices del tetraedro y V es el volumen del mismo. En el caso isótropo, el tensor de conductividad viene dado por $\boldsymbol{\sigma} = \sigma_{iso} I_3$, donde I_3 es la matriz identidad de 3×3. El tensor de conductividad es diferente para el caso anisótropo. Para poder expresarlo como

$$\boldsymbol{\sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_t & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_t & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_r \end{pmatrix}, \tag{6}$$

es necesario un cambio de base de la canónica (B_c) a una que tenga dos elementos en dirección tangencial a la superficie y el otro en dirección radial (B_{tr}). Para trabajar con modelos equivalentes, es deseable que las trazas del tensor isótropo y anisótropo sean iguales ($tr(\boldsymbol{\sigma}) = 2\sigma_t + \sigma_r = 3\sigma_{iso}$), lo cual fue tenido en cuenta al escoger los valores de conductividad del modelo. Como los parámetros que se desean estimar son la conductividad tangencial y la radial, la matriz elemental se divide en dos submatrices K_{et} y K_{er}:

$$K_e = \frac{1}{36V} B^T M \boldsymbol{\sigma} M^{-1} B = \frac{B^T M}{36V} \left(\sigma_t \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \sigma_r \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \right) M^{-1} B = \sigma_t K_{et} + \sigma_r K_{er}, \tag{7}$$

donde M es la matriz cambio de base de la base B_{tr} a la canónica. Una discretización conveniente es aquella en la que la posición de los 64 electrodos coincide con vértices de tetraedros ya que FEM logra una mejor convergencia en los nodos.

Luego del ensamblado de todos los elementos, quedan definidos los sistemas de ecuaciones lineales:

$$(K^{cer} + \sigma_{iso}^{cr} K^{cr} + \sigma_{iso}^{cc} K^{cc}) \cdot U = F, \tag{8}$$

$$(K^{cer} + \sigma_t^{cr} K_t^{cr} + \sigma_r^{cr} K_r^{cr} + \sigma_t^{cc} K_t^{cc} + \sigma_r^{cc} K_r^{cc}) \cdot U = F, \tag{9}$$

tanto para el modelo isótropo (8) como para el anisótropo (9). Las matrices de rigidez K, K_t y K_r para las tres zonas (*cer*: cerebro, *cr*: cráneo y *cc*: cuero cabelludo) son de $n \times n$ donde n es la cantidad de nodos del mallado. Como se ha mencionado, para el modelo de geometría realista, K^{cer} es obtenida a partir del modelo heterogéneo y anisótropo del mapa de conductividad interno al cráneo. De acuerdo a la cantidad de elementos de la discretización del volumen, el número de puntos n puede ser muy elevado, por lo que debe aprovecharse el carácter ralo de la matriz de rigidez de FEM. Para resolver el sistema de (8) y (9) se utiliza un algoritmo de gradientes biconjugados estabilizado [14] especialmente apto para trabajar con este tipo de matrices.

2.3. Problema Inverso

Para resolver el problema inverso, es decir la estimación de los parámetros de conductividad a partir de las mediciones de potencial eléctrico en los sensores, se plantea un ajuste por mínimos cuadrados

$$\min_{\boldsymbol{\sigma^{cr}}, \boldsymbol{\sigma^{cc}}} \left\{ \sum_{i=1}^{(m-2)} \left(V_i - \Phi_i \left(\boldsymbol{\sigma^{cr}}, \boldsymbol{\sigma^{cc}} \right) \right)^2 \right\}, \tag{10}$$

donde V_i es el potencial medido en el sensor i mientras que Φ_i es el potencial calculado según lo descripto en la sección anterior para el mismo sensor. Luego, $(m-2)$ es la cantidad de sensores que equivale a la cantidad de electrodos m (64 en este caso) excluyendo los dos nodos de inyección de corriente. Para el problema isótropo las variables a estimar son dos, mientras que para el problema que incluye el fenómeno anisótropo son cuatro. En este trabajo el potencial medido por los sensores es simulado adicionando a la solución del problema directo ruido blanco de media nula y varianza $1\mu V$, el cual modela el ruido electrónico de los amplificadores

y el ruido electroquímico generado en a interfaz electrodo–piel. Además, el cerebro presenta actividad eléctrica normal que puede ser detectada por los electrodos, lo que significaría para esta aplicación de EIT un ruido adicional con picos de aproximadamente $20\mu V$. Sin embargo, este ruido puede ser desafectado de la corriente inyectada es perfectamente conocida.

El algoritmo utilizado para resolver la minimización sin restricciones planteada como solución del problema inverso, es el método de Nelder-Meal [12]. Debido a que las conductividades no son del mismo orden, se realizó un cambio de escala previo, para ayudar así a la convergencia del método.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primer lugar se validó el método FEM mediante la comparación con el resultado analítico en un modelo esférico, lográndose un error menor al $3\,\%$ en el cálculo del potencial eléctrico con 23000 teatraedros, y aun menor al aumentar el número de tetraedros.

Para el modelo de geometría realista se discretizó el volumen en casi 495 mil tetraedros, de los cuales 137 mil, 43 mil y 315 mil corresponden al cuero cabelludo, cráneo y cerebro respectivamente. La Fig. 2 muestra el potencial eléctrico sobre un corte coronal de la cabeza para el caso isótropo *(izq)* y para el modelo esférico de tres capas con los mismos valores de conductividad, puntos de inyección equivalentes y sobre el mismo corte *(der)*. Se observa una marcada correlación entre la resolución del problema directo en geometría realista utilizando FEM y la solución analítica en el modelo esférico de tres capas.

Para caracterizar la calidad de la solución del problema inverso se simularon 100 conjuntos de mediciones con diferentes realizaciones del ruido, estimando las conductividades tanto del problema isótropo como del anisótropo para cada conjunto. Como puntos iniciales para el algoritmo se eligieron valores aleatorios con distribución uniforme entre 0.95 y 1.05 del valor esperado. El resultado de la estimación se muestra en la Tabla 1, en donde la primer fila muestra la media, la segunda la desviación estándar y la tercera el coeficiente variacional (CV) que se obtiene al dividir la desviación estándar por la media, y representa una desviación estándar relativa.

Para analizar estos resultados es conveniente separarlos de acuerdo al modelo. En el caso isótropo, se estimaron dos conductividades equivalentes isótropas (cráneo y cuero cabelludo). Los resultados de la Tabla 1 muestran que se logra el objetivo con una desviación estándar entre 3 y 4 órdenes de magnitud menores que la media y coeficientes de variación que muestran similar dispersión para ambos parámetros. Para el caso anisótropo la calidad de la estimación

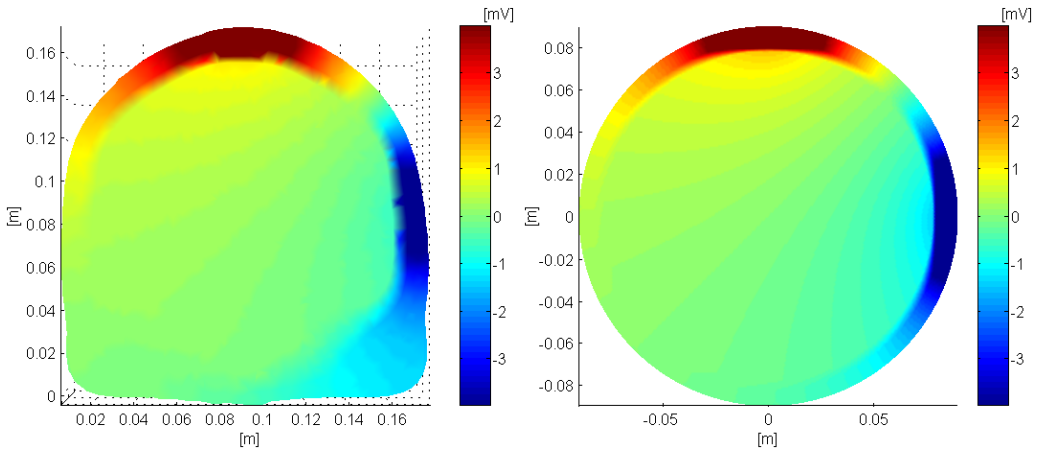


Figura 2: Potencial eléctrico sobre un corte coronal del modelo realista *(izq)* y del modelo esférico *(der)*.

Tabla 1: Conductividades estimadas: media, desviación estándar y coeficiente variacional.

σ	Media [S/m]	Desv. Est. [S/m]	CV
σ_{iso}^{cc}	3.999e-1	2.064e-4	5.161e-4
σ_{iso}^{cr}	1.000e-2	8.204e-6	8.4043e-4
σ_{t}^{cc}	4.4993e-1	2.7409e-4	6.0919e-4
σ_{r}^{cc}	3.0561e-1	1.3988e-2	4.5772e-2
σ_{t}^{cr}	1.5140e-2	6.1270e-4	4.0468e-2
σ_{r}^{cr}	1.4993e-3	4.7423e-6	3.1629e-3

(dada por el CV) de la conductividad tangencial del cuero cabelludo y radial del cráneo fue similar al caso isótropo, pero la estimación de la conductividad tangencial del cráneo y radial del cuero cabelludo fue de peor calidad. La razón es que el potencial sobre la superficie es comparativamente más sensible a las variaciones de las conductividades tangencial en el cuero cabelludo y radial en el cráneo que a las otras.

4. CONCLUSIONES

La combinación de imágenes de RM junto con EIT permite la estimación paramétrica de las conductividades en vez de la obtención de un mapa de conductividades basado sólo en EIT, el cual presentaría una muy baja resolución espacial.

Como trabajo futuro, se planea el desarrollo de un equipo de EIT para obtener mediciones reales. Se pretende estudiar la influencia de tener estas mediciones para la resolución de localización de fuentes de actividad neuronal, utilizando modelos generales y personalizados. También se estudiará el efecto de la suposición de electrodos puntuales, y se buscarán cotas generales para la varianza en la estimación de los parámetros de conductividad.

BIBLIOGRAFÍA

[1] R.H. Bayford. Bioimpedance tomography (electrical impedance tomography). *Annu. Rev. Biomed. Eng.*, 8:63–91, 2006.

[2] L. Beltrachini, N. von Ellenrieder, y C.H. Muravchik. Análisis del problema directo en EEG sobre medios anisótropos: formulación matemática y simulación mediante fem. En *Asociación Argentina de Mecánica Computacional*, vol 27, pags 3267–3282, 2008.

[3] M. Fernández Corazza, N. von Ellenrieder, y C.H. Muravchik. Estimation of electrical conductivity of a layered spherical head model using electrical impedance tomography. Enviado a SABI, 2011.

[4] C.F. Dalziel. Electric shock hazard. *IEEE Spectr.*, 9(2):41–50, 1972.

[5] J.F. Abascal et. al. Use of anisotropic modelling in electrical impedance tomography; description of method and preliminary assessment of utility in imaging brain function in the adult human head. *Neuroimage*, 43(2):258–68, 2007.

[6] S. Mori et. al. Stereotaxic white matter atlas based on diffusion tensor imaging in an ICBM template. *Neuroimage*, 40:570–582, 2008.

[7] E. Frank. Electric potential produced by two point current sources in a homogeneous conducting sphere. *J. Appl. Phys.*, 23(11):1225–1228, 1952.

[8] O. Gilad, L. Horesh, y D.S. Holder. Design of electrodes and current limits for low frequency electrical impedance tomography of the brain. *Med. Biol. Eng. Comput.*, 45:621–633, 2007.

[9] D.S. Holder. Electrical impedance tomography of brain function. *World Automation Congress*, 2008.

[10] Lior Horesh. PhD thesis, University College London, 2006.

[11] John David Jackson. *Classical Electrodynamics Second Edition*. John Wiley & Sons, 1975.

[12] J.C. Lagarias, J.A. Reeds, M.H. Wright, y P.E. Wright. Convergence properties of the Nelder-Mead simplex method in low dimensions. *SIAM J. Opt.*, 9(1):112–147, 1998.

[13] S. Rush y D. Driscoll. Current distribution in the brain from surface electrodes. *Anesthesia and analgetica*, 47(6):717–723, 1968.

[14] H.A. van der Vorst. BI-CGSTAB: A fast and smoothly converging variant of BI-CG for the solution of nonsymmetric linear systems. *SIAM J. Sci. Stat. Comput.*, 13(2):631–644, 1992.

PRODUCCIÓN DE H_2 BASADA EN GDR Y ASISTIDA POR RED DÉBIL. TOPOLOGÍA, OPERACIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA

Camocardi, Pablo A. Toccaceli, Graciela M. Battaiotto, Pedro E. Cendoya, Marcelo G.(*)

(*) **Lugar de trabajo**: Laboratorio de Electrónica Industrial, Control e Instrumentación (LEICI), Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, UNLP, Casilla de Correo Nº 91, 1900, La Plata, Argentina. E-mail: cendoya@ing.unlp.edu.ar

RESUMEN

La Generación Distribuida Renovable (GDR), como producción de energía eléctrica en proximidades de la carga, resulta particularmente beneficiosa cuando la red de distribución es “débil” frente a demandas puntuales, como sucede en los sistemas de producción de hidrógeno conectados a redes de electrificación rural. En este ámbito, el recurso eólico puede ser adecuado para este tipo de generación. En el trabajo se propone la topología y la estrategia de operación y control para una estación de producción de hidrógeno, “asistida” por una red débil de CA y “alimentada” por un aerogenerador de velocidad variable, basado en una máquina de inducción trifásica de doble estator. La conversión eólica es optimizada mediante un adecuado control del generador; la corriente del electrolizador es regulada para el máximo aprovechamiento de la potencia generada; las fluctuaciones rápidas de potencia, por turbulencias, son compensadas mediante un sistema controlado de almacenamiento de energía con volante de inercia. Se presenta la configuración del sistema, su modo de operación y control, y la validación por simulación.

Palabras Claves: Generación Distribuida Renovable, Generación Eólica, BDFIG, Flywheel, Electrolizador.

1. INTRODUCCIÓN

Una de las características distintivas de la Generación Distribuida en CA, es la producción y provisión de energía eléctrica en las proximidades del consumo. Esto resulta particularmente beneficioso cuando la red de distribución es “débil” frente a la demanda de cargas puntuales, como sucede comúnmente con los sistemas de producción de hidrógeno conectados a redes de electrificación en zonas rurales. Siendo que en muchas de estas regiones el recurso eólico suele constituir una importante y competitiva fuente de energía, su aprovecha-miento resulta una alternativa para la implementación de **Generación Distribuida Renovable** en estos ámbitos [1][2].

A tal efecto, en este trabajo se propone la topología y la estrategia de operación y control para una estación de producción de hidrógeno “**asistida**” por una red débil de CA, y “**alimentada**” por un **Aerogenerador** de velocidad variable basado en una máquina de inducción trifásica de doble estator, BDFIG [3][4]. El bobinado estatórico principal es conectado a la red en forma directa, mientras el estator de control lo hace a través de un enlace de CC que permite mantener la generación eólica en condiciones de máxima transferencia de poten-cia, ante variaciones lentas en la velocidad de viento. Este tipo de máquina es una interesante alternativa a la de inducción con rotor bobinado, por no requerir anillos rozantes y presentar mayor cantidad de polos, lo cual permite reducir significativamente la caja multiplicadora [5]. También resulta una opción a la máquina sincrónica con imanes permanentes, por ser más económica y requerir convertidores de potencia reducida para su control.

Un equipamiento adicional de **Almacenamiento** con Volante de Inercia (**Flywheel**), es operado y controlado con el fin de suavizar las fluctuaciones rápidas de potencia provenientes del aerogenerador, permitiendo una mejor operación y rendimiento del electrolizador y un menor nivel de perturbaciones en el punto de conexión a red. Este sistema de almacena-miento dinámico, es impulsado por una máquina de inducción con accionamiento electrónico conectado al enlace de CA del Aerogenerador. El sistema Flywheel resulta altamente competitivo por su durabilidad, bajo mantenimiento, densidad de potencia y costo [6][7][8][9].

Un **Electrolizador** alcalino es alimentado por un rectificador controlado que regula la potencia tomada desde el bus CA y la red. Su estrategia de operación conduce al completo aprovechamiento de la potencia eólica.

El sistema en su conjunto requiere de la red solamente una función de “asistencia”, consistente en:

i) Provisión de parámetros eléctricos (V, f) para convertidores y BDFIG.

ii) Suministro de potencia reactiva para el BDFIG.

iii) Suministro de una “reducida” potencia activa que asegura mínima producción de H_2, cuando el recurso eólico es insuficiente.

En el trabajo se presentan la configuración del sistema y la estrategia de conversión y control de energía. Finalmente se muestran los resultados de simulación y las conclusiones.

2. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA

La configuración del sistema de conversión propuesto se presenta en la Fig. 1. El mismo está constituido por tres módulos funcionales vinculados entre sí mediante un bus de CA, conectado a su vez a una red trifásica débil de 380V/50Hz a través de un *link*. Los módulos son los siguientes: ***Aerogenerador*, *Sistema de Almacenamiento, Sistema de Producción de Hidrógeno.***

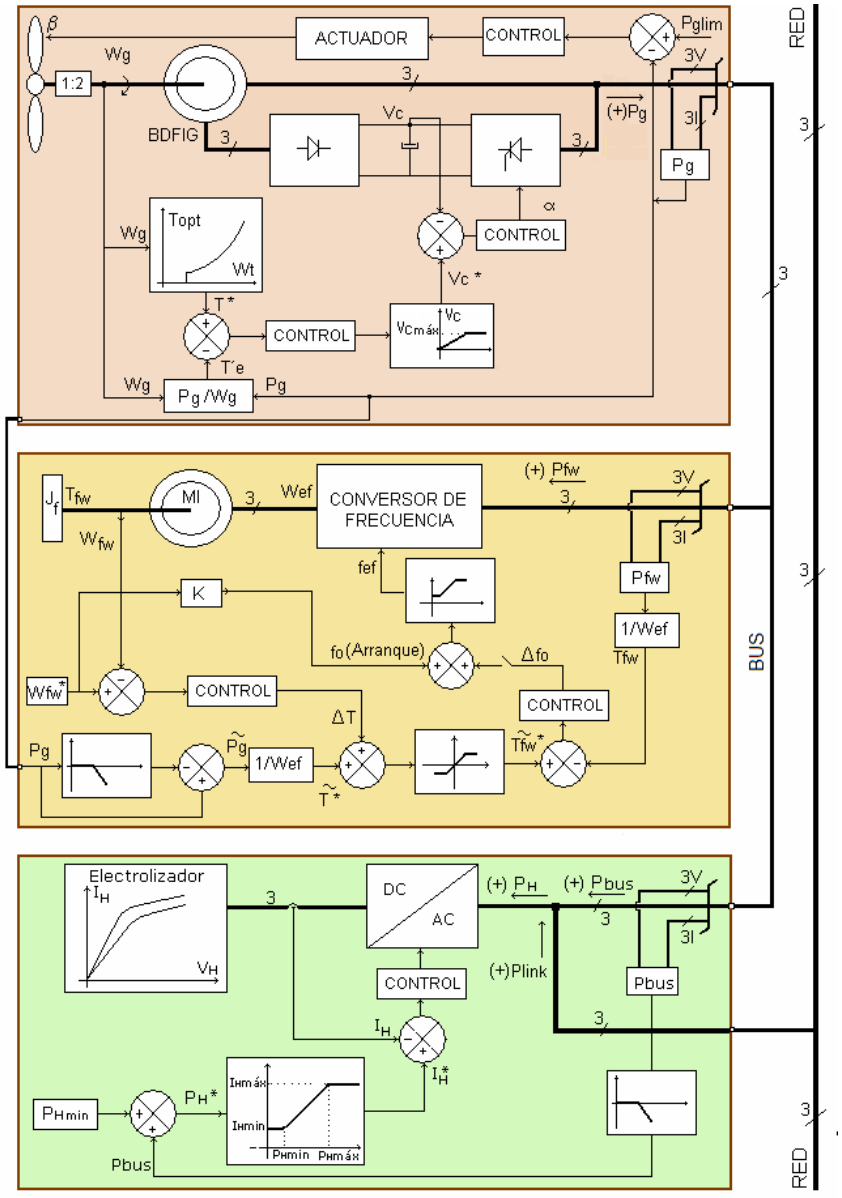


Fig. 1: Estructura Modular del Sistema.

El ***Aerogenerador*** posee una turbina de eje horizontal tripala y paso ajustable, que opera a velocidad variable. La misma impulsa, mediante una caja multiplicadora, a un generador de inducción trifásico de doble estator (BDFIG), cuyo arrollamiento estatórico principal se encuentra conectado directamente al bus CA. Un lazo cerrado controla la cupla electromagnética del BDFIG, siguiendo una referencia *T**, que determina el punto de operación de la turbina en estado estacionario. Este lazo de control actúa sobre la tensión de alimentación del arrollamiento estatórico auxiliar del BDFIG, mediante un enlace de CC con rectificación controlada tipo Kramer Estático [11]. Un lazo de control

de potencia, actuando sobre el paso de las palas de la turbina (β), limita la máxima potencia generada, $P_{glimite}$.
Datos de la Turbina: Pot.=75KW; Viento=14m/s; Radio=6mts; $C_{pmáx}$=0.4; λ_{opt}=6.7.
Datos del BDFIG: Pot 75KW; Estator Principal: 440V /50Hz /12 polos; Estator de Control: 700V /8 polos.
El ***Sistema de Almacenamiento*** se basa en un volante de inercia, impulsado por un motor de inducción trifásico en jaula (MI). Un lazo cerrado controla la cupla motriz siguiendo una referencia T_{fw}^*, que permite variar la velocidad del volante y así la energía almacenada. El mismo actúa variando la frecuencia de alimentación del MI por encima de su valor nominal mediante un conversor de frecuencia. La tensión de alimentación se mantiene en su valor nominal, operando al MI en la región de debilitamiento de campo. De esta forma, se obtiene una mayor capacidad de almacenamiento al trabajar con velocidades mas elevadas. El valor de T_{fw}^* resulta de la estrategia de compensación de fluctuaciones, que se presenta en el punto 3.
Datos del MI: Potencia 15KW; Estator: 380V /50Hz / 4 polos.
El ***Sistema de Producción de H_2*** está formado por un electrolizador alcalino alimentado por un rectificador controlado. Un lazo cerrado impone la corriente del electrolizador actuando sobre el ángulo de disparo del rectificador. Un lazo de control determina la potencia que el electrolizador toma del bus CA y la red.
Datos del Electrolizador: Potencia 60KW. Capacidad: 12m^3N/h. Presión: 30bar.

3. OPERACIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA

Se propone una estrategia de operación y control para cada módulo del sistema.

3.1 Aerogenerador

La cupla T_t producida por la turbina es:

$$T_t = 0.5\rho A r v^2 C_P(\lambda,\beta)/\lambda \quad (1)$$

ρ: densidad del aire; $A=\pi r^2$: área de captura; r: radio de pala; v: velocidad del viento; $C_p(\lambda,\beta)$: coeficiente de potencia, $\lambda=r\omega_t/v$: velocidad típica, ω_t: velocidad de rotación, β: paso de pala.

Los puntos de operación de la turbina a máxima potencia, describen una parábola en el plano (T_t, ω_t) [2]:

$$T_{topt}(\omega_t) = K_t \omega_t^2 \quad (2)$$

T_{topt}: T_t para máxima potencia, K_t: constante constructiva.
El punto de operación del aerogenerador en estado estacionario (ω=cte.), corresponde a:

$$T_t' = T_g \quad (3)$$

T'_t: T_t referida al eje del generador; T_g: cupla del generador.

El BDFIG con el estator principal conectado directamente a red y con el estator auxiliar alimentado mediante un sistema Kramer-estático, presenta una característica cupla-velocidad equivalente a la de la máquina DFIG con Kramer-estático en rotor [11]. Dicha característica, puede ser aproximada mediante una recta (Fig.2), del tipo:

$$T_g = K_g\left[\omega_g - \omega_o(V_C)\right] \quad (4)$$

$\omega_o(Vc)$: ω para T_g=0; V_C: tensión del bus CC; K_g: constante constructiva.

ω_o coincide con la velocidad de sincronismo cuando V_C es nula; si V_C aumenta, ω_o aumenta proporcionalmente. Según la Ec. (3), para que la turbina trabaje en los puntos de cupla óptima, se debe imponer a T_g el valor T'_{topt} para cada valor de ω_g. Ello se logra mediante la estructura de control presentada en la Fig.1, la cual actúa sobre la amplitud de la tensión del estator auxiliar, a través del Kramer-estático. T_g se mide en forma indirecta, como el cociente entre la potencia CA total generada y la velocidad del eje generador.

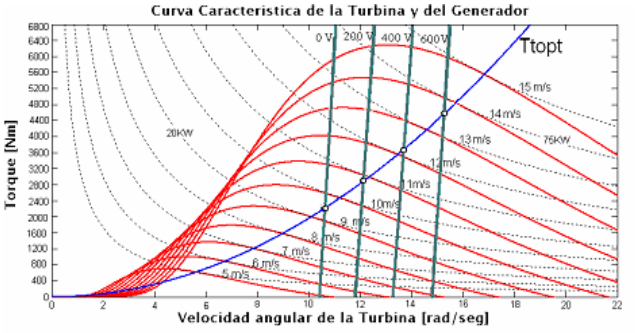


Fig. 2: Puntos de trabajo del aerogenerador.

En la Fig. 2 se representan las curvas características de la turbina, Ec. (1) con β=0, y las características del BDFIG, Ec. (4) referida al eje turbina, para tensiones del enlace de CC (V_C) que hacen operar al conjunto en los puntos de cupla óptima para diferentes vientos, Ec (2). Cuando el viento es muy intenso la potencia generada puede exceder el valor nominal del generador. Para evitar esto, se fijan límites a la velocidad de rotación y a la potencia generada. La velocidad máxima se determina mediante el valor V_{Cmax} en el lazo de control de cupla. La potencia máxima se regula mediante un lazo de control que actúa sobre el paso de las palas (β) [12]. Para potencias inferiores a la nominal se mantiene la condición de β=0, y la potencia será la máxima obtenible siguiendo la parábola descrita por la Ec. (1). En la Figura 3-(a) se grafica la acción del lazo de control del paso y en la Figura. 3-(b) las regiones de operación resultantes de la acción de los dos lazos de control del aerogenerador.

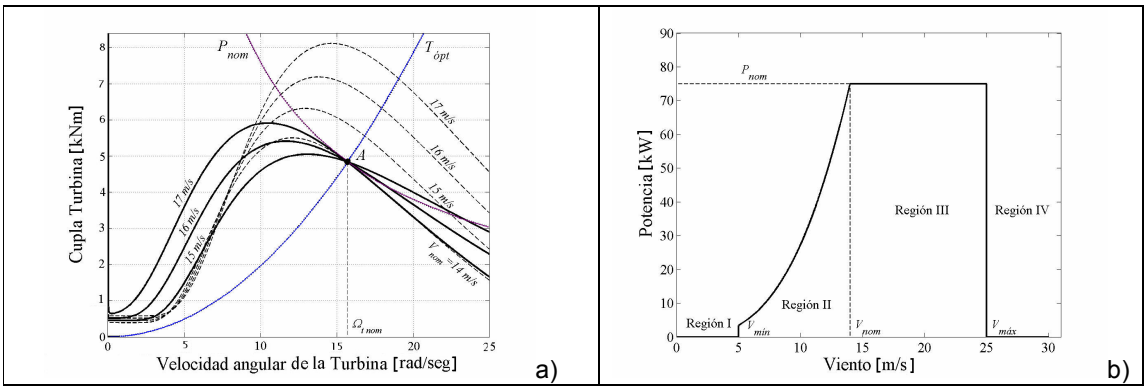


Fig.3: (a) Control de paso, (b) Regiones de operación del aerogenerador.

3.2 Sistema de almacenamiento

Se propone una estrategia de control que permite almacenar energía durante variaciones de potencia crecientes, y suministrar energía durante variaciones decrecientes. La potencia instantánea que deberá fluir por el módulo volante de inercia, P_{fw}, es:

$$P_{fw} = \tilde{P}_g = P_g - \overline{P}_g \tag{5}$$

P_g: potencia eléctrica total del aerogenerador. $\tilde{P}_g$: variación rápida; $\overline{P}_g$: valor medio.

Para su correcta operación, la velocidad del volante ω_{fw} debe estar comprendida en un determinado rango. Se establece una velocidad mínima, debajo de la cual la energía almacenada es pequeña, y de poca utilidad práctica. Limitaciones mecánicas determinan la velocidad máxima. La relación entre ω_{fwmax} y ω_{fwmin} se suele fijar en 2:1 ó 3:1, obteniéndose una variación útil de la energía cinética ΔE del 75% ó 89% de E_{max}, ya que:

$$\Delta E = E_{\max} - E_{\min} = J_{fw}\left(\omega_{fw\max}^2 - \omega_{fw\min}^2\right)/2 \qquad)$$

J_{fw}: momento de inercia; E_{min},, E_{max}: energía para ω_{fwmin} y ω_{fwmax}.

Con el fin de suavizar P_g, el volante debe ser capaz de almacenar o entregar energía en cualquier momento. Es necesario entonces, que en reposo opere a una velocidad intermedia dada por:

$$\overline{E} = \left(E_{\min} + E_{\max}\right)/2 \rightarrow \omega_{fw}^{*} = \sqrt{\left(\omega_{fw\min}^{2} + \omega_{fw\max}^{2}\right)/2} \tag{7}$$

Para cumplir con los objetivos definidos por las Ec. (5) y la Ec. (7) se utiliza un lazo de control de cupla del volante cuya referencia T_{fw}^{*}, está formada por dos componentes:

$$T_{fw}^{*} = \tilde{T}_{fW} + \Delta T = \tilde{P}_{g} / \omega_{efw} + \Delta T \tag{8}$$

La primera, $\tilde{T}_{fW}$, corresponde al suavizado de P_g, y se obtiene a partir de $\tilde{P}_{g}$, calculada mediante la Ec. (5). Esto requiere conocer $\overline{P}_{g}$, la que es obtenida mediante un filtro pasa-bajos ya que su variación es *lenta*. La segunda componente, ΔT, obtenida a partir de la referencia ω_{fw}^{*}, corresponde a la corrección introducida por un lazo *lento* de regulación de la velocidad de reposo del volante. Debido a su tiempo de respuesta, este lazo no interfiere con el lazo de suavizado de las fluctuaciones de potencia.

3.3 Sistema de Producción de H_2

Se desea que la potencia de alimentación del electrolizador P_H provenga, predominantemente, del conjunto aerogenerador-volante, P_{bus}. Para ello un lazo de control determina P_H regulando la corriente del electrolizador I_H, mediante un lazo de control de corriente que actúa sobre el ángulo de disparo del rectificador. La referencia del lazo de corriente I_{H}^{*} se obtiene a partir del valor de potencia deseado P_{H}^{*}, calculado como:

$$P_{H}^{*} = P_{H\min} + P_{bus} \tag{9}$$

P_{Hmin}: P_H para producción mínima de H_2.

El controlador del lazo de potencia posee saturaciones que definen un rango de operación segura para el electrolizador, I_{Hmin}, I_{Hmax}. De esta forma la potencia de la red, P_{link}, resulta:

$$P_{link} = \begin{cases} P_{H\min} & P_{H}^{*} < P_{H\max} \\ P_{H\min} - (P_{H}^{*} - P_{H\max}) & P_{H}^{*} \geq P_{H\max} \end{cases} \tag{10}$$

Para evitar cambios rápidos en I_H, que pueden desmejorar el funcionamiento del electrolizador [10] se utiliza un filtro pasa-bajos en la medición de P_{bus}.

4. RESULTADOS DE SIMULACIÓN

El sistema fue simulado en ambiente MATLAB®/*Simulink*. Se desarrolló un modelo utilizando elementos de la librería *SimpowerSystems* y el modelo del BDFIG presentado en [13] y [14].
La Fig. 4 (a) muestra la evolución temporal de la potencia del aerogenerador (P_g), mientras que (b) muestra el flujo de potencia en el Flywheel (P_{fw}). En (c) puede observarse la potencia consumida por el electrolizador (P_H), y finalmente en (d) la potencia tomada desde la red (P_{link}). El perfil de viento empleado consis-te en un viento constante (*11m/s*) al que se superpone una variación sinusoidal de amplitud *1m/s* y frecuencia *0.5Hz* a partir de *t=20s*. El Flywheel esta inicialmente activado, y luego (*t>70s*) desactivado.

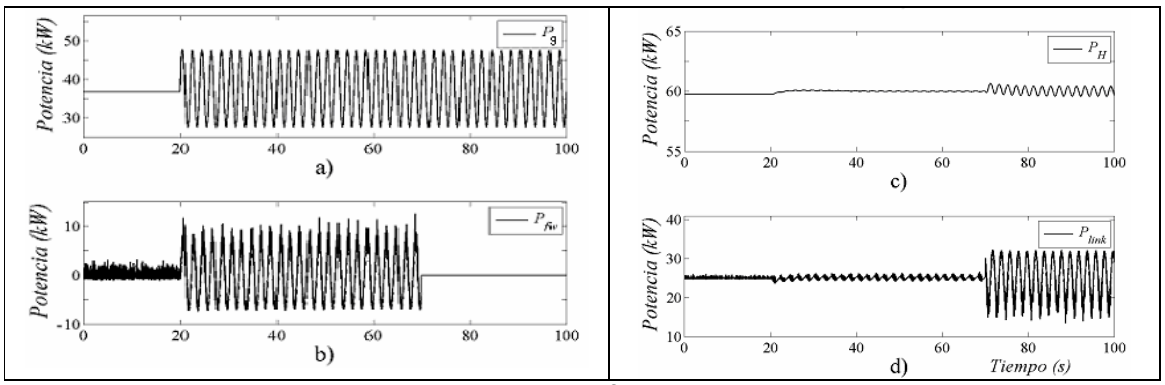


Fig. 4: Potencias: a) aerogenerador, b) flywheel, c) electrolizador, d) red.

La Fig. 5 muestra las trayectorias de las variables de la turbina y el BDFIG en el plano cupla-velocidad; el punto *A* corresponde a la operación de estado estacionario alcanzada durante los primeros *20s* de simulación. La diferencia entre las trayectorias roja y azul, se debe a la inercia mecánica del aerogenerador.

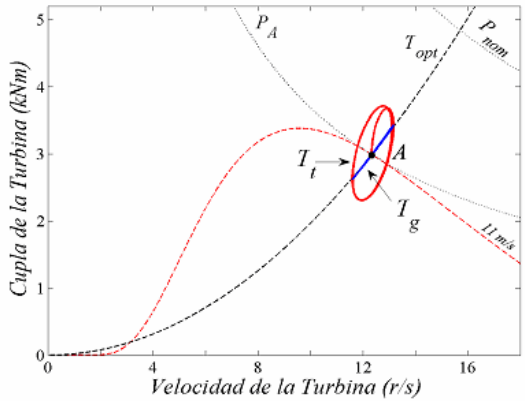


Fig. 5: Trayectorias en el plano T-ω: T_t (rojo continuo) y T_g (azul).

5. CONCLUSIONES

- La modularidad del sistema propuesto lo hace altamente flexible y reconfigurable, tanto en su topología como en su control.
- Las partes constitutivas presentan un bajo costo de inversión y mantenimiento.
- Los resultados de simulación han validado la estrategia de operación y control para un aprovechamiento eficiente del recurso eólico y un buen funcionamiento del electrolizador.
- La utilización de BDFIG en generación eólica y Flywheel para compensar fluctuaciones, constituyen una alternativa muy promisoria para GDR con buena calidad de potencia.

6. REFERENCIAS

[1] Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins, Ervin Bossanyi, *Wind Energy Handbook,* Wiley and Sons, 642 pages, Dec 2001.
[2] F. Bianchi, H. De Battista, R. Mantz, *Wind Turbine Control Systems*. Springer, 228 págs, London, Jun. 2006.
[3] S. Williamson, A. C. Ferreira, and A. K. Wallace, “Generalised theory of the brushless doubly-fed machine. Part 1: Analysis,” IEE Proceedings - EPA, vol. 144, no. 2, 111–122, 1997.
[4] S. Williamson and A. C. Ferreira, “Generalised theory of the brushless doubly-fed machine. Part 2: model verification and performance,” IEE Proceedings - EPA, vol. 144, no. 2, 123–129, 1997.
[5] R. Carlson, H. Voltolini, F. Runcos, P. Kuo-Peng, “A performance comparison between brush and brushless doubly fed asynchronous generators for wind power systems”, ICREPQ'06, Palma de Mallorca, 5, 6, 7 April, 2006. Paper 405.
[6] Cárdenas, R., R. Peña, G. M. Asher, J. Clare and R. Blasco-Giménez. “Control Strategies for Power Smoothing Using a Flywheel Driven by a Sensorless Vector-Controlled Induction Machine Operating in a Wide Speed Range”, IEEE TIE, Vol. 51, No. 3, 603-614. 2004.
[7] Ghedamsi, K., D. Aouzellag, E.M. Berkouk. “Control of wind generator associated to a flywheel energy storage system, RE 33, 2145–2156. 2008.
[8] Hardan, F., J.A.M. Bleijs, R. Jones, P. Bromley, A.J. Ruddell, “Application of a Power-Controlled Flywheel Drive for Wind Power Conditioning in a Wind/Diesel Power System”, EMD'99, Canterbury, UK. pp. 65-70. 1999.
[9] Takahashi I. et al, “Development of long life three phase uninterruptible power supply using flywheel energy storage unit”, PEDES´96, New Delhi, Vol. 1, 559–564. 1996.
[10] Bergen A. et al, “Transient electrolyser response in a renewable-regenerative energy system”. IJHE 34, 1, 64-70. 2009.
[11] B. K. Bose, *“Power Electronics and AC drives”*, Prentice-Hall, 1986.
[12] Camocardi, P. Battaiotto, R. Mantz, “Autonomous BDFIG-wind generator with torque and pitch control for maximum efficiency in a water pumping system”, IJHE 35, 5778–5785. 2010.
[13] Roberts, P. *“A Study of Brushless Doubly-Fed (Induction) Machines: Contributions in Machine Analysis, Design and Control”*. University of Cambridge, 2004.
[14] Rüncos, F. *“Modelagem, projeto e análise de máquinas assíncronas trifásicas duplamente alimentadas sem escovas”*. UFSC, Brasil, 2006.

DISPOSITIVO DE ASISTENCIA A DISCAPACITADOS MOTORES: SWITCH CONTROLADO POR SEÑALES ELECTROMIOGRÁFICAS

Marcelo Haberman y Enrique Spinelli

LEICI-Departamento de electrotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata
CC91 (1900), La Plata, Argentina.
Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET).
marcelo.haberman@ing.unlp.edu.ar

Introducción

La investigación para el desarrollo de ayudas tecnológicas en casos de discapacidades motoras severas es un tema de creciente interés en la comunidad. Particularmente, con la difusión y ubicuidad de las computadoras personales (PC), es cada vez más frecuente encontrar dispositivos que facilitan el acceso a las mismas, de manera de hacer uso del potencial de estos equipos. Tales dispositivos de ayuda se conocen en forma genérica, entre otras denominaciones, como Dispositivos de Asistencia o Asistivos, los cuales a su vez son tipos particulares de Interfaces Hombre-Computador (HCI). Estos dispositivos pueden pensarse como canales de comunicación alternativos, que brindan un reemplazo para el canal natural **Intención** -> Cerebro -> Nervio -> Músculo -> **Acción** afectado por alguna patología. Esto es posible siempre y cuando el sujeto pueda modular a voluntad alguna señal o variable factible de medir.

Las investigaciones en este ámbito han dado lugar al desarrollo de dispositivos basados en muy diversos tipos de señales, como por ejemplo el movimiento de la cabeza (MUSIC 2009), el de los ojos (CHIN 2008), de la lengua (HUO 2008), o incluso señales electrofisiológicas como electroencefalograma (EEG) o electromiograma (EMG).

En el presente trabajo, se propone la utilización de señales de EMG. Estas señales tienen su origen en los potenciales eléctricos (potenciales de acción) que se desarrollan en las membranas de las fibras musculares al intentar contraer un músculo. La detección de una contracción muscular, por más débil que sea, permite establecer una vía de comunicación alternativa entre un usuario y su entorno. En este sentido, se ha desarrollo de un sistema completo que, a partir de la detección de una contracción muscular, envía un evento a la PC a través de un puerto USB emulando el click del mouse, permitiendo así, sin instalar software alguno, el control de numerosos programas asistivos controlables solo por un click.

El sistema consta de diferentes bloques constitutivos, que pueden observarse en la figura 1:

- Electrodos y acondicionamiento de señal: Este bloque adapta las señales de EMG superficiales a la entrada del conversor AD. Las señales de EMG superficial poseen un piso de ruido entre 5μV y 10 μV, generado mayoritariamente en la interfaz electrodo-piel y amplitudes máximas de algunos mV (dependiendo del músculo y del nivel de contracción), en el ancho de banda de 30Hz a 300Hz se encuentra la mayor parte de la energía de estas señales (MERLETTI 2005). Para capturar las señales de EMG sobre la piel, se escogieron electrodos descartables de Ag-AgCl para ECG, que también son útiles para EMG, tienen un broche conector y además poseen un adhesivo que permite fijarlo mecánicamente a la piel. Los electrodos, además de ruido, introducen una impedancia grande y variable (10kΩ a 1MΩ) y una tensión de offset de decenas a cientos de mV.

Se confeccionó una placa de circuito impreso a la que se conectan los electrodos de medida y uno extra para la realimentación de modo común. En la cara superior se encuentran los componentes de montaje superficial que conforman un amplificador de instrumentación (INA) completamente diferencial de ganancia G_{DD}=10V/V. Este está formado por dos de los cuatro amplificadores operacionales de bajo ruido del TLC2274 de Texas Instruments. El INA tiene la función de entregar una señal de baja impedancia al conversor AD, compatible su rango de entrada y piso de ruido. Un tercer amplificador operacional es utilizado para conformar un lazo de realimentación de modo común (circuito DRL) e incrementar el rechazo de modo común (CMRR). Esta configuración de electrodos preamplificados incrementa el rechazo de interferencia electromagnética (EMI), favorece el CMRR por la alta impedancia que presenta el amplificador y permite la utilización de cables flexibles, ya que no requiere blindaje electromagnético. En este caso se utilizó cable plano de 4 conductores, un par para la señal diferencial amplificada y otro par para la alimentación del preamplificador.

- Conversión AD: Se utiliza el conversor AD ADS1259 de Texas Instruments, de tecnología sigma-delta. Este dispositivo posee una referencia interna de 2,5V, entrada diferencial de tensión, con un rango de entrada de ±2,5V en modo diferencial y de 0V a 5V en modo común. La salida digital es a través de una interfaz serie sincrónica (SPI), entregando cada muestra en un código de 24 bits. El conversor posee un ruido propio referido a su entrada, que para la configuración establecida (1200SPS, filtro $sinc^2$) es de $14\mu V_{PP}$. Referido a los electrodos, este ruido es de $1,4\mu V_{PP}$, aproximadamente 5 veces menor al producido en la interfaz electrodo-piel.
- Aislación del usuario: Por razones de seguridad, el usuario debe estar aislado de tierra y sobre todo de la línea de tensión de 220V o cualquier otro potencial eléctrico que pueda ocasionar daños a su salud, aún en casos de falla en el sistema. La norma de seguridad para equipamiento médico IEC60601-1 establece diversos requisitos en cuanto a la aislación y corrientes de fuga del usuario a tierra. En este sentido se ha escogido el circuito integrado ADUM6401 de Analog Devices que, cumpliendo los requisitos de aislación de la norma IEC60601-1, implementa la aislación de la fuente de alimentación del bioamplificador y del conversor AD, así como de las líneas digitales de la interfaz SPI.
- Alimentación: La energía para el funcionamiento del equipo se obtiene del puerto USB de la PC, que entrega 5V nominales y garantiza hasta 100mA, pudiendo suministrar hasta 500mA si la PC lo soporta. Todos los circuitos integrados utilizados funcionan con 5V de alimentación, por lo que no fue necesario adaptar niveles de tensión. El ADUM6401, previamente mencionado, implementa la aislación de dicha fuente, entregando también 5V, pero aislados del potencial del USB de la PC.

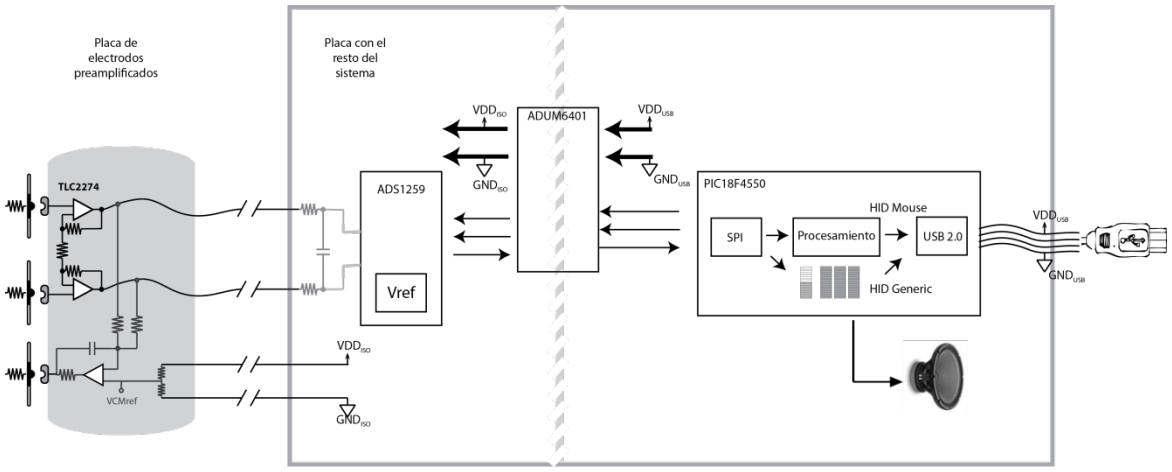


Figura 1: Esquema simplificado del hardware del sistema

- Procesamiento Digital: El procesamiento de las señales digitalizadas se lleva a cabo íntegramente en el microcontrolador PIC18F4550 de Microchip. En primer lugar se simuló el procesamiento offline en Matlab sobre señales registradas previamente, luego se implementó el procesamiento en tiempo real en un programa en la PC, programado en C# (HABERMAN 2011), y finalmente se embebió en el mismo sistema electrónico. La función del algoritmo embebido, programado en lenguaje C, es detectar contracciones musculares procesando las muestras de EMG entregadas por el conversor AD. Al detectar las contracciones, se activa un buzzer conectado al microcontrolador, para realizar una realimentación auditiva y se envía una "click" a la PC, a través de una conexión USB que implementa un perfil de mouse sobre una interfaz HID. Una interfaz HID genérica adicional permite conectarse al dispositivo para monitorear el procesamiento en diferentes etapas. Una aplicación en C# fue desarrollada a tal fin.
  El procesamiento embebido realiza las siguientes acciones:
  - Recepción de muestras de EMG por SPI a 1200 SPS y 24 bits de resolución (Figura 2a).
  - Filtrado pasa-altos de primer orden en 30Hz, en punto fijo, con coeficientes de 16 bits y acumulador de 32 bits.
  - Filtrado pasa-bajos de segundo orden en 200Hz, en punto fijo, con coeficientes de 16 bits y acumulador de 32 bits.
  - Promedio móvil de dos valores y diezmado por dos, obteniendo una tasa de 600 SPS para la señal de EMG filtrada (Figura 2b).
  - Rectificación de onda completa.
  - Seguimiento de valor pico (envolvente) con constante de tiempo de 22ms.
  - Suavizado con filtro pasa-bajos de segundo orden en 4Hz.
  - Diezmado por 10, obteniendo una tasa de 60 SPS para la envolvente suavizada (Figura 3a).
  - Seguimiento del valor mínimo de la envolvente, considerándolo una estimación del nivel de ruido base (Figura 3a).
  - Cálculo de dos umbrales, uno de activación: 6 veces el nivel base y uno de desactivación: 3 veces el nivel base. Esto puede pensarse también como una normalización de la envolvente al nivel base, y valores fijos para los umbrales de activación y desactivación de 6 y 3 respectivamente (Figura 3b). Estos valores

fueron ajustados experimentalmente para lograr una buena inmunidad al ruido sin perder sensibilidad.

- Valores de envolvente mayores al umbral de activación indican la existencia de contracción y valores de envolventes menores al umbral de desactivación indican reposo (Figura 3c). Además de la histéresis implementada con los dos umbrales, una maquina de estados finitos realiza un procesamiento adicional para evitar "rebotes". Sólo si se detecta una contracción por más de 150ms consecutivos se activa la realimentación auditiva y se simula el "click" en la PC.

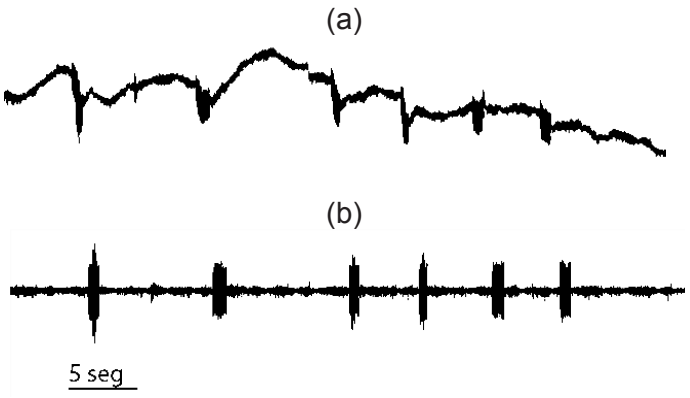


Figura 2: a) señal de EMG entregada por el conversor AD a 1200 sps b) señal filtrada entre 30Hz y 200Hz con una tasa de 600 sps

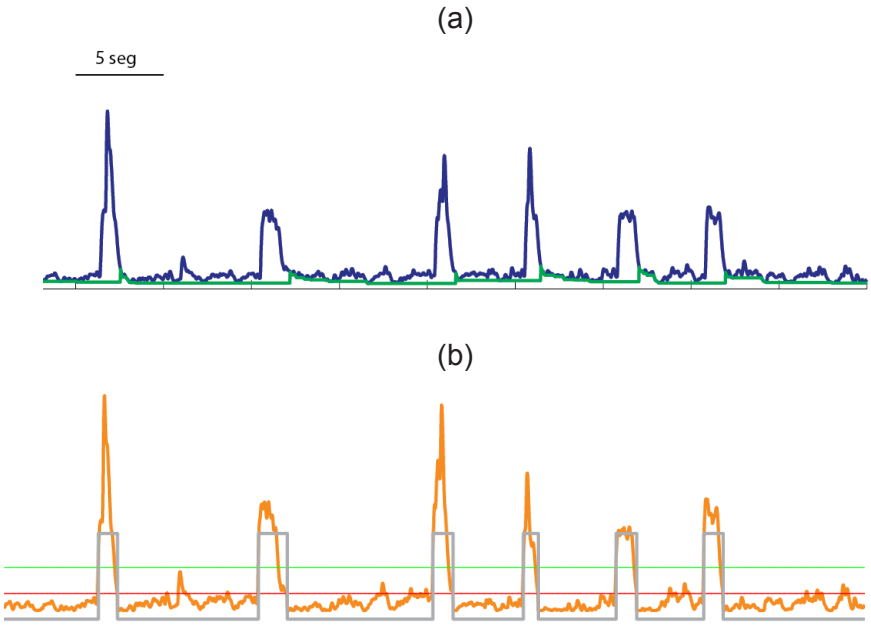


Figura 3: a) Envolvente de la señal de EMG (en azul) y estimación del piso de ruido o nivel base (en verde) b) envolvente normalizada al nivel base (naranja), umbrales de activación (en verde) y desactivación (en rojo) con valores de 3 y 6 respectivamente, resultado de la comparación entre amplitud normalizada y umbrales (en gris): nivel bajo indica detección de reposo y nivel alto indica detección de contracción.

Resultados Experimentales

Utilizando la interfaz HID genérica se registraron las muestras entregadas por el conversor AD, ante distintas condiciones.

- Electrodos en corto: esto permitió establecer una medida de ruido del sistema. Los registros dieron un valor de 0.5 μV_{RMS} referido a la entrada.
- Electrodos sobre un sujeto en reposo: lo que permite estimar un piso de ruido debido a la interfaz electrodo-piel, cuyo valor fue de 2 μV_{RMS} en el ancho de banda de la señal de EMG.
- Electrodos sobre el musculo bíceps-brachii en estados de reposo y contracción alternados: lo que permite validar el esquema de adquisición de señal, la relación señal-ruido (20dB) y el procesamiento embebido (Figura 4a y 4b).

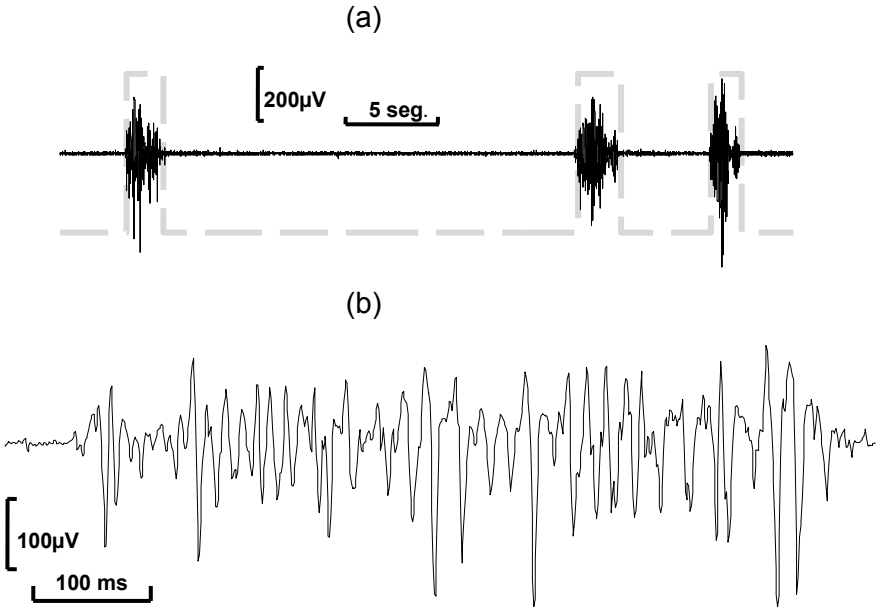


Figura 3: a) señal de EMG del músculo bíceps-brachii sin procesar (en negro) y señal binaria que indica contracción/reposo (en gris) obtenida por el procesamiento embebido b) detalle de la señal de EMG durante el comienzo de una contracción

El dispositivo también fue ensayado operando con aplicaciones de software asistivo controlable por un click, como por ejemplo el programa Plaphoons (ROYECTO FRESSA) en configuración de teclado por barrido. El mismo fue operado por varios sujetos con total naturalidad, lográndose una tasa de escritura aproximada de 10 caracteres por minuto.

Conclusión

Se implementó un sistema de adquisición de un canal de EMG con una topología moderna que minimiza el número de componentes y permite lograr un muy alto rango dinámico. Este equipo cumple con los niveles de aislación eléctrica que exige la norma IEC 60601-1 gracias al integrado ADUM6401, que permitió implementar de una manera muy sencilla la aislación de la alimentación y de las líneas de datos.

Se logró una implementación embebida del procesamiento previamente implementado en PC (HABERMAN 2011), lo cual convierte al sistema en un dispositivo completamente autónomo: el mismo toma la energía para funcionar del puerto USB y es reconocido como un mouse por cualquier PC o host USB, por lo que no necesita ningún driver o software especial para funcionar, solo un sistema operativo que reconozca un mouse USB.



Figura 4: Fotografía del dispositivo construido donde se observa la placa que contiene los electrodos y la conexión USB.

El procesamiento, al ser normalizado al nivel de ruido base, se independiza de las amplitudes absolutas y permite utilizar el dispositivo en músculos de diversos tamaños y para distintos niveles de contracción.

Si bien en este trabajo no hace hincapié en la aplicación de usuario que será controlada mediante los “clicks” del dispositivo presentado, existen numerosos programas destinados a proveer funcionalidad a personas con motricidad disminuida, que solo se manejan mediante un click (PROYECTO FRESSA), en general mediante mouse adaptados a grandes interruptores o “switches”. El dispositivo presentado permite a personas, que no tienen la fuerza necesaria para presionar estos interruptores mecánicos, disponer de un “switch EMG” para lograr controlar dichos programas.

Bibliografía

C.A. Chin, A. Barreto, J.G. Cremades, y M. Adjouadi. Integrated electromyogram and eyegaze tracking cursor control system for computer users with motor disabilities. Journal of rehabilitation research and development, 45(1):161, 2008.

M. Haberman y E. Spinelli. Diseño de HCI controlada por señales electromiográficas faciales, XIV Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control, RPIC, 2011.

X. Huo, J. Wang, y M. Ghovanloo. Introduction and preliminary evaluation of the tongue drive system: wireless tongue-operated assistive technology for people with little or no upper-limb function. Journal of rehabilitation research and development, 45(6):921, 2008.

J. Music, M. Cecic, y M. Bonkovic. Testing inertial sensor performance as hands-free humancomputer interface. WSEAS Transactions on Computers, 8(4):715‑724, 2009.

R. Merletti y H.J. Hermens. Electromyography: physiology, engineering, and noninvasive applications, chapter Detection and Conditioning of the Surface EMG Signal, pages 107‑131. John Wiley & Sons, Inc., 2005.

Proyecto Fressa. https://sites.google.com/site/ubascaa/codigos-para-comunicar/proyecto-fressa

RECEPTOR GNSS MULTIANTENA PARA APLICACIONES AEROESPACIALES

Jorge Cogo, Ramón G. López La Valle, Gerardo L. Puga, Javier A. Smidt, Juan G. Díaz, Javier G. García, Pedro A. Roncagliolo y Carlos H. Muravchik.

Laboratorio de Electrónica Industrial Control e Instrumentación (LEICI), Dto. Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, UNLP. 48 y 116 2º Piso, La Plata. CC 91. agustin@ing.unlp.edu.ar

Palabras Claves: GNSS, Receptor Multiantena, Radio Frecuencia, FPGA, Navegación.

1. Introducción

La determinación de la posición y velocidad del vehículo es una de las tareas críticas en las aplicaciones aeroespaciales como es el caso de aviones, satélites o cohetes. En los últimos años esta tarea se ha visto favorecida por el despliegue de los Sistemas de Navegación Global por Satélite (GNSS). Estos sistemas, utilizando como base una constelación de satélites que envían señales a la superficie terrestre, permiten que un usuario que cuente con un receptor adecuado pueda obtener esta información, en tiempo real y en cualquier parte del mundo. De los GNSS existentes el sistema GPS de EEUU fue el primero operativo y es el de uso más difundido. El segundo, con varios años de historia y declarado operativo recientemente, es el sistema ruso GLONASS. Además, existen varios GNSS en desarrollo como el Galileo de Europa y el COMPASS de China, que todavía no están operativos.

La premisa básica para el cálculo de posición por GNSS es que las señales de varios satélites deben ser recibidas simultáneamente en la antena del receptor [1]. En las aplicaciones típicas, todas las señales recibidas provienen de la misma antena. Por tanto, esta única antena debe ser ubicada en una posición tal que permita contar con la mayor cantidad de satélites visibles. En estos casos la ubicación obvia es el techo del vehículo. Sin embargo, la situación puede ser muy distinta en aplicaciones donde la orientación del vehículo puede cambiar sustancialmente a lo largo de su trayectoria, como en el caso de ciertos cohetes con rolido, o en el caso de un satélite o un avión que en alguna maniobra se pone “de cabeza”. En estos casos, lograr un diseño de antena que a pesar de la forma y materiales que componen al vehículo tenga un patrón de radiación omnidireccional puede resultar bastante dificultoso. Otra alternativa es usar varias antenas hemisféricas ubicadas en las caras principales del cuerpo y dotar al receptor de los medios para elegir qué antena es la adecuada para recibir la señal de cada satélite. Este trabajo describe el desarrollo de un receptor capaz de manejar cuatro antenas independientes, y de recibir las señales de los sistemas GPS y GLONASS. Su concepción, diseño y construcción han sido realizadas en la FI-UNLP y está previsto que los receptores GNSS de las próximas misiones de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CoNAE) utilicen esta tecnología.

El resto del trabajo está organizado de la siguiente manera. En la sección 2 se describe el hardware de radiofrecuencia (RF), conversión a frecuencia intermedia (FI) y conversión analógica-digital (AD) desarrollado y construido por el grupo de I+D+i en GNSS del LEICI. En la sección 3 se describen los aspectos más salientes de la plataforma de procesamiento digital desarrollada que realiza el resto de las tareas propias de un receptor multiantena. En la sección 4 se muestran los primeros resultados experimentales obtenidos con el receptor desarrollado y un arreglo de cuatro antenas giratorio, también construido en el lugar de trabajo. Por último se presentan las conclusiones de este trabajo en la sección 5.

2. Hardware de Radio Frecuencia y digitalización

El hardware desarrollado está constituido por un cabezal de radiofrecuencia que cuenta con cuatro entradas de antena. Este cabezal acondiciona en forma independiente las señales recibidas por las cuatro antenas, y las convierte a frecuencia intermedia a través de su mezcla con un tono de oscilador local. Las señales de frecuencia intermedia de GPS y GLONASS generadas por el cabezal son digitalizadas mediante una placa digitalizadora provista de cuatro conversores analógico a digital de dos canales. El tono de oscilador local necesario para realizar las cuatro conversiones a FI en el cabezal de RF, así como el reloj

de muestreo para la placa digitalizadora, son generados por una placa sintetizadora de frecuencias, a partir de una referencia común.

2.1 Cabezal de Radiofrecuencia

El cabezal de RF se encarga de recibir y acondicionar las señales de GPS y GLONASS provenientes de las cuatro antenas del receptor. Esta tarea se realiza individualmente para cada una de las antenas. Por lo tanto, internamente el cabezal de RF está constituido por cuatro cabezales idénticos que proveen el filtrado y la ganancia necesarios para seleccionar las bandas de interés y excitar correctamente a la etapa de digitalización posterior. El esquema propuesto para los cabezales internos, conocido como receptor heterodino [2], consiste en una etapa de RF con un amplificador de bajo ruido (LNA) y un filtro que selecciona las bandas de interés. Luego, las señales de RF se convierten a frecuencia intermedia en donde se separan las bandas de GPS y GLONASS, y se aporta el resto de la ganancia requerida. El oscilador local proveniente de la placa del sintetizador de frecuencias se divide en cuatro utilizando un cuadruplexor. De esta forma se deriva una señal de oscilador local para cada una de las cuatro entradas de antena.

En la Figura 1 se presenta un diagrama de bloques del cabezal de RF completo y una foto de la placa correspondiente que lo implementa. Dada la complejidad del diseño, la implementación se realizó en un circuito impreso de seis capas, y se utilizaron solamente componentes de montaje superficial. El tamaño del prototipo es de 16cm × 12cm. Luego de construido el cabezal, se realizaron numerosas mediciones a fin de corroborar su correcto funcionamiento y determinar sus parámetros más relevantes. Los amplificadores de bajo ruido poseen una ganancia de 19 dB y una figura de ruido de 1 dB. Este valor, que afecta sustancialmente el comportamiento de todo el receptor [2], es de los mejores que puede lograrse con la tecnología actual.

2.2 Sintetizador de frecuencias

Se encarga de generar el tono de oscilador local necesario para realizar la conversión de las señales de RF a FI en el cabezal de RF y provee el reloj de muestreo para la etapa de digitalización del receptor. Para lograr un buen desempeño del receptor es importante que la señal de OL sea estable en frecuencia y es necesario que tanto el tono de oscilador local como el reloj de muestreo estén derivados de una referencia común. Una forma de generar una señal de frecuencia elevada y precisa a partir de una referencia de frecuencia menor es mediante el uso de un lazo de enganche de fase (PLL) [2].

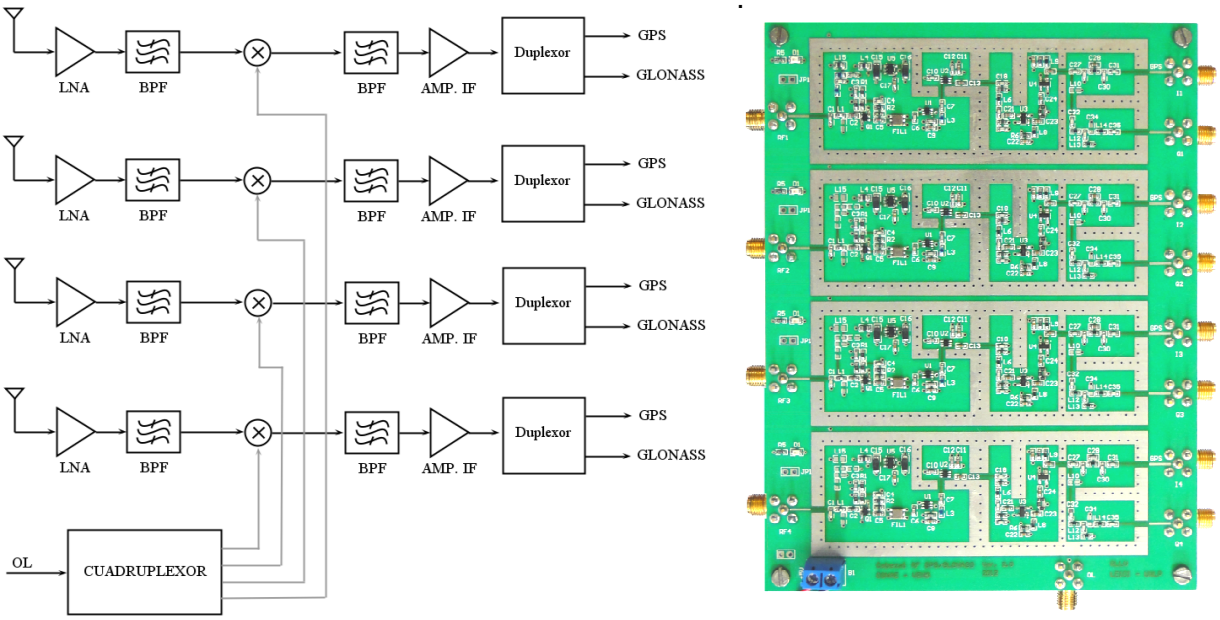


Figura 1: Cabezal de RF: Diagrama en bloques (izq.), y placa implementada (der).

En el diseño realizado se utilizan dos PLLs programables, uno para generar el tono de oscilador local, y otro para generar el reloj de muestreo, a partir de un oscilador a cristal con horno (OCXO) para obtener mayor estabilidad. En la Figura 2 se presenta un diagrama de bloques del sintetizador de frecuencias completo y una foto de la placa construida. La implementación se realizó en un circuito impreso de cuatro capas, y el tamaño de la placa es 16cm × 12cm. Con el objetivo de caracterizar el sintetizador y verificar su funcionamiento se realizaron diferentes pruebas y se midieron la frecuencia y nivel de oscilador local generado, comprobándose que eran adecuados y que no había presencia de tonos espurios.

2.3 Placa de digitalización

Se encarga de realizar la conversión al dominio digital de las señales de frecuencia intermedia de GPS y GLONASS provistas por el cabezal de radiofrecuencia. Posee cuatro conversores AD de dos canales, de esta manera se logra digitalizar las ocho señales de frecuencia intermedia generadas por el cabezal de RF. Las muestras obtenidas son directamente volcadas a un dispositivo lógico programable (CPLD), lo cual da la posibilidad de realizar un pre-procesamiento de las señales. El control automático de ganancia (AGC) se implementa también en esta placa. Por tal motivo cada una de las entradas analógicas está conectada a un VGA controlado en forma digital a través de la CPLD. Debido a que los conversores AD utilizados tienen entradas diferenciales, las señales de FI provenientes del cabezal de RF se convierten a modo diferencial mediante los VGA, ya que estos poseen salida diferencial. Luego, las señales ingresan a los conversores AD donde son digitalizadas con una resolución de 8 bits y a una tasa de muestreo de hasta 40Msps. En la Figura 3 se presenta un diagrama de bloques de la etapa de digitalización completa y una foto de la placa correspondiente ya construida. Se realizaron distintas pruebas y mediciones con el objetivo de verificar el adecuado funcionamiento de la placa. Además, se verificó la ausencia de acoplamientos apreciables entre los distintos canales de de la placa y se verificó la sincronización entre las señales de muestreo de los conversores AD.

3. Plataforma de procesamiento digital en FPGA

Esta plataforma fue desarrollada utilizando la placa de entrenamiento DE2 para FPGAs de Altera®, cuyos componentes principales son la FPGA Cyclone® II EPC35F672C, 512 Kb de memoria SRAM, y 8 Mb de memoria SDRAM, además de varias interfaces [3]. El sistema implementado mediante lenguaje de descripción de hardware (VHDL) cuenta con un microprocesador embebido y diversos periféricos, siendo el más importante el sistema de correlación de diseño propio que se describe a continuación. Este sistema es controlado a través del procesador por del software de tiempo real que se encarga de la búsqueda, sincronización, demodulación y toma de mediciones de las señales de los satélites de posicionamiento en vista.

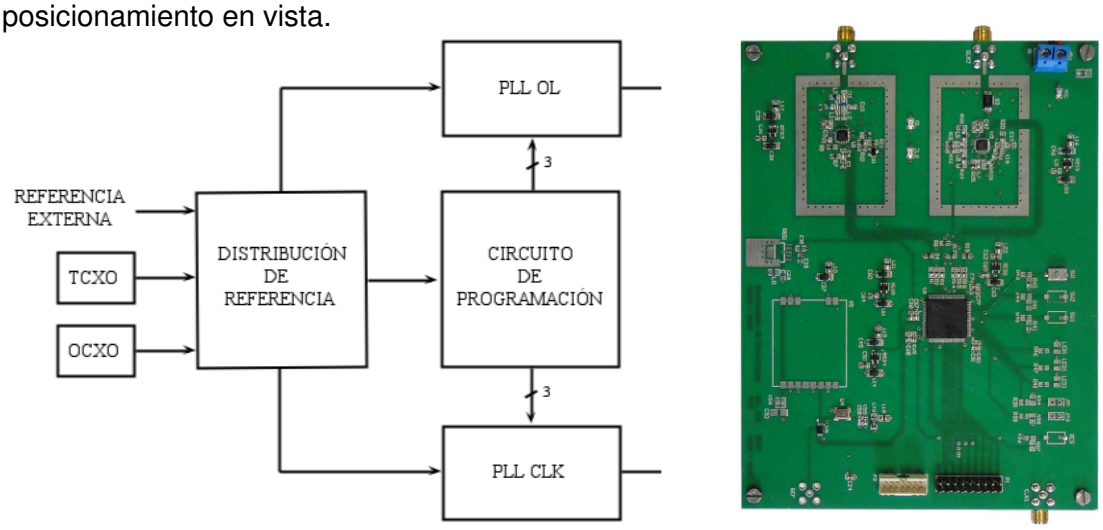


Figura 2: Síntesis de frecuencias: Diagrama en bloques (izq.), y placa implementada (der).

A diferencia de los receptores GNSS habituales el software tiene que decidir también qué antena es la adecuada para la recepción de cada satélite en vista. Esto es posible ya que el sistema de correlación tiene como entrada las señales de todas las antenas en simultáneo. Finalmente, con las mediciones obtenidas, los algoritmos de estimación implementados permiten calcular la posición del receptor con GPS y con GLONASS.

3.1 Sistema de Correlación

El sistema de correlación cuenta con 12 canales de seguimiento que pueden operar con señales de GPS o GLONASS de forma independiente y recibir datos de cualquiera de las antenas. Además poseen un canal extra que permite realizar 20 correlaciones simultáneas sobre la misma señal a fin de acelerar el proceso de adquisición. La Figura 4 muestra la arquitectura interna del sistema de correlación. El mismo también cuenta con dos temporizadores independientes que controlan el tiempo de integración para los canales de seguimiento y para el canal de adquisición rápida. Todo el sistema cuenta con dos fuentes de interrupción: una para el canal de adquisición y otra para los canales de seguimiento. Los temporizadores que controlan dichas interrupciones son los mismos que controlan el tiempo de integración. Los canales de seguimiento trabajan con las cuatro antenas simultáneamente mientras que el canal de adquisición posee un selector de antena configurable por software que le permite operar con una única antena a la vez. Cada canal puede operar tanto con señales de GPS o GLONASS según se seleccione por software.

3.2 Software de tiempo real y algoritmos de estimación

El software desarrollado está dividido en un conjunto de subsistemas que cumplen distintas funciones necesarias para el receptor. Este conjunto de subsistemas se mantienen comunicados mediante los servicios provistos por el sistema operativo utilizado, o mediante estructuras específicas generadas en el propio programa. El subsistema de “Seguimiento y Adquisición” son N tareas idénticas pero independientes entre sí, donde N es la cantidad total de canales de correlación activos entre todos los cabezales de RF. Cada tarea se encuentra asignada a un único canal de los correladores. Estas tareas realizan la mayor parte del trabajo del receptor: la búsqueda de satélites, seguimiento de la señal, la sincronización con los bits de datos en la misma, medición de potencia de señal, detección de enganche, etc. El subsistema de “Control de Receptor” es una tarea encargada de la ejecución de los comandos entrantes y la generación de las respuestas adecuadas en caso de que las haya. Gestiona el estado de los diversos comandos que estén en ejecución en un momento dado y se encarga de su evolución hasta completar cada uno de ellos.

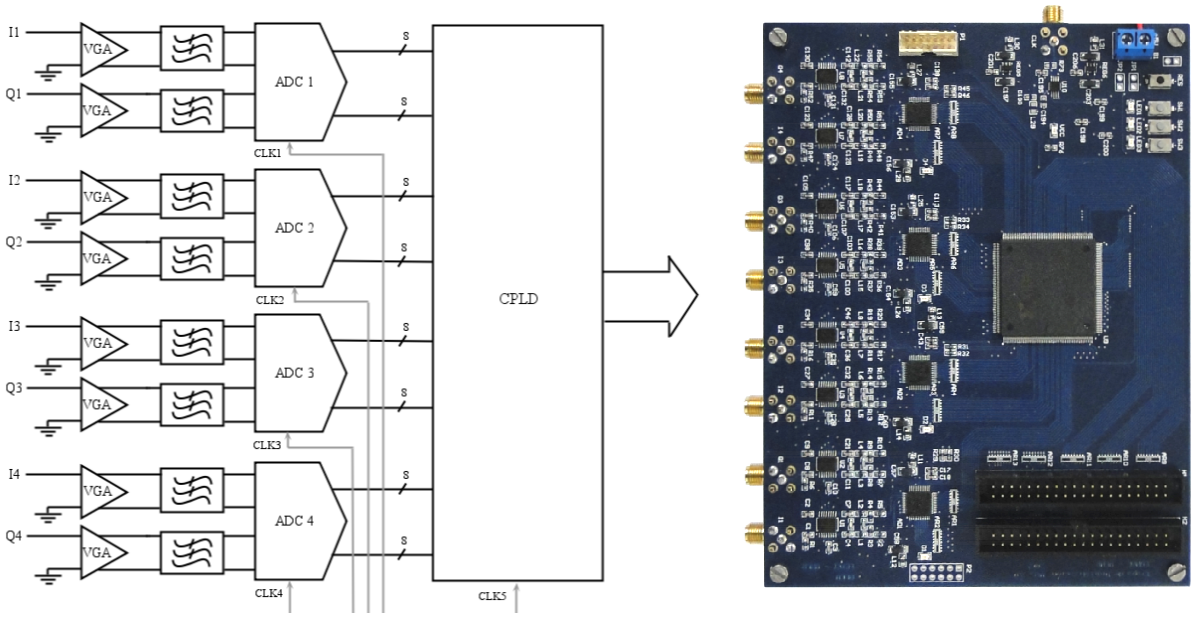


Figura 3: Placa de digitalización: Diagrama en bloques (izq.), y placa implementada (der).

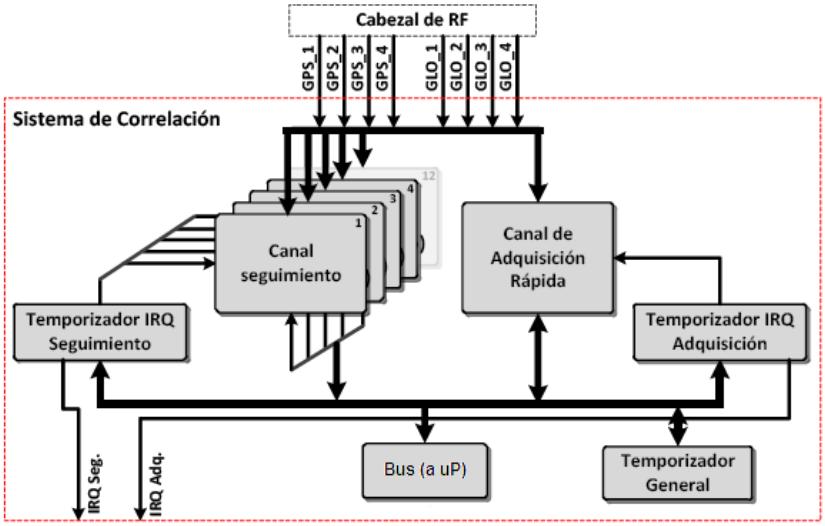


Figura 4: Diagrama en bloques del sistema de correlación implementado en FPGA.

El subsistema "Constelación" realiza la actualización periódica de la lista de visibilidad necesaria para acelerar los procesos de adquisición de señal. Consiste principalmente de una tarea de ejecución periódica de baja prioridad. El subsistema de "Navegación" es la tarea encargada de recolectar las mediciones generadas por cada uno de los canales del receptor, procesarlas y generar una estimación de la posición del receptor, ya sea con el sistema GPS o con el sistema GLONASS. Finalmente, el subsistema de "Comunicaciones" son las tareas encargadas de gestionar la cola de mensajes de salida y colocarlos en salida serie del receptor. También se encarga de la recepción de mensajes y comandos entrantes, de su decodificación y verificación. Una vez verificados, estos comandos son elevados al subsistema "Control del Receptor" para su ejecución.

4. Primeros resultados experimentales

El prototipo desarrollado, completamente integrado, y el arreglo de cuatro antenas construido para validar su funcionamiento, se muestran en la Figura 5. El receptor se conectó a las antenas en la terraza del edificio de electrotecnia y luego de adquiridos varios satélites de GPS y de GLONASS se giró manualmente el arreglo de antenas, a fin de cambiar la visibilidad de satélites de cada antena. Se comprobó que el receptor mantuvo la sincronización con los distintos satélites de posicionamiento en vista durante estos cambios de orientación del arreglo y que pudo seguir calculando su posición sin interrupciones durante los mismos, con ambos sistemas, y con errores dentro de los valores esperados.

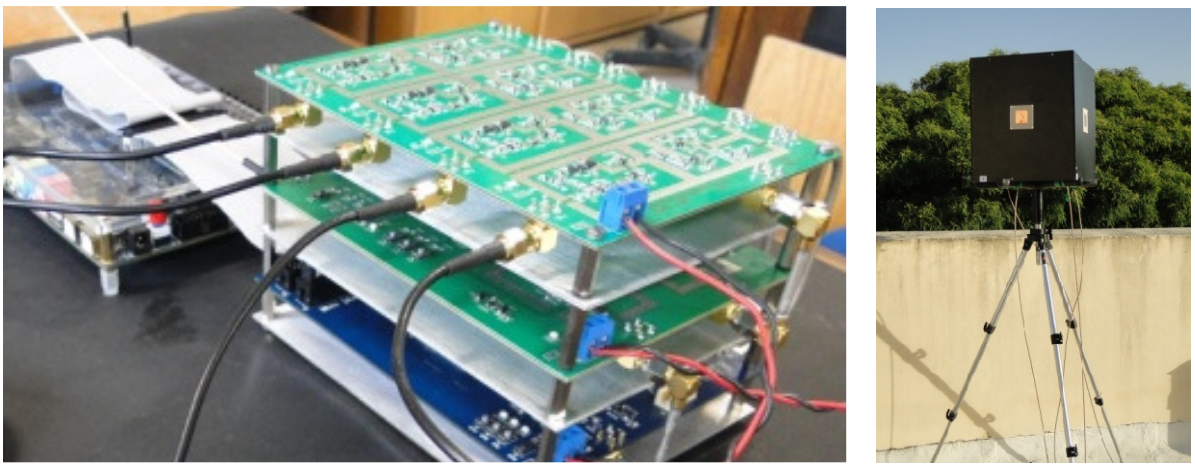


Figura 5: Receptor GNSS multiantena prototipo (izq) y arreglo de cuatro antenas (der).

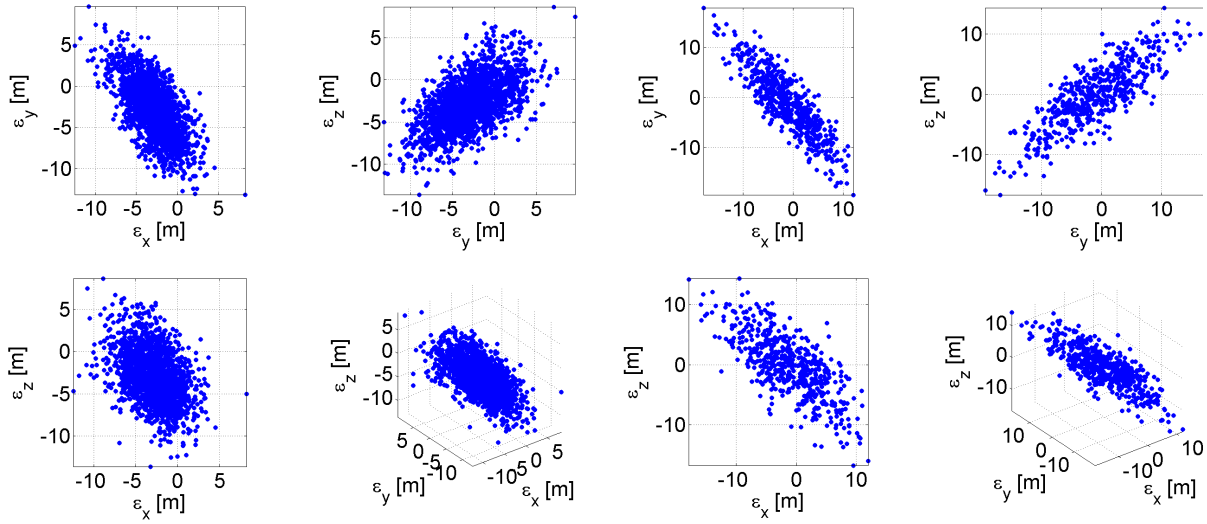


Figura 6: Resultados de posición con sistema GPS (izq.) y GLONASS (der).

A modo de ejemplo se muestran en la Figura 6 algunos resultados de posición obtenidos con la señal de GPS y con el sistema GLONASS. Puede apreciarse que los resultados obtenidos con ambos sistemas son muy similares, indicando un correcto funcionamiento del receptor. Puede notarse también que, a pesar de no haberse realizado un filtrado temporal, los errores están en el orden de los 5m en el caso de GPS, y en el orden de 10m en el caso de GLONASS. Que el error obtenido con GLONASS sea de aproximadamente el doble del obtenido en GPS es esperable debido a que el ancho de banda de la señal de GLONASS es la mitad del de la señal de GPS [4]. Estos valores son considerablemente mejores que los obtenidos con receptores comerciales y permiten verificar la calidad del procesamiento analógico y digital realizado por el receptor.

5. Conclusiones

Se presentó el diseño, la construcción y la validación experimental de un receptor de los sistemas de posicionamiento global estadounidense, GPS, y ruso, GLONASS, con la particularidad de poseer múltiples entradas de antena simultáneas. Esta característica lo hace apto para ser utilizado en aplicaciones donde la orientación del vehículo puede cambiar sustancialmente a lo largo de su trayectoria, como ocurre habitualmente en aplicaciones aeroespaciales. Se desarrolló tanto el hardware como el software necesario combinando diversas especialidades de la ingeniería electrónica como el diseño de circuitos de radio frecuencia y circuitos impresos para señales de alta velocidad, sincronización de señales de comunicaciones digitales, diseño de software de tiempo real y algoritmos de estimación no lineal. Se presentaron los resultados experimentales obtenidos con un primer prototipo operativo y un arreglo móvil de cuatro antenas. Actualmente se continúa trabajando en el desarrollo de este receptor a fin de que pueda ser utilizado como parte del sistema de navegación, guiado y control de los vehículos lanzadores que está desarrollando la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CoNAE).

6. Bibliografía

[1] Parkinson, Bradford W. y Spilker, James J. Jr. (eds), *Global Positioning System: Theory and Applications*, vols. I y II. American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), Washington, 1996.

[2] R. E. Ziemer and W. H. Tranter, *Principles of Communications: Systems, Modulation and Noise*. Fifth edition. John Wiley & Sons Inc., 2002.

[3] Altera Corporation, *DE2 Development and Education Board. User Manual*, 2006.

[4] E. D. Kaplan and C. J. Hegarty, *Understanding GPS: Principles and Applications*, Second Edition, Artech House, 2006.

INTRODUCCIÓN AL SISTEMA SATELITAL ARGENTINO DE RECOLECCIÓN DE DATOS AMBIENTALES

Adrián Carlotto, José María Juárez, Gerardo Sager

Grupo de Investigación y Desarrollo en Comunicaciones Digitales (GrIDComD)
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle 116 y 48. La Plata.
gridcomd@ing.unlp.edu.ar

Resumen—El Sistema Satelital Argentino de Recolección de Datos Ambientales (SARDA), es un sistema de colección de datos, que hará posible el seguimiento de parámetros del medioambiente, a partir de mensajes transmitidos desde plataformas autónomas. Estas últimas principalmente ubicadas en zonas de difícil acceso. El primer receptor del sistema, forma parte de la carga útil del satélite SAC-D de la CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales). La señal recibida es tratada por una etapa de RF y luego procesada digitalmente en vuelo, a partir de muestras en frecuencia intermedia. Los mensajes obtenidos son luego descargados en la Estación Terrena Córdoba (ETC) donde son validados, clasificados y finalmente puestos a disposición de los usuarios. El presente trabajo introduce al sistema y describe de forma somera la implementación del primer receptor. Se muestran algunos de los datos obtenidos en vuelo.

INTRODUCCIÓN

El Sistema Satelital Argentino de Recolección de Datos Ambientales, es un sistema en el que se reúnen datos del medioambiente, transmitidos desde plataformas autónomas denominadas DCP (Data Collection Platforms). Estas pueden instalarse en la superficie terrestre, sobre boyas en los océanos y ríos, en globos, entre otros. Las DCP pueden estar en una posición fija o móvil. Los mensajes transmitidos a intervalos regulares, son procesados en vuelo por los receptores del sistema. El receptor DCS (Data Collection System), forma parte de la misión SAC-D de la CONAE y se constituye en el primer receptor del sistema. Los datos extraídos son almacenados junto con la telemetría interna y finalmente transmitidos a la ETC para su posterior procesamiento y distribución a los usuarios (Fig. 1A) [1].

El receptor DCS del SAC-D, fue concebido para recibir en promedio, dos mensajes por día de hasta 200 plataformas, distribuidas sobre territorio argentino. Sin embargo, al tratarse de un sistema de almacenamiento y descarga, y siendo el satélite de órbita polar, puede recibir datos desde cualquier plataforma del sistema que se ubique en cualquier parte del planeta.

A escala global, se encuentran operativos sistemas como ARGOS DCLS (ARGOS Data Collection and Location System) resultado de un acuerdo entre la agencia espacial francesa CNES, NASA y NOAA de EEUU y recientemente EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites) [2]. El sistema Argos funciona desde el año 1978 atiende a aproximadamente 21000 plataformas distribuidas por todo el planeta. En Latinoamérica, el Sistema Nacional de Dados Ambientais (SINDA) de Brasil, desarrollado por el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), tuvo inicio en el año 1993 con el lanzamiento del satélite SCD-1 [4]. El SINDA posee en la actualidad alrededor de 1000 plataformas propias, principalmente ubicadas sobre territorio brasilero.

El receptor DCS, al igual que los receptores de Argos, procesa las señales de los mensajes recibidos en vuelo [3], luego transmite los datos a una estación terrestre donde se realiza la identificación, validación y distribución de los datos de ciencia a los usuarios. A diferencia de lo que sucede con el sistema argentino, los satélites del sistema brasilero (actualmente SCD-1, SCD-2 y CBERS-2B) poseen un retransmisor que reenvía la señal recibida desde las plataformas a tierra, para su posterior procesamiento. La desventaja de este tipo de diseño es que el satélite debe estar a la vista de la plataforma y de alguna estación terrena simultáneamente.

Las plataformas del SARDA (Fig. 1B) contienen a los sensores, adquisidores de datos y los transmisores PTT (Platform Transmitter Terminal). Debido a la alta sensibilidad del receptor en vuelo (-126dBm @ $Pe_b=10^{-5}$), la potencia media de transmisión de las PTT es de 30dBm. Las DCPs transmiten un mensaje a intervalos prefijados, sin ningún tipo de interrogación por parte del satélite. Todas las DCP pueden acceder al canal sin ningún tipo de coordinación entre sí. Teniendo en cuenta que la tasa de bit es de 400bps, que el largo de los datos de ciencia varía entre 32 bits (mínimo) y 256 bits (máximo) y que además se transmite un protocolo de inicialización para sincronización e identificación, la duración del mensaje transmitido varía entre 360ms y 920ms.



Fig. 1A. Componentes del sistema.

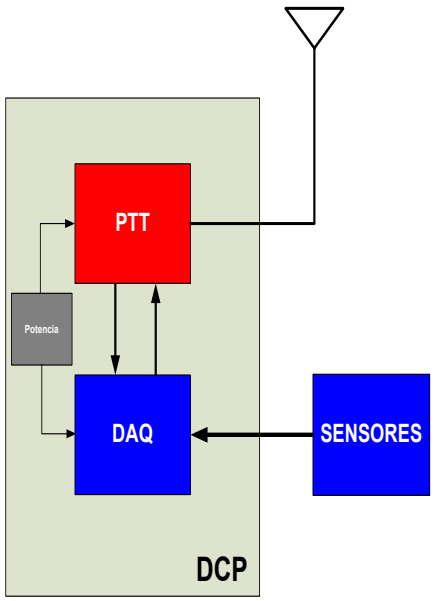


Fig. 1B.Componente de una DCP

En las siguientes secciones se analiza la implementación del receptor, especialmente las etapas de procesamiento digital realizadas por un DSP, se enumeran algunas de las pruebas realizadas y se muestran algunos resultados.

EL SATÉLITE SAC-D

El satélite SAC-D de la CONAE, es el cuarto de la serie SAC de observación terrestre. Fue puesto en órbita el 10 de junio de 2011 por un lanzador Delta II, desde la base Vandenberg, California, EEUU. Posee una órbita polar, solar sincrónica a una altura de 657km. El instrumento principal es un escaterómetro y radiómetro denominado Aquarius. Este instrumento mide la salinidad en la superficie del mar. Además, el SAC-D incluye en su carga útil cinco instrumentos nacionales: un radiómetro de microondas, una cámara en el infra-rojo, una cámara de alta sensibilidad, un paquete de demostración tecnológica y el receptor DCS.

EL RECEPTOR DCS

Estructura de la Señal Transmitida por las DCP

El sistema de modulación utilizado es BPSK con portadora residual. La forma del pulso utilizada es Manchester. La estructura del mensaje transmitido por las plataformas coincide con la del sistema Argos I y se muestra en la (Fig. 2).

Al comienzo de la transmisión, se transmite la portadora sin modular durante los primeros 160ms, para que toda la potencia se utilice en garantizar la detección. Luego se transmiten 15 símbolos iguales de manera de tener información del tiempo de bit, 8 bits indican la trama con que el receptor deberá sincronizarse para eliminar la ambigüedad de 180°, un bit de inicialización, 4 bits indicando el número de bloques de 4 bytes que componen el dato de ciencia, 20 bits correspondientes a la identificación de plataforma (DCP-ID) marcado en rojo y finalmente los datos.

160 ms solo Portadora	**Sinc. Bit**	**Sinc. Trama**	**Inicial.**	**# grupos N**	**DCP ID**	**Datos (N x 32bits)**
	15	8	1	4	**20**	Hasta 256

Fig. 2. Estructura del mensaje (en número de bits)

Dado que un error que se de en el canal dentro del campo DCP-ID, produciría que el mensaje fuese entregado a otro usuario final, en dicho campo se implementa un código de bloque lineal sistemático (20,15). Este código no perfecto, permite la corrección de todos los errores simples que se producen en el canal y también detectar algunos esquemas de errores de mayor número de bits, siempre que el síndrome que se produzca sea no nulo y no pertenezca a una fila de la matriz de chequeo de paridad.

Receptor en el SAC-D

El receptor DCS del SAC-D, puede recibir en la banda de los 401 a 403MHz, en uno de 200 canales separados 10kHz entre sí. De esta manera, el receptor puede captar las transmisiones de plataformas del sistema Argos I y del SINDA. La frecuencia nominal del sistema argentino es 401.550MHz. El pre-procesamiento de los mensajes se realiza en vuelo, lo que permite adquirir mensajes desde plataformas ubicadas en cualquier parte del planeta aun cuando el satélite no esté a la vista de estación terrena alguna.

La (Fig.3A) muestra el diagrama en bloques funcional del receptor. La etapa de radiofrecuencia recibe la señal captada por la antena del sistema, que apunta a la superficie terrestre, la filtra, la amplifica, y la traslada a frecuencia intermedia, para finalmente obtener sus componentes en fase y cuadratura. Ambas señales, entonces, son muestreadas para ser procesadas en un procesador digital de señales.

A partir de las muestras, la Unidad de Búsqueda (SU, Search Unit) es la encargada de detectar la transmisión de alguna DCP y estimar la frecuencia y amplitud de la portadora recibida. Debido a que todas las DCP transmiten aproximadamente en la misma frecuencia a intervalos regulares, es posible que se produzcan colisiones entre mensajes en el canal. La Unidad de Recuperación de Datos (DRU, Data Recovery Unit) es la encargada de adquirir la portadora, recuperar el reloj de bit y encontrar el sincronismo de trama, de manera de obtener el mensaje transmitido.

Finalmente, la Unidad de Interfaz de Comandos y Datos, permite controlar el estado del receptor por medio de comandos enviados desde tierra y descargar los mensajes recuperados y almacenados en memoria.

Para realizar las tareas de procesamiento digital de la señal seleccionamos ADSP21060 SHARC de Analog Devices. Es un procesador de 32 bits de alta performance y pertenece a la familia del 21020, muy utilizado en aplicaciones espaciales.

Unidad de Búsqueda: es la encargada de detectar la transmisión de alguna DCP, como así también estimar la frecuencia y amplitud de la portadora. Dado que durante los primeros 160ms se transmite solamente portadora sin modular, el problema que resuelve la SU consiste en detectar una señal sinusoidal (modelo de señal determinístico) inmersa en ruido, que se modela como aditivo, blanco y gaussiano. Los parámetros de la señal (amplitud, frecuencia, fase inicial y tiempo de arribo) son desconocidos, lo que resulta en una degradación respecto al filtro adaptado (detector óptimo). Un detector sub-óptimo se implementa utilizando la transformada discreta de Fourier.

Lazo de Portadora: Detectada alguna transmisión, resta adquirir la portadora. La etapa de detección entrega un estimado de su frecuencia, para que el error de frecuencia inicial del lazo sea a lo sumo 15,625Hz. El detector de fase equivalente implementado utiliza como entrada las señales en fase y cuadratura y en su salida se obtiene una señal que es función del coseno del error de fase. El NCO (numerically controlled oscillator) se implementó mediante una tabla de 256 palabras de 8 bits. La inicialización del mismo se realiza a partir de la frecuencia estimada en la detección.

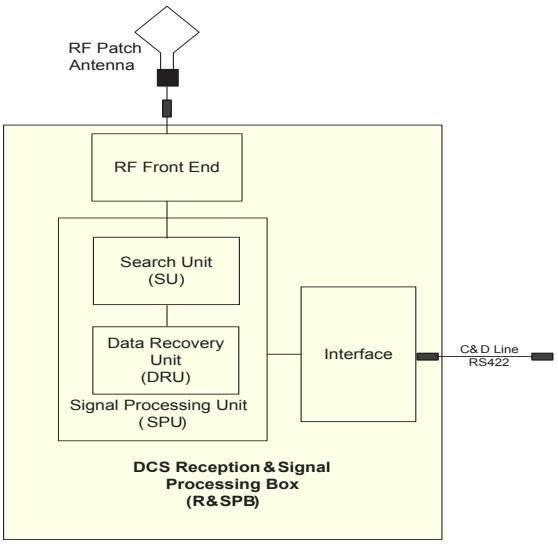


Fig. 3A.Diagrama en bloques funcional

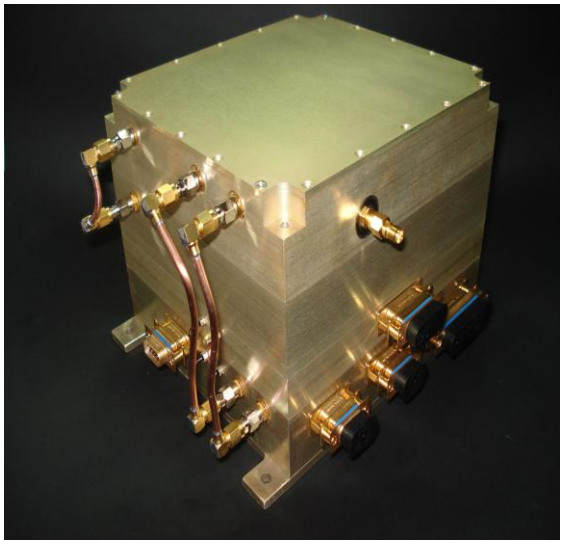


Fig. 3B. Receptor embarcado en el SAC-D.

Sincronismo de Símbolo y de Trama: Como sincronizador de bit se utiliza un esquema denominado SCCL (Sample Correlate Choose Largest) . El sincronizador óptimo realizaría un test de hipótesis, utilizando el criterio de máximo a posteriori (MAP) sobre las 80 hipótesis (dadas 80 muestras por bit) es decir, 80 posibles posiciones para el comienzo del bit. En el DSP se implementó una versión sub-óptima, considerando solo tres hipótesis (reloj de bit atrasado, a tiempo y adelantado). Adquirido el sincronismo de trama que resuelve la ambigüedad de 180°, sabemos en qué lugar dentro del mensaje nos encontramos y a continuación se extrae el largo del mensaje, la identificación de la plataforma y por último los datos. La finalización se da cuando se obtiene el último bit de datos (proceso de cuenta).

Ensayos funcionales en Vuelo

El receptor DCS se encendió el 31 de agosto de 2011, a las 10:42 hora UTC. En la (Fig.4A) se muestra el comportamiento térmico del receptor, medido internamente por el instrumento. Se visualiza el transitorio térmico del encendido del satélite. Cada espiga en el gráfico se corresponde con un ciclo de encendido del receptor en vuelo. Se comprueba que la sobreelevación de temperatura de los conversores A/D respecto a la base del receptor no llega a los 4°C. El DSP está prácticamente acoplado térmicamente a la base del receptor que a su vez se encuentra acoplada a la estructura del satélite. La (Fig. 4B) muestra la primera portadora detectada por el receptor. Se observa la respuesta en el ancho de banda de detección y el umbral nominal utilizado.

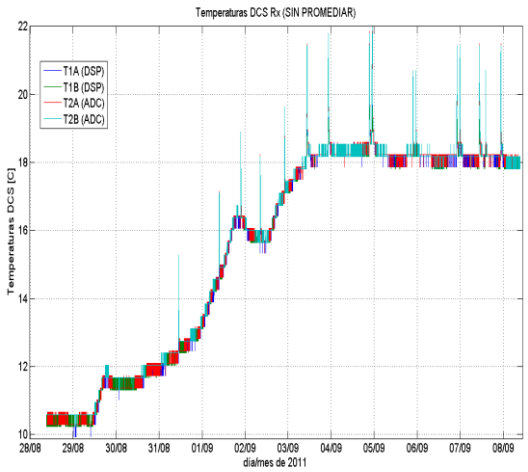


Fig. 4A.Comportamiento térmico del receptor.

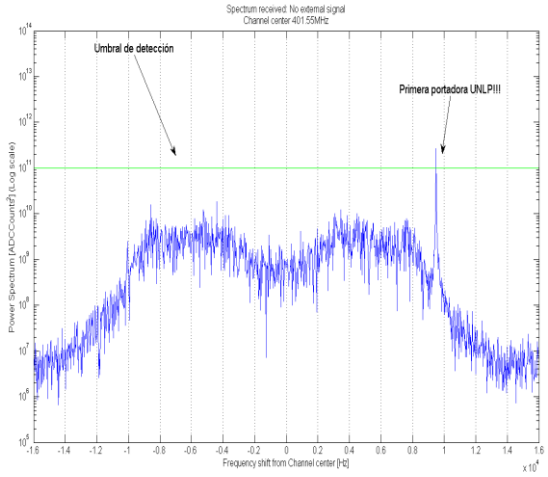


Fig. 4B.Detección de la primera portadora..

Se realizaron ensayos funcionales en las frecuencias de los sistemas SINDA y Argos transmitiendo desde la FI-UNLP con un transmisor patrón. La (Fig. 5) muestra los valores de frecuencia de portadora al momento de la detección, para el sistema brasilero. En círculos se distingue la transmisión de una plataforma en particular clasificada mediante el campo de identificación de plataforma, incluido en el mensaje.

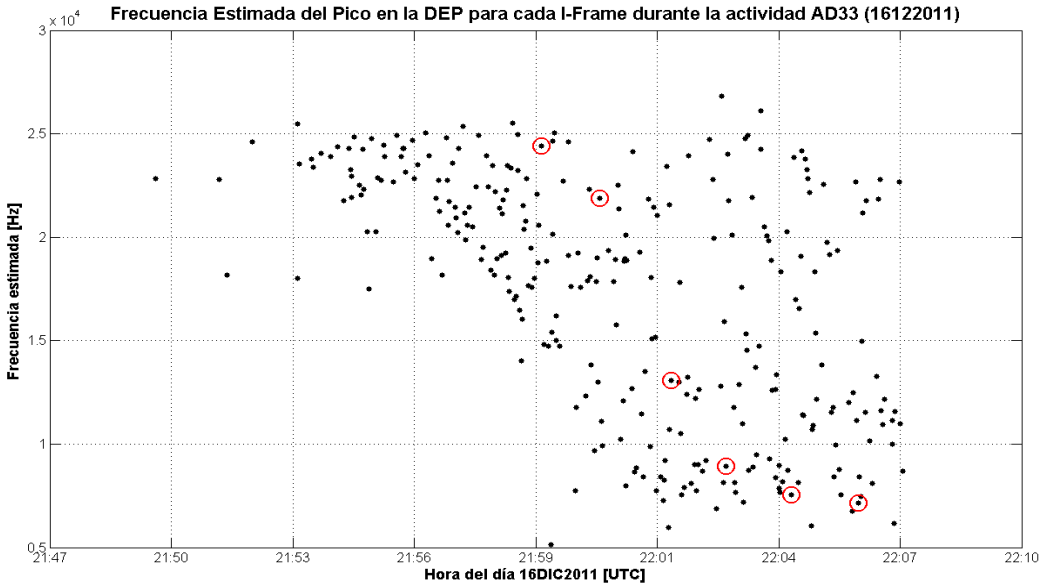


Fig. 5.Comportamiento térmico del receptor.

Durante la pasada del satélite de aproximadamente 15 minutos sobre dicha plataforma, se recibieron seis mensajes. Posiblemente la DCP se corresponde con una plataforma de sistema dado la estructura de los datos repetidos obtenidos.

**FFC8037DAAA

CONCLUSIONES

Durante el desarrollo del trabajo se introdujo al Sistema Argentino Satelital de Recolección de Datos Ambientales. Se mencionó el diseño del receptor ubicado en el satélite. Se mostraron algunos de los primeros datos obtenidos en vuelo. El comportamiento del receptor es acorde a lo esperado, siendo su mayor ventaja su alta sensibilidad, lo que permite a las plataformas en tierra consumir muy poca energía, permitiendo así su instalación en sitios remotos.

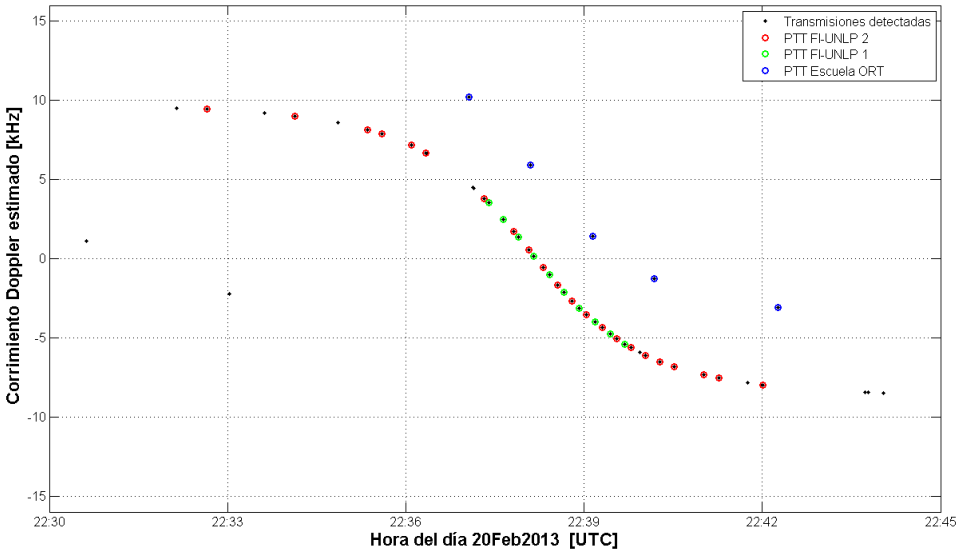


Fig. 6.Frecuencia de portadoras detectadas desde plataformas FI-UNLP (curvas rojo y verde) y desde la escuela ORT (azul) ubicada en Capital Federal.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a los integrantes del Laboratorio que participaron en el proyecto: Ing. Hugo Lorente, fundador del Laboratorio y principal desarrollador, Dr. Pablo Costanzo Caso, Dr. Laureano Bulus Rossini e Ing. Juan Fernández Michelli. Con ellos compartimos jornadas intensas. También agradecemos al Ing. Eduardo Siri de Aluar División Elaborados por su desinteresada ayuda.

REFERENCIAS

[1] Carlotto A., Lorente H. ”Análisis de un Sistema de Recolección de Datos Satelital”. Memorias de AADECA 2006, XX Congreso Argentino de Control Automático, Buenos Aires, Argentina, 28-30 de agosto 2006. ISBN 978-950-99994-4-2. (2006)

[2] Clark, D. “Overview of the Argos System”;OCEANS '89 Proceedings, 1989. Volume: 3, Page(s): 934 - 939.

[3] Ortega C. “Argos second and third generations: enhancements finely tuned to oceanographic applications”, OCEANS '98 Conference Proceedings, 1998 , Page(s): 845 - 848 vol.2.

[4] Yamaguti W. “Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais: Status e planos futuros”, Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 1633-1640.

[5] Kay, Steven M.”Fundamentals of Statistical Signal Processing: Detection Theory”. Prentice-Hall PTR. ISBN 0-13-504135-X (1998).

INTERFAZ CEREBRO COMPUTADORA EMBEBIDA BASADA EN POTENCIALES EVOCADOS VISUALES DE ESTADO ESTACIONARIO.

Pablo A. García, Graciela M. Toccaceli y Enrique M. Spinelli.

LEICI, Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, UNLP
CC 91 (1900) La Plata, pagarcia@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: Interfaz Cerebro Computadora, potencial evocado visual, sistema embebido.

I. Introducción.

El objeto de las interfaces cerebro computadora (ICC) es brindar un canal de comunicación a personas con discapacidades motoras para que puedan manejar un deletreador, comandar una silla de ruedas, un mouse de computadora o bien un electrodoméstico. Las ICC utilizan los biopotenciales cerebrales generados a voluntad por el usuario o bien evocados en respuesta a estímulos. La forma comúnmente utilizada para registrar esta actividad es mediante electrodos dispuestos sobre el cuero cabelludo por medio de electroencefalografía (EEG), es decir mediante técnicas no invasivas.

En la bibliografía disponible es común encontrar diversos tipos de ICC basadas en distintos potenciales. Algunos de estos son: sincronización y desincronización relacionada a eventos (ERS/ERD) [1], potenciales corticales lentos [2], P300 [3], ritmos cerebrales (α y β) [4] y potenciales evocados visuales [5]. En particular son de nuestro interés las ICC basadas en potenciales evocados visuales de estado estacionario (SSVEP: Steady State Visual Evoked Potential), que pueden ser implementadas con sólo un canal de EEG, y no requieren entrenamiento para su utilización. El procesamiento a realizar en estas ICC es sencillo y se han logrado altas tasas de transferencia de información (70 bits/min) [6]. Por otro lado, este tipo de ICC es de tipo asincrónica, lo cual le permite al usuario generar un comando cuando lo desea, a diferencia de las ICC sincrónicas que asignan una ventana de tiempo para ejecutar un comando.

Los potenciales evocados visuales reflejan la actividad cerebral producida por el procesamiento de la información visual y pueden ser registrados en la zona occipital por medio de EEG. Estos potenciales se presentan en respuesta a ciertos estímulos visuales, y por esta razón se los denomina *evocados*. Existen dos tipos de potenciales evocados visuales: los transitorios (TVEP) y los de estado estacionario (SSVEP). La diferencia entre estos dos tipos la marca la frecuencia del estímulo. Los TVEP se producen cuando la frecuencia de cambio del estímulo visual es menor de 2 Hz, mientras que los SSVEP se producen para estímulos con frecuencias mayores a 6 Hz [5]. En este último caso, los potenciales evocados comienzan a superponerse formando una respuesta de estado estacionario formada por componentes en la frecuencia de excitación y sus armónicos: los SSVEP.

II. Interfaz cerebro computadora basada en SSVEP.

En la Figura 1 se presenta un modelo funcional de ICC basada en SSVEP. Como se observa en la Figura, está compuesto por un estimulador visual, una etapa de adquisición de biopotenciales, una etapa de procesamiento y por último el generador de comandos que manejará el dispositivo de asistencia al usuario.

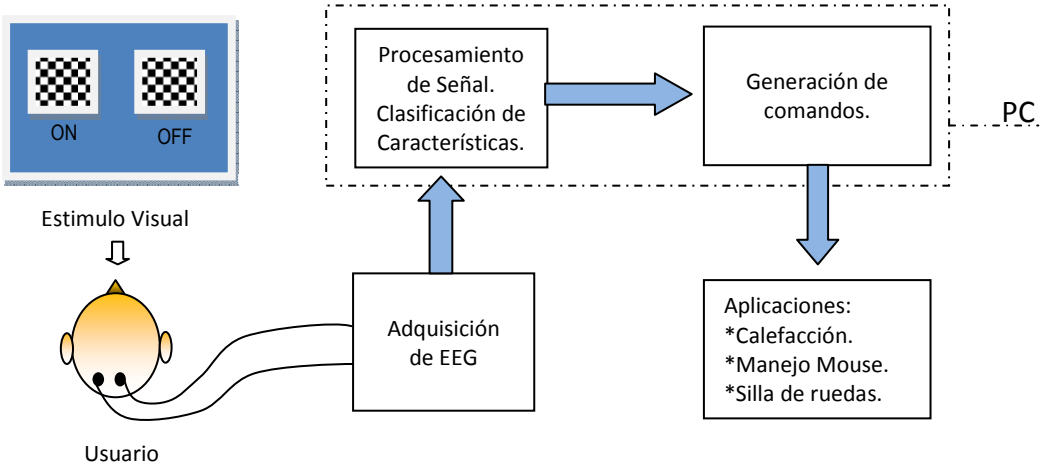


Figura 1. Esquema funcional de ICC basada en SSVEP.

La forma de operar de este tipo de ICC es la siguiente: se presentan estímulos visuales al usuario destellando a diferentes frecuencias. Cada uno de estos estímulos está asociado a un comando sobre el dispositivo que la aplicación utilice. El usuario debe enfocar su visión en el comando que desea ejecutar, lo cual generará el potencial evocado con componentes en la frecuencia del estímulo y sus armónicos. Luego, por medio de un análisis espectral o bien un análisis en el dominio del tiempo realizado sobre la señal de EEG captada en la zona occipital se detecta el comando seleccionado. Este tipo de ICC se denomina “SSVEP basado en frecuencia” ya que la selección del estímulo se realiza entre varias frecuencias de excitación.

Generalmente, este tipo de ICC se utiliza en el ámbito académico para investigación basando su implementación en computadoras de escritorio y adquisidores de EEG comerciales de gran tamaño, lo cual limita su uso por falta de movilidad. En este sentido, es deseable la implementación de una ICC autónoma embebida que prescinde del uso de una computadora. Para esto, el sistema embebido deberá cumplir con una serie de requerimientos temporales que condicionan su diseño. La ICC embebida deberá:

- Contar con un sistema operativo de tiempo real que permita digitalizar los biopotenciales.
- Generar los estímulos visuales al usuario.
- Mantener sincronismo entre los estímulos presentados al usuario y los biopotenciales digitalizados.
- Implementar distintas técnicas de clasificación on-line en el dominio del tiempo o de la frecuencia.
- Comandar el dispositivo de salida con el que cuente la ICC.

III. Implementación.

Atendiendo a los requerimientos temporales a cumplir para implementar la ICC embebida se utilizó la placa Micro2440SDK de “FriendlyArm” basada en un microprocesador Samsung S3C2440A de 32 bits con arquitectura ARM920TDI y una

velocidad de procesamiento de 400 MHz. Esta placa puede portar los sistemas operativos Windows CE 5.0 o 6.0, Linux y Android, y dispone de los siguientes periféricos: 4 puertos USB host y 1 USB dispositivo, Ethernet, pantalla LCD con touch-screen, 3 puertos serie RS-232, entrada y salida de audio, zócalo para memoria SD y un reloj de tiempo real, entre otros. El sistema operativo seleccionado es Windows CE 6.0 por sus prestaciones de tiempo real duro. El uso de esta placa permite implementar las funciones de procesamiento, clasificación y generación de estímulos de forma centralizada en el sistema embebido (Figura 2), debiendo controlar el mismo una etapa externa de adquisición de EEG y un trasladador para comandar el dispositivo objeto de la ICC.



Figura 2. Esquema ICC embebida.

Adquisición de EEG:

Para digitalizar los biopotenciales se reacondicionó una placa que utiliza el circuito integrado ADS1298 de Texas Instruments que implementa un front end analógico de 8 canales con conversores analógico/digital del tipo sigma-delta (ΣΔ) de 24 bits de resolución, amplificadores de ganancia programable, referencia interna, oscilador integrado y bajo consumo [7].

Procesamiento:

La principal tarea de esta etapa es adquirir en tiempo real las muestras digitalizadas por la etapa de adquisición. La frecuencia de muestreo es configurable y en este tipo de interfaces normalmente se utilizan 256 o 512 muestras por segundo, pero pensando en futuras aplicaciones y para evaluar los alcances del sistema se utilizó una frecuencia de muestreo de 1000 muestras por segundo para los 8 canales diferenciales que implementa el front end.

Como ya se mencionó, el sistema operativo (SO) que se utiliza es Windows CE 6.0, de tal forma que para poder implementar esta etapa se desarrolló un driver (controlador) propio para la etapa de adquisición que permite al SO interactuar con la misma. El controlador implementado es del tipo “stream interface driver” y para lograr las prestaciones de tiempo real debe ser incluido en la imagen del sistema operativo antes de su compilación. Luego de la implementación del driver en la imagen del SO se midieron las latencias en la atención de la interrupción, para verificar las prestaciones de tiempo real, medidas que se detallan en [8]. La latencia máxima medida para la rutina de servicio de interrupción fue de 100 µs manejando una fuente de interrupción de 1kHz implementada por el adquisidor de

biopotenciales. La medición de estas latencias permitió caracterizar el conjunto hardware + SO de tal forma de confirmar su posible utilización para la implementación de la ICC embebida. Para la misma, el driver del front end ejecutándose en modo kernel implementa un buffer circular de 1024 muestras por canal (24576 bytes que corresponden a 1024 muestras de 8 canales con 3 Bytes/muestra). Manejando el recurso de archivo mapeado en memoria distintas aplicaciones de usuario podrán manipular los datos generados por el driver (Figura 3).

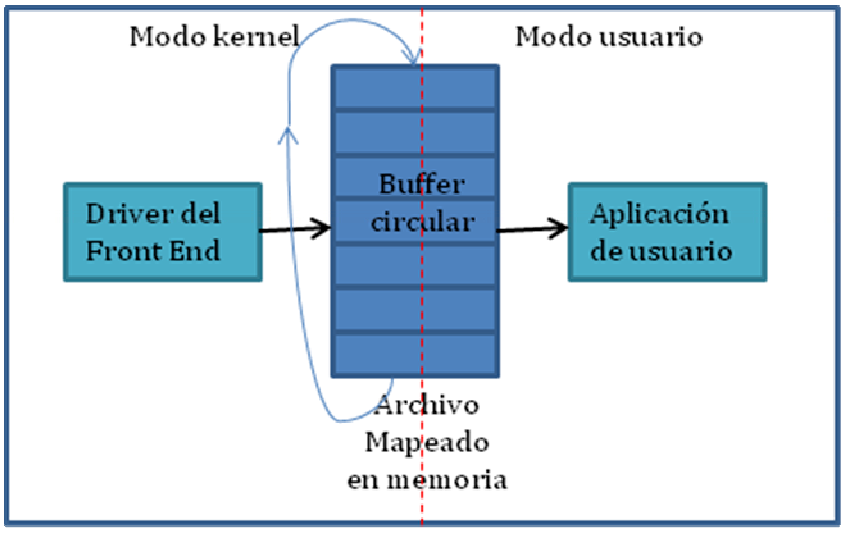


Figura 3. Manejo de los datos generados por el driver.

Generación de estímulos:

Como estimuladores visuales se utilizaron dos arreglos de 9 LEDs, cada uno de color blanco destellando a dos frecuencias distintas. Con el objetivo de mantener sincronismo entre los estímulos presentados al usuario y los biopotenciales digitalizados se utilizó como base de tiempo la frecuencia de muestreo (1KHz) y se seleccionaron estímulos cuyos períodos entran un número entero de veces en el tamaño de ventana de análisis a utilizar. Utilizando un tamaño de ventana de 512 muestras (N=512) se seleccionaron los estímulos f_1=15.625 Hz (8 períodos por ventana) y f_2=21.4844 Hz (11 períodos por ventana).

Para generar los estímulos se utilizaron tablas almacenadas en memoria y se manejaron dos entradas/salidas de propósito general acondicionadas para comandar el estado activo o inactivo de los estimuladores. (Figura 4).

Algoritmo de Clasificación:

Como aplicación de usuario se implementó un programa orientado a objetos en lenguaje C# que accede al espacio de memoria escrito por el driver y compartido mediante un archivo mapeado en memoria con el objeto de poder analizar la señal digitalizada tanto en el dominio del tiempo como en la frecuencia. En la Figura 4 se pueden observar dos ventanas de la aplicación presentando en tiempo real la información en ambos dominios.

Para esta aplicación se realizaron distintas clases propias, siendo las de mayor interés la clase “graficadora” y la “FFT”. La primera realiza la gráfica en tiempo real de la señal digitalizada por un determinado canal de adquisición y la segunda presenta el módulo del espectro calculado mediante la transformada rápida de Fourier para un tamaño de ventana de 512 muestras.

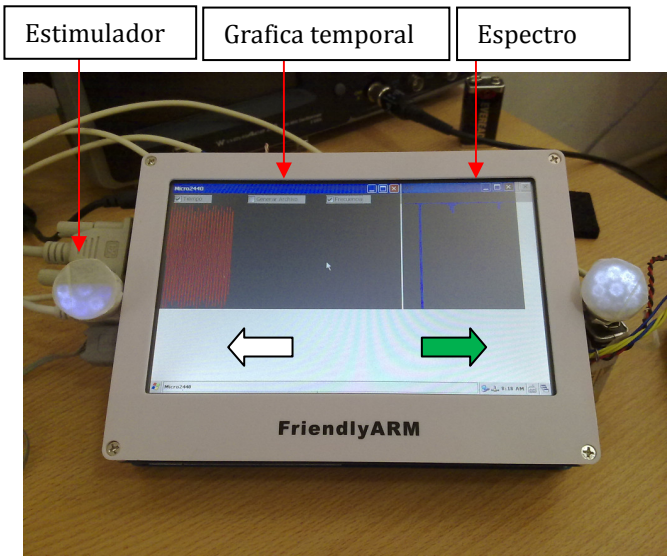


Figura 4. ICC embebida implementada.

En la actualidad se está trabajando sobre el algoritmo de clasificación, el cual debe detectar la presencia de potencia en la frecuencia del estímulo y sus armónicas cada vez que el usuario de la ICC enfoca su visión en dicho estímulo.

En principio, como realimentación al usuario de la ICC se presentarán dos flechas en color blanco vinculadas una con cada estímulo. Cuando la ICC clasifique un determinado comando generado por el usuario, la flecha correspondiente cambiará a color verde. Se prevé agregar estimuladores visuales y optimizar los algoritmos de clasificación de tal forma de testear la posible utilización de la ICC para comandar una silla de ruedas.

IV. Conclusiones.

En el presente trabajo se han presentado resultados preliminares de la implementación de una interfaz cerebro computadora embebida (ICCE) basada en potenciales evocados visuales de estado estacionario. Se ha logrado implementar todas las etapas que conforman esta ICC en un único sistema embebido de tamaño reducido, portable, con gran capacidad de cómputo y haciendo uso de un sistema operativo muy difundido y fácil de operar para el usuario (Windows CE).

Se pretende, a futuro, continuar experimentando con la plataforma implementada testeando distintas técnicas de clasificación tanto en el dominio del tiempo como la frecuencia con el objeto de alcanzar el estado del arte en cuanto a los tiempos de detección de comandos para ICC basada en SSVEP (1-2 segundos) [9][10].

V. Bibliografía.

[1]. Pablo A. García, Marcelo Haberman and Enrique M. Spinelli, *Senior Member IEEE* , “A Versatil Hardware Platform for Brain Computer Interfaces”, 32nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Buenos Aires, Argentina. ISBN 978-1-42444124-2, 2010.
[2]. Hai-bin Zhao, Hong Wang, Chun-sheng Li and Yun-gong Li, “Brain-Computer Interface Design Based on Slow Cortical Potentials using Matlab/Simulink”, Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, August 9 - 12, Changchun, China.
[3]. Yi Li, Jianhui Zhang, Yu Su, Weidong Chen, Yu Qi, Jicai Zhang, Xiaoxiang Zheng, “P300 Based BCI Messenger”, Complex Medical Engineering, 2009. CME. ICME International

Conference, 9-11 April 2009, Print ISBN: 978-1-4244-3315-5.
[4]. E. M. Spinelli, M. A. Mayosky y N. H. Martinez, “Interfaz adaptiva para comunicaciones mediante EEG basadas en el ritmo alfa visual”, XVIII Congreso de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica, pp. 161-163, Cartagena, Spain, 2000.
[5]. Xiaorong Gao, Dingfeng Xu, Ming Cheng, and Shangkai Gao, “A BCI-Based Environmental Controller for the Motion-Disabled”, IEEE Transactions on neural systems and rehabilitation engineering, vol. 11, Nº. 2, June 2003.
[6]. Danhua Zhu, Jordi Bieger, Gary Garcia Molina and Ronald M. Aarts, “A Survey of Stimulation Methods Used in SSVEP-Based BCIs”, Hindawi Publishing Corporation Computational Intelligence and Neuroscience, Volume 2010, Article ID 702357, 12 pages, doi:10.1155/2010/702357.
[7]. Federico N. Guerrero, Enrique Spinelli y Marcelo Haberman, “DISPOSITIVO MULTICANAL PARA ADQUISICIÓN DE BIOPOTENCIALES”, Segundas Jornadas de Investigación y Transferencia, Facultad de Ingeniería, UNLP, 16 al 18 de abril de 2013.
[8]. Pablo A. García, Graciela M. Toccaceli y Enrique M. Spinelli, “Latencias de Interrupción de Windows CE 6.0, análisis y medición de su performance sobre plataforma Micro2440”, Congreso Argentino de Sistemas Embebidos CASE 2012, 15 al 17 de agosto de 2012, FIUBA, Buenos Aires, Argentina.
[9]. Marcos Antonio da Silva Pinto,“Estudo do potencial evocado visual em regime permanente baseado em LED para interface cérebro máquina”, Tesis de doctorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2011.
[10]. Miguel Ángel López Gordo, “INTERFAZ BCI DE ALTAS PRESTACIONES BASADA EN LA DETECCION Y PROCESAMIENTO DE LA ACTIVIDAD CEREBRAL (BCI-DEPRACAP)”, Tesis de doctorado, Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores, Granada, 2009.

DISPOSITIVO MULTICANAL PARA ADQUISICIÓN DE BIOPOTENCIALES

Federico N. Guerrero, Enrique Spinelli, Marcelo Haberman

LEICI, Departamento de Electrotecnia, Fac. de Ingeniería, UNLP
CC 91 (1900) La Plata, fnguerrero@outlook.com

Introducción

El cuerpo humano genera potenciales eléctricos (biopotenciales) como parte de sus procesos. Estas señales son ampliamente utilizadas en el diagnóstico médico, en el estudio del organismo, y en dispositivos de asistencia. Los equipos para adquisición de biopotenciales se componen, a grandes rasgos, de transductores (electrodos) que permiten obtener señales electrónicas a partir de las iónicas presentes en el cuerpo, una etapa de acondicionamiento analógico que rechaza fuentes de interferencia electromagnética (EMI), y una etapa de conversión analógica-digital. En uno o varios puntos, se intercalan barreras de aislación para proteger la integridad física de la persona. La evolución de estas etapas apunta a conseguir un mayor confort del paciente, facilidad de uso, y portabilidad.

En los electrodos se producen potenciales de continua o derivas que pueden ser varios órdenes de magnitud mayores que la amplitud de las señales a medir. La solución tradicional consistía en un filtrado pasa-altos para que estos potenciales indeseados no saturasen la siguiente etapa de alta ganancia. Actualmente, la tecnología de conversión A/D sigma-delta (Σ-Δ) logra un gran rango dinámico, permitiendo cambiar el paradigma: puede convertirse la señal directamente obtenida de los transductores a través de una etapa analógica sencilla de baja ganancia [1]. Como desventaja, los filtros digitales que componen los convertidores Σ-Δ no permiten multiplexar conversiones en el tiempo necesario, por lo que se necesita un convertidor por canal de adquisición.

Los últimos desarrollos apuntan a integrar varias etapas en un mismo componente, y la industria de semiconductores acompañó estas tendencias a través de productos estándar para aplicaciones específicas (ASSPs) como *front-ends* de adquisición de señal que incorporan varios convertidores Σ-Δ, y componentes que proveen aislación eléctrica de grado médico.

Este trabajo presenta un prototipo funcional para adquisición de biopotenciales que hace uso de estas nuevas herramientas. El diseño se orientó hacia un uso práctico en el ámbito de la investigación, que permitiese adquirir distintos tipos de señales biomédicas con topologías multicanal configurables, testear distintos tipos de electrodos, y con disponibilidad de datos adaptable a distintos software.

La etapa de adquisición se diseñó para medir señales biomédicas de uso común como las de electrocardiograma, electromiograma y electroencefalograma (ECG, EMG y EEG respectivamente). En la tabla 1 pueden observarse los rangos de tensión y ancho de banda de estas señales [2]. Hay que notar que el límite inferior de resolución en la práctica está dado por la tensión de ruido que genera la interfaz electrodo-piel, en el orden de 1 μV_{rms} [3].

Señal	*Magnitud*	*Ancho de Banda*
EEG superficial	2-100 µV	0.5-100 Hz
ECG	1-10 mV	0.05-100 Hz
EMG superficial	0.05-10 mV	2-1000 Hz

Tabla 1. Rango en tensión y frecuencia de señales de biopotencial.

Descripción del dispositivo

Puede observarse un diagrama esquemático del equipo en la figura 1 y una foto del prototipo construido en la figura 2. Cuenta con 8 canales de ganancia programable que pueden utilizarse en forma diferencial o como canales *single-ended*, y un circuito de DRL independiente. Este último circuito permite reducir la tensión de modo común, utilizando una realimentación negativa de ésta. Las señales se muestrean a una tasa también programable, y se transmiten a la PC a través del bus USB, que provee la alimentación a todo el sistema. Una librería en lenguaje C++ encapsula funciones de acceso al bus USB en Windows, proveyendo un acceso versátil a los datos en la PC.

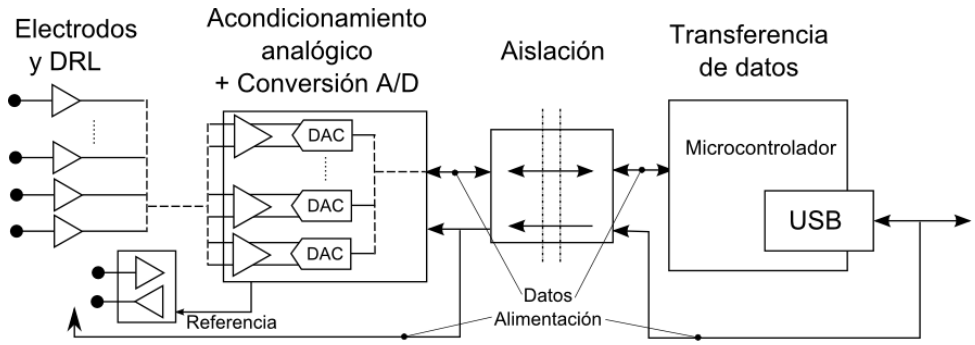


Figura 1. Diagrama esquemático del dispositivo.

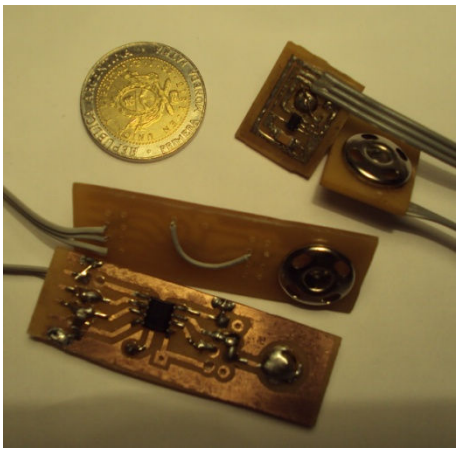


Figura 3. Dos pares de electrodos activos con distintos A.O. (OPA333 superior, OPA365 inferior)

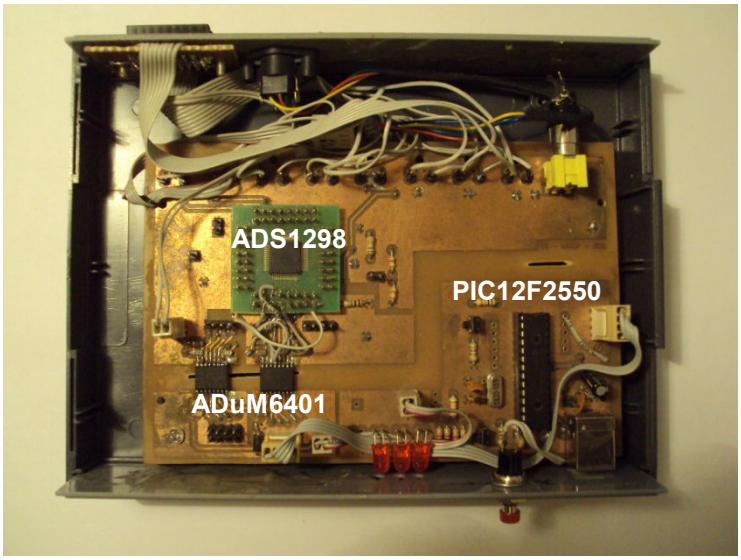


Figura 2. Prototipo funcional en gabinete plástico. Se observan algunos componentes en la cara superior del PCB.

A continuación se detalla cada bloque:

Electrodos Activos

Se implementaron mediante amplificadores operacionales en configuración de buffer con ganancia unitaria. De esta manera presentan muy alta impedancia de entrada y baja impedancia de salida para conducir a tierra corrientes generadas por EMI (evitando el uso

de cables mallados). Los operacionales utilizados deben tener una tensión equivalente de ruido en el orden de 1 μV_{rms} en el ancho de banda de interés. Se fabricaron distintos electrodos, algunos de los cuales se muestran en la figura 2. Se agregaron broches para conectar distintos tipos de electrodo. Cada electrodo activo requiere dos cables de alimentación y uno de señal, y gracias a la baja impedancia de salida, no se requieren blindajes, pudiendo usarse cualquier tipo de cable.

Reducción de Interferencia de Modo Común

Una de las formas en que la interferencia electromagnética afecta los sistemas de adquisición de biopotenciales, es a través de tensiones de modo común producidas por acoplamiento de campo eléctrico [4]. Esta tensión puede interferir con las medidas a través de diversos mecanismos de ganancia de modo común a modo diferencial [5], por lo que es deseable reducirla. Para ello se implementó un circuito DRL [6] que permite medir la diferencia de tensión de modo común a través de un electrodo independiente, y realimentarla negativamente para rechazar la componente interferente e imponer una tensión continua de referencia.

Amplificación y Conversión A/D

Los electrodos activos se conectan directamente a un *front-en*d que consta de 8 amplificadores de ganancia variable asociados a 8 convertidores Σ-Δ, con tasa de conversión programable. Se utilizó el I.C. ADS1298 de Texas Instruments. Los parámetros de adquisición (ganancia individual de los canales, frecuencia de muestreo) pueden configurarse por software logrando puntos de funcionamiento apropiados para cada señal que se desee adquirir. El *front-end* también provee una tensión de referencia de bajo ruido y fuente de reloj (*clock*) para el sistema digital y los convertidores Σ-Δ. Sólo requiere capacitores externos de desacople. Los datos se entregan a través de un puerto de comunicaciones serie SPI.

Transferencia de datos

Un microcontrolador PIC18f2550 (Microchip) cumple la función de programar al *front-end* para el funcionamiento deseado, capturar los datos que genera, y administrar la comunicación por vía de un bus USB hacia la computadora. El firmware del microprocesador consiste en una máquina de estados finitos que responde a instrucciones enviadas desde la PC. Para el control del módulo USB se utilizaron librerías provistas por Microchip y el equipo se configuró como *device* HID, lo que garantiza, como mínimo, el envío de un paquete de 64 bytes por cada milisegundo. Esto es suficiente para el envío en tiempo real de los datos de 8 canales muestreados a 2000 sps. Sin embargo en la práctica se observó que cuando el bus USB tiene capacidad ociosa, logró enviar paquetes a una tasa más elevada, suficiente para 8 canales muestreados a 4000 sps.

Aislación

Debido a que existe una conexión de baja impedancia con una persona, es necesario interponer una barrera de aislación que impida el paso de corrientes peligrosas. La norma IEC60601-1, con la que está armonizada la norma IRAM4220-1 vigente en Argentina, da especificaciones para la seguridad eléctrica del equipamiento médico. En concordancia con estas especificaciones, el componente ADUM6401 de Analog Devices provee aislación para un bus SPI de datos y un bus de alimentación de 5 o 3.3 V regulados, entregando hasta 100 mA. Adicionalmente, en la construcción física del prototipo deben respetarse distancias mínimas entre las partes aplicadas al paciente y el resto del circuito, a través del aire y sobre superficies dieléctricas (distancias de arco y de fuga).

Software

Para el control del dispositivo desde la PC, se creó una librería base en C++ que encapsula la interfaz con la API de Windows para manejo de dispositivos HID. Esta librería provee un fácil acceso a las funciones del dispositivo desde programas de más alto nivel.

Resultados y discusión

El desempeño del equipo se evaluó a través de la medida de sus parámetros y su uso práctico en el laboratorio. Para esto se desarrolló un aplicativo que permite configurar al dispositivo, visualizar los datos en tiempo real y almacenarlos para su procesamiento en software comercial como MATLAB.

Se midió la tensión de ruido equivalente a la entrada en diferentes configuraciones. Si se cortocircuitan las entradas del *front-end* (conectándolas a la referencia, para mantenerse dentro del rango de funcionamiento), se obtiene una lectura de la tensión de ruido del ADS1298. Los valores obtenidos para distintas configuraciones se observan en la tabla 2, y en la figura 4 se observa un registro del ruido con la configuración para EEG.

Puede verse que el ruido total a la entrada del *front-end* resultó relativamente bajo, de manera que la resolución del equipo queda determinada por los electrodos a utilizar.

Los valores son apropiados para las señales que se desea medir y comparables con circuitos integrados de aplicación específica (ASICs) de similar propósito reportados en la literatura [7][8][9].

Configuración	*Señal objetivo*	*Ancho de banda [Hz]*	*Tensión Equivalente De Ruido [μV_{rms}]*
G=1;Fm=500sp	ECG	0-100	2,43
G=12;Fm=500s	EEG	0-100	0,58
G=6;Fm=4000s	EMG	0-1000	1,77

Tabla 2. Valores medidos de tensión equivalente de ruido para distintas configuraciones del dispositivo

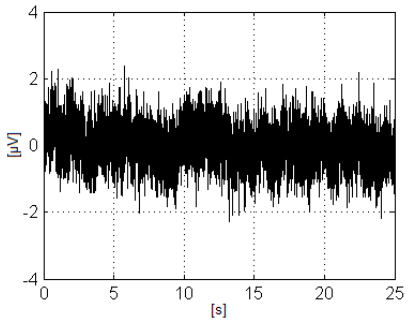


Figura 4.Registro de la tensión de ruido.

El equipo se utilizó satisfactoriamente para la adquisición de señales de ECG, EEG, y EMG.

En la figura 5 puede observarse un registro de la derivación I de ECG utilizando un canal del dispositivo en forma diferencial. Se utilizaron electrodos húmedos de Ag/AgCl, conectados a *buffers* implementados con operacionales OPA365. Con ésta configuración la tensión equivalente de ruido total del sistema resultó de 3,5 μV_{rms}.

Se fabricó un arreglo lineal de electrodos secos, parecido al reportado en [10], con 8 varillas metálicas de 1 cm de largo por 1 mm de ancho, separadas cada 10mm. Cada varilla se conectó a un buffer, para lo que se utilizaron dos integrados con operacionales cuádruples (TLV2374). El arreglo se colocó en el antebrazo sobre el músculo que flexiona el dedo anular y el DRL en el bíceps del mismo brazo. Se obtuvieron 7 señales en topología monopolar, restando a cada canal el primero. Puede observarse el resultado en la figura 6.

Se tomaron registros de EEG en forma diferencial utilizando un electrodo seco en el punto O2 y uno húmedo en el punto A2 del sistema 10-20 Se lograron captar ritmos alfa generados al cerrar los ojos, como se observa en la figura 7.

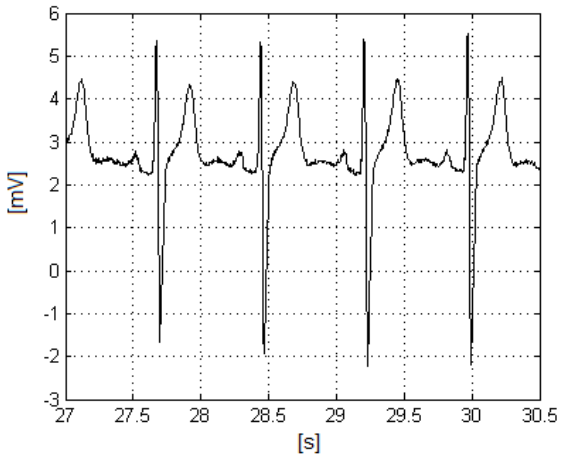


Figura 5. Registro de ECG.

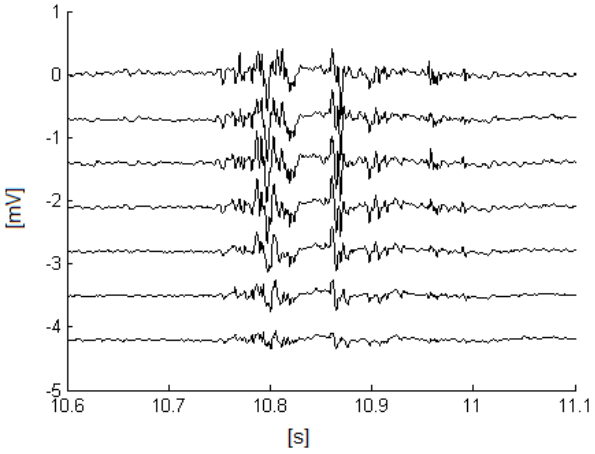


Figura 6. Registro de EMG con arreglo lineal de electrodo. Se agregó un offset distinto a cada señal para su visualización.

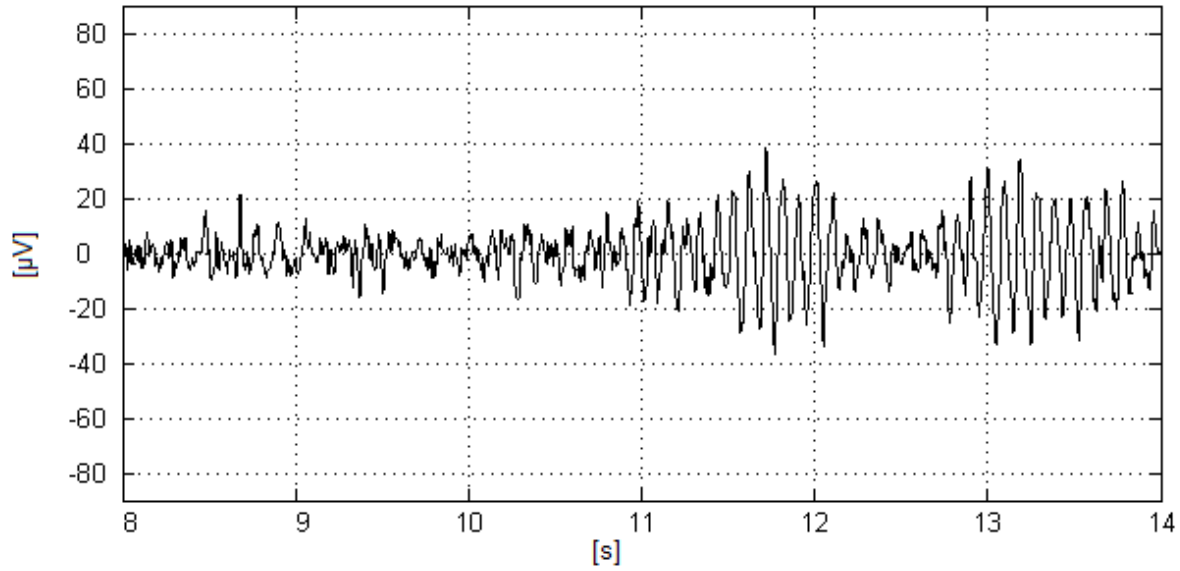


Figura 7. Registro de EEG. Aproximadamente en el segundo 11 se observa el comienzo de un ritmo alfa.

Conclusiones

La tendencia actual en el diseño de equipos de adquisición de biopotenciales se orienta hacia la integración de varias etapas en pocos componentes. Utilizando sistemas integrados comercialmente disponibles se construyó un dispositivo simple y de bajo costo.

El equipo permite medir biopotenciales abarcando frecuencias muy bajas, utilizando electrodos secos, y presentando aislación compatible con las normas de seguridad eléctrica para equipamiento médico.

El prototipo implementado cuenta con 8 canales diferenciales o *single-ended*. La etapa de conversión tiene una resolución dada por un piso de ruido de 0,58 μV_{rms} en un ancho de banda de 100 Hz y 1,77 μV_{rms} en un ancho de banda de 1kHz.

Se demostró el funcionamiento del equipo en forma práctica a través de la medición de señales de ECG, EEG y EMG.

Bibliografía

[1] Berry, D., Duignan, F., & Hayes, R. (2009). An Investigation of the use of a High Resolution ADC as a "Digital Biopotential Amplifier". *4th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering* (pp. 142-147). Springer Berlin Heidelberg.

[2] Bronzino, J. D. (2000). The biomedical engineering handbook (Vol. I, Sec. 6). CRC PressI Llc.

[3] Huigen, E., Peper, A., & Grimbergen, C. A. (2002). Investigation into the origin of the noise of surface electrodes. *Medical and Biological Engineering and Computing*, *40*(3), 332-338.

[4] Chimene, M. F., & Pallàs-Areny, R. (2000). A comprehensive model for power line interference in biopotential measurements. *Transactions on Instrumentation and Measurement, IEEE*, *49*(3), 535-540.

[5] Spinelli, E. M. (2007). *Amplificadores de instrumentación en aplicaciones biomédicas*. Disertación Doctoral, Facultad de Ingenieria, UNLP.

[6] Winter, B. B., & Webster, J. G. (1983). Driven-right-leg circuit design. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering,* (1), 62-66.

[7] Mitra, S., Xu, J., Matsumoto, A., Makinwa, K. A., Van Hoof, C., & Yazicioglu, R. F. (2012). A 700µW 8-channel EEG/contact-impedance acquisition system for dry-electrodes. *Symposium on VLSI Circuits (VLSIC), 2012* (pp. 68-69). IEEE.

[8] Pu, X., Wan, L., Sheng, Y., Chiang, P., Qin, Y., & Hong, Z. (2012). A wireless 8-channel ECG biopotential acquisition system for dry electrodes. *IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT), 2012* (pp. 140-142). IEEE.

[9] Huang, W. C., & Tang, K. T. (2012). A 90 nm CMOS low noise readout front-end for portable biopotential signal acquisition. *Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS), 2012 IEEE* (pp. 33-36). IEEE.

[10] Merletti, R., Farina, D., & Gazzoni, M. (2003). The linear electrode array: a useful tool with many applications. Journal of Electromyography and Kinesiology, 13(1), 37-47.

OBSERVADOR DE SEGUNDO ORDEN PARA VELOCIDADES ESPECÍFICAS EN BIOPROCESOS*

Nuñez, Sebastián; De Battista, Hernán; Vignoni, Alejandro; Garelli, Fabricio

Laboratorio de Electrónica Industrial, Control e Instrumentación (LEICI),
Dto. de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, (UNLP).
Calle 48 y 116 s/n, La Plata.
sebastian.nuniez@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: bioprocesos; observador no lineal; modo deslizante

1. INTRODUCCIÓN

Los procesos biotecnológicos se aplican en diversas áreas como ser la producción de sustancias de interés (enzimas, proteínas, metabolitos de alto valor agregado, entre otros), para el tratamiento de aguas residuales e incluso en la generación de biocombustibles.

Un problema de control asociado a este tipo de procesos es el de mantener en el microorganismo un estado metabólico deseado [6]. Entre las variables involucradas, las velocidades específicas de consumo y producción de sustancias brindan información sobre la actividad metabólica dentro del biorreactor. Es así que, por ejemplo, ciertos problemas industriales se han podido traducir al problema de regular la velocidad específica de crecimiento del microorganismo (μ) [10]. Sin embargo, las velocidades específicas son por lo general no accesibles y suelen ser funciones no lineales de los estados y de las condiciones de operación. Es por esto que la utilización de observadores que realicen una estimación de estas variables evita los problemas de tener que seleccionar un determinado modelo analítico (con la correspondiente estimación de los parámetros) y a la vez permite agregar información tanto a sistemas de control como al estudio del cultivo [5].

Un resumen relevante de los principales métodos relacionados con estimación de variables y parámetros *on-line* en bioprocesos puede encontrarse en [13]. En particular para velocidades específicas, se han aplicado observadores de diferentes clases como ser observadores asintóticos [2], adaptivos de alta ganancia [1], [5], basados en filtro extendido de Kalman [11], entre otras técnicas.

Otra clase importante de observadores no lineales son los que operan por modo deslizante (MD). En [9] se desarrollaron observadores por MD de primer orden para μ y concentración de sustrato a partir de mediciones de biomasa. Se lograron estimaciones robustas bajo incertidumbres típicas de los modelos y con dinámicas de primer orden.

Posteriormente, en [4] se presentó un observador de μ por MD de segundo orden. Más precisamente, la propuesta es una versión modificada del algoritmo “super twisting”, un algoritmo por MD de orden superior presentado en [7]. En este caso, el observador provee una estimación suave con convergencia en tiempo finito y además robusta, respecto a que no asume un modelo particular para μ.

En este trabajo se pretende generalizar la propuesta de [4]. En primer lugar, se demuestra que el observador de segundo orden puede estabilizarse si es aplicado para estimar otras velocidades específicas distintas de μ. En segundo lugar, se formaliza una versión multivariable

*Este trabajo se presentó en 23º Congreso Argentino de Control Automático (AADECA 2012), 3 al 5 de Oct. de 2012, Buenos Aires, Argentina.

que, a partir de m mediciones de variables relacionadas (en general concentraciones), permite estimar m velocidades específicas de producción o consumo de sustancias importantes. El objetivo es entonces obtener más información respecto a la actividad microbiana que ocurre dentro del cultivo. Por tratarse de un observador no lineal por MD de segundo orden, entre las características salientes de la propuesta cabe resaltar: a) convergencia en tiempo finito, b) robustez ya que no asume un modelo matemático particular para cada velocidad específica. Por otro lado, para garantizar convergencia de la estimación debe determinarse una cota superior para la derivada de cada velocidad específica.

El resto del trabajo se organiza de la siguiente manera. En la Sección 2 se desarrolla el observador de segundo orden por MD, se presenta un modelo de estados general para un bioproceso y se formaliza su versión multivariable. La Sección 3 presenta un ejemplo de aplicación donde se estima la velocidad específica de producción de etanol por la levadura *S. cerevisiae* como ilustración del resultado obtenido y la Sección 4 resume las conclusiones del trabajo.

2. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Para introducir el concepto de observador por MD de segundo orden comenzamos explicando el caso univariable con su correspondiente análisis de estabilidad. Luego se presenta el modelo de estados general para un bioproceso en cultivo sumergido y se establecen las suposiciones requeridas para aplicar la propuesta. Al final de la sección, se presenta la versión multivariable del observador propuesto.

2.1. Observador de segundo orden: Caso univariable

Dado el sistema

$$\frac{dz}{dt} = r(t)g(t), \tag{1}$$

$$\frac{dr}{dt} = \bar{\rho}\rho(t), \tag{2}$$

el problema planteado es diseñar un observador para $r(t)$, donde $|\rho(t)| \leq 1$ y $\bar{\rho}$ es el valor máximo de la derivada. Además, se supone que $g(t)$ es una función accesible y que existen cotas g_1 y g_2 tales que $0 < g_1 \leq g(t) \leq g_2$. Luego $g(t)$ se descompone convenientemente como $g(t) = \bar{g}\,(1 + \check{g}v(t))$ donde $\bar{g} = \frac{1}{2}(g_1 + g_2)$, $\check{g} = \frac{g_2 - g_1}{g_2 + g_1}$ y $|v(t)| \leq 1$.

Considerando $u(t) = \bar{g}r(t)$, el sistema (1)-(2) se expresa como

$$\frac{dz}{dt} = (1 + \check{g}v(t))\,u(t), \tag{3}$$

$$\frac{du}{dt} = \bar{g}\bar{\rho}\rho(t). \tag{4}$$

Ahora, para el sistema (3)-(4) se propone el siguiente observador por modo deslizante de segundo orden:

$$\frac{d\hat{z}}{dt} = (1 + \check{g}v(t))\,u_1 + u_2, \tag{5}$$

$$\frac{du_1}{dt} = \bar{\rho}\bar{g}\alpha sign(\tilde{z}), \tag{6}$$

$$u_2 = 2\beta|\bar{\rho}\bar{g}\tilde{z}|^{1/2} sign(\tilde{z}), \tag{7}$$

$$\hat{r} = u_1/\bar{g}, \tag{8}$$

donde $\hat{z}, u_1 \in \mathbb{R}$ son estados del observador, $\alpha, \beta > 0$ constantes, $sign(\cdot)$ la función signo y $\hat{r}$ la estimación obtenida de $r(t)$.

En los siguientes párrafos, se plantean expresiones en términos del error del observador y se realizan cambios de coordenadas para llevar el sistema (5)-(8) a una forma que nos permita estudiar sus propiedades.

Sean $\tilde{z} \triangleq z - \hat{z}$, $\tilde{u} \triangleq u - u_1$, se tienen las siguientes expresiones para el error de observación:

$$\frac{d\tilde{z}}{dt} = (1 + \check{g}v(t))\,\tilde{u} - u_2, \tag{9}$$

$$\frac{d\tilde{u}}{dt} = \bar{\rho}\bar{g}\,(\rho(t) - \alpha sign(\tilde{z}))\,. \tag{10}$$

Ahora, aplicando el cambio de coordenadas $(x_1, x_2) = (u_2/2\beta, \tilde{u})$ se tiene

$$\frac{dx_1}{dt} = \frac{\bar{\rho}\bar{g}}{|x_1|}\left(-\beta x_1 + \frac{1}{2}\,(1 + \check{g}v(t))\,x_2\right), \tag{11}$$

$$\frac{dx_2}{dt} = \frac{\bar{\rho}\bar{g}}{|x_1|}\,(\rho(t)sign(x_1) - \alpha)\,x_1, \tag{12}$$

donde se usaron las relaciones $sign(x_1) = sign(\tilde{z})$, $|x_1| = |\bar{\rho}\bar{g}\tilde{z}|^{1/2}$, $x_1/|x_1| = sign(x_1)$ y $d|f|/dt = df/dt\,sign(f)$.

Dado que $\rho(t)$, $v(t) \in [-1, 1]$, las expresiones (11)-(12) cumplen con la siguiente inclusión diferencial

$$\frac{dx_1}{dt} \in \frac{\bar{\rho}\bar{g}}{|x_1|}\left(-\beta x_1 + \frac{1}{2}\,(1 + \check{g}\mathcal{U})\,x_2\right), \tag{13}$$

$$\frac{dx_2}{dt} \in \frac{\bar{\rho}\bar{g}}{|x_1|}\,(\mathcal{U} - \alpha)\,x_1, \tag{14}$$

donde $\mathcal{U} = [-1, 1]$.

Aplicando la transformación temporal $d\tau/dt = |x_1|^{-1}$, y expresando el resultado en forma matricial se obtiene el sistema lineal variante en el tiempo

$$\frac{d\boldsymbol{x}}{d\tau} = \bar{\rho}\bar{g}\boldsymbol{A}(\tau)\boldsymbol{x}(\tau), \tag{15}$$

$$\boldsymbol{A}(\tau) = \begin{pmatrix} -\beta & \frac{1}{2}\,(1 + \check{g}v(\tau)) \\ -(\alpha - \rho(\tau)) & 0 \end{pmatrix}, \tag{16}$$

con $|v(\tau)|, |\rho(\tau)| \leq 1$. La convergencia del sistema (15) para el caso en que $\check{g} = 0$ se demostró en [4], donde además se encontró mediante una función de Lyapunov que se tiene convergencia en tiempo finito en la variable t.

Nótese que si el sistema (15) es estable, entonces se tiene que $(x_1, x_2) \to (0, 0)$. En las coordenadas de (5)-(8) esto significa que el observador tiende a operar sobre $\tilde{z} = 0$ y así se establece la operación en modo deslizante. Como esto se alcanza en tiempo finito existe un t^* tal que $\hat{z}(t) = z(t)\ \forall t > t^*$. Luego, por la condición de invariancia [12] se tiene $\dot{\tilde{z}}(t) \equiv 0$ e igualando las expresiones (3) y (5) se concluye que $\hat{r}(t) = r(t)$ (para esto notar en la expresión (7) que cuando el sistema opera sobre $\tilde{z} = 0$ se tiene $u_2 = 0$).

2.2. Análisis de estabilidad

El estudio de la estabilidad de la matriz (16) $\forall v, \rho \in \mathcal{U}$ se presenta a continuación, donde se sigue un desarrollo análogo al presentado en [4]. La principal diferencia es que ahora, debido al término $\check{g}$, debe considerarse un politopo de cuatro vértices para definir la inclusión diferencial que incluye a todas las $\boldsymbol{A}(\tau)$ posibles. Además, los conjuntos de valores de β determinados en función de α quedan parametrizados por los valores de $\check{g}$.

Proposición 1 *Considerando la inclusión diferencial politópica*

$$\frac{d\boldsymbol{z}}{dt} = \boldsymbol{A}(t)\boldsymbol{z}, \quad \boldsymbol{A}(t) \in \mathcal{A} \tag{17}$$

con

$$\begin{aligned} \mathcal{A} &= co\bigcup_{\mathrm{i}} \boldsymbol{A}_{\mathrm{i}}, \quad \mathrm{i} = 1, \ldots, 4 \\ \boldsymbol{A}_{\mathrm{i}} &= \begin{bmatrix} -\beta & \frac{1}{2}(1+\breve{g}v_{\mathrm{i}}) \\ -(\alpha - u_{\mathrm{i}}) & 0 \end{bmatrix}, \\ u &= \{-1,-1,1,1\}, \quad v = \{-1,1,-1,1\}. \end{aligned} \tag{18}$$

Entonces, para cada $\alpha > 1$ y $0 < \breve{g} < 1$ existen valores positivos para β tal que la expresión (17) *es cuadráticamente estable para todo $\boldsymbol{A}(t) \in \mathcal{A}$.*

Observación La inclusión diferencial politópica se dice cuadráticamente estable si existe una función $V(\boldsymbol{z}) = \boldsymbol{z}^T\boldsymbol{P}\boldsymbol{z}, \boldsymbol{P} \succ 0$ que decrece sobre cualquier trayectoria no nula de (17). Dado que $\dot{V}(\boldsymbol{z}) = \boldsymbol{z}^T(\boldsymbol{A}^T(t)\boldsymbol{P} + \boldsymbol{P}\boldsymbol{A}(t))\boldsymbol{z}$, una condición necesaria y suficiente para estabilidad cuadrática es

$$\begin{aligned} \boldsymbol{P} &\succ 0, \\ \boldsymbol{A}^T(t)\boldsymbol{P} + \boldsymbol{P}\boldsymbol{A}(t) &\prec 0 \quad \forall \boldsymbol{A}(t) \in \mathcal{A}. \end{aligned} \tag{19}$$

Esta condición es equivalente a determinar si existe una matriz de Lyapunov $\boldsymbol{P}$ común a todos los vértices del politopo $\mathcal{A}$, es decir tal que verifique las siguientes restricciones

$$\mathcal{F} = \left\{ \begin{array}{l} \boldsymbol{P} \succ 0 \\ \boldsymbol{Q}_i \stackrel{\triangle}{=} -(\boldsymbol{A}_i^T\boldsymbol{P} + \boldsymbol{P}\boldsymbol{A}_i) \succ 0 \end{array} \right\} \tag{20}$$

con $i = 1 \ldots 4$. Ahora las matrices $\boldsymbol{A}_1$, $\boldsymbol{A}_2$, $\boldsymbol{A}_3$ y $\boldsymbol{A}_4$ se reescriben en una forma conveniente:

$$\boldsymbol{A}_i = \beta\boldsymbol{A}_0 + \boldsymbol{A}_i^*, \tag{21}$$

para $i = 1 \ldots 4$ donde

$$\boldsymbol{A}_0 = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{A}_1^* = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{2}(1+\breve{g}) \\ -(\alpha-1) & 0 \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{A}_2^* = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{2}(1+\breve{g}) \\ -(\alpha+1) & 0 \end{bmatrix},$$

$$\boldsymbol{A}_3^* = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{2}(1-\breve{g}) \\ -(\alpha-1) & 0 \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{A}_4^* = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{2}(1-\breve{g}) \\ -(\alpha+1) & 0 \end{bmatrix}.$$

La existencia de una matriz $\boldsymbol{P}$ para cualquier $\alpha > 1$ y $0 < \breve{g} < 1$ puede determinarse analizando la factibilidad del siguiente problema de autovalores generalizado (GEVP) en $\boldsymbol{P}$ y β [3]:

$$\begin{aligned} &\min \quad \beta \\ &s.t. \quad \boldsymbol{P} \succ 0, \quad \beta > 0, \quad \mathcal{F}^*, \end{aligned} \tag{22}$$

donde $\mathcal{F}^* = \left\{ (\boldsymbol{A}_i^{*T}\boldsymbol{P} + \boldsymbol{P}\boldsymbol{A}_i^*) + \beta(\boldsymbol{A}_0^T\boldsymbol{P} + \boldsymbol{P}\boldsymbol{A}_0) \prec 0; \right\}$ con $i = 1 \ldots 4$. El problema de autovalores generalizados es un problema cuasi-convexo. En este caso, se puede resolver aplicando un algoritmo de bisección en β y determinando si es factible la desigualdad matricial lineal (LMI) resultante. Para esto, se hace una grilla que cubra los valores de α y $\breve{g}$ deseados y se resuelven las LMI. En este caso se utilizó el software YALMIP [8]. La Fig. 1 muestra el conjunto de valores de α y β para los cuales el problema LMI es factible parametrizado con los valores de $\breve{g}$. Es decir, dado un valor $\breve{g}$, para todos los puntos por encima de la curva correspondiente, la expresión (17) es cuadráticamente estable.

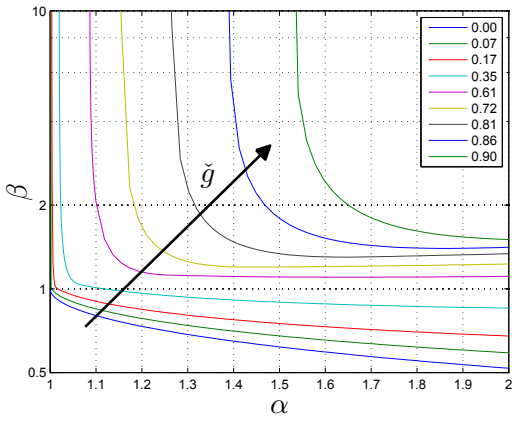


Figura 1: Límite inferior de β para los cuales la expresión (17) *es estable cuadráticamente.*

2.3. Modelo de estados de bioprocesos

Una amplia gama de bioprocesos que involucran n compuestos en m reacciones, realizados en tanque agitado, pueden representarse por el siguiente modelo de estados [2]

$$\frac{d\boldsymbol{\xi}}{dt} = \boldsymbol{K}\boldsymbol{G}(t)\boldsymbol{r}(\boldsymbol{\xi}) - D(t)\boldsymbol{\xi} + \boldsymbol{F}(t) - \boldsymbol{Q}(\boldsymbol{\xi}), \tag{23}$$

donde $\boldsymbol{\xi} \in \mathbb{R}^n$ es el vector de estados, $\boldsymbol{K} \in \mathbb{R}^{n\times m}$ es una matriz de coeficientes pseudo-estequiométricos, $\boldsymbol{G}(t) \in \mathbb{R}^{m\times m}$ es una matriz diagonal, $\boldsymbol{r}(\boldsymbol{\xi}) \in \mathbb{R}^m$ es el vector de velocidades específicas, $D(t) \in \mathbb{R}_+$ la velocidad de dilución, $\boldsymbol{F}(t) \in \mathbb{R}^n$ el flujo de entrada (de los distintos sustratos) y $\boldsymbol{Q}(\boldsymbol{\xi}) \in \mathbb{R}^n$ considera el intercambio con la fase gaseosa.

Nuestro objetivo es plantear un observador robusto para las velocidades $\begin{bmatrix} r_1, & \ldots, & r_m \end{bmatrix}$. Consideremos que se tienen m mediciones del vector $\boldsymbol{\xi}$ reacomodadas en un vector $\boldsymbol{z}$, esto es $\boldsymbol{z} = \begin{bmatrix} \xi_1, & \ldots, & \xi_m \end{bmatrix}^T$ y sean $\boldsymbol{K}_m, \boldsymbol{G}_m \in \mathbb{R}^{m\times m}$ las correspondientes submatrices de $\boldsymbol{K}$ y $\boldsymbol{G}(t)$, respectivamente. Además, $\boldsymbol{F}_m, \boldsymbol{Q}_m$ son la partición de $\boldsymbol{F}$ y $\boldsymbol{Q}$, respectivamente. Ahora se tiene un sistema reducido de la forma

$$\frac{d\boldsymbol{z}}{dt} = \boldsymbol{K}_m\boldsymbol{G}_m\boldsymbol{r}(\boldsymbol{z}) - D\boldsymbol{z} + \boldsymbol{F}_m - \boldsymbol{Q}_m, \tag{24}$$

$$\left|\frac{dr_i}{dt}\right| \leq \bar{\rho}_i, \tag{25}$$

para el cual extendemos el desarrollo previo a una versión multivariable. Asumimos que

- existen m mediciones de concentraciones disponibles,
- la matriz $\boldsymbol{K}_m$ es conocida y no singular,
- se conoce una cota para las derivadas de las m reacciones a estimar,
- las entradas $\boldsymbol{F}_m$ y el intercambio con fase gaseosa $\boldsymbol{Q}_m$ (si hubiera) son conocidos.

2.4. Observador de segundo orden: Caso multivariable

De forma similar a como se descompuso $g(t)$ en el desarrollo univariable, se asume que se tienen matrices diagonales $\boldsymbol{G}_1$ y $\boldsymbol{G}_2$ tal que $\boldsymbol{0} < \boldsymbol{G}_1 \leq \boldsymbol{G}_m(t) \leq \boldsymbol{G}_2$ y se definen $\boldsymbol{G}_o = (\boldsymbol{G}_1 + \boldsymbol{G}_2)/2$, $\Delta\boldsymbol{G} = (\boldsymbol{G}_2 - \boldsymbol{G}_1)/2$ y $\delta = \left\|\boldsymbol{G}_o^{-1}\Delta\boldsymbol{G}\right\|_\infty$.

Sea $\hat{\boldsymbol{z}}$ el vector que estima a $\boldsymbol{z}(t)$, se define el vector auxiliar:

$$\boldsymbol{\sigma} = (\boldsymbol{K}_m \boldsymbol{G}_o \boldsymbol{R})^{-1}(\boldsymbol{z} - \hat{\boldsymbol{z}}). \tag{26}$$

Además, sea la matriz diagonal $\boldsymbol{R} = diag\{\bar{\rho}_i\}$ tal que $\left\| \boldsymbol{R}^{-1} \dfrac{d\boldsymbol{r}}{dt} \right\|_\infty \leq 1$ y sean las funciones $SIGN(\cdot)$: $\mathbb{R}^m \to \mathbb{R}^m$, $ABS(\cdot)$: $\mathbb{R}^m \to \mathbb{R}^{m\times m}$, definidas como:

$$SIGN(\boldsymbol{\sigma}) = col(sign(\sigma_i)), \tag{27}$$
$$ABS(\boldsymbol{\sigma}) = diag\{|\sigma_i|\}. \tag{28}$$

La versión multivariable del observador (5)-(8) para el sistema (24)-(25) es:

$$\frac{d\hat{\boldsymbol{z}}}{dt} = \boldsymbol{K}_m \left(\boldsymbol{G}_m \boldsymbol{R} \boldsymbol{u}_1 + 2\beta \boldsymbol{G}_o \boldsymbol{R} \boldsymbol{u}_2\right) - D\boldsymbol{z} + \boldsymbol{F}_m - \boldsymbol{Q}_m, \tag{29}$$
$$\frac{d\boldsymbol{u}_1}{dt} = \alpha SIGN(\boldsymbol{\sigma}), \tag{30}$$
$$\boldsymbol{u}_2 = (ABS(\boldsymbol{\sigma}))^{1/2} SIGN(\boldsymbol{\sigma}), \tag{31}$$
$$\hat{\boldsymbol{r}} = \boldsymbol{R}\boldsymbol{u}_1. \tag{32}$$

Con el cambio de coordenadas $(\boldsymbol{x}_1, \boldsymbol{x}_2) = (\boldsymbol{u}_2, \boldsymbol{R}^{-1}\boldsymbol{r} - \boldsymbol{u}_1)$, se llega a la siguiente inclusión diferencial (análoga de (13)-(14)):

$$\begin{aligned} \frac{d\boldsymbol{x}}{dt} \in & \begin{pmatrix} [ABS(\boldsymbol{x}_1)]^{-1} & 0 \\ 0 & [ABS(\boldsymbol{x}_1)]^{-1} \end{pmatrix} \cdot \\ & \cdot \begin{pmatrix} -2\beta \boldsymbol{I}_m & \boldsymbol{I}_m + \delta \boldsymbol{U}_m \\ -(\alpha \boldsymbol{I}_m - \boldsymbol{U}_m) & 0 \end{pmatrix} \boldsymbol{x}, \end{aligned} \tag{33}$$

con $\boldsymbol{U}_m$ matriz diagonal tal que $\|\boldsymbol{U}_m\|_\infty \leq 1$.

A partir de lo desarrollado en la Proposición 1, es inmediato probar que existen valores de α y β positivos para los cuales el observador mutivariable es estable cuadráticamente.

Nuevamente, cuando el sistema opera en modo deslizante, la condición de invariancia implica $\boldsymbol{\sigma} \equiv \boldsymbol{0}$, entonces se tiene t^* tal que $\hat{\boldsymbol{z}}(t) = \boldsymbol{z}(t)\ \forall t > t^*$ e igualando las expresiones (24) y (29) se concluye que $\hat{\boldsymbol{r}}(t) = \boldsymbol{r}(t)$ (notar en (31) que cuando el sistema opera sobre $\boldsymbol{\sigma} = \boldsymbol{0}$ la matriz $ABS(\boldsymbol{\sigma})$ es la matriz nula y luego $\boldsymbol{u}_2 = \boldsymbol{0}$).

3. EJEMPLO DE APLICACIÓN

El ejemplo consiste en estimar la velocidad específica de producción de etanol (q_e) por una cepa de levadura *S. cerevisiae* en un bioproceso continuo utilizando mediciones de concentración de biomasa y etanol. A partir del balance de materia se obtiene el siguiente modelo de estados

$$\frac{dx}{dt} = \mu x - \frac{F}{v}x, \tag{34}$$
$$\frac{de}{dt} = q_e x - \frac{F}{v}e, \tag{35}$$

donde x y e son las concentraciones de biomasa y etanol respectivamente. F es el flujo y v es el volumen del cultivo. En estos procesos el flujo de entrada es igual al flujo de salida y así la operación resulta a volumen constante. El cociente F/v se denomina dilución (D).

El bioproceso se inicializa con una etapa batch, es decir sin caudales de entrada y salida aplicados. En esta primera etapa, la biomasa inicial crece consumiendo cierta cantidad de

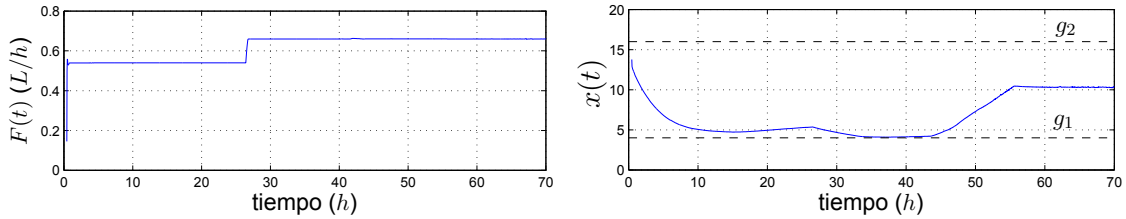


Figura 2: Izq: Perfil temporal de $F(t)$ aplicado en el bioproceso continuo. Der: Concentración de biomasa.

sustrato agregada al inicio del proceso. Luego de que el microorganismo consume totalmente el sustrato inicial (glucosa) la concentración de biomasa alcanza el valor inicial para la etapa siguiente. A partir de ese momento se manipula $F(t)$ a fin de alcanzar el nivel de operación deseado en modo continuo. En estos procesos se espera alcanzar estado estacionario, donde resulta $\mu = D$ como puede deducirse de la ecuación (34).

3.1. Resultados

En la forma (1)-(2) se tiene que $g(t) = x(t)$, $r(t) = q_e(t)$. Entonces puede considerarse $g_1 = x_{min}$ (valor mínimo estimado para la etapa en la cual se aplicará el observador) y $g_2 = x_{max}$ (el valor máximo esperado de concentración de biomasa).

El observador se aplicó en un cultivo continuo de volumen $v = 3\ L$, para muestras de x y e adquiridas cada 120 seg. Se consideró $g_1 = 4\ g/L$ y $g_2 = 16\ g/L$. El observador se sintonizó con parámetros seleccionados de la Fig. 1. En particular para $\breve{g} = 0{,}60$, se seleccionaron $\alpha = 1{,}3$, $\beta = 1{,}2$. Como cota de $\dot{q}_e$ se seleccionó $\bar{\rho} = 0{,}25$.

El perfil de alimentación aplicado y los valores de biomasa medidos se presentan en la Fig. 2. Los caudales aplicados de $0{,}54$ y $0{,}66\ L/h$ se corresponden con valores de dilución de $0{,}18$ y $0{,}22\ h^{-1}$ respectivamente.

En la Fig. 3 (izq.) se presentan los valores medidos de etanol y la estimación $\hat{e}(t)$ que realizó el observador. En el zoom de la Figura puede observarse la convergencia del observador propuesto, cuya condición inicial fue $\hat{e}(t_0) = 1{,}5\ g/L$, a la señal $e(t)$. En la Fig. 3 (der.) se muestra la estimación $\hat{q}_e(t)$ de la velocidad específica de producción de etanol $q_e(t)$ y la superficie

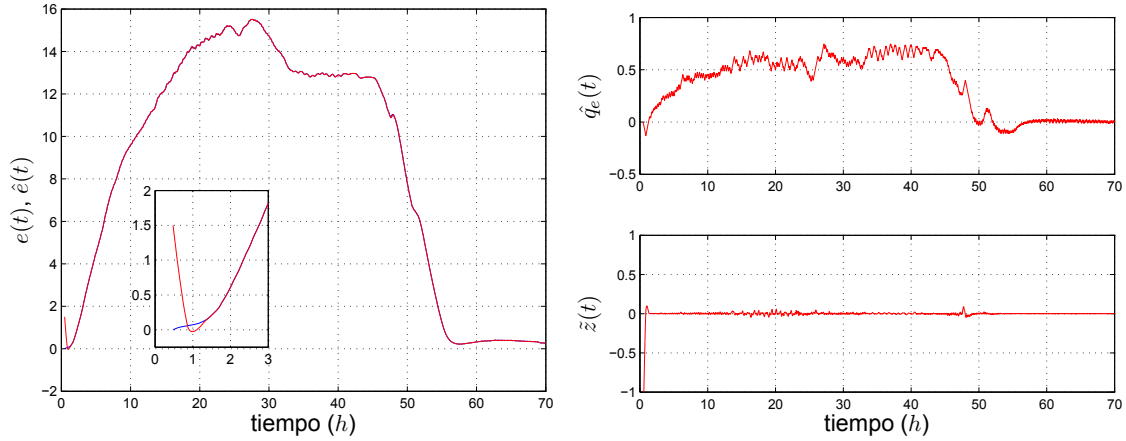


Figura 3: Izq: Evolución temporal de $e(t)$ (azul), $\hat{e}(t)$ (rojo). Der: Velocidad específica neta de producción de etanol estimada $\hat{q}_e(t)$ y superficie de conmutación $\tilde{z}(t)$.

de conmutación $\widetilde{z}$. El conocimiento *on-line* de $q_e(t)$ agrega información respecto del proceso. En particular para *S. cerevisiae* permite estimar la suma de la producción de etanol por vía respiro-fermentativa y el consumo del mismo de forma oxidativa.

4. CONCLUSIONES

Se propuso un observador por modo deslizante de segundo orden para la estimación de velocidades específicas en bioprocesos con la correspondiente extensión al caso multivariable. A diferencia de trabajos anteriores, la propuesta no se restringe solo a estimar velocidades específicas de crecimiento de microorganismos sino que es aplicable a otras sustancias. Sus propiedades salientes son convergencia en tiempo finito y robustez respecto a no asumir un modelo particular para cada reacción.

Si bien como ejemplo de aplicación se estimó la velocidad específica de producción de etanol por una levadura en un cultivo continuo, la propuesta también puede aplicarse a otros modos de operación (batch, batch alimentado) y para otros microorganismos produciendo otras sustancias de interés. La utilización de observadores como el aquí propuesto agrega conocimiento sobre el estado metabólico del microorganismo y podría combinarse con otra información disponible *on-line* para mejorar la performance de los sistemas de control que se aplican a estos procesos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por proyectos de ANPCyT (PICT-2011-0888), CONICET (PIP 112-2011-00361) y UNLP (I164).

REFERENCIAS

[1] G. Bastin and D. Dochain. On-line estimation of microbial specific growth rates. *Automatica*, 22(6):705 – 709, 1986.

[2] G. Bastin and D. Dochain. *On-line Estimation and Adaptive Control of Bioreactors*. Elsevier, 1990.

[3] S. Boyd, L. El Ghaoui, E. Feron, and V. Balakrishnan. *Linear Matrix Inequalities in System and Control Theory*, volume 15 of *Studies in Applied Mathematics*. SIAM, 1994.

[4] Hernán De Battista, Jesús Picó, Fabricio Garelli, and Alejandro Vignoni. Specific growth rate estimation in (fed-)batch bioreactors using second-order sliding observers. *J. of Process Control*, 21(7):1049 – 1055, 2011.

[5] M. Farza, K. Busawon, and H. Hammouri. Simple nonlinear observers for on-line estimation of kinetic rates in bioreactors. *Automatica*, 34(3):301 – 318, 1998.

[6] Anna Marya Jobé, Christoph Herwig, Martin Surzyn, Bernhard Walker, Ian Marison, and Urs von Stockar. Generally applicable fed-batch culture concept based on the detection of metabolic state by on-line balancing. *Biotechnology and Bioeng.*, 82(6):627–639, 2003.

[7] A. Levant. Robust exact differentiation via sliding mode technique. *Automatica*, 34(3):379–384, 1998.

[8] J. Löfberg. Automatic robust convex programming. *Optimization methods and software*, 27(1):115–129, 2012.

[9] J. Picó, H. De Battista, and F. Garelli. Smooth sliding-mode observers for specific growth rate and substrate from biomass measurement. *J. of Process Control*, 19(8):1314 – 1323, 2009.

[10] H. Ren and J. Yuan. Model-based specific growth rate control for *Pichia pastoris* to improve recombinant protein production. *J Chem Technol Biotechnol*, 80:1268–1272, 2005.

[11] Hiroshi Shimizu, Takeichiro Takamatsu, Suteaki Shioya, and Ken-Ichi Suga. An algorithmic approach to constructing the on-line estimation system for the specific growth rate. *Biotechnology and Bioeng.*, 33(3):354–364, 1989.

[12] V.Y. Utkin, J. Guldner, and J. Shi. *Sliding Mode Control in Electromechanical Systems*. Taylor & Francis, London, 1st edition, 1999.

[13] Ch. Venkateswarlu. Advances in monitoring and state estimation of bioreactors. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 63:491–498, 2004.

PLATAFORMA EXPERIMENTAL PARA EL DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN HÍBRIDOS BASADOS EN PILAS DE COMBUSTIBLE

Talpone Juan I. [*] Puleston Pablo F. More Jerónimo J. Griñó Robert. Cendoya Marcelo G.

[*]**Lugar de trabajo**: Laboratorio de Electrónica Industrial, Control e Instrumentación (LEICI), Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, UNLP, Casilla de Correo No 91, 1900, La Plata, Argentina. E-mail: juan.talpone@ing.unlp.edu.ar

RESUMEN

La creciente demanda de energía, la constante disminución de las fuentes de origen fósil y la preocupación por el deterioro del medio ambiente, han volcado la atención mundial a las tecnologías basadas en fuentes de energía alternativas. El perfeccionamiento de sistemas de generación eléctrica eficientes basados en energías alternativas, actualmente se ha convertido en un área de investigación y desarrollo de crucial importancia. En este contexto en constante expansión, las investigaciones en el campo de nuevas tecnologías para sistemas híbridos se han vuelto un tema de alta prioridad.

Orientada a esta problemática, en el marco de un proyecto de colaboración internacional con el Grupo ACES de los institutos IRI (CSIC-UPC) e IOC (UPC), Cataluña, España, se ha desarrollado una plataforma experimental de generación híbrida de energía eléctrica. La misma permite implementar en tiempo real nuevos algoritmos de control avanzado, orientados a maximizar la eficiencia energética y optimizar la gestión de potencia eléctrica.

La plataforma propuesta está formada por dos canales de generación: uno basado en una Pila de Combustible (FC) y otro, constituido por una fuente electrónica programable, que emula una fuente de energía alternativa, en particular un módulo de generación eólica. Se dispone además de un canal de almacenamiento, que utiliza un banco de Supercapacitores (SC). Por último, una carga electrónica, también programable, representa la demanda de energía cuyo perfil puede ser especificado de manera arbitraria. Todos los canales del sistema están conectados a un Bus de Corriente Continua común; la FC y el SC lo hacen a través de convertidores electrónicos conmutados intermediarios. Los convertidores son específicamente controlados por un sistema basado en un procesador digital de señales (DSP). A su vez, todo el equipo es supervisado mediante una PC. De esta forma la plataforma desarrollada presenta un alto grado de flexibilidad y versatilidad. Resultados experimentales permiten validar su funcionamiento en forma integral.

Palabras Claves: Sistema Híbrido, Energías Alternativas, Pila de Combustible, Supercapacitor.

1. INTRODUCCIÓN

El diseño y perfeccionamiento de sistemas de generación eléctrica eficientes, basados en energías alternativas, se ha convertido en un área de investigación y desarrollo de importancia en la actualidad. La creciente demanda de energía, la constante disminución de las fuentes de energía de origen fósil y la preocupación por el deterioro del medio ambiente han volcado la atención a las tecnologías basadas en fuentes de energía alternativas, en particular, aquellas cuya disponibilidad es continua, y su impacto ambiental es mínimo.
En este contexto, las investigaciones en el campo de nuevas tecnologías para sistemas híbridos se han vuelto un tema de alta prioridad. En particular, hoy en día, los sistemas basados en Pilas de Combustible surgen como una alternativa prometedora a los sistemas basados en combustibles fósiles en aplicaciones en vehículos eléctricos y residenciales.
Es entonces que, por las razones expuestas, es necesario contar con

Sistemas Híbridos de generación de laboratorio, altamente versátiles que permitan el análisis, desarrollo y evaluación experimental de nuevas topologías tendientes a la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables. Estos sistemas deben contribuir al diseño y perfeccionamiento de nuevos controladores, logrando así maximizar la eficiencia energética de conversión y optimizar la gestión de potencia eléctrica.

En este trabajo, desarrollado en el marco de un proyecto de colaboración internacional con el Instituto de Robótica e Informática Industrial de la Universidad Politècnica de Catalunya – CSIC, se presenta el diseño e implementación de una plataforma experimental de generación híbrida de energía eléctrica. La misma permite evaluar, en tiempo real, nuevos algoritmos de control avanzado, orientados a maximizar la eficiencia energética y optimizar la gestión de potencia eléctrica.

Como se observa en la Figura 1, el sistema híbrido implementado está constituido por un módulo de generación basado en una Pila de Combustible (FC), un módulo de almacenamiento constituido por Supercapacitores (SC), y un canal de generación basado en una fuente de energía alternativa adicional, en particular en nuestro caso, emulando una turbina eólica.

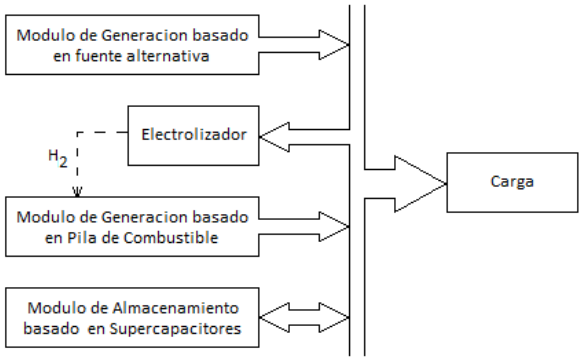


Figura 1. Diagrama en bloques general del sistema híbrido propuesto.

De todas las topologías posibles para Sistemas Híbridos, se optó por utilizar aquella en la cual todos los módulos se vinculan mediante un bus común de CC, dado que a diferencia de uno con bus común de CA, no requiere ningún tipo de sincronismo, ni control de energía reactiva.

2. DESARROLLO DEL TRABAJO

2.1 Módulo de generación basado en Pila de Combustible.

En la Figura 2 se muestra un diagrama en bloques de éste módulo:

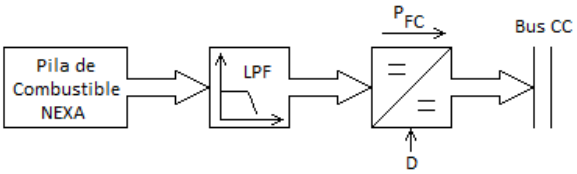


Figura 2. Diagrama en bloques del canal de generación basado en la Pila de Combustible.

La Pila de Combustible es un stack tipo PEM, modelo NEXA® MAN5100078, fabricada por la compañía Ballard®. Su potencia nominal es de 1.2kW. Cuando ésta entrega una potencia cercana este valor, proporciona una tensión de salida de unos 30V.

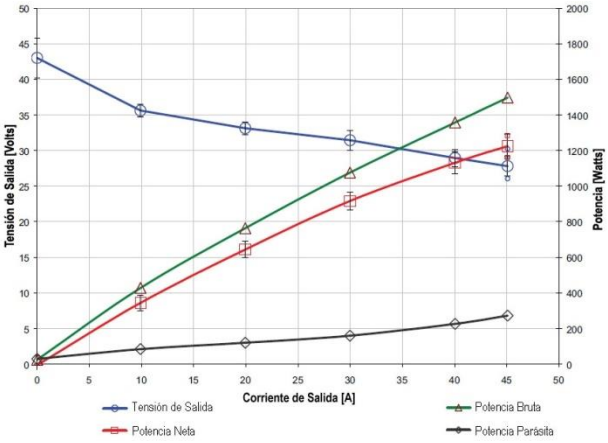


Figura 3. Características de salida del stack PEM Nexa® MAN5100078.

Las pilas tipo PEM presentan grandes variaciones en su tensión de salida, de acuerdo a la potencia demandada [1]. Como puede verse en la Figura 3, la tensión de salida de la FC presenta grandes variaciones, pasando de alrededor de 27V a plena carga a 43V en vacío. El rango de tensión de salida de operación normal varía aproximadamente desde 27 hasta 36V [5].

La conexión al bus de CC del stack se realiza través de un convertidor del tipo elevador (step-up) unidireccional en corriente, de manera que sólo es posible

extraer potencia de la FC. La topología utilizada para el convertidor se puede observar en la Figura 4.

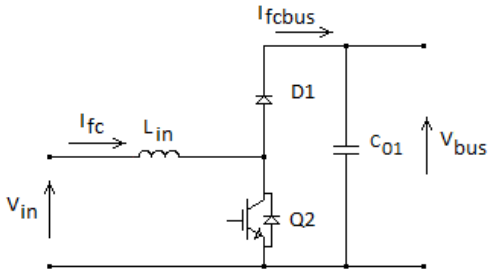


Figura 4. Convertidor CC/CC tipo elevador (step-up) unidireccional.

Diseño del convertidor

A partir de la característica de la FC presentada en la Figura 3, quedan determinados los requisitos del convertidor:

- Tensión de entrada: 27 a 36V.
- Corriente de entrada: 10 a 45A.
- Tensión de salida: 75V.
- Potencia máxima: 1.2 kW.

El desarrollo del convertidor está basado en un módulo de tres columnas de Semikron® [4]; cada una posee dos llaves IGBT (1200V – 75A). Para la implementación de este convertidor se utilizó una columna completa. El módulo incluye los drivers de excitación para las llaves y un sensor de efecto hall por columna, que en este caso permite medir I_{fc}. El control de las llaves se realiza a través de señales lógicas independientes. Además, los drivers del módulo incluyen la lógica de protección que evita la activación simultánea de las llaves de una misma columna.
La relación de conversión de este tipo de convertidor es:

$$V_{bus} = \frac{V_{in}}{(1-D)} \qquad (1)$$

Donde:

D: ciclo de trabajo.
V_{in}: tensión de entrada.
V_{bus}: tensión de salida.

Conociendo la zona de operación de la FC y teniendo en cuenta (1), queda determinado el rango de variación del ciclo de trabajo, 0,52 < D < 0,64.

El valor de la inductancia L_{in} necesario se puede determinar a partir de la siguiente expresión:

$$L_{in(\min)} = \frac{D\cdot(1-D)^2 V_{bus}}{2\cdot f_s \cdot I_{fcbus}} \qquad (2)$$

Donde:

f_s: frecuencia de conmutación.
I_{fcbus}: corriente de salida.

Teniendo en cuenta la frecuencia de conmutación elegida y los datos anteriores el valor de inductancia mínimo resultó ser 22 µHy. Se optó entonces por utilizar una inductancia de 35 µHy, construida a partir del núcleo de mayor tamaño que fue posible disponer, dados los materiales disponibles, dimensiones y costo [3]. Para este valor de inductancia, el ripple obtenido máximo es de unos ΔI_{fc} = 22A Si bien el convertidor operará en modo de conducción continua en todo el rango de trabajo, el ripple en la corriente de entrada no es aceptable, dada su amplitud, para el buen funcionamiento de la FC. Fue necesario, entonces, añadir un filtro pasa-bajos entre la FC y el convertidor. En la Figura 4 se muestra un esquema del filtro, y su conexionado con la FC y el step-up. Es un filtro L-C de segundo orden cuyos componentes fueron dimensionados a partir de:

$$f_c = \frac{1}{2\cdot\pi\sqrt{L_f\cdot C_f}} \qquad (3) \qquad \zeta = \frac{1}{2\cdot R}\sqrt{\frac{L_f}{C_f}} \qquad (4)$$

Donde:

f_c: frecuencia de corte.
R: resistencia equiv. de carga del filtro.
L_f: inductancia.
C_f: capacidad.
ζ: amortiguamiento.

Pretendiendo una atenuación a f_s de unos 60 dB, resulta $f_c \approx 500$Hz.
A partir de (3), (4) y considerando: R = 36V/10A = 3,6Ω, se obtuvo: L_f = 40µHy – 60A y C_f = 2200µF – 100V.

Este valor de C_f requiere que el mismo sea electrolítico y por lo tanto se añadió en paralelo C_p = 1 µF, de poliéster metalizado, para mejorar el desempeño del filtro en alta frecuencia.

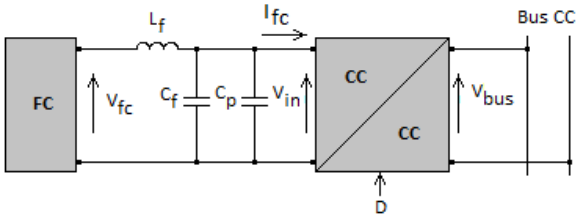


Figura 4. Detalle conexión del filtro de la FC.

Considerando un rizado en la tensión V_{bus} del 1 %, el valor mínimo necesario para C_{01} resulta en 700µF [2].

2.2 Módulo de almacenamiento basado en Supercapacitor.

En la Figura 5 se muestra un diagrama en bloques del canal de almacenamiento:

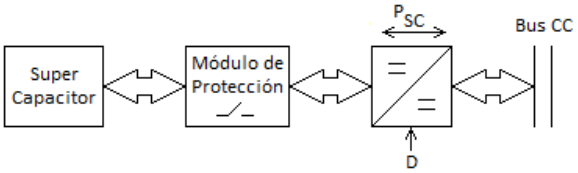


Figura 5. Diagrama en bloques del canal de almacenamiento con SC.

Este canal posee una estructura similar a la de generación considerada en el inciso 2.1. Por consideraciones de balance energético del sistema completo, se decidió utilizar un Supercapacitor de la compañía Maxwell® [6] cuyas características básicas son las siguientes:

- Capacidad: 165F.
- Tensión Nominal: 48,6V.
- Tensión Máx. Admisible: 50,4V.
- ESR: 6,3mΩ.
- Corriente continua máx.: 98A.

La energía que se puede extraer de un banco de Supercapacitores está dada por:

$$\Delta E_{SC} = \frac{1}{2} \cdot C_{SC} \cdot \left(V_i^2 - V_f^2 \right) \qquad (5)$$

Donde:

C_{SC}: capacidad del SC.
V_i: tensión inicial.
V_f: tensión final.

Considerando un valor de ΔE_{SC} del 75% del valor nominal, de (5) resulta que la $V_f = V_i/2$.

Por razones de seguridad se optó por trabajar con V_i = 45V. De esta forma resulta V_f = 22,5V [7].

El Supercapacitor se conecta al bus a través de un convertidor CC-CC bidireccional como el mostrado en la Figura 6.

Diseño del convertidor

Este convertidor está implementado con otra columna del módulo Semikron® anteriormente citado. Teniendo en cuenta las limitaciones del mismo [4] y las características del SC, quedan determinados los requisitos del convertidor:

- Tensión de entrada: 22,5 a 45V.
- Corriente de entrada: 0 a 60A.
- Tensión de salida: 75V.

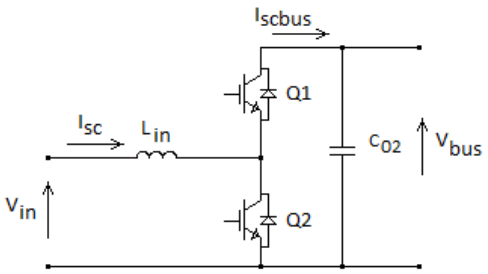


Figura 6. Convertidor CC/CC bidireccional.

Las llaves Q1 y Q2 funcionan de manera complementaria. Dado que aquí la corriente fluye en ambos sentidos, el convertidor siempre opera en modo de conducción continua. Por disponibilidad, en este caso, se utilizo el mismo valor de inductancia L_{in} que en el convertidor unidireccional de la FC. El ciclo de trabajo del convertidor estará comprendido, (1), entre 0,4 < D < 0,7. De esta forma, el ripple de corriente resultante es ΔI_{sc} = 22,5A [2]. Además, el valor mínimo de capacidad necesario para obtener un rizado en la tensión V_{bus} del 1 %, resulta en 800µF [2].

De esta forma, dado que ambos convertidores comparten el mismo bus, se decidió integrar C_{01} y C_{02} en un único banco de capacitores formado por EPCOS B43303A0687, con una capacidad equivalente C_{bus} = 2720 µF.

Módulo de Protección del SC / Convertidor.

Dadas las limitaciones del SC y el convertidor asociado, es necesario contar con un módulo que permita desconectar el SC, en caso de que su tensión alcance el valor máximo o la corriente a través de las llaves del convertidor sea excesiva.

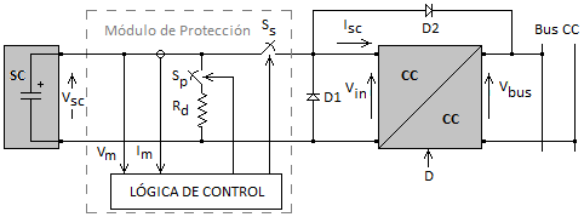


Figura 7. Módulo de protección SC/convertidor.

Como puede observarse en el esquema general del módulo de protección, en la Figura 7, el mismo consta de una lógica de control que se encarga de medir la tensión del SC y la corriente en la entrada del convertidor. Cuando el sistema opera en forma normal la llave S_p permanece abierta y S_s cerrada. En caso que la tensión en bornes del SC supere los 48V, o bién la corriente alcance los ±60A, la lógica cierra S_p y abre S_s, conectando una resistencia R_d de descarga en paralelo al SC y desconectando a éste último del convertidor. De esta forma, el SC comienza a descargarse. Para evitar sobretensiones, ocasionadas por el inductor de entrada del convertidor, durante la apertura de S_S, se colocó un enclavamiento formado por D1 y D2.

La lógica de control fue implementada utilizando lógica discreta y no basada en un microprocesador, debido a que éste último tipo de dispositivos no asegura que el programa, que monitorea las variables de interés y se ejecuta en su interior, se detenga y como consecuencia la protección no funcione y el operador no sepa de ello. Cuando la protección se dispara, debe ser reiniciada manualmente por el operador del sistema, aumentando así la seguridad de operación.

2.3 Módulo de generación basado fuente alternativa (canal eólico).

Para este canal de generación se utilizó una Fuente Electrónica Programable (PES) de la compañía alemana H&H de 3kW de potencia. La misma permite emular fuentes de energía alternativas. En particular, es de nuestro interés, su uso para representar un generador eólico. Es posible, mediante una PC modificar el perfil de potencia, de manera de representar el funcionamiento de una turbina eólica para diferentes condiciones de viento. Ésta se halla conectada al bus de CC en forma directa.

2.4 Electrolizador y Carga.

En la estructura realizada se optó por representar el conjunto Electrolizador – Carga en el sistema en un único módulo, a partir de una Carga Electrónica Programable (PEL) de la compañía alemana H&H de 4,2kW de potencia. No obstante, el sistema admite, con mínimas modificaciones, la incorporación de un electrolizador real, cuando los experimentos lo requieran. La PEL puede fácilmente ser programada a través de una PC lo cual provee gran flexibilidad para cambiar las condiciones de carga del sistema.

2.5 Módulo de Procesamiento y Control.

El sistema es controlado y supervisado por dos unidades independientes:
DSP: Se utiliza un kit de desarrollo de Spectrum Digital® basado en un DSP Texas Instruments® FZ28335 para controlar los convertidores asociados a la FC y al SC.

Se desarrollo una placa de acondicionamiento de señal y filtrado para medir:
V_{fc} – I_{fc}: tensión y corriente de la FC.
V_{sc} – I_{sc}: tensión y corriente del SC.
V_{bus} – I_{bus}: tensión y corriente en el Bus.

De esta forma, el DSP adquiere las señales anteriores y ejecuta en tiempo real los algoritmos de control de usuario, determinando el estado de las llaves de cada convertidor en forma independiente.

PC: El control supervisor del sistema completo lo realiza una PC. La misma se comunica con el DSP a través de una interfaz USB. De esta forma pueden intercambiar parámetros de control y medición del sistema. Además, se encarga de generar los perfiles de inyección de potencia y de carga del canal de generación adicional y el conjunto Electrolizador –

Carga. Mediante la PC es posible visualizar y almacenar las tensiones y corrientes medidas del sistema y conocer las condiciones de funcionamiento de la plataforma.

3. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Se presentan a continuación los resultados experimentales de un ejemplo a aplicación para la plataforma desarrollada en este trabajo.

Como objetivo de control se busca fijar la tensión del bus en 60V. La Pila de Combustible se encarga de suministrar la componente de baja frecuencia de la potencia demandada por la carga. Los SC se encargan de entregar la potencia en los transitorios, ante un cambio en la potencia demandada por la carga, durante el intervalo de tiempo en que la FC alcanza el nuevo valor solicitado.
Con este fin el convertidor del SC se controla mediante dos lazos: uno interior de corriente y otro exterior de tensión para regular los 60V de tensión en el bus.
El convertidor de la FC se controla mediante un lazo de corriente cuya referencia se calcula a partir del valor de potencia demandada por la carga. En el cálculo de esta referencia también se considera el error de tensión del SC de manera que lentamente éstos se recarguen a un valor fijo de 42V.
En la Figura 9 se muestran las curvas obtenidas del ensayo realizado. En azul se representan V_{bus} e I_{bus}, en rojo V_{sc} e I_{sc} y en verde V_{fc} e I_{fc} respectivamente. La corriente I_{bus}, corresponde a la de la potencia neta resultante de los módulos: carga, electrolizador y fuente alternativa. ($I_{neta} = I_{carga} + I_{electrolizador} - I_{fuente_alternativa}$).

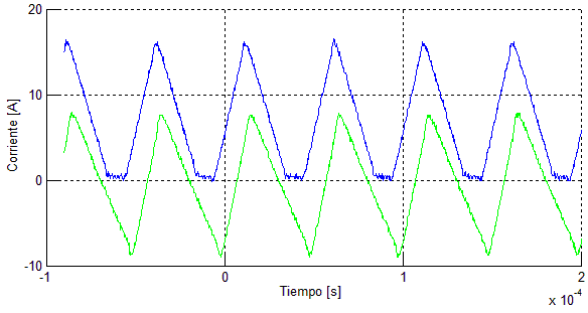


Figura 8. Corriente en los convertidores.

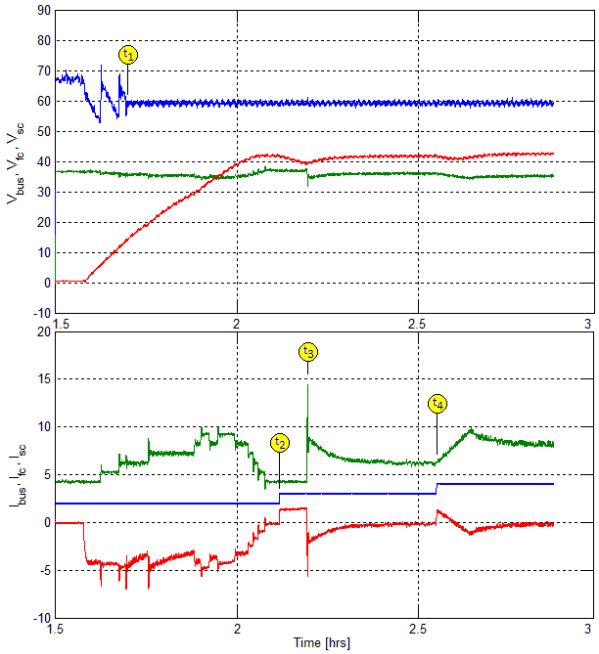


Figura 9. Ensayo realizado en la plataforma.

Inicialmente, se cierra el lazo de corriente en la FC y se fija la referencia en 4A para cargar el SC hasta que su tensión es de unos 15V en t_1, dónde se cierra el lazo de control de tensión en el bus, fijando la tensión del mismo en 60V. Además se incrementa el valor de referencia de corriente de la FC y se continúa cargando el SC.

En t_2 se incrementa la potencia demandada, la cual es suministrada por el SC, iniciando un proceso de descarga. En t_3 se comienza a calcular el valor de referencia para el lazo de corriente de la FC a partir de la potencia demandada por la carga y la necesaria por el SC para mantener su tensión en 42V. Finalmente, en t_4 cuando se incrementa nuevamente la potencia demandada por la carga, se observa cómo, inicialmente es provista por el SC hasta que la FC alcanza el nuevo valor y puede suministrarlo ella.

En la Figura 8 se muestran en detalle las corrientes I_{fc} (azul) – I_{sc} (verde) donde puede observarse que el ripple en ambas cumple las especificaciones de diseño buscadas. Además la corriente correspondiente al convertidor de la FC indica que el mismo está operando en modo de conducción discontinua, mientras que aquella correspondiente al del SC opera en conducción continua, con valor medio de

corriente cercano a cero.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se detallaron los lineamientos principales para el desarrollo de una plataforma experimental de generación híbrida versátil, basada en una Pila de Combustible y Supercapacitores. Se describió la constitución y operación de los módulos que la conforman, indicando las pautas principales de diseño. Se dio especial atención al diseño e implementación de los convertidores electrónicos, la instrumentación electrónica y los sistemas de control, supervisión y protección. Finalmente el sistema fue probado en su conjunto, demostrando su correcto funcionamiento para las condiciones de ensayo impuestas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo contó con el apoyo de la UNLP, el CONICET, la Secretaría de Ciencia y Técnica (SECyT), Argentina; la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID-A026279/09), la Universitat Politècnica de Catalunya y CSIC, España.

REFERENCIAS

[1] Barbir F. "PEM Fuel Cells: Theory and Practice", Ed. Elseiver, 2005.
[2] Mohan N., Undeland T., Robbins W., "Power Electronics: Converters, Applications and Design", Ed. Wiley & Sons, 1989, pp. 63-101.
[3] McLyman C. "Transformer and Inductor Design Handbook", 2nd Ed., Dekker, 1988.
[4] Semikron®, Semistack SKS 75F B6CI 40 V12 Datasheet, 20/4/2007.
[5] Nexa™ (310-0027) Power Module User's Manual, Ballard Power Systems Inc.,
[6] Maxwell Technologies, Inc. BMOD0165 P048 Datasheet, Document number: 1009365.8.
[7] Maxwell Technologies, Inc. Applications Note: "BOOSTCAP® Ultracapacitor Cell Sizing", Document number: 10073627.
[8] Moré J., Puleston P., Kunusch C., Riera I Colomer J., "Sliding Mode Control of an Autonomous Parallel Fuel Cell-Supercapacitor Power Source".

FRECUENCIAS ASOCIADAS A LOS FENÓMENOS ESTUDIADOS POR LA COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA EN AMBIENTES RESIDENCIAL-COMERCIAL, INDUSTRIAL Y HOSPITALARIO

Pablo Massa(1), Francisco Baravalle(1)

(1) Laboratorio LEDE-SIECIT, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Calle N° 48 y 116 - La Plata - Bs. As. Argentina. francisco_baravalle@yahoo.com

PALABRAS CLAVE: Ambiente Electromagnético, Perturbación Electromagnética, Interferencia Electromagnética, Compatibilidad Electromagnética (CEM), Emisión, Inmunidad, Conducido, Radiado, Rangos de Frecuencias, Electromagnético (EM).

Resumen

El presente trabajo describe los principales fenómenos que causan perturbaciones electromagnéticas y los conceptos generales asociados a la Compatibilidad Electromagnética (CEM). Analiza además los modos de propagación de las perturbaciones conducida y radiada, junto a la subdivisión en dos aspectos clave: emisión e inmunidad. En base a los conceptos antes mencionados se distinguen las frecuencias que caracterizan a cada uno de los ensayos y mediciones CEM que en la actualidad son requeridos para evaluar el comportamiento (en relación con las perturbaciones) de equipos eléctricos y electrónicos en ambientes residenciales-comerciales, industriales y hospitalarios.

INTRODUCCIÓN

Las señales electromagnéticas son el resultado de corrientes y tensiones eléctricas. Donde se utilice la electricidad para manejar algún equipo, una señal electromagnética también aparece. Estas señales pueden utilizarse tanto para transmitir información desde un punto a otro, o simplemente pueden ser señales auxiliares para el funcionamiento de un equipo. Donde las señales son no previstas para una dada función, se habla por lo general de ruido electromagnético. Este ruido es el que puede originar el mal funcionamiento de un equipo, y es por ello que los fabricantes deben esforzarse para mitigar los efectos del ruido.

Hasta cierto punto, las señales electromagnéticas son un fenómeno natural. Uno de los fenómenos más conocidos es el rayo, el cual no es más que un flujo de corriente desde una nube a la tierra. Esta corriente origina un campo electromagnético muy intenso. Ahora bien, en los equipos conectados a una red eléctrica, es posible identificar dos fuentes principales de ruido electromagnético: la propia red de energía eléctrica y los sistemas de accionamiento de motores. En el otro frente, es cada vez más amplia la forma de generar señales con la finalidad de transmitirlas a distancia, como es el caso de la TV. Con el incremento de estas comunicaciones y los servicios inalámbricos, el conocimiento de estas señales se ha convertido en una pieza clave para interpretar problemas asociados con el ruido.

TÉRMINOS PRINCIPALES

A continuación se detallan los términos más importantes a considerar en el campo CEM:

Términos básicos

- Ambiente electromagnético: la suma de fenómenos electromagnéticos existentes en una dada localización.
- Perturbación electromagnética: cualquier fenómeno electromagnético que puede degradar el desempeño de un dispositivo, equipo o sistema, o afectar negativamente la vida o la materia inerte. Puede ser ruido electromagnético, una señal no deseada o un cambio en el propio medio de propagación.

- Degradación del desempeño: un cambio indeseado del desempeño normal de un dispositivo, equipo o sistema.
- Interferencia electromagnética (EMI): degradación del desempeño de un dispositivo, equipo o sistema debido a una perturbación electromagnética.
- Compatibilidad Electromagnética: habilidad de un dispositivo, equipo o sistema de funcionar satisfactoriamente en su ambiente electromagnético sin introducir perturbaciones intolerables en el mencionado ambiente a cualquier otro.
- Emisión (electromagnética): fenómeno por el cual emana energía desde una fuente.
- Inmunidad (a una perturbación): habilidad de un dispositivo, equipo o sistema para desempeñarse normalmente sin degradación de su desempeño ante la presencia de una perturbación electromagnética.
- Susceptibilidad (electromagnética): pérdida de inmunidad a una perturbación electromagnética.

Términos combinados

- Nivel de emisión: nivel de una dada perturbación electromagnética emitida desde un particular dispositivo, equipo o sistema medido de una determinada forma.
- Límite de emisión: máximo permisible nivel de emisión.
- Nivel de inmunidad: máximo nivel de una dada perturbación electromagnética, incidente de una determinada manera sobre un dispositivo, equipo o sistema, en el cual no ocurre una degradación de sus condiciones de operación.
- Límite de inmunidad: mínimo nivel de inmunidad requerido.

Forma elemental de un problema de interferencia electromagnética

En línea con su definición, en su forma elemental, un problema de interferencia electromagnética (EMI), está formado por tres actores:

1) un emisor, es decir, una fuente que emite una perturbación electromagnética.
2) un receptor, es decir, un dispositivo, equipo o sistema susceptible que muestra una degradación de su desempeño.
3) un medio entre ellos, denominado comúnmente, camino de acoplamiento.

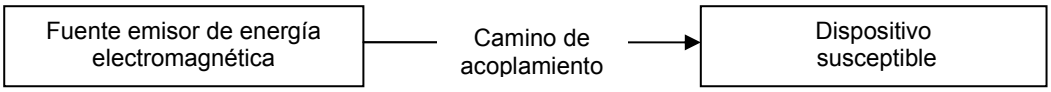


Fig. 1. Forma básica del problema EMI.

Aparecen así los dos aspectos clave de los problemas EMI: emisión y susceptibilidad (o inmunidad, términos que se intercambian).

Aspectos clave en CEM

En una hipotética situación electromagnéticamente compatible, todos los dispositivos se encuentran en armonía en el ambiente que comparten. La adición de un dispositivo a este ambiente sin causar EMI significa que el dispositivo tiene la habilidad de ser electromagnéticamente compatible; de allí se origina entonces la definición de CEM. La deseada armonía se da con dos características fundamentales:

1) “funcionar satisfactoriamente”: el dispositivo, equipo o sistema puede tolerar al resto, es decir, no es susceptible (o es inmune) a perturbaciones presentes en el ambiente.
2) “sin introducir perturbaciones intolerables”: el dispositivo, equipo o sistema no ofende a otros, es decir, su nivel de emisión no origina interferencia electromagnética.

Es por ello entonces que los dos aspectos clave de los problemas EMI: emisión y susceptibilidad, son los dos aspectos de CEM, tal como se muestra en la figura 2.

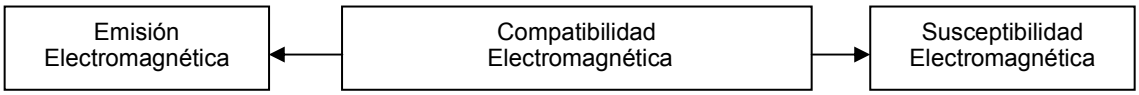


Fig. 2. Subdivisión de CEM en los dos aspectos clave.

PRINCIPALES FENÓMENOS QUE DAN ORIGEN A LAS PERTURBACIONES ELECTROMAGNÉTICAS

Por lo general, la transferencia de energía electromagnética (con respecto a la prevención de interferencias), se divide en cuatro subgrupos: emisiones radiadas, inmunidad radiada, emisiones conducidas e inmunidad conducida.

Las emisiones electromagnéticas pueden aparecer a partir de perturbaciones provenientes del cable de alimentación, desde un recinto metálico que contiene un subsistema, desde un cable de un subsistema o desde un componente electrónico dentro de un gabinete no metálico como se ilustra en la figura 3a). Aunque la intención principal de este cable es transferir la energía eléctrica para el sistema, es importante tener en cuenta de que otras señales de mucho mayor frecuencia pueden estar presentes en dicho cable. Una vez que estas corrientes de alta frecuencia aparecen en este cable (de un metro de longitud o más), se irradian bastante eficazmente. Pero además, el cable funciona como una "antena" eficiente de recepción y recoge emisiones radiadas de otros sistemas electrónicos en su cercanía, como se muestra en la figura 3b).

Sin embargo, las emisiones y la susceptibilidad a la energía electromagnética no sólo se originan por ondas electromagnéticas a través del aire, sino también por la conducción directa en conductores metálicos como se muestra en la figura 3c) y 3d).

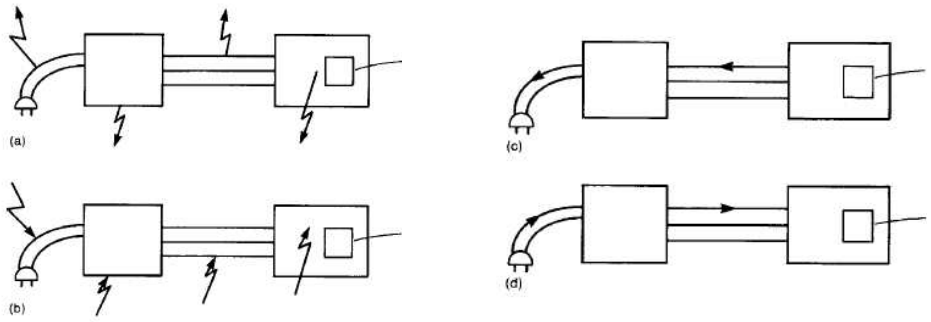


Fig. 3. a) emisión radiada, b) inmunidad radiada, c) emisión conducida y d) inmunidad conducida.

En relación a los modos radiados y conducidos, tres categorías de fenómenos ambientales se han establecido para describir las perturbaciones:

- fenómenos de baja frecuencia (origen en cualquier fuente, excepto DES).
- fenómenos de alta frecuencia (origen en cualquier fuente, excepto DES).
- descargas electrostáticas (DES), tanto conducidas como radiadas.

Formalmente, cuando se habla del ambiente electromagnético, la longitud de onda (λ) de la perturbación es la magnitud que define “largo o grande” y “corto o pequeño“. Un sistema es pequeño o un cable es corto, si λ es mucho más grande que sus dimensiones. En tal situación, la frecuencia al ser inversamente proporcional a λ, es baja. “Largo, grande o alto” aplica cuando las dimensiones respecto a λ, se dicen, son más grande que 1. Sin embargo, en el contexto de la normativa vigente internacional, el punto de referencia es 9 kHz. Es decir, si la parte dominante del espectro de frecuencias de la perturbación se sitúa debajo de este valor, la frecuencia es baja, caso contrario, es alta.

Las perturbaciones radiadas aparecen en el medio que rodea al equipo, mientras que las conducidas lo hacen en varios medios de tipo metálico. El concepto de puertos, a través de los cuales las perturbaciones tienen un impacto sobre el equipo, permiten una distinción

entre varios medios: 1) carcaza o gabinete, 2) cable principal de corriente alterna CA, 3) cable principal de alimentación en corriente continua CC, 4) líneas de control o señal, 5) interface entre el sistema y la tierra o la referencia que utiliza.
A continuación se resumen los principales fenómenos que originan perturbaciones:

Fenómenos Conducidos en Baja Frecuencia	**Fenómenos Conducidos en Alta Frecuencia**
- Armónicos e interarmónicos: producto de cargas eléctricas no lineales débiles (productos electrónicos con rectificadores, computadoras, TV) y fuertes (variadores de velocidad de motores, soldadoras). - Fluctuaciones, huecos e interrupciones y desbalance de tensión de red eléctrica: debido a conmutación de cargas y bancos de capacitores, cortocircuitos. - Variaciones en la frecuencia de tensión de red eléctrica por desbalances en la red. - Tensiones inducidas de baja frecuencia por la proximidad de cables señal/control con cables de potencia.	- Corrientes y tensiones inducidas por ondas continuas (CW) permanentes en el tiempo (señales de TV, radio y armónicos) sobre conductores expuestos de CA, CC, señal/control. - Transitorios unidireccionales (baja y alta energía) originados por conmutación de fuertes cargas, descargas atmosféricas, arcos eléctricos de recierre de interruptores. - Transitorios oscilatorios debido a la conmutación de bancos de capacitores.
Fenómenos Radiados en Baja Frecuencia	**Fenómenos Radiados en Alta Frecuencia**
- Campos magnéticos (cercanía de cables y transformadores de potencia) y eléctricos (subestaciones de media y alta tensión).	- Campos magnéticos (cocinas de inducción) y eléctricos (electroerosión, soldadura por arco) - Campos electromagnéticos (ondas continuas u originados por transitorios)

Tabla 1. Principales fenómenos que originan perturbaciones.

A los mencionados fenómenos es necesario agregar las descargas electrostáticas (DES), las cuales surgen cuando una persona u objeto se aproxima a otra persona u objeto. El receptor de la descarga es sometido primero a un campo eléctrico asociado a la carga y luego, una vez que el aislante se rompe, aparece una corriente transitoria que origina a su vez un campo electromagnético transitorio. El fenómeno DES es fuertemente dependiente de la humedad ambiente, la temperatura y la naturaleza dieléctrica de los aislantes del medio.

CARACTERIZACIÓN DE FRECUENCIAS PARA ENSAYOS Y MEDICIONES CEM

La normativa internacional CEM (IEC: Internacional Eletrotechnical Commission y CISPR: Comité International Spécial des Perturbations Radioélectrique), cubre el rango de 0 Hz a 400 GHz. Sin embargo, no todas las frecuencias en el mencionado rango se encuentran reguladas para lograr la conformidad de los equipos a las normas de aplicación. El primer rango de interés es alrededor de la frecuencia de la red de potencia, 50 o 60 Hz. La mayoría de las cargas conectadas a la red son no lineales, es decir, el dibujo de corriente no sigue una forma sinusoidal como la de la tensión de la red. Aparecen entonces los armónicos de la frecuencia de la red, los que por lo general son considerados hasta el orden 40 o 50. En otras palabras, el primer intervalo de frecuencias recae entre 50 Hz (60 Hz) a 2 o 2,5 kHz (2,4 o 3 kHz).
Desde el final del rango de las armónicas hasta 9 kHz, se encuentra un espectro que no se encuentra regulado para los equipos alcanzados por este documento. Este intervalo de frecuencia no regulado no significa que se encuentre libre de interferencia, aunque no conducirá a una no conformidad con la normativa, seguramente conducirá a problemas funcionales.
Más allá de 9 kHz, inicia el denominado rango de radio frecuencia (RF), que es el término colectivo para todas las frecuencias desde algunos kiloHertz (kHz) hasta varios gigaHertz (GHz) que se separa así del espectro inferior de bajas frecuencias (LF). El límite superior es de 400 GHz, aunque los métodos de ensayos para tan altas frecuencias aún no han sido definidos.

Rangos de frecuencia para emisión

Para las mediciones de emisión provenientes de equipos, el rango de RF se separa en conducido y radiado. Para baja frecuencia dentro del intervalo RF, se espera que las perturbaciones transiten a lo largo de las líneas de conexión, en vez de hacerlo en forma radiada. Dado que una frecuencia límite no se puede definir de manera exacta, por lo general las normas establecen que el rango de emisiones conducidas se encuentra entre 150 kHz y 30 MHz, aunque en algunos casos puede evaluarse desde 9 kHz. Por otro lado, el rango de emisión radiada comienza en 30 MHz y el límite superior es variable dependiendo de la familia de producto, pero comúnmente se sitúa entre 1 GHz a 3 GHz.

A continuación se presenta una tabla que muestra los intervalos de frecuencias principales para equipos a utilizar en ambientes residenciales-comerciales, industriales y hospitalarios.

	Armónicos /fluctua-ciones	**Baja frecuencia (LF)**	**Conducido en RF**	**Conducido en RF**	**Radiado en RF**	**Radiado en RF**	**Radiado en RF**
Intervalo de frecuencias	50 Hz - 2 / 2,5 kHz 60 Hz - 2,4 / 3 kHz	2 / 2,5 kHz - 9 kHz 2,4 / 3 kHz - 9 kHz	9 kHz – 150 kHz	150 kHz – 30 MHz	30 MHz – 300 MHz	30 MHz – 1/2/3 GHz	Sobre 3 GHz
Regulado para establecer conformidad	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
Familia de Producto alcanzada	EMS	---	---	EMS	---	EMS	---
	EDO	---	---	EDO	EDO	EDO	---
	IND	---	---	IND	---	IND	---
	ITE	---	---	ITE	---	ITE	ITE
	ILU	---	ILU	ILU	ILU	ILU	---
	LAB	---	---	LAB	---	LAB	---
	TVR	---	---	TVR	TVR	TVR	---

Abreviaturas y normas de producto de referencia:
EMS: Equipos electromédicos destinados a ambientes residenciales (clínicas) y hospitalarios (CISPR 11).
EDO: Electrodomésticos (CISPR 14-1).
IND: Equipos destinados a instalar en ambientes industriales, es decir, separados de la red pública de distribución eléctrica (CISPR 11).
ITE: Equipos de Tecnología de Información: computadores, faxes, impresoras (CISPR 22).
ILU: Equipos electrónicos destinados a iluminación: balastos, lámparas de bajo consumo (CISPR 15).
LAB: Equipamiento de laboratorio: analizadores, instrumentos de medición (CISPR 11).
TVR: Receptores de TV y radio (CISPR 13).

Nota 1: pueden existir variantes según el tipo de equipo particular a ensayar dentro de las familias de productos mencionadas y según las nuevas versiones de las normas que los alcanzan.
Nota 2: para ciertas familias de productos, dentro del intervalo de emisiones conducidas en RF pueden también requerirse mediciones de emisiones radiadas, ej. de nivel de campo magnético.
Nota 3: para algunas familias de productos, el rango de medición entre 30 y 300 MHz se lo denomina “Potencia de Perturbación”.

Tabla 2. Frecuencias asociadas a mediciones de emisión.

Rangos de frecuencia para inmunidad

El segundo aspecto clave de EMC, la inmunidad de los dispositivos, equipos o sistemas a las perturbaciones, también involucra una serie de ensayos a los que se someten para evaluar la conformidad con las normas de producto que los alcanzan. Los ensayos son comúnmente regidos por las llamadas normas de base, que identifican cada fenómeno electromagnético particular. La tabla 3 resume los principales ensayos normados aplicables a equipos que se emplean en ambientes residenciales-comerciales, industriales y hospitalarios: frecuencias asociadas a las perturbaciones aplicadas y tipo de fenómeno (conducido o radiado).

CONCLUSIONES

Mediante este trabajo se presentaron los términos de rigor utilizados en el campo de la compatibilidad electromagnética. Se describió además el problema básico de interferencia electromagnética y los dos aspectos claves de CEM: emisión e inmunidad (susceptibilidad). Finalmente, mediante la detección de los principales fenómenos que originan perturbaciones

electromagnéticas, se individualizaron los intervalos de frecuencia para emisión e inmunidad. Tales intervalos caracterizan a los ensayos y mediciones que la normativa internacional vigente aplica a equipos, dispositivos y sistemas eléctricos/electrónicos destinados a utilización en ambientes residenciales-comerciales, industriales y hospitalarios.

Norma de base de inmunidad	Descripción	Conducido	Radiado	Intervalo de frecuencias	Familia de Producto alcanzada	Observaciones
IEC 61000-4-2	Descargas electrostáticas	SI	SI	Componentes espectrales del impulso DES > 1 GHz	Todas (Nota 1)	Aplicable a equipos instalados donde pueden ocurrir DES
IEC 61000-4-3	Campo EM radiados de RF	NO	SI	80 MHz – 6 GHz	Todas (Nota 1)	Aplicable a equipos en presencia de campos EM
IEC 61000-4-4	Transitorios unidirecciona-les rápidos en ráfagas	SI	NO	Componentes espectrales del impulso > 100 MHz	Todas (Nota 1)	Aplicable a equipos conectados a la red eléctrica o con cables cercanos a la red
IEC 61000-4-5	Sobretensio-nes	SI	NO	Componentes espectrales del impulso > 1 MHz	Todas excepto TVR (Nota 1)	Aplicable a equipos conectados a la red eléctrica
IEC 61000-4-6	Perturbacio-nes inducidas por campos de RF	SI	NO	150 kHz – 80 MHz	Todas excepto TVR (Nota 1 y 2)	Aplicable a equipos en presencia de campos EM conectados a la red eléctrica
IEC 61000-4-8	Campos Magnéticos a frecuencia de red	NO	SI	50 o 60 Hz	Todas excepto EDO y TVR (Nota 1)	Aplicable a equipos susceptibles a campos magnéticos
IEC 61000-4-11	Interrupciones breves, huecos y variaciones de tensión en la red eléctrica	SI	NO	---	Todas excepto TVR (Nota 1)	Aplicable a equipos conectados a la red eléctrica (I menor a 16A)
IEC 61000-4-13	Armónicos, interarmónicos y señalización en red eléctrica	SI	NO	50 Hz - 2 kHz 60 Hz - 2,4 kHz	Solo EDO en situación anormal de funcionamiento	Aplicable a equipos conectados a la red eléctrica

Abreviaturas y normas de producto de referencia:
EMS: Equipos electromédicos destinados a ambientes residenciales (clínicas) y hospitalarios (IEC 60601-1-2).
EDO: Electrodomésticos (CISPR 14-2 e IEC 60335-1)
IND: Equipos para ambientes industriales, separados de la red pública de distribución eléctrica (IEC 61000-6-2).
ITE: Equipos de Tecnología de Información: computadores, faxes, impresoras (CISPR 24).
ILU: Equipos electrónicos destinados a iluminación: balastos, lámparas de bajo consumo (IEC 61547).
LAB: Equipamiento de laboratorio: analizadores, instrumentos de medición (IEC 61326-1).
TVR: Receptores de TV y radio (CISPR 20).

Nota 1:"Todas" hace referencia a EMS, EDO, IND, ITE, ILU, LAB, TVR. Pueden existir variantes según el tipo de equipo particular a ensayar dentro de las familias de productos mencionadas y según las nuevas versiones de las normas que los alcanzan.
Nota 2: Para EMS la frecuencia inicial puede ser distinta a 150 kHz. Para EDO la frecuencia final es de 230 MHz.

Tabla 3. Frecuencias de referencia para ensayos de inmunidad.

BIBLIOGRAFÍA

[1] IEC 1000-1-1: Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 1: General - Section 1: Application and interpretation of fundamental definitions and terms. 1992.
[2] IEC 1000-2-5: Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5: Installation and mitigation guidelines – Section 1: General considerations. 1995.
[3] IEC 61000-4-1: Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-1: Testing and measurement techniques - Overview of IEC 61000-4 series. 2000.
[4] "Introduction to electromagnetic compatibility" Clayton Paul. 2da edición Wiley Interscience. 2006.
[5] Electromagnetic Compatibility and the IEC. http://www.iec.ch/emc/
[6] CISPR Dashboard.
http://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:7:0::::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1298,25

EVALUACIÓN ELECTROENERGETICA EN REDES RURALES CON LA ALTERNATIVA DEL MOTOR DE POLOS IMPRESOS

Edgardo G. Vinsón[(1)], Norberto A. Lemozy[(1)], Pablo A. Massa[(2)]

[(1)] Universidad De Buenos Aires, Facultad de Ingeniería.
[(2)] LEDE-SIECIT Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata. 48 y 116 (1900) La Plata.
massa@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: Polos Impresos, Calidad de Energía, Huecos de Tensión, Aceleración, Eficiencia Energética, Factor de Potencia.

Resumen

En el presente trabajo se hace una descripción y un análisis del funcionamiento del recientemente desarrollado “motor de polos impresos”, se analizan sus principales características y se las compara con las de otros motores de inducción monofásicos y trifásicos. En base a esto se hacen análisis comparativos de aplicación de estos motores frente a las opciones convencionales en tres aspectos: su utilización en instalaciones alimentadas por sistemas de distribución rural, su utilización para arrancar cargas de alto par resistente a rotor detenido y/o alta inercia, y su eficiencia energética.

INTRODUCCIÓN

En áreas rurales puede ser necesario disponer de fuerza motriz relevante para alimentar los motores de los sistemas de riego, para el manejo y secado de granos o para algunos procesos productivos. Una característica común a estas áreas es la alta dispersión de los puntos de consumo. Esto da lugar a extensas líneas de media tensión, en general de baja potencia de cortocircuito, para abastecer pocos puntos de consumo.

Como los conductores empleados en esas líneas transportan relativamente poca corriente, el diseño de los mismos responde principalmente a razones mecánicas más que a eléctricas; por lo tanto el costo de una línea normal depende casi exclusivamente de su longitud y cantidad de conductores activos.

Por tal razón siempre que sea posible se utilizan líneas bifásicas, monofásicas bifilares, e incluso monofilares con retorno por tierra, siempre que se cumpla con la carga y las resistencias máximas de puesta a tierra que exigen las Reglamentaciones.

Por lo expuesto, cuando las longitudes de las líneas son importantes, los accionamientos monofásicos reducen los costos totales de la instalación.

Esto hace necesario disponer de accionamientos eléctricos de potencias relevantes que puedan funcionar apropiadamente con alimentación monofásica. Existen al respecto las soluciones tradicionales de motores asincrónicos monofásicos y trifásicos.

No obstante a fines de la década del 90 se desarrolló un tipo de motor, denominado Motor de Polos Impresos (siglas en inglés WPM) que en régimen normal opera como sincrónico de imanes permanentes, pero que arranca como motor asincrónico con jaula de alta resistencia, la que proporciona, en el arranque, una cupla elevada y baja corriente [1] [2].

En el presente trabajo se describen primero brevemente las variantes de accionamientos tradicionales, y luego se describe el motor de polos impresos, y sus características principales constructivas y funcionales. Finalmente se efectúa una comparación económica y de huecos de tensión producidos durante el arranque con motores tradicionales y el WPM.

CARACTERÍSTICAS DE LOS ACCIONAMIENTOS MONOFASICOS TRADICIONALES

Motores monofásicos

Los motores monofásicos de potencia fraccionaria (menores de 1 kW) son ampliamente utilizados en multitud de aplicaciones, particularmente en electrodomésticos, pero las aplicaciones de los de potencia entera (mayores de 1 kW) son mucho más específicas, siendo una de ellas, los usos rurales.

Comparando las características de los motores monofásicos convencionales de potencia entera con los trifásicos de la misma potencia y velocidad, estos últimos son mucho más convenientes. Los motores trifásicos tienen: mejor rendimiento y factor de potencia, son más pequeños, menos costosos y más silenciosos.

Respecto a la corriente de arranque a plena tensión los motores trifásicos convencionales absorben de 6 a 7 veces su corriente nominal, mientras que los monofásicos pueden llegar a 10 veces la corriente nominal.

Esto último es la principal limitación que tiene el empleo de los motores monofásicos convencionales en las largas, y generalmente débiles redes de distribución rural. Un arranque puede producir importantes huecos de tensión en la red y afectar a otros dispositivos conectados a la misma como ser, computadoras, lámparas de descarga, contactores y si hay otros motores conectados a esa red, en el momento de la restitución de la tensión, toman un pico de corriente, lo que complica aún más el problema.

Por esos motivos, en algunos países las distribuidoras limitan la máxima potencia de los motores monofásicos que se pueden conectar a sus redes a menos de 10 kW [1], [2].

Motores trifásicos conectados a líneas monofásicas

En algunos casos se puede alimentar motores trifásicos desde redes monofásicas, pero, en general, con alguna disminución de su prestación. Una forma muy simple es colocar un capacitor de arranque C_{arr} en una de las fases del motor, como se muestra en la figura 1, pero este procedimiento implica una importante disminución de la potencia disponible del motor: la que resulta de alrededor del 67% de la nominal trifásica [1].

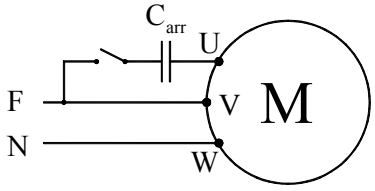


Fig. 1. Alimentación monofásica de pequeños motores trifásicos.

Una forma más elaborada de conexión es con dos capacitores: uno para el arranque C_{arr} y otro para la marcha C_{mar}, como se muestra en la figura 2.

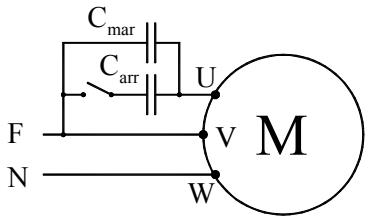


Fig. 2. Alimentación monofásica con dos capacitores.

Estos son métodos de arranque sencillos y ampliamente usados, pero introducen importantes asimetría en las corrientes.

Estas asimetrías se pueden reducir mediante la inserción de un autotransformador elevador alimentado entre fase y neutro, a efectos de modificar la tensión aplicada a los capacitores.

De todas formas, estas soluciones no reducen la corriente de arranque con todos sus inconvenientes, y el conjunto presenta un rendimiento menor [1].

EL MOTOR DE POLOS IMPRESOS

Concepción básica

Ante este panorama, con el auspicio del Electric Power Research Institute (EPRI) y el financiamiento de North American Power Utilities de los Estados Unidos, la empresa Precise Power Corporation, del estado de Florida, desarrolla en la década de 1990, el denominado Motor de Polos Impresos (Written Pole Motor, WPM).

Como este tipo de motor de polos impresos está ampliamente descripto en la literatura, a continuación se lo describe y analiza muy brevemente.

El arranque del motor se efectúa como en un motor asincrónico monofásico con capacitor de arranque, para lo cual el rotor dispone de una jaula de ardillas. Ese rotor dispone de una capa de material magnético duro sobre la que, alcanzada una velocidad próxima a la de sincronismo, se imprimen polos magnéticos mediante un bobinado “grabador” ubicado en el mismo estator. Luego el rotor continúa acelerando, tanto por la cupla asincrónica como por la cupla de excitación entre los polos grabados y el flujo de la máquina, hasta que alcanza la sincronización, operando en adelante como motor sincrónico de imanes permanentes. En la figura 3, extraída de la bibliografía citada, se puede observar un corte esquemático del motor.

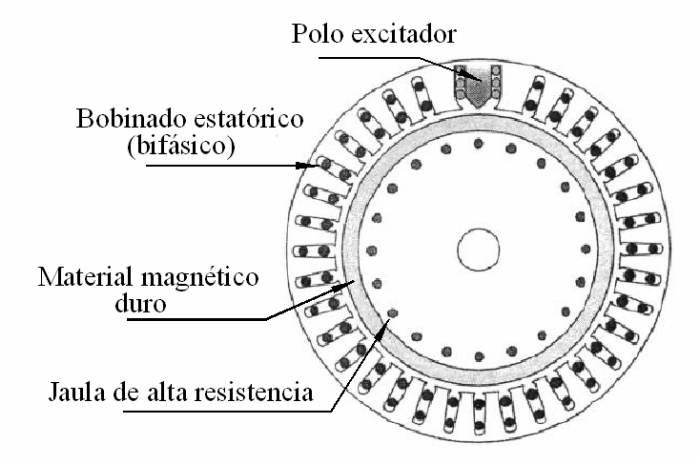


Fig. 3. Esquema de motor de polos impresos con rotor interior.

El bobinado principal del estator es distribuido, bifásico, diseñado para operar con alimentación monofásica directa en una fase y conexión de la otra a través de un capacitor permanente.

El polo excitador (símil a un cabezal “grabador”) es un bobinado concentrado, dispuesto en dos ranuras y con una expansión de forma especial para facilitar la magnetización.

Característica externa

Por la elevada resistencia de rotor durante la operación como asincrónico, y luego al grabar los polos, si bien la cupla media no es muy grande, es relativamente constante, pues depende de la magnetización del núcleo. Por lo tanto aún las cargas de gran momento de inercia son llevadas a sincronismo en un tiempo que puede ser del orden de los minutos, lo que significa un arranque suave, muy indicado para evitar golpes de ariete en sistemas hidráulicos. En la figura 6 se esquematiza una característica externa aproximada.

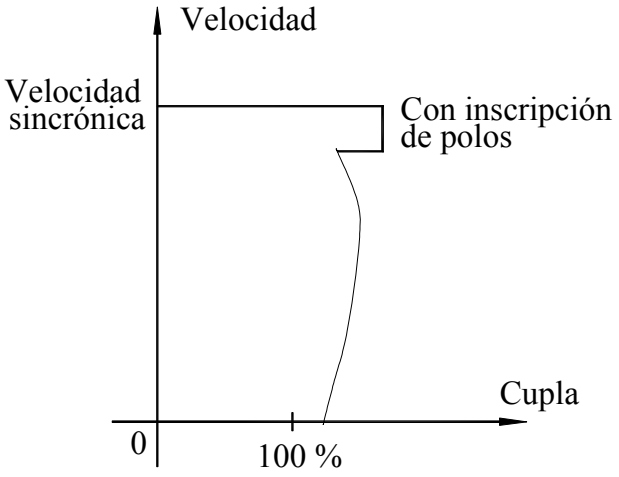


Fig. 6 Característica externa aproximada.

Por otra parte, en el informe antedicho [2], se incluyeron curvas de rendimiento en función de la carga de un motor de polos impresos y de un motor trifásico convencional que se consignan en la figura 7, donde se puede observar claramente el mejor rendimiento a plena carga del primero. Cabe aclarar que en este caso el motor era de rotor externo, para rotor interno el rendimiento resulta aproximadamente un 3% superior.

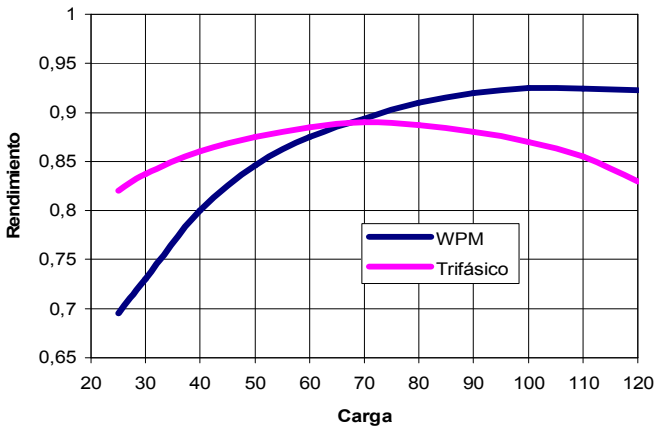


Fig. 7. Curvas de rendimiento del motor de polos impresos [wpw] y del motor asincrónico [Trifásico].

CONVENIENCIA DE APLICACIÓN DE LOS MOTORES DE POLOS IMPRESOS EN ZONAS RURALES

Comparación económica de alternativas para aplicaciones rurales

Conforme se analiza en [2], gran cantidad de aplicaciones en el ámbito rural requieren motores de potencia igual o superior a los 11 kW, tales como bombas para riego, secado o procesamiento de granos, etc.

En la Argentina las líneas rurales más empleadas son las de 13,2/7,6 kV y sus costos aproximados son los indicados en la tabla I, junto al costo de un centro de transformación MT/BT típico de 25 kVA. Los costos de la instalación de transformación MT/BT indicada en esa tabla corresponden a una unidad típica de 25 kVA.

Tabla I. Costo de líneas rurales de conductores de aleación de aluminio de 25 mm^2 y de centros de transformación de 25 kVA

Centros de Transformación					
Potencia	kVA	25	25	25	25
Fases		1	1	1	3
Pcc	W	600	600	600	650
Pfe	W	85	85	85	140
Costo instalación	$	12500	12500	12500	20100
Tensión nominal BT	V	231	231	231	400
Corriente nominal BT	A	108,2	108,2	108,2	36,1
Corriente de carga	A	67,6	96,6	86,8	27,0
Líneas aéreas MT con conductores AlAl 25 mm2					
Tensión AT		7620	7620	7620	13200
fases		1	1	1	3
Resistencia/km		1,5	1,5	1,5	1,4
Costo instalación $/km		29700	29700	29700	39000

No obstante para evaluar la alternativa más conveniente es necesario efectuar un análisis de costos que incluya los de instalación y los de pérdidas de energía.

A partir de los datos disponibles en diversas referencias [3], [4] a [1], se construyó la siguiente tabla.

Tabla II. Costos y Características de las variantes de motores.

Concepto	Unidad	Tipo Motor			
Motor		Polos escritos monofásico rotor interno	Asincrónico monofásico de capacitor permanente (*)	Asincrónico trifásico con convertidor de fase	Asincrónico trifásico
Potencia nominal	kW	15	15	15	15
Fases alimentación motor	-	1	1	3	3
Tensión nominal	V	220	220	380	380
Corriente nominal	A	71	101	30	28
Rendimiento total (motor y convertidor si corresponde)	%	96%	84%	83%	89%
Corriente de arranque típica	p.u.	1,9	7,7	7,0	6,0
Costo adquisición motor	$	29250	8188	6840	6840
Costo adquisición convertidor	$	0	0	8685	0

(*) Datos extrapolados de motor de 7,5 kW

Con estos datos, y con los datos característicos de las líneas y transformadores, se elaboró una comparación económica de las distintas variantes de red y accionamientos, con alimentación monofásica, frente a la opción trifásica para una misma potencia de motor de 15 kV.

Para los cálculos se consideraron líneas monofásicas con retorno por neutro, y transformador de potencia adaptado al motor (25 kVA). Se adoptó un tiempo de conexión

anual de 5.000 horas, una tasa de descuento del 11,5 % y un período de análisis de 20 años.

Los resultados se adjuntan en la tabla III.

Concepto de costo	U	Polos escritos monofásico rotor interno	Asincrónico monofásico de capacitor permanente (*)	Asincrónico trifásico con convertidor de fase	Asincrónico trifásico
Costo adquisición motor y conversor	$	29250	8188	15525	6840
Costo capitalizado pérdidas motor	$	4404	20134	21459	13065
Costo instalación transformador MT/BT	$	12500	12500	12500	20100
Costo capitalizado pérdidas transf.	$	2701	4420	3769	4299
Subtotal	$	48855	45242	53253	44303

Línea de MT rural

Tipo de línea		Monofásica c/neutro	Monofásica c/neutro	Monofásica c/neutro	Trifásica s/neutro
Costo instalación/km	$	29700	29700	29700	39000
Costo capitalizado pérdidas/km	$	356	726	585	159

(suponiendo 4 puestos con fuerza motriz distribuidos)

Costo total en función de la extensión de red MT

Longitud de red MT (km)	0	48855	45242	53253	44303
	1	78911	75668	83538	83462
	3	139022	136519	144109	161780
	5	199133	197370	204680	240098
	10	349411	349498	356108	435892
	15	499689	501627	507535	631686
	20	649967	653755	658963	827481

Si bien descontando el costo de línea aérea resulta más conveniente la utilización del motor trifásico, para extensiones de línea desde 1 km son más convenientes las variantes monofásicas.

De éstas, y hasta 10 km, es levemente más conveniente el motor monofásico asincrónico, seguido por el motor de polos impresos, el que resulta más económico a partir de 15 km. Pero el motor monofásico asincrónico presenta la desventaja de la gran corriente de arranque que requiere y los huecos de tensión resultantes, sumado a que en esta potencia no son fácilmente disponibles.

No obstante es de notar que la conveniencia del WPM se observa en tanto su tiempo de utilización sea lo suficientemente grande como para que pese el ahorro de pérdidas. Su elevado costo inicial lo hace antieconómico en aplicaciones con bajos tiempos de uso.

Reducción de huecos de tensión frente a motores convencionales

A partir de los datos de las distintas variantes de motor de 15 kW analizadas en el punto anterior, se efectuaron cálculos de la caída de tensión durante el arranque, en bornes del propio transformador MT/BT, y en la línea aérea de MT (LAMT), en función de la longitud de ésta. Se consideraron líneas monofásicas con retorno por neutro y con retorno tierra.

La potencia del transformador se mantuvo en el mismo valor empleado en las evaluaciones económicas.

Para los parámetros de línea se aplicaron los datos de [5], y las resistencias de puesta a tierra para líneas con retorno por tierra, son los allí indicados, que corresponden con las exigencias reglamentarias actuales en la Argentina.

De tales cálculos se infiere que el motor de polos impresos alimentado desde un transformador de potencia adaptado, presenta una caída de tensión en bornes de BT que no alcanza el 10%, valor límite aceptado para no provocar problemas de funcionamiento en otras aplicaciones que puedan estar conectadas al mismo punto. Por otra parte, la caída de tensión provocada en la línea es reducida, y se podría incluso efectuar arranques frecuentes sin que se provoque un flicker inadmisible.

Por otra parte los cálculos demuestran que no hay una diferencia importante en los huecos de tensión para líneas rurales con retorno por neutro y con retorno por tierra, siempre que las resistencias de puesta a tierra de retorno no superen los valores actualmente establecidos en las Reglamentaciones de la Asociación Electrotécnica Argentina (AEA).

CONCLUSIONES

Este documento presenta un motor bastante novedoso, no obstante su esencia proyectiva es la evaluación electro energética, que se ha aplicado a un caso donde dicho motor pose además otras ventajas que lo hacen conveniente para los emprendimientos rurales.

Si se tiene en cuenta que del consumo de energía eléctrica en la industria en los países industrializados (Comunidad Europea por ejemplo) el 60% a 65% corresponde a los motores eléctricos [6], mientras que en nuestro país si bien es algo menor [7], particularmente es de destacar que los motores asincrónicos representan dentro del sector industrial más del 50% del consumo. Se convierte así en el uso final de energía más importante.

Por ello en aplicaciones que requieren de motores eléctricos: industriales, rurales residenciales, todo esfuerzo para desarrollar accionamientos de la mayor eficiencia posible compatible con una apropiada vida útil y adecuado mantenimiento redundará en una mejor calidad de vida.

REFERENCIAS

[1] PDHengineer.com: *"Written-Pole motors"*, Course Nº E-3023.

[2] Roger Lawrence, Jacobs Sirrine: *"Applicationes and Markets for written pole single-phase motors to 100 HP"*, ISBN# 0-7803-2639-3.

[3] Alan Hannah: *"Electrical field measurements on an EPRI two-pole, 20 HP written pole motor"*. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.33, Nº2, March-Apr.1997.

[4] Prado Iratchet, Susana, Pinzón, Andrea; Massa, Pablo Antonio: *"Análisis del Motor Monofásico de Polos IMpresos para Aplicaciones industriales"*, CLAGTEE 2011.

[5] Ing Walter Simon: *"El sistema SWER. Un interesante método para la Electrificación Rural"*, Revista Electrotécnica, Setiembre-Diciembre 1972.

[6] Alberto Berset, Carlos Tanides, Enrique Grünhut: *"Etiquetado en eficiencia energética en motores eléctricos industriales y ahorro de energía".* 5º Jornadas de Desarrollo e Innovación. INTI. Noviembre de 2004.

[7] Heinz Lendenmann, Reza R. Moghaddam, Ari Tammi, Lars-Erik Thand: *"Los motores que vienen".* Revista ABB, 1| 11.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE SISTEMAS DE MEDICIÓN INTELIGENTES EN EL CONTEXTO DE LAS REDES INTELIGENTES

Dias, Ricardo, Scaramutti, José C., Arrojo, Carlos D., Nastta, Hernán A.

Laboratorios de Ensayos y Mediciones Eléctricas (LEME)
Dto. de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería (UNLP)
Calle 49 y 116 - (1900) La Plata, Bs. As.
leme@ing.unlp.edu.ar

Resumen

El uso de medidores inteligentes ha suscitado gran interés a nivel internacional. Muchas experiencias se han venido desarrollando en varios países de la Unión Europea, EUA, etc., atribuyéndoseles innumerables ventajas desde variados puntos de vista.

Sin embargo, gran parte de sus bondades están directamente relacionadas con cambios conceptuales, y no solo con el simple reemplazo de los viejos y conocidos medidores de energía; supone también modificaciones en la red de suministro, que debería virar hacia una red más “inteligente” o “Smart Grid”.

En este contexto, en el presente trabajo se efectúa inicialmente un repaso de las características salientes que definen a un sistema de medición inteligente. Luego se llama la atención sobre aspectos asociados con ciertos desafíos que conlleva su implementación: el usuario como actor decisivo en las estrategias de cambio y su actitud ante temas sensibles como la privacidad en el manejo de datos que revelen sus hábitos de consumo. Más adelante, se resumen algunas de las soluciones tecnológicas actualmente disponibles para su implementación. Finalmente, se desarrollan los resultados obtenidos durante la comparación de las características técnicas de muchos de los “medidores inteligentes” (o más propiamente “sistemas de medición inteligente”) disponibles actualmente en el mercado.

Palabras clave: Redes eléctricas inteligentes. Sistemas de medición de energía inteligentes. Implementación. Estandarización.

Introducción

El interés que ha despertado a nivel internacional la utilización de medidores inteligentes, ha ido en constante crecimiento durante los últimos años. Muestra de ello es la gran cantidad de experiencias que se han venido desarrollando durante la última década en varios países de la Unión Europea, EUA, etc., tanto a nivel experimental como a gran escala [1] [2] [3]. Lo cierto es que a su uso se le han atribuido innumerables ventajas, desde variados puntos de vista.

No debe soslayarse sin embargo, que muchas de sus bondades están directamente relacionadas con cambios conceptuales, y no solo con el reemplazo de los viejos y conocidos medidores de energía convencionales (ya sea de inducción o electrónico-digitales), sino que involucra también modificaciones en la red de suministro (debe virar hacia una red más “inteligente” o “Smart Grid”), de los aparatos electrodomésticos, de los hábitos masivos de consumo de energía (lo que supone un factor subjetivo, y capacitación), de regulaciones adecuadas, etc.

Al día de hoy, siendo que además se está produciendo una permanente evolución de los sistemas de medición inteligente disponibles en el mercado, aumentando vertiginosamente la oferta de nuevos productos, no se vislumbran limitaciones desde el punto de vista tecnológico para su implementación masiva. Un caso emblemático es el de ENEL en Italia, que a través de su proyecto “Telegestore” (con una inversión de más de 2 millones de

Euros), ha instalado en los últimos años alrededor de 30 millones de medidores inteligentes en usuarios residenciales. [4].

Pareciera, sin embargo, que el avance en la implementación de los sistemas de medición inteligente tropezará todavía con algunos obstáculos no menores, entre los cuales se cuentan, por un lado, la multiplicidad de actores involucrados (autoridades gubernamentales o estatales, organismos reguladores, empresas prestadoras del servicio eléctrico, públicas o privadas, usuarios, etc.), y por otro, que no siempre se dará el caso de que los mayores beneficiarios del nuevo sistema de medición sean los que deban afrontar los costos demandados. También desde el punto de vista tecnológico habrá barreras que sortear, especialmente en relación a la utilización de plataformas comunes, estandarización, seguridad de los datos manipulados, etc., como luego se detallará sucintamente.

Teniendo esto en cuenta, y dada la amplitud de la temática involucrada, en el presente trabajo se abordarán algunos aspectos relacionados con los principales desafíos que supone la implementación de un sistema de medición tal, con énfasis en una comparación de las características técnicas de muchos de los "medidores inteligentes" (o más propiamente "sistemas de medición inteligente") disponibles en el mercado actualmente. Justamente este último aspecto se considera prioritario, a la hora de definir las reales posibilidades de implementar una red inteligente, especialmente pensando en una de tipo experimental, de mediana o pequeña escala, que permita profundizar el conocimiento del tema.

De la medición convencional a los sistemas AMI

No hay una única definición para lo que puede entenderse como un "sistema de medición inteligente", sin embargo, siempre supone el uso de un medidor inteligente, instalado a nivel de usuario, con las siguientes características típicas:

- lectura local o remota ("on demand");
- configuración de sus parámetros de funcionamiento (tarifas por franjas horarias, prepago, etc.), en forma local o remota;
- posibilidad de limitación o eventual desconexión remota del usuario;
- registro bidireccional y en tiempo real de la energía eléctrica (relevamiento de perfiles de carga, calidad de servicio, detección de fallas, etc.);
- capacidad de interactuar con otros dispositivos locales, ya sean de consumo (p.ej. electrodomésticos) o generadores (microrredes, generadores distribuidos), en forma directa o indirecta, a partir de adecuados módulos de comunicaciones.
- eventual aptitud para recibir información de otros medidores (agua, gas, vapor, etc.).

Evidentemente, lo anterior lleva implícita una característica saliente que diferencia a un medidor inteligente de uno que no lo es: su capacidad de comunicarse con centros medición y control, y con dispositivos de generación o consumo.

Actualmente, hay coincidencia a nivel global en denominar a un sistema de medición inteligente que reúna, al menos, las características antedichas, como AMI (por sus siglas en inglés, "Advanced Metering Infrastructure"). [3] [5]

Bajo un esquema similar, pero con menores prestaciones, conviven todavía hoy los sistemas que podrían ser vistos como predecesores inmediatos de los AMI, denominados AMR (por sus siglas en inglés "Automated Meter Reading"), cuyo desarrollo obedeció fundamentalmente a volver más eficiente el sistema de facturación: su principal ventaja es la de evitar la lectura manual de cada uno de los medidores de la red.

Un sistema de medición de tipo AMI, es capaz de registrar y analizar el consumo de energía eléctrica (y eventualmente también de agua, gas, vapor) a través de un adecuado sistema de comunicación, y de acuerdo a un dado esquema preestablecido, pudiendo además tomar decisiones y llevar a cabo la conexión o desconexión de ciertos consumos (comunicación bidireccional).

Una particularidad adicional, cada vez más importante, es la posibilidad de que el sistema AMI gestione la carga o el uso de la energía disponible en automóviles eléctricos conectados a la red.

Los sistemas AMI incluyen medidores con módulos de comunicaciones que mantienen su control desde un centro de cómputos central, e interfases que permiten gestionar el uso de aparatos electrodomésticos especialmente diseñados, en función de bandas horarias (con eventuales diferencias tarifarias). El usuario, quien tiene la facultad de variar sus características de carga, dispone de facilidades de visualización de su consumo instantáneo e histórico, a fin de tomar las decisiones con conocimiento de su estado real de uso energético.

Así, es claro que un medidor inteligente, sin una infraestructura periférica que lo asista, no desplegará muchas más prestaciones que un medidor electrónico convencional.

Toda la potencialidad (y diversidad) de estos nuevos sistemas de medición, también está llevando a los sectores involucrados hacia la búsqueda de la uniformidad del equipamiento a nivel universal, lo que sólo se conseguirá con una adecuada normalización o estandarización. Uno de los exponentes claves en este sentido, en pleno desarrollo actualmente en la Comunidad Europea, es el proyecto denominado “Open meter” [6], abocado a la confección de una normativa abierta, de uso público, que contemple los principales aspectos de implementación de los sistemas AMI.

En cuanto a la factibilidad real de puesta en funcionamiento de un sistema de medición inteligente, como ya se ha mencionado, uno de los emprendimientos precursores y de mayor envergadura, es sin duda el proyecto “Telegestore” de ENEL en Italia, que introdujo los medidores inteligentes alrededor del año 2001. Al día de hoy el proyecto es un ejemplo casi único a nivel mundial por su escala, habiéndose instalado alrededor de 30 millones de medidores inteligentes capaces de transmitir y recibir información remota y bidireccional (usuario-distribuidora). [7]

De la mano de ENEL, en el año 2009, también fue lanzado el proyecto “Cervantes”, a través del cual ENDESA en España reemplazará los tradicionales medidores de energía de cerca de 13 millones de usuarios, por nuevos medidores inteligentes.[7]

Existen otros muchos ejemplos en países como Canadá, EUA, Suecia, Alemania, Japón, Corea, Australia, India, etc., que demuestran la viabilidad del sistema.

Usuarios: actores decisivos

Desde el punto de vista de los usuarios finales, no se conseguirán los cambios necesarios para obtener las mejores ventajas de las soluciones AMI, si los emprendimientos de cambio de equipamiento no van acompañadas de la debida capacitación, y si no se consigue cierto grado de interactividad. Para que un usuario medio residencial, alcance a comprender el nivel de ahorro energético que se puede conseguir con el nuevo equipamiento, se ve como imprescindible que el mismo vaya debidamente acompañado de información simple, pero contundente (ya sea “on-line” o a través de adecuados “displays” domiciliarios), que motive a las personas a cambiar sus hábitos de uso de los principales electrodomésticos.

Según algunos estudios y experiencias puntuales, podrían lograrse ahorros de hasta un 10 % en el consumo energético de un usuario residencial típico [8]. Considerando además, que

el consumo de tipo residencial representa en general un importante porcentaje del gasto energético total, la implementación de un sistema inteligente de medición representaría un significativo logro global.

Por otra parte, conocida la variación estacional y horaria del precio de la energía eléctrica, es posible, con la ayuda de un medidor inteligente, disminuir sensiblemente el monto de facturación a afrontar mediante una adecuada elección (manual o automática) de los horarios de utilización de las distintas cargas o consumos. También este escenario económico llevará consigo una consecuencia muy deseada ya mencionada: la disminución neta del consumo energético, con su consecuente beneficio ecológico.

Son muchas las voces que pregonan que los medidores inteligentes conseguirán volver más inteligentes a los usuarios en relación al consumo energético: el conocimiento detallado de su perfil de carga le permitirá tomar decisiones acertadas, en cuanto a los posibles cambios en sus hábitos de consumo.

Como contrapartida, la evolución de los perfiles de carga a medida que se profundice el modelo de red inteligente, debería llevar a una paulatina modificación de los modelos tarifarios, empleados por las correspondientes empresas prestadoras de servicios eléctricos, acordes a su propia área de influencia. Una mayor previsión en la evolución de los perfiles de consumo, supone también una disminución del costo del servicio.

Privacidad en los sistemas AMI

La implementación de sistemas AMI también conlleva otros desafíos no directamente relacionados con el ámbito energético. Entre ellos, uno de los más escabrosos (por lo que se ha decidido presentarlo sucintamente en este documento), es el de la privacidad de los datos de cada uno de los usuarios que estará disponible en la red. Los medidores inteligentes recabarán y transmitirán datos muy valiosos sobre los hábitos de consumo de los usuarios, que sin duda serán de gran utilidad a la hora de gestionar la demanda y el consumo de energía. Pero también es cierto, que además esos datos contendrán información privada, más o menos detallada, de hábitos de comportamiento de los usuarios: horarios de descanso, de uso de diferentes aparatos electrónicos (TV por ejemplo) y electrodomésticos, de comida o información sobre la utilización de vehículos eléctricos con interconexión domiciliaria; lo cual puede suponer una indebida invasión a su privacidad.

Así, la puesta en funcionamiento de un sistema de medición inteligente requerirá la intervención de distintos actores sociales, organismos gubernamentales de aplicación y control, empresas prestadoras del servicio eléctrico, asociaciones de usuarios, etc. Se deberá definir claramente la forma en que será manipulada toda la información disponible, a fin de que no pueda ser mal utilizada por terceras partes (o empleada por ejemplo comercialmente sin el debido consentimiento el usuario), o eventualmente, adulterada por el propio usuario o consumidor.

Sin duda, lo dicho más arriba respecto de la capacitación de los usuarios que supone la implementación de un sistema de medición inteligente, no podrá descuidar este sensible aspecto relacionado con su privacidad.

Soluciones tecnológicas disponibles

Como ya se anticipara, existen múltiples posibilidades para la conformación de un sistema de medición inteligente. Por ello, creemos conveniente, antes de pasar a la comparación de algunos de los modelos disponibles actualmente en el mercado, esbozar las principales definiciones de distintas soluciones tecnológicas ofrecidas.

En cuanto a los “medidores inteligentes” propiamente dichos, se reconocen dos tipos principales:

- los que integran la totalidad de las prestaciones en un único aparato (registro bidireccional local o remoto, y capacidad de interactuar con dispositivos de maniobra, consumo, generadores, etc.), y
- los modulares, esto es, medidores de energía básicos que admiten la incorporación de módulos que realicen las funciones adicionales, propias de un medidor inteligente.

Como una tercera alternativa para la implementación de un sistema de medición inteligente, se ofrecen dispositivos especiales que, adecuadamente conectados a los medidores actualmente en uso, suplen algunas de las nuevas funciones necesarias de las que ellos carecen.

Evidentemente cada una de las tres soluciones anteriores tiene sus propias ventajas y desventajas [8], las que deberán ser oportunamente analizadas en cada caso particular de implementación, pues incluyen aspectos tanto técnicos como económicos.

En cuanto a las soluciones particulares de comunicación bidireccional, la cuestión es mucho más diversa, dándose una vertiginosa evolución tecnológica, que contribuye a la multiplicidad de soluciones ofrecidas, de sistemas cableados o inalámbricos (RS485, Ethernet, fibra óptica, GSM, GPRS, 3G, WiMax, Low Power Radio, M-Bus, WiFi, Power Line Carrier, ADSL, Bluetooth, ZigBee, Z-Wave, etc.) [9].

Comparación de medidores disponibles

El objetivo de la presente sección es la comparación de las principales características técnicas de algunos de los sistemas de medición inteligentes que se ofrecen en el mercado actualmente. Para ello, se ha efectuado un análisis de la información suministrada por los propios fabricantes, rescatando de ella los datos técnicos considerados relevantes a la hora de implementar un sistema de medición inteligente.

Se han considerado para el análisis once modelos de sistemas de medición, correspondientes a otros tantos fabricantes, algunos de ellos ya utilizados, al menos de manera experimental. En cuanto a su procedencia, cinco de ellos provienen de los Estados Unidos de América y seis son de origen Europeo. La comparación se efectuó sobre aparatos que pueden considerarse “inteligentes”, los que poseían las siguientes prestaciones básicas:

- Medición bidireccional, local y remota, y en tiempo real de energía eléctrica (activa y reactiva).
- Medición local y remota de parámetros básicos: potencia (instantánea, máxima y mínima), tensión, corriente y factor de potencia.
- Configuración de tarifas por franjas horarias.
- Capacidad de limitación de la carga o eventual desconexión remota del usuario.

A partir de estas características mínimas, que permitieron incorporarlos a la categoría de medidores inteligentes, se confrontaron las prestaciones que los diferencian. A estas últimas se apunta fundamentalmente en este artículo, ya que son las que ponen de manifiesto la enorme potencialidad de estos aparatos, y especialmente las tendencias tecnológicas que se perfilan como predominantes para conseguirlas.

El objetivo de la comparación efectuada es meramente técnico, y no comercial, por lo que no se individualizan todas las características por marca y modelo, solo se dan las conclusiones a nivel general.

De la comparación de los once modelos citados, se obtuvieron los siguientes resultados:

a) Uno de los rasgos salientes, que permite efectuar una categorización inicial de los medidores, es su tipo constructivo. Así, como ya se adelantara, se pueden dividir en dos categorías: los compactos y los modulares. En cuanto a este aspecto, se nota una clara tendencia, actual y futura, hacia la última de ellas (una unidad básica que permite luego agregar módulos con funciones adicionales). Muestra de esto, es que de la totalidad de los modelos analizados, ocho (≈ 73 %), respondían a este esquema.

b) Otra característica que diferencia a los distintos modelos estudiados es su capacidad para recolectar información sobre la calidad de la energía suministrada (interrupciones del servicio, armónicos, transitorios, “sags”, “swells”, etc.). Medidores con posibilidad de registrar estos parámetros en forma permanente, suministrarían información muy valiosa, especialmente desde el punto de vista de la operación de la red. De los once modelos sólo cuatro (≈ 36 %) contaban con esta particularidad.

c) La gran mayoría de los aparatos contemplados, nueve (≈ 82 %), tenía aptitud para almacenar el perfil de carga del usuario.

d) El ítem en el que se muestra la mayor heterogeneidad de los medidores, es el relacionado con sus facilidades de comunicación, ya sea con centros concentradores de datos del lado de la distribuidora, como con equipamiento propio del usuario (por ejemplo electrodomésticos). Cabe remarcar sin embargo, que todos los aparatos estudiados poseían alguna de ellas. Los sistemas más difundidos, al menos para el intercambio de información entre el medidor y la distribuidora, son los inalámbricos basados en GSM o GPRS: nueve de los once estudiados lo poseían (≈ 82 %). Como se mencionara más arriba, también aparecen otras soluciones con o sin cable (RS232, RS485, Ethernet, WiFi, Power Line Carrier, RF), pero con mucha menor participación. En cuanto a la comunicación hacia el lado del usuario, se pueden establecer dos categorías: por un lado la posibilidad de visualizar los datos relacionados con el consumo energético que aparece en el ciento por ciento de los medidores, y por otro, la interacción con aparatos hogareños, que es mucho más incipiente; sin embargo, se aprecia un predominio de sistemas cableados de tipo Ethernet o redes inalámbricas bajo protocolo ZigBee, o en menor grado WiFi. Ocho de los equipos confrontados (≈72%) poseía dispositivos de comunicaciones bajo alguno de estos últimos sistemas.

e) Por último, y a pesar de que no forma parte del medidor propiamente dicho, se ha hecho un análisis también de las distintas versiones de software de gestión de recursos de medición y operación que ofrecen los fabricantes, compatibles con sus propios medidores. Una primera conclusión, es que la gran mayoría pone a disposición alguna herramienta de este tipo. Nueve de los modelos estudiados (≈ 82 %), pueden adquirirse acompañados de herramientas de gestión, en general especialmente orientadas al uso por parte de las empresas distribuidoras de energía. Sin duda, todo sistema de medición de energía que pretenda ser encuadrado dentro de los llamados “inteligentes”, deberá disponer de recursos de software adecuados. Sin embargo, la heterogeneidad observada en la oferta, conspira seriamente contra la saludable intercambiabilidad de sus varios componentes. Así, este deberá ser un aspecto especialmente considerado a la hora de buscar la estandarización de los sistemas que nos ocupan.

En la Tabla I se especifica la marca de los sistemas de medición estudiados, y se resumen algunas de sus características, en correspondencia con los ítems anteriores.

Conclusiones y trabajo futuro

La implementación de lo que se ha dado en llamar “smart grid” supone un profundo cambio conceptual sobre la generación, transmisión, distribución y consumo de la energía eléctrica: mejor aprovechamiento de los recursos naturales, disminución de las emisiones de CO_2,

mayor automatización a distintos niveles de la red, cambios en los hábitos de consumo gracias a una mayor información de los usuarios. Una oportunidad que merece ser aprovechada y a la cual no deberían retaceársele dedicación ni recursos.

Tabla I - Sistemas de medición comparados

Marca	*Identificación*	*a)*	*b)*	*c)*	*e)*
Echelon	Nes	Compacto	x	x	x
Elster	EnergyAxis	Modular		x	x
Enel	Telegestore	Compacto		x	x
GE	I210/kV2c	Modular	x		x
Iskraemeco	AMM	Modular		x	
Itron	OpenWay	Compacto		x	x
Kamstrup	382	Modular		x	
Landis & Gyr	FOCUS	Modular		x	x
PowerLogic Schneider	ION	Modular	x	x	x
Sensus	iCON	Modular	x	x	x
Siemens	AMIS	Modular			x

Con un panorama actual de evolución permanente de los sistemas AMI disponibles en el mercado, es grande el grado de incertidumbre a la hora de seleccionar el tipo de medidor inteligente a utilizar, lo que en muchos casos hace que se rehúya a la hora de implementar una solución a nivel de empresa distribuidora. Una mala elección hoy puede llevar a dificultades en cuanto a la flexibilidad del sistema a futuro, pensando especialmente en la potencialidad del tema (libre elección del consumo por parte del usuario en función de horarios y precios, servicios prepagos, interconexión de fuentes alternativas y sistemas de almacenamiento de energía, o vehículos eléctricos, a nivel de usuario, etc.).

Uno de los grandes desafíos será lograr consenso regional e internacional para la normalización de toda la cadena de productos y servicios asociados.

El futuro de la medición inteligente dependerá en gran medida de políticas gubernamentales, organismos de control y empresas prestadoras del servicio eléctrico. Sin embargo, todo hace pensar que el potencial ahorro de energía que supone el empleo de sistemas de medición inteligentes bien merece el esfuerzo.

Referencias

[1] Vincenzo Cannatelli, “ENEL Telegestore is on track”, Metering International Issue 1, 2004.

[2] Brunello Botte, Vincenzo Cannatelli, Sergio Rogai, “The Telegestore Project in Enel’s Metering System”, 18th International Conference on Electricity Distribution, Turin, 6-9 June 2005.

[3] Rob van Gerwen, Saskia Jaarsma, Rob Wilhite, “Smart Metering”, KEMA, The Netherlands, July 2006.

[4] Sergio Rogai, “Telegestore Project. Progress and results”, IEEE ISPLC, Pisa, 26th March 2007.

[5] Hahn Tram, “Advanced Metering Infrastructure as an enabler of Demand Response”, Transmission and Distribution Conference and Exposition, IEEE PES, April 2010.

[6] www.openmeter.com

[7] Ente Nazionale per l'Energía Elettrica (ENEL), “Rapporto Ambientale”, 2009.

[8] European Smart Metering Alliance (ESMA), “European Smart Metering Guide. Energy Saving and the Customer”, Edition 2010.

[9] P.K. Lee, L.L. Lai, “A practical approach of smart metering integration in micro-grid”, IEEE Power and Energy Society General Meeting, July 2010.

CONSTRUYENDO PUENTES DE APRENDIZAJE. UN PROYECTO DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA EN INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA

González, Mónica L. (1, 2), Vilche Ernesto A. (1), Knopoff, Patricia A. (1)

(1) Unidad de Investigación y Desarrollo para la Calidad de la Educación en Ingeniería con orientación al uso de TIC (UNITEC), Facultad de Ingeniería, 48 y 116, Universidad Nacional de La Plata, dispos@ing.unlp.edu.ar

(2) Cátedra de Dispositivos Electrónicos A y B, Facultad de Ingeniería, UNLP

Palabras Claves: Voluntariado Universitario, Laboratorio de Electrónica, Aprendizaje Situado, Compuertas lógicas, Aprendizaje por proyectos

Introducción

"La experiencia humana no sólo implica pensamiento, sino también afectividad y únicamente cuando se consideran en conjunto se capacita al individuo para enriquecer el significado de su experiencia", D. Ausubel.

El trabajo que se presenta surge en el marco del proyecto denominado *Laboratorio de Electrónica básica: un espacio para enseñar, aprender, compartir experiencias y despertar vocaciones*, acreditado por la Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación de la Nación en el marco de la Convocatoria 2011 del Programa de Voluntariado Universitario. Este es un proyecto de Extensión Universitaria enmarcado en las temáticas desarrolladas por la Unidad de Investigación y Desarrollo para la Calidad de la Educación en Ingeniería con orientación en el uso de TIC (UNITEC). El mismo se encuentra actualmente en ejecución en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata en el espacio de la cátedra de Dispositivos Electrónicos A y B.
En el área de Educación en Ingeniería las actividades del UNITEC están relacionadas con la propuesta y ejecución de transformaciones en las prácticas pedagógicas que permitan articular y mejorar los procesos de Enseñanza y de Aprendizaje con el uso de TIC en educación, junto con la organización y gestión de los procesos educativos mediados por tecnologías en etapas tempranas en la formación de grado de la carrera de Ingeniería en Electrónica. Dentro de este espacio se trabaja en la formación en competencias, habilidades y desempeños con la intención del mejoramiento de la calidad educativa con áreas de interés en Microelectrónica, Dispositivos Semiconductores y Electrónica Analógica.
El proyecto de voluntariado tiene como objetivo comprometer al alumno universitario en la puesta en práctica de los saberes adquiridos, en su camino por la Universidad pública y gratuita, en beneficio de la comunidad. Con este enfoque, se pretende realizar un trabajo interdisciplinario de diseño y ejecución de materiales didácticos aplicados a talleres-laboratorios de electrónica para introducir al estudiante secundario en los conceptos de Lógica proposicional, incorporando las bases del Álgebra de Boole, mediante la utilización de Compuertas Lógicas Electrónicas implementadas con interruptores y diodos LED. Esta iniciativa de generación de espacios compartidos de saberes, diseño de materiales y estrategias didácticas innovadoras propicia mejorar la calidad del proceso educativo en un marco de colaboración y enriquecimiento mutuo entre la Universidad y la Escuela Media.
Se pretenden formular espacios alternativos de trabajo a través del fortalecimiento de la práctica y calidad de los procesos de enseñanza y aprendizaje en ciencia y tecnología en la Escuela Media, haciendo hincapié en la formación académica vinculada con el aprendizaje por proyectos y la resolución de problemas reales. Se busca lograr la integración de los

conocimientos propios de la disciplina (saber), las competencias, habilidades y desempeños (saber hacer), y el compromiso con el contexto social y ético (saber ser). Varias investigaciones en el campo de las teorías del aprendizaje han demostrado que las experiencias realizadas con la manipulación de materiales reales dentro de una propuesta didáctica contribuyen a mejorar la producción de un aprendizaje significativo.

Marco de referencia

"Probablemente uno de los problemas más importantes de la educación y la formación en la actualidad es que la mayoría de los enfoques instructivos utilizados no están en consonancia con las necesidades de los niños y jóvenes actuales ni con el tipo de sociedad en que estamos viviendo.
La descomposición de los conocimientos, la transmisión de las informaciones, el modelo unidireccional profesor—alumno, el conocimiento como algo estático se contrapone con una visión del conocimiento mucho más dinámica y compleja.", Gros Salvat B., 2002

Los modelos curriculares cognitivos–constructivistas están centrados en el aprendizaje por construcción de significados a través de procesos de comprensión. Se enfatiza el interés por el estudio de los procesos complejos del pensamiento, el procesamiento de la información y su aplicación a modelos educativos centrados en la resolución de problemas y orientados hacia la construcción de un aprendizaje significativo para desarrollar capacidades basadas en la comprensión, análisis e investigación.
Desde una concepción constructivista del aprendizaje significativo se considera al alumno como responsable de su propio proceso de aprendizaje utilizando las ideas y las concepciones previas para tratar situaciones problemáticas nuevas, que impliquen soluciones a través de los conocimientos adquiridos y la manipulación de los objetos de estudio. En este contexto, el "*aprender haciendo*" es una de las estrategias de aprendizaje más efectivas, y constituye un enfoque opuesto al modelo de enseñanza tradicional. En el modelo tradicional el conocimiento suele presentarse sin relación con el contexto. Se privilegia la transmisión de la información a través de un modelo emisor activo-receptor pasivo donde el docente transmite y el alumno recibe. La enseñanza y el aprendizaje están disociados de la situación didáctica reflejándose en la separación entre teoría y práctica como elementos aislados en la situación de clase. La enseñanza se orienta a la memorización y a la reproducción del discurso del profesor. Los sistemas de evaluación asociados a este modelo llevan a la respuesta única, no dejando espacios para la creatividad y el desarrollo de un pensamiento crítico.
Como alternativa se propone un cambio de paradigma. Se adopta una visión de articulación teoría-práctica trasformando las estrategias didácticas hacia un enfoque de aprendizaje significativo y contextualizado. Desde esta perspectiva, se destacan los siguientes principios: el conocimiento no se trasmite sino que se construye porque es el resultado de una actividad; el significado se crea en la mente del aprendiz y se revaloriza al ser compartido. Los aportes de la teoría de la Cognición Situada presentan al conocimiento como situado, parte y producto de la actividad, el contexto y la cultura en que se desarrolla y utiliza. El aprendizaje se entiende como los cambios en las formas de comprensión y participación de los sujetos en una actividad conjunta. El enfoque instruccional de la enseñanza situada "*destaca la importancia de la actividad y el contexto para el aprendizaje y reconoce que el aprendizaje escolar es, ante todo, un proceso de enculturación en el cual los estudiantes se integran gradualmente a una comunidad o cultura de prácticas sociales. En esta misma dirección, se comparte la idea de que aprender y hacer son acciones inseparables*.", Díaz Barriga F. (2003).
Los modelos curriculares resultantes son más complejos y fundamentados en actividades basadas en la resolución de problemas a través de estrategias apoyadas en el razonamiento,

pensamiento crítico, creatividad, transferencia y trabajo grupal. Sobre la base de estos principios se ha elaborado el proyecto educativo de voluntariado universitario: *Laboratorio de Electrónica básica: un espacio para enseñar, aprender, compartir experiencias y despertar vocaciones.*

Metodología de trabajo

El Álgebra de Boole opera con relaciones lógicas sobre variables que admiten únicamente dos valores, designados convencionalmente con 1 y 0.
Son suficientes tres operadores para generar toda la variedad de funciones lógicas correspondientes a una lógica proposicional (con Principio de Tercero Excluido). En este proyecto se ha trabajado con los operadores AND (producto lógico), OR (suma lógica) y NOT (complementación) como base para la formación de las funciones y análisis de valor de verdad de diferentes proposiciones, aunque es posible generar otros conjuntos de operadores de base, equivalentes lógicamente a los mencionados.
Los valores posibles según el álgebra booleana (1 y 0) aparecen en las compuertas diseñadas como estados en los LEDs. Un LED encendido corresponde al valor booleano 1 y un LED apagado corresponde al valor booleano 0.
Con las compuertas AND, OR y NOT se inicia el trabajo con los estudiantes, analizando el comportamiento de cada circuito, a partir de la circulación de la corriente eléctrica según la disposición seleccionada de los interruptores y observando el estado del LED que indica el estado final de la compuerta. Para cada compuerta, el estudiante varía las posiciones de los interruptores de forma de establecer todos los estados posibles de la compuerta en su tabla de estado correspondiente.
Con estas tres compuertas se introducen los conceptos de circuito serie, circuito paralelo, estado y tabla de estado, y con estos conceptos se inicia el trabajo con tablas de verdad, que para el estudiante serán, por el momento, simples indicadores de los estados posibles de cada compuerta.
Posteriormente, se comienza el análisis de funciones booleanas y el estudio de los teoremas de esta álgebra. De esta manera, los estudiantes pueden, por ejemplo, verificar por tablas de estado la equivalencia entre una compuerta NAND con la disyunción de dos compuertas NOT (Compuerta “NOT OR NOT…”) e introducir así las Leyes de Morgan. De forma similar se trabaja para el análisis de los diferentes teoremas (Copi, 2000; Gamut, 2004).
Llegados a este estadio, se presentan a los estudiantes situaciones concretas a ser resueltas de forma tal que se relacionan los conceptos adquiridos desde el área de la Electricidad con los de la Lógica, explicitando su potencialidad predictiva ante situaciones específicas. Por ejemplo, una situación elemental puede estar dada por:
Una casa tiene un tanque de agua en el techo y una bomba de agua. La bomba debe encenderse si el tanque está vacío.

Si “*tanque_vacío*” entonces… “*bomba encendida*”

donde “*bomba encendida*” aparece en la compuerta con el encendido del LED de estado.
Esta situación no requiere de compuerta para su resolución, ya que la condición de encendido de la bomba depende de una sola variable (*tanque_vacío*).
Luego instalan una cisterna subterránea, que agrega la siguiente complejidad al sistema. Si la cisterna está vacía, la bomba no debe encenderse. Es decir, la bomba deberá encenderse si el tanque está vacío y la cisterna tiene agua, ambas situaciones simultáneamente.
Esta situación se representa con una compuerta AND:

“*tanque_vacío*” AND “*cisterna_llena*” entonces…. “*bomba encendida*”

donde “*tanque_vacío*” se representará con la activación de un interruptor y “*cisterna llena*” se representará con la activación del otro interruptor de la compuerta. Sólo si ambos interruptores

se encuentran en la posición activo/cerrado/conectado se encenderá el LED de estado de la compuerta, indicando que se ha logrado "*bomba encendida*".
Esta situación es el inicio de una secuencia de situaciones adecuada que facilitará a los estudiantes la construcción de los conceptos que se pretenden presentar. Algunas situaciones más complejas a presentar son, por ejemplo, *una casa con dos tanques y una cisterna* o *un sistema de luces que indica a un empleado en el interior de un local si hay clientes por atender y cuántos hay.*
Se induce a los estudiantes a generar una representación simbólica de los operadores y finalmente se los introduce en la estructura simbólica tradicional, a fin de alcanzar un lenguaje común por todos los grupos de trabajo.
Una vez establecida la estructura simbólica, se puede llevar a niveles de complejidad creciente las situaciones a resolver por los estudiantes, ya que ellos serán capaces de trabajarlas desde la esquematización simbólica y el análisis por tablas de verdad.
El grado de avance de los estudiantes participantes del proyecto se analiza mediante pretest, ejecutados antes de iniciar el trabajo con las tres compuertas básicas, y postest ejecutados al finalizar toda la secuencia de situaciones.

Material didáctico diseñado

Se diseñaron kits didácticos para el desarrollo de las secuencias en las sesiones de trabajo con los estudiantes. Cada kit se compone de tres cajas de madera ("compuertas"), donde cada una cuenta con un circuito eléctrico que corresponde a cada una de las equivalencias eléctricas de los operadores booleanos AND, OR y NOT.
Se trabaja con interruptores conectados en serie o en paralelo, según corresponda, de forma de lograr cada representación. Se utilizaron interruptores del tipo on/off, es decir, que pueden encontrarse solamente en dos estados posibles diferentes: activo/cerrado/conectado o inactivo/abierto/no-conectado. Cada interruptor colocado está acompañado (y conectado) con un LED para indicar el estado en que se encuentra. El LED que acompaña a cada interruptor se enciende si éste se encuentra en el primer estado mencionado. Estos LED cumplen la función de indicar al estudiante que la selección que ha realizado se está ejecutando efectivamente en el tablero que usa, de forma que si el interruptor se ha dañado, el LED asociado no encenderá en ninguna de las dos posiciones del interruptor (Hill – Peterson, 1984; Taub, 1982; Taub – Schilling, 1982; Tocci, 2003)
Cada compuerta, a su vez, tiene incorporado un LED adicional (LED de estado final), que es el que indica el resultado de la operación que se está ejecutando en la misma, y un par de bornes donde se conecta la fuente de alimentación. Esta fuente consiste en un transformador 220V-6V, que cuenta con fusible (para evitar daños por sobrecarga de corriente), un rectificador puente con filtro a capacitor, un regulador de tensión integrado de 5 V y un LED (para indicar que la energía eléctrica está siendo suministrada).
Esta forma de diseñar los kits se fundamenta en la necesidad de evitar que el estudiante se aparte de su razonamiento, en las conexiones que realiza, como consecuencia posibles fallas en los circuitos.
Las Figuras 1, 2 y 3 muestran el circuito eléctrico interno y cada caja armada para realizar las funciones lógicas AND, OR y NOT, respectivamente. Cada caja cuenta, en su parte superior, con el esquema del circuito eléctrico equivalente al operador que representa y el nombre de dicho operador. En su parte interior, la compuerta está formada por un circuito algo más complejo que el representado en el exterior, debido a la necesidad de establecer un circuito electrónico adecuado a las finalidades didácticas perseguidas.

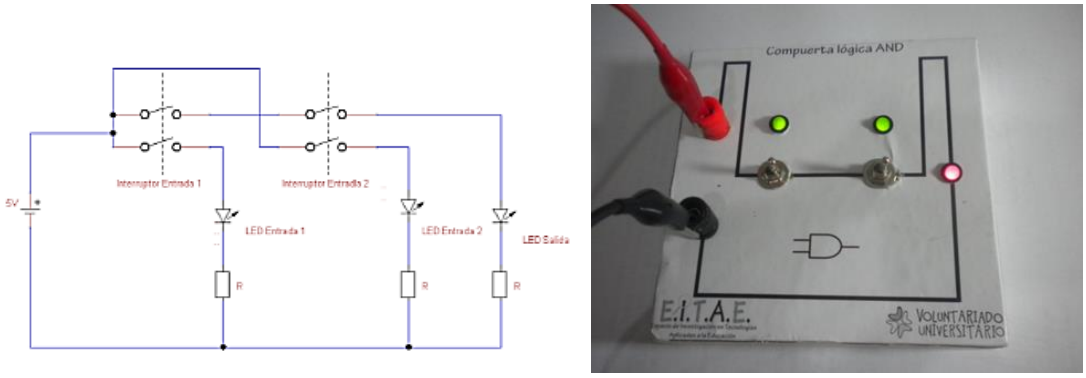


Figura 1: Compuerta OR. Circuito eléctrico interno y kit diseñado

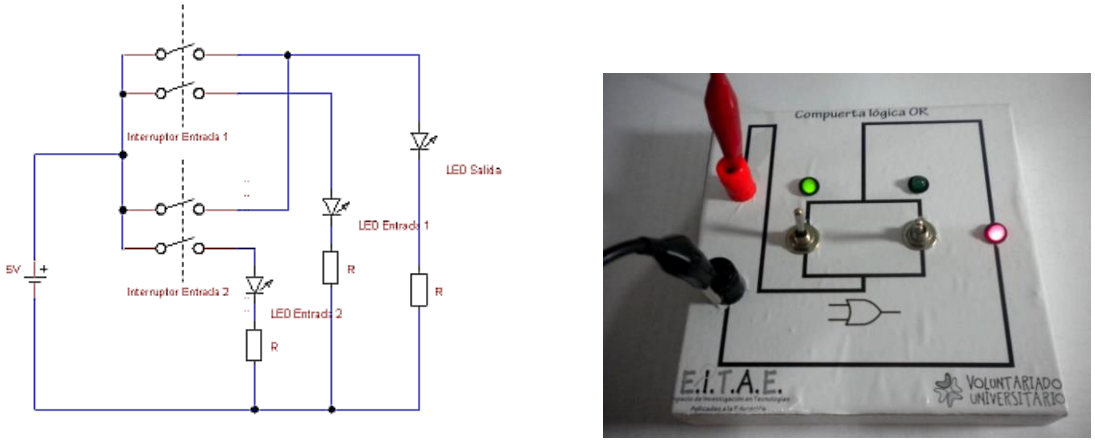


Figura 2: Compuerta OR. Circuito eléctrico interno y kit diseñado

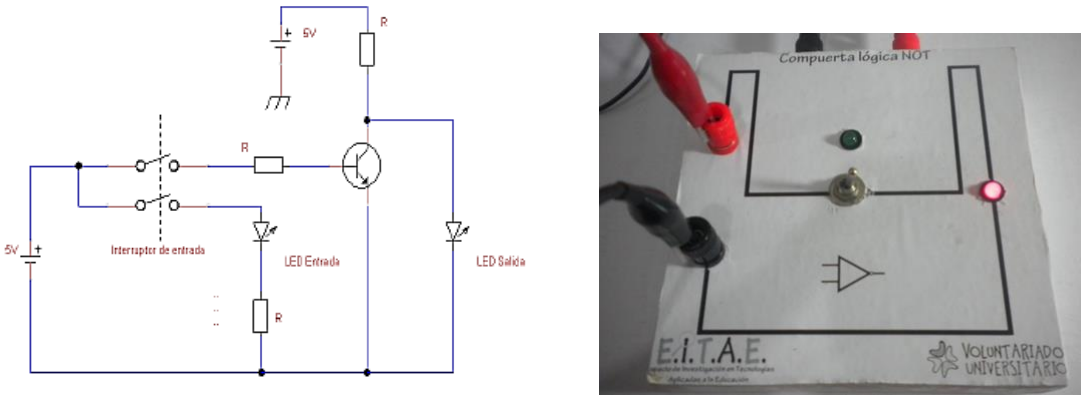


Figura 3: Compuerta NOT. Circuito eléctrico interno y kit diseñado

Resultados y discusión

Este proyecto ha sido acreditado para el período 2011-2012, con una asignación tardía de la partida presupuestaria correspondiente. Esta dilación en el acceso a los fondos necesarios para la adquisición de materiales para la construcción de los kits didácticos coloca al presente

proyecto en situación de construcción de kits en la actualidad y será ejecutado con los estudiantes de Escuela Media durante el primer semestre del año 2013.
En función de dar continuidad y permanencia al proyecto, se ha presentado y acreditado la segunda edición del mismo a consideración de la SPU previéndose su desarrollo y ejecución durante el año 2013. Para el mismo se trabajará en el análisis y diseño de compuertas lógicas complejas (NAND, NOR, NOT…AND NOT… y NOT… OR NOT…) con el objetivo de introducir a los estudiantes en el trabajo con las compuertas lógicas electrónicas compuestas por circuitos integrados, de forma tal de facilitar el acceso de los jóvenes a las nuevas tecnologías.

Conclusiones

Se presentó una metodología de actividad didáctica interdisciplinaria entre la Física, en el área de la Electricidad, y la Lógica, en el área del Álgebra de Boole. Se sustenta la propuesta de interdisciplinareidad en la biunivocidad existente entre las Compuertas Lógicas Electrónicas y el Álgebra de Boole.
A partir del análisis de la circulación de la corriente eléctrica en circuitos eléctricos en serie y en paralelo –diseñados y construidos ad hoc-, los estudiantes de nivel secundario pueden ingresar al estudio de las estructuras lógicas elementales, correspondientes a una base suficiente de operadores booleanos, que se constituirán en el cimiento donde construir los conceptos más complejos, derivados de ellos y constituyentes de los diversos teoremas booleanos. Por otra parte, los alumnos voluntarios de este proyecto han aplicado los conocimientos adquiridos utilizando metodologías de aprendizaje situado y realización de proyectos, incorporando además valores éticos y responsabilidad social, compartiendo conocimientos.

Bibliografía

Ausubel D., Teoría del aprendizaje significativo, consultado en: http://delegacion233.bligoo.com.mx/media/users/20/1002571/files/240726/Aprendizaje_significativo.pdf

Copi, I. (2000). Introducción a la Lógica. México: Limusa

Díaz Barriga, F. (2003). *Cognición situada y estrategias para el aprendizaje significativo*. Revista Electrónica de Investigación Educativa, 5. Consultado en: http://redie.ens.uabc.mx/vol5no2/contenido-arceo.html

Gamut, LTF. (2004). Introducción a la Lógica, Buenos Aires: EUDEBA

Gros Salvat B. (2002), *Constructivismo y diseños de entornos virtuales de aprendizaje*, Revista de educación, Nro. 328, pp. 225-247

Hill - Peterson. (1984). Teoría de conmutación y diseño lógico, México: Ed. Limusa.

Taub, H. (1982). Circuitos digitales y microprocesadores, México: Ed. McGraw-Hill.

Taub - Schilling (1982). Digital Integrated Electronics, New Jersery: Ed. McGraw-Hill.

Tocci, R. (2003). Sistemas Digitales: Principios y aplicaciones, México: Pearson Educación.

APRENDIZAJE FUERA DEL AULA. APORTACIONES DE LA EXTENSIÓN UNIVERSITARIA

González, Mónica L. (1, 2), Vilche Ernesto A. (1), Knopoff, Patricia A. (1)

(1) Unidad de Investigación y Desarrollo para la Calidad de la Educación en Ingeniería con orientación al uso de TIC (UNITEC), Facultad de Ingeniería, 48 y 116, Universidad Nacional de La Plata, dispos@ing.unlp.edu.ar

(2) Cátedra de Dispositivos Electrónicos A y B, Facultad de Ingeniería, UNLP

Palabras Claves: Extensión Universitaria, Competencias en Ingeniería, Aprendizaje por proyectos, Voluntariado Universitario, Laboratorio de Electrónica

Introducción

"*Las instituciones de educación superior deben formar a los estudiantes para que se conviertan en ciudadanos bien informados y profundamente motivados, provistos de un sentido crítico y capaces de analizar los problemas de la sociedad, buscar soluciones para los que se planteen a la sociedad, aplicar éstas y asumir responsabilidades sociales. Para alcanzar estos objetivos, puede ser necesario reformular los planes de estudio y utilizar métodos nuevos y adecuados que permitan superar el mero dominio cognitivo de las disciplinas; se debería facilitar el acceso a nuevos planteamientos pedagógicos y didácticos y fomentarlos para propiciar la adquisición de conocimientos prácticos, competencias y aptitudes para la comunicación, el análisis creativo y crítico, la reflexión independiente y el trabajo en equipo en contextos multiculturales, en los que la creatividad exige combinar el saber teórico y práctico tradicional o local con la ciencia y la tecnología de vanguardia.*", Conferencia Mundial sobre la Educación Superior, UNESCO (1998). Inspirada en estas ideas, la práctica de la extensión universitaria puede actuar como un proceso de características formativas en competencias para el alumno universitario, así como generar cambios en la concepción y utilización de metodologías docentes. Utilizando metodologías fundadas en el aprendizaje basado en proyectos y la resolución de problemas reales, el alumno extensionista se involucra en procesos alternativos de aprendizaje que le permiten incorporar competencias esenciales para su futuro como profesional inserto en la sociedad. Para llevar a cabo este proceso articulatorio es necesario adoptar una visión crítica de la práctica de extensión universitaria diferenciando claramente "extensionismo" de "práctica de extensión". La primera es una visión unidireccional en la cual el conocimiento universitario se manifiesta desde una posición de saber absoluto con mirada asistencialista. En la segunda, se interpreta la extensión universitaria como una práctica integradora de saberes donde sus participantes trabajan en la realización de un proyecto conjunto cuya meta es una experiencia transformadora de la realidad. La extensión se torna así en una actividad multifacética que articula dimensiones académicas, políticas, económicas, sociales y éticas en un proceso participativo.

En este trabajo se discute la práctica de la Extensión Universitaria y su impacto sobre la formación en competencias de alumnos de grado en carreras de Ingeniería. En particular, se toma como referencia un proyecto acreditado del Programa de Voluntariado Universitario (Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación de la Nación, Convocatoria 2011) implementado en el área de Ingeniería en Electrónica. El proyecto: *Laboratorio de Electrónica básica: un espacio para enseñar, aprender, compartir experiencias y despertar vocaciones*, se encuentra actualmente en ejecución en la Facultad de Ingeniería de la UNLP como parte de las actividades de la Unidad de Investigación y Desarrollo para la Calidad de la Educación en Ingeniería con orientación en el uso de TIC (UNITEC) y la cátedra de Dispositivos Electrónicos A y B.

Marco de referencia

El preámbulo del Estatuto 2008 de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) establece: "*La UNLP reconoce como funciones primordiales el desarrollo y fomento de la enseñanza, la investigación y la extensión… La tercera, debatida y consensuada con el conjunto de la comunidad, perseguirá contribuir a la búsqueda de respuestas a problemas sociales, fundamentalmente de aquellos sectores más vulnerables por no tener sus derechos esenciales garantizados. La Extensión Universitaria será el principal medio de la Universidad Nacional de La Plata para lograr su función social, contribuyendo al tratamiento de los problemas que afectan al bienestar de la comunidad, la reconstrucción del tejido social, el desarrollo económico sustentable y el fortalecimiento de la identidad cultural*."
Esta concepción se relaciona con las raíces históricas instauradas en los ideales de la Reforma Universitaria de Córdoba de 1918. "*La misión social de la Universidad constituía, como se ha dicho, el remate programático de la reforma. De esta manera, el Movimiento agregó, al tríptico misional clásico de la Universidad, un nuevo y prometedor cometido, capaz de vincularla más estrechamente con la sociedad y sus problemas, de volcarla hacia su pueblo, haciéndolo partícipe de su mensaje, transformándose en su conciencia cívica y social. Acorde con esta aspiración, la reforma incorporó la extensión universitaria y la difusión cultural entre las tareas normales de la Universidad latinoamericana, y propugnó por hacer de ella el centro por excelencia para el estudio objetivo de los grandes problemas nacionales…*", Tünnermann C. (2008). Hasta mediados del siglo XX la actividad de extensión universitaria estuvo vinculada con una concepción asistencialista y de dominio; la Universidad, poseedora del saber, reconocía a los actores sociales necesitados y actuaba en consecuencia en una forma unidireccional.
Serna Alcántara (2005), identifica cuatro modelos de extensión: altruista, divulgativo, concientizador y vinculatorio empresarial. El modelo altruista predominó en las primeras cuatro décadas del siglo XX, e impulsaba la acción desinteresada y humanitaria de los universitarios a favor de los pobres e ignorantes. El divulgativo utiliza los medios de comunicación para divulgar la ciencia y la cultura universitaria acomodadas al saber popular. Este modelo tiene como centro a "*la universidad que se comporta como la institución superior que refleja una alta forma de cultura y de vida, mientras el receptor, la comunidad en su conjunto o el pueblo en particular, representa la inferioridad o carencia de la cultura y la vida*.", Tünnermann C. (2000). El modelo concientizador se vincula con posicionamientos ideológicos y políticos. El modelo empresarial toma como modelo de extensión la vinculación universidad-empresa y pierde el sentido social histórico que lo originó, propugnando una visión de mercado de servicios aportados por la universidad.
Adoptando aquí una perspectiva crítica del modelo, la práctica de la extensión universitaria puede actuar como un proceso de características formativas en competencias para el alumno universitario que la practica, incorporando una dimensión pedagógica. En esta dimensión al trabajar en la solución de problemas reales, que se extienden fuera de los límites del aula universitaria, se replantean las prácticas y metodologías aprendidas, proyectando alternativas con una visión integradora de los contenidos curriculares, tendiendo a la articulación de la teoría con la práctica en una verdadera "praxis" educativa, vinculando la educación universitaria con la producción del conocimiento y la redistribución del mismo hacia toda la sociedad.

La integración de extensión y formación en competencias

Hacia fines del siglo XX aparece la tendencia conocida como diseño curricular basado en competencias, que presenta la visión contrapuesta al diseño curricular basado en contenidos de aprendizaje. El enfoque por competencias responde a un modelo en el cual las estrategias

pedagógicas y didácticas se pretenden conjugar para armonizar el saber teórico (saber), con el saber práctico (saber hacer) tanto en el contexto laboral como en el social en general (saber ser), CONFEDI (2007). Para interpretar esta tendencia es importante considerar la definición e interpretación del término competencia. En su sentido semántico se vincula con aptitud, idoneidad, destreza, dominio sobre alguna situación en particular. "*Los términos aptitudes y habilidades se encuentran de alguna forma relacionados con el de competencias, si bien el primero da cuenta de diversas disposiciones de cada individuo, el segundo remite a la pericia que ha desarrollado a partir de tales disposiciones*.", Díaz Barriga A. (2003).
Por su parte, Cullen C. (1996), señala que las competencias son "*complejas capacidades integradas, en diversos grados, que la educación debe formar en los individuos para que puedan desempeñarse como sujetos responsables en diferentes situaciones y contextos de la vida social y personal, sabiendo ver, hacer, actuar, y disfrutar convenientemente, evaluando alternativas, eligiendo las estrategias adecuadas y haciéndose cargo de las decisiones tomadas*". En cualquier caso, se plantea el concepto de competencia desde una visión integral abarcando las capacidades del sujeto que actúa en un contexto social.
Por ello la implementación de un currículum por competencias es un proceso complejo que implica realizar cambios no sólo en los planes de estudio sino en los procedimientos de enseñanza-aprendizaje, la gestión administrativa de las instituciones, etc. En el caso particular de la Ingeniería, el primer paso es rever el perfil profesional adaptándolo a los nuevos requerimientos científicos, tecnológicos, económicos y sociales del siglo XXI.
Actualmente, el conocimiento científico-tecnológico se recicla aproximadamente cada cinco años por lo que los conocimientos adquiridos en la universidad, que servían para el desarrollo profesional a lo largo de toda la vida, es hoy un paradigma en crisis. Es indispensable un nuevo modelo de formación académica para los futuros ingenieros, siendo la formación en competencias profesionales la tendencia curricular más reconocida en la actualidad. Sin embargo, la implementación de un currículum por competencias es un proceso lento porque las competencias se construyen a lo largo de todo el proceso educativo, demandando una planificación temporal de largo alcance. En este camino, situar al alumno en contextos de aprendizaje cercanos al desarrollo profesional permite acceder a cambios que favorecen la orientación hacia un modelo curricular próximo al de competencias. Este enfoque propicia el aprendizaje por proyectos, estudio de casos, resolución de problemas abiertos, uso de herramientas TIC, trabajo en grupo, autoaprendizaje, entre otros recursos. Una posibilidad de ir formando al alumno en este modelo es la realización de trabajos de extensión universitaria.

Fundamentos y descripción del Proyecto Laboratorio de Electrónica Básica

Según estadísticas recientes "*La falta de ingenieros se ha transformado en un cuello de botella para el desarrollo productivo nacional. Y las casas de altos estudios deberán tomar medidas para atraer estudiantes e incrementar los índices de graduación, advierten los expertos, teniendo en cuenta que las preferencias de los jóvenes toman otros caminos pese a que las ingenierías garantizan trabajo seguro y altos sueldos*", diario El Día, 2011. Se hace necesario fortalecer las políticas educativas para fomentar el desarrollo profesional de la Ingeniería con la intención de aumentar el número de ingenieros por habitantes en Argentina (Congreso Mundial de Ingeniería 2010).
Un comienzo para superar esta problemática es generar estrategias de promoción de las vocaciones relacionadas con carreras de Ingeniería. Impera un gran desconocimiento, entre los alumnos secundarios próximos a graduarse, sobre la práctica profesional del ingeniero y su vinculación con el desarrollo científico y tecnológico del país. Por otra parte, suele vincularse a los saberes de la ingeniería como un cuerpo de conocimientos de difícil acceso por su base de fuerte contenido físico y matemático. El Plan Estratégico de Formación de Ingenieros 2012-

2016 es impulsado desde el Ministerio de Educación de la Nación con la intención de aumentar el número de nuevos profesionales. En los considerandos de este Plan se establece: "*no sólo es necesario consolidar la formación a través del conocimiento de contenidos, sino también inculcar, durante el proceso formativo, competencias, capacidades, actitudes y aptitudes que permitan generar un profesional de alta capacitación técnica que, también, tenga compromiso social, conciencia ambiental y capacidad de liderazg*o".
Sobre estas bases se desarrolla el proyecto de Voluntariado Universitario: *Laboratorio de Electrónica básica: un espacio para enseñar, aprender, compartir experiencias y despertar vocaciones.* El eje central del proyecto es que los estudiantes universitarios de grado de la carrera de Ingeniería en Electrónica participantes implementen talleres-laboratorios de electrónica y tecnologías digitales, generando el equipamiento didáctico necesario para su articulación con los contenidos curriculares de escuelas de Enseñanza Media no técnica. En este proceso se integran competencias básicas, genéricas y específicas a través del desarrollo de los equipos, haciendo partícipes a los alumnos universitarios de sus propios procesos de aprendizaje en contextos de compromiso con inclusión social, pertinencia de saberes y equidad de oportunidades. Se pretende trabajar en un contexto formador de:

- Competencias cognitivas y técnicas: formación, preparación, competencias técnicas, resolución de problemas, formación continua, innovación y superación.
- Competencias sociales: trabajo en equipo, solidaridad, integración y manejo de la comunicación.
- Valores éticos: responsabilidad, integridad, ética profesional y personal, prestación de servicios a la sociedad, respeto, principios morales y valores profesionales.
- Aspectos afectivo-emocionales: identificación con la profesión y capacidad de respuesta emocional.

Resultados y discusión

Dentro del Proyecto de Voluntariado: *Laboratorio de electrónica básica* se propone el diseño y la implementación de kits de materiales didácticos cuya temática articule con los contenidos curriculares de últimos años de Escuela Media no técnica. Estos materiales educativos fueron construidos por los alumnos voluntarios de la carrera de Ingeniería en Electrónica.
Se comentan aquí dos propuestas que se encuentran actualmente en ejecución. La primera aspira a introducir al estudiante secundario en los conceptos de la Lógica Proposicional, incorporando las bases del Álgebra de Boole, mediante la utilización de circuitos electrónicos serie/paralelo implementados con interruptores y diodos LED, como mecanismos primitivos de analogía al proceso de toma de decisiones mediante Compuertas Lógicas Electrónicas. Los kits realizados para el desarrollo de las secuencias didácticas de compuertas lógicas constan de tres cajas de madera cada una de las cuales posee un circuito eléctrico interno, no accesible al alumno, que realiza las equivalencias eléctricas de los operadores booleanos AND, OR y NOT, con un LED cuyo estado es indicador de la respuesta asociada. Con estas tres compuertas se introducen los conceptos de circuito serie, circuito paralelo, estado y tabla de estado, permitiendo iniciar el trabajo con tablas de verdad. En las Figuras 1 y 2 se muestran los prototipos desarrollados para las compuertas AND y OR. Entre los bornes (rojo y negro) se conecta la fuente de alimentación del sistema. Como se aprecia en las Figuras 3 a) y 3 b) la fuente consiste en un transformador 220V/6V, que cuenta con fusible para evitar daños por sobrecarga de corriente, un rectificador puente con filtro a capacitor, un regulador de tensión integrado de 5 V y un LED indicador del estado de encendido.

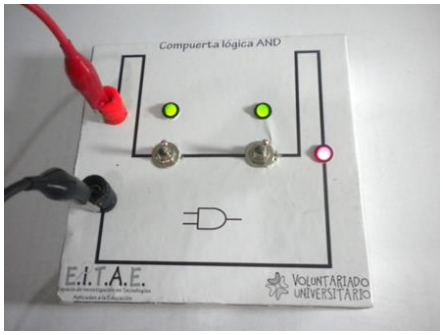


Figura 1: compuerta AND



Figura 2: compuerta OR



Figura 3 a): fuente de alimentación

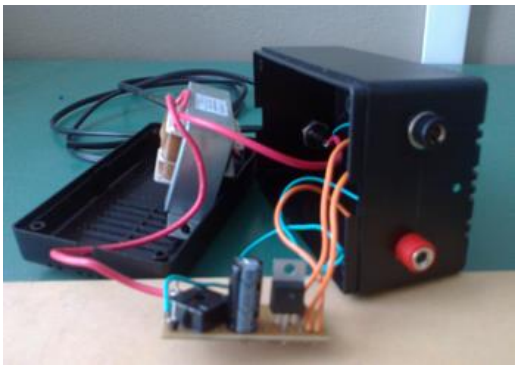


Figura 3 b): estructura interna

La segunda propuesta corresponde al diseño de un prototipo de instrumento musical. Surge de la idea de mostrar cómo se puede relacionar el campo de la electrónica con contenidos de conceptos físicos tales como la conversión los tipos de energía que confluyen en un instrumento musical. Este proyecto está siendo desarrollado por dos alumnos extensionistas que cursan el quinto año de la carrera de Ingeniería en Electrónica y que poseen formación musical. La Figura 4 muestra el diagrama en bloque del instrumento y la Figura 5 la fotografía del primer prototipo realizado.

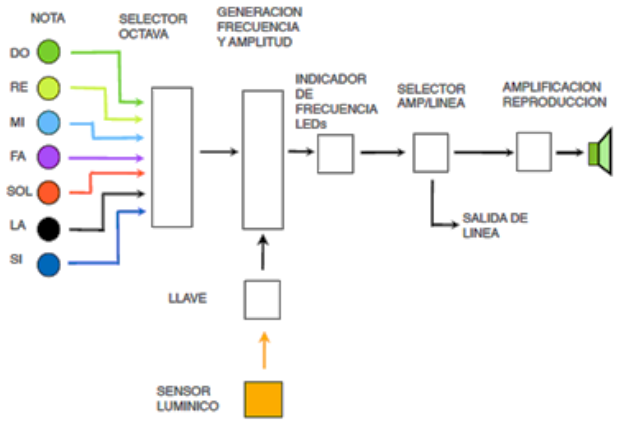


Figura 4: Diagrama en bloques del instrumento musical electrónico

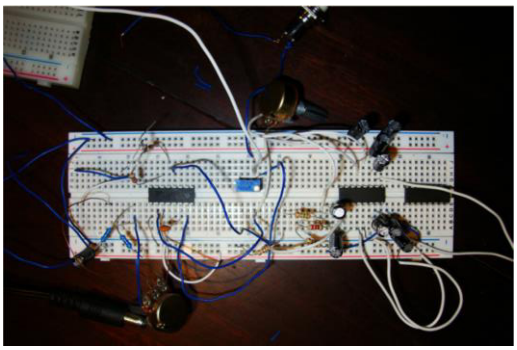


Figura 5: Prototipo instrumento musical

El instrumento posee 7 pulsadores correspondientes a las notas musicales (Do al Si). Mediante una llave se selecciona la octava correspondiente y se genera un tono cuya frecuencia puede ser visualizada por un indicador con diodos LEDs. Finalmente se amplifica y reproduce el sonido por un parlante. Mediante una llave se puede activar un sensor lumínico (LDR, Resistor variable con la luminosidad), pudiendo interactuar al acercar la mano. De esta forma se puede variar la altura de la nota en función de la distancia de la mano.

Conclusiones

Se presentó un proyecto de extensión en el marco del Voluntariado Universitario que se encuentra en ejecución con alumnos pertenecientes a la carrera de Ingeniería en Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la UNLP. Se destaca la importancia que la práctica extensionista tiene sobre la formación en competencias en el alumno de ingeniería al presentarle un problema real que debe resolver aplicando los conocimientos adquiridos. Por otra parte, se valoriza la participación del alumno como sujeto con compromiso social y transformador de la realidad realizando la prestación de servicios que redundarán en su desempeño como futuro profesional. El proyecto se encuentra abierto a la participación de los alumnos interesados.

Bibliografía

Cullen C., 1996, *El debate epistemológico de fin de siglo y su incidencia en la determinación de las competencias científico tecnológico en los diferentes niveles de la educación formal*. Parte II. En Novedades Educativas Nro. 62. p. 20.

Diario El Día, 23/10/2011: *Egresa la mitad de ingenieros que demanda el mercado laboral*, (http://www.eldia.com.ar/edis/20111023/egresa-mitad-ingenieros-demanda-mercado-laboral-educacion0.htm)

Díaz Barriga A. (coordinador), 2003, *La investigación curricular en México: La década de los noventa*, Cap. 2: Desarrollo del currículum

Serna Alcántara G., 2005, Misión social y modelos de extensión universitaria: del entusiasmo al desdén en Revista Iberoamericana de Educación (ISSN: 1681-5653)

Tünnermann B. C., 2008, *Noventa años de la Reforma Universitaria de Córdoba: 1918*-2008. CLACSO.

Tünnermann B. C., *Universidad ante los retos del siglo XXI*, U. A. de Yucatán, Cap 3, pp. 67-85

Tünnermann B. C., 2000. *El nuevo concepto de la extensión universitaria,* consultado en: http://www.udea.edu.co/portal/page/portal/BibliotecaPortal/InformacionInstitucional/Autoevaluacion/SistemaUniversitarioExtension/NuevoConceptoExtensionUniversitaria-CarlosTunnermann.pdf

http://portales.educacion.gov.ar/spu/calidad-universitaria/plan-estrategico-de-formacion-de-ingenieros-2012-2016/

http://portales.educacion.gov.ar/spu/voluntariado-universitario/

COMUNICADOR DIGITAL PARA PERSONAS CON DIFICULTADES PSICOMOTRICES

Czerwien Juan C.[1], Gialonardo José I.[1], Rapallini José A.[1,2], Cordero María C.[1]

[1] UNITEC, Unidad de Investigación y Desarrollo para la Calidad de la Educación en Ingeniería con orientación al uso de TIC, Facultad de Ingeniería, Calles 48 y 116, (1900) La Plata, corderomc@gmail.com
[2] CeTAD

Palabras clave: Necesidades Educativas Especiales, Discapacidad psicomotriz, Ayudas técnicas, Comunicador.

Resumen

El presente trabajo describe el desarrollo de un dispositivo de ayuda técnica o "rampa tecnológica" para mejorar la comunicación de un usuario que posee dificultades motrices severas, con una movilidad muy limitada e incapaz de comunicarse a través del habla, desarrollado en el Espacio de Extensión de la UID UNITEC.
Para el diseño se decidió tomar como base un método de comunicación conocido por el usuario y en el que se encontraba muy bien entrenado, implementándolo sobre un dispositivo de pantalla táctil. El software desarrollado reemplaza la metodología conocida por el usuario, posee un visualizador de palabras en pantalla, un sintetizador de texto a voz audible, teclas para salir de la aplicación y otras definidas por el usuario. Posee una interfaz gráfica, que permite seleccionar letras para formar palabras y/o frases, las cuales pueden ser reproducidas por voz, permitiendo la comunicación del usuario con su entorno.

Introducción:

Cada día hay más personas que, ya sea desde su nacimiento, por enfermedades en la infancia o por otro tipo de factores en la adultez se encuentran en la necesidad de utilizar nuevas tecnologías de ayuda técnica que les permitan aumentar sus capacidades disminuidas. Cada persona con una limitación funcional o discapacidad dará lugar a un producto de apoyo. En la República Argentina la Encuesta Nacional de Personas con Discapacidad (ENDI) señala que existen más de 2.000.000 de personas con discapacidad, siendo el 39,5% discapacidades motoras, 22% discapacidades visuales, 18% auditivas y 15% mentales.

La ausencia de conocimientos sobre las nuevas tecnologías y la dificultad para su uso se hace más evidente en estos casos. Por ello, se deben crear herramientas tecnológicas que permitan a estas personas integrarse plenamente en la sociedad en la que viven. El término ayuda técnica se está sustituyendo por el de producto de apoyo. La norma ISO 9999:2007 define producto de apoyo como: Cualquier producto (incluyendo dispositivos, equipos, instrumentos, tecnologías y software) fabricado especialmente o disponible en el mercado, para prevenir, compensar, controlar, mitigar o neutralizar deficiencias, limitaciones en la actividad y restricciones en la participación. Deben permitir la facilitación de la enseñanza-aprendizaje en todos los niveles educativos, el desarrollo del lenguaje oral y escrito, juego y entretenimiento, rehabilitación, etc.

La Instrumentación electrónica aplicada a las discapacidades y a las Necesidades Educativas Especiales es un área aún poco desarrollada. Si bien existen desde hace tiempo dispositivos que favorecen el desenvolvimiento de personas con diferentes discapacidades, éstos no son accesibles por su alto costo y dificultad para su obtención, puesto que la mayoría son de origen extranjero. Estos dispositivos han evolucionado, sustentados por el desarrollo de las tecnologías de información y comunicación y por el avance permanente de

la electrónica y microelectrónica. La instrumentación aplicada a la mejora de la calidad de vida de las personas con discapacidades permanentes o temporales es un área desarrollada en el Espacio de Extensión de la UID UNITEC. Esta instrumentación involucra cambios conceptuales y el diseño de nuevas estrategias de capacitación a nivel de la educación formal, así como también la actualización profesional y de los usuarios

Desarrollo del Proyecto

El Comunicador digital se desarrolló en la UID UNITEC como Proyecto Final en la carrera de Ingeniería Electrónica a requerimiento del alumno de la Facultad de Humanidades Juan Cobeñas, diagnosticado con Parálisis Cerebral desde temprana edad y quien sólo logra mover y controlar, con dificultad, su brazo derecho con la ayuda de un asistente, considerándose que más del 95% de su cuerpo se encuentra paralizado.

Los pasos seguidos para definir las especificaciones del comunicador consistieron primeramente en comprender la condición física y habilidades funcionales del futuro usuario. Las dificultades motoras son muy severas, posee audición e inteligencia normal. Desde temprana edad se encuentra entrenado en el uso de switches, lo que representa una ventaja pues no se deberá tener en cuenta posibles problemas de inflamación de tendones al presionar repetidamente una tecla.

A partir de allí se analizaron diversas soluciones ofrecidas por el mercado para la comunicación alternativa en parálisis cerebral. Se analizaron teclados especiales[1], el tablero electrónico portátil MegaBEE[2] para escritura asistida, la interfaz cerebral del Proyecto europeo BrainABLE[3] *(gorro que capta mediante sensores, los potenciales y ondas electroencefalográficas produciendo un control domótico dentro del domicilio).* Ver Figura 1.

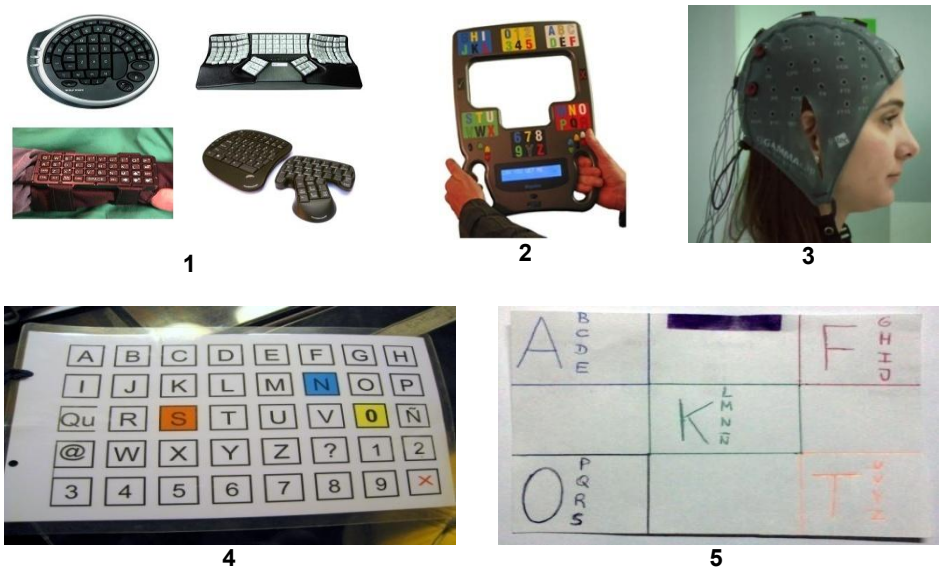
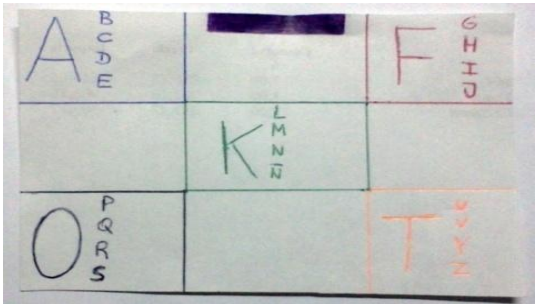


Figura 1. Soluciones posibles analizadas

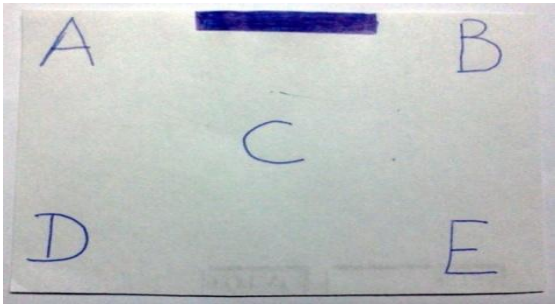
También fueron analizados métodos conocidos y utilizados por el usuario:

- Teclado impreso[4], que exige entrenamiento especial del asistente para recordar las teclas señaladas para luego "decir" las palabras escritas por Juan Cobeñas. Se lo consideró de difícil implementación en un dispositivo electrónico dadas las características propias del usuario: movimientos limitados y falta de precisión. Ver Figura 1.

- Conjunto ordenado de letras[5], Como lo indica la Figura 2, consiste en una hoja índice que identifica a 5 grupos de letras con diferentes colores: De Izquierda a Derecha: Azul, Rojo, Verde, Negro y Naranja. Por ejemplo, para seleccionar la letra A, el usuario indica (con ayuda del asistente) el grupo Azul, luego del cual, el asistente le muestra dicho grupo de letras y el usuario (con ayuda del asistente) señala la letra A. Del mismo modo se realiza con los diferentes grupos de letras.



Hoja "Índice" que identifica los grupos de letras



Hoja Azul correspondiente al primer grupo de letras

Figura 2.

A partir de este estudio se decide implementar el último método debido a las ventajas que presenta, ya que al ser conocido por el usuario se necesitará un mínimo entrenamiento para la adaptación a la nueva interfaz gráfica, siendo factible su implementación en un dispositivo electrónico de pantalla táctil (notebook, ipad, tablet, etc).

Especificaciones del dispositivo:

- Desarrollo de un software de aplicación para la implementación del método seleccionado en un dispositivo de pantalla táctil.
- Visualización de las palabras en pantalla (para ser leídas por el asistente).
- Sintetizador de voz que transmita oralmente lo escrito.
- Una tecla para Salir de la aplicación (utilizada por el asistente)
- Funciones sugeridas por el usuario, como BORRAR, SI, NO, ESPACIO, PUNTO.
- Sonido en todas las Teclas (para lograr la retroalimentación con el usuario, el sonido determinará la realización de un evento, por ejemplo, presión sobre las teclas)

Selección del Software para realizar la aplicación IGU: Se realizó la selección en base al posible acceso al mismo, a versiones académicas disponibles y a que permitieran crear una Interfaz Gráfica de Usuario (IGU):

Software	Manejo de Sonido	Predicción de Palabras	Calidad Gráfica	Escritura de Palabras en Pantalla	Tiempo de Desarrollo	Funcionalidad Adicional
Visual C y Visual Basic	Si	Si	Muy Buena	Si	Muy Alto	Si
Power Point	Si	No	Muy Buena	No	Bajo	No
MatLab	Si	No	Buena	No	Medio	No
VisSim	No	No	Buena	No	Bajo	No
LabVIEW	Si	Si	Muy Buena	Si	Bajo	Si

Tabla 1. Tabla comparativa para la selección del software base de la aplicación

Se optó por el diseño en LabVIEW, que es un entorno de desarrollo que utiliza programación gráfica denominada Programación G. Los programas se denominan instrumentos virtuales, pues simulan a los instrumentos reales. Dichos programas constan de dos partes fundamentales, el PANEL FRONTAL, que representa la interfaz con el usuario y posee controles e indicadores, y el DIAGRAMA DE BLOQUES, que contiene el código de la aplicación que da funcionalidad al instrumento virtual.

Software para síntesis de voz

Un **sintetizador de voz** es un dispositivo que permite la producción artificial del habla humana. Puede ser implementado tanto en software como en hardware, y se encarga de convertir texto a voz. Dos características de importancia para la voz sintetizada son su **inteligibilidad,** o facilidad/dificultad con que las palabras son entendidas y su **naturalidad, es decir,** en qué medida se asemeja a la voz *real* de un ser humano.

Software	Inteligibilidad	Nivel de Naturalidad	Incorporado en el Sistema Operativo	¿Gratuito?	¿Resulta compatible con nuestra plicación?
Speak Aloud 1.0	**Muy Alta**	**Excelente**	**No**	**No**	**No**
Loquendo	**Muy Alta**	**Excelente**	**No**	**No**	**No**
Microsoft Speech SDK 5.1	**Muy Alta**	**Excelente**	**Si**	**Si**	**Si**

Tabla 2. Tabla comparativa para la selección del software sintetizador de texto a voz

Desarrollo del Software. Patrón de Diseño.

Los patrones de diseño o *Plantillas* constituyen la estructura de las soluciones a problemas comunes en el desarrollo de software. En este caso se ha seleccionado la Máquina de Estado Estándar, cuyas características son:

- Es una de las arquitecturas más versátiles para implementar código en procesos secuenciales que no tienen un orden específico de secuencia.
- Permite agregar estados logrando además que el código sea escalable sin mayores cambios en el resto del programa.
- Cada estado puede conducir a uno o múltiples estados, y también puede terminar el flujo del proceso.

Descripción del diagrama general de Estados de la Aplicación Final.

El diagrama de la Figura 3, presenta un Estado Inicial (nodo con un arco entrante en el diagrama) y otro denominado Estado Final (nodo con doble círculo en el diagrama). El estado inicializar variables, inicia el software, carga los archivos de audio y texto utilizados en la aplicación, realiza la Bienvenida, borra indicadores y restaura a su estado inicial todas las interfaces y botones que serán utilizadas por el usuario.
El estado siguiente es el de Selección de Grupo, que presenta la Hoja Indice y espera un evento determinado por la acción del usuario. A partir de aquí, elige un evento para ejecutar, por ejemplo: Tecla Salir, pasa al estado final, cierra referencias de archivos abiertos, cierra pantalla y sale de la aplicación. Si elige Seleccionar grupo, pasa luego a

Selección de letra, presentando la Hoja del Grupo seleccionado, genera un sonido, espera un nuevo evento por parte del usuario y así siguiendo.

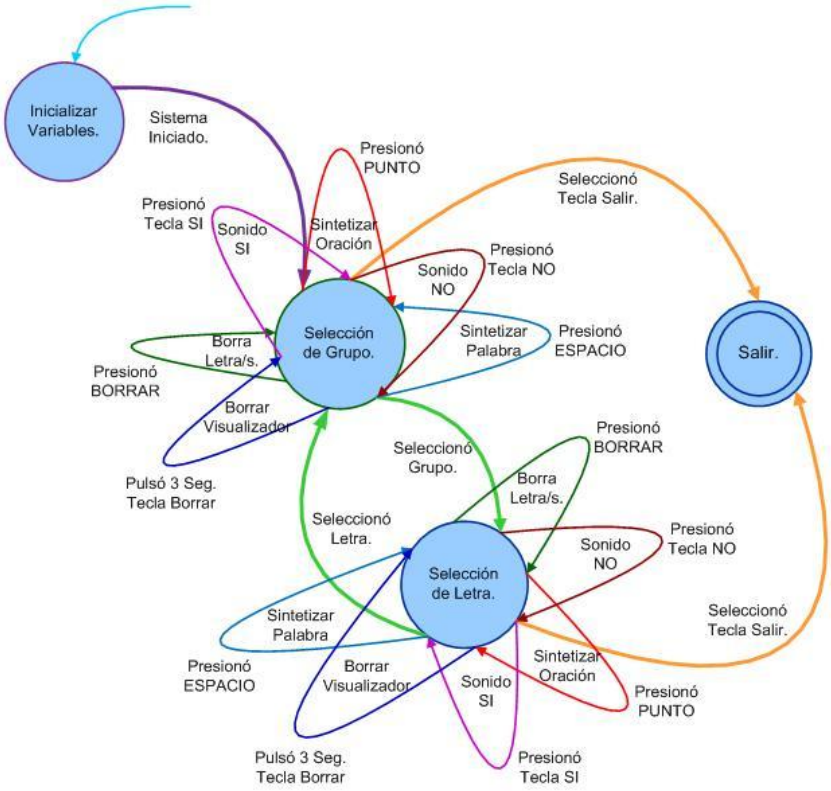
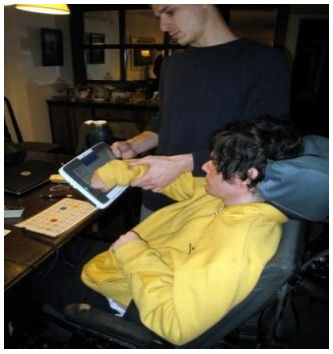


Figura 3. Diagrama de Estados de la aplicación Final

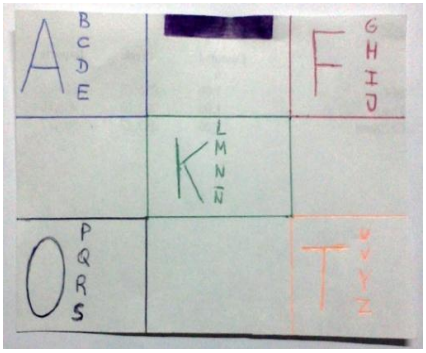
Resultados Obtenidos:

El software desarrollado fue implementado en un dispositivo de pantalla táctil, primeramente en una notebook a modo de prototipo, la cual fue reemplazada debido a que su pantalla táctil de tipo resistivo ofrecía cierta dificultad al usuario, y más tarde en una tablet con pantalla táctil de tipo capacitivo que mejoró la precisión de uso al ser más sensible al tacto.
En la Figura 4c, se puede apreciar la interfaz gráfica y las funciones adicionales, que mejora el método previamente utilizado (en papel) Figura 4b.



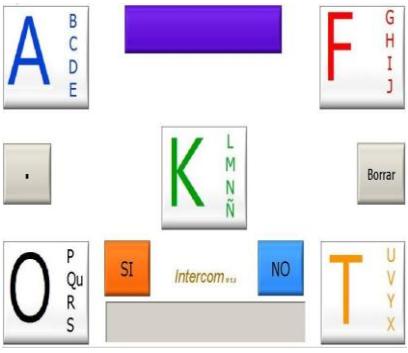
4a.

Juan Cobeñas utilizando el comunicador por primera vez.



4b.

Método utilizado por el usuario (en tarjetas de papel)



4c.

Interfaz gráfica de la Aplicación Final.

Figura 4.

Entre las funciones adicionales podemos mencionar: las teclas rápidas de SI y NO, en la parte superior, la función “espacio” que sintetiza a voz la última palabra escrita, la función “punto” que permite escuchar la frase completa y el indicador de la parte inferior que permite leer la frase completa.
La Figura 4ª es una fotografía de Juan Cobeñas utilizando el comunicador por primera vez. Actualmente, utiliza el software instalado en una tablet y se mantiene un permanente contacto con él, para determinar posibles mejoras del dispositivo desarrollado.

Conclusiones:

El dispositivo desarrollado ha permitido mejorar la calidad de vida del usuario, facilitando la comunicación con su entorno social, y al mismo tiempo, ayudar a los asistentes, no muy entrenados, a interpretar mejor lo que Juan Cobeñas quiere expresar.
La instrumentación aplicada a la mejora de la calidad de vida de las personas con discapacidades permanentes o temporales es un área desarrollada en el Espacio de Extensión de la UID UNITEC. Este trabajo es un claro ejemplo de cómo la Universidad se conecta con las necesidades de los miembros de la comunidad con necesidades especiales.
La UNLP ha realizado el registro de la propiedad intelectual del software desarrollado, bajo la denominación Intercom 1.3 – Comunicador Digital para casos de Parálisis Cerebral en octubre de 2012.

Agradecimientos:

Los autores de este trabajo desean agradecer a la empresa Tracnova S.A., el haber facilitado los recursos informáticos necesarios para la compilación y obtención del ejecutable de la aplicación desarrollada.

Bibliografía:

[1] http://www.indec.gov.ar/webcenso/ENDI_NUEVA/index_endi.asp,
[2] http://es.wikipedia.org/wiki/Par%C3%A1lisis_cerebral#cite_note-0, Abril 2012.
[3] Sitio Web Wikipedia, http://es.wikipedia.org/wiki/Psicomotricidad, Abril 2012.
[4] Dr Johm B. Bassett, “Parálisis Cerebral (PC)”, Health Library, escrito por Debra Wood, RN, 2012 http://johnbbassettdmd.com/PATIENTS/HEALTHLIBRARY/tabid/606/contentid/103766/Default.aspx,
[5] Sitio Web MegaBee: http://www.megabee.net/, Mayo 2012.
[6] Sitio Web Instituto Guttmann (Barcelona): http://www.guttmann.com/es-es/inicio.html, Mayo 2012.
[7] Videos, uso de interfases cerebrales y entornos virtuales para una vida más autónoma (Instituto Guttmann): http://www.technologyreview.es/video/?vid=809&channel=informatica, 2012.
[8] Sitio Web de National Instrument en español: http://www.ni.com/es/, Mayo 2012.
[9] Sitio web de National Instrument en español: http://www.ni.com/es/, Introducción a LabVIEWTM Curso de Seis-Horas, September 2003, Edition Part Number 323669B-01.
[10] José Rafael Lajara Vizcaíno y José Pelegrí Sebastiá, “LabVIEW Entorno gráfico de programación”, Alfaomega-Marcombo, Marzo 2007, Primera Edición.
[11] Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia). Curso Básico de LabVIEW 6i, Junio 2012. http://www.ie.itcr.ac.cr/einteriano/control/Labview/ParaAprender/Curso%20LabVIEW6i.pdf
[12] Instituto Universitario de Tecnología Cumaná (Venezuela). Departamento de Electricidad Instrumentación y Control. LabVIEW 7 Express Nivel 1, Febrero 2005. http://es.scribd.com/doc/39861792/LabVIEW-7-Nivel-1
[13] Trabajo Final de Ingeniería Electrónica. Juan Carlos Czerwien. 2012.

ESPACIO DE DESARROLLO DE RAMPAS TECNOLOGICAS PARA MEJORA DE LA ACCESIBILIDAD E INCLUSION

Flavio A. Ferrari[1], Jorge H. Massarutti[1], Antonio Sacco[1], Enrique Vázquez[1], José A. Rapallini[1,2], María C. Cordero[1]

[1] UNITEC, Unidad de Investigación y Desarrollo para la Calidad de la Educación en Ingeniería con orientación al uso de TIC, Facultad de Ingeniería, Calles 48 y 116, (1900) La Plata, corderomc@gmail.com
[2] CeTAD

Palabras clave: Necesidades Educativas Especiales (NEE), Discapacidad psicomotriz, Ayudas técnicas, Dispositivos especiales.

Resumen

En este trabajo se describen las actividades y desarrollos tecnológicos que surgen con la premisa de fortalecer los mecanismos que vinculan la Universidad con el medio, definiendo nuevas y mejores estrategias de extensión relacionadas con temáticas que se consideran de interés para la sociedad. Se busca promover la interacción teniendo en cuenta la complejidad, diversidad, actores y demandas de una parte muy sensible de la sociedad tal la determinada por Necesidades Educativas Especiales (NEE) y problemas derivados de diferentes discapacidades.

Introducción:

Actualmente hay más personas que, ya sea desde su nacimiento, por enfermedades en la infancia o por otro tipo de factores en la adultez se encuentran en la necesidad de utilizar nuevas tecnologías de ayuda técnica que les permitan aumentar sus capacidades disminuidas. En la República Argentina la Encuesta Nacional de Personas con Discapacidad (ENDI) señala que existen más de 2.000.000 de personas con discapacidad, siendo el 39,5% discapacidades motoras, 22% discapacidades visuales, 18% auditivas y 15% mentales.

.

Un niño con Necesidades Educativas Especiales es aquel que en comparación con sus compañeros se encuentra muy por debajo o muy por encima en cuanto a habilidades cognitivas y por ello requiere que se incorporen a su proceso de aprendizaje apoyos especiales o extraordinarios para que la curricula básica se adapte a ellos. Cada persona con una limitación funcional o discapacidad dará lugar a una rampa tecnológica

Los estudios recientes del Informe Mundial sobre la Discapacidad de las Naciones Unidas, muestran que las personas con discapacidad tienden a vivir en círculos viciosos de bajo nivel de educación y, posteriormente, en la pobreza. Este proyecto resulta de gran interés comunitario porque permite asegurar la entrega de herramientas construidas a requerimiento de los docentes y terapeutas a estas comunidades vulnerables.

La UID UNITEC (Unidad de Investigación y Desarrollo para la Calidad de la Educación en Ingeniería con orientación al uso de TIC) posee un espacio dedicado a la Extensión Universitaria donde también se llevan adelante tareas de docencia basada en la aplicación de las teorías de enseñanza aprendizaje basada en el desarrollo de competencias y aprendizaje por proyectos, y tareas de extensión e investigación relacionadas con la utilización de TICs y con la implementación y desarrollo de dispositivos electrónicos y desarrollos de software para resolver necesidades especiales nacidas a partir de diferentes tipos de discapacidades.

Desarrollo de las actividades

En la actualidad, son pocos los organismos que proporcionen estos dispositivos de bajo costo a la comunidad educativa para mejora de la calidad de vida, apoyo terapéutico y soporte de la enseñanza-aprendizaje, a los establecimientos de EE y sus integrantes.

El espacio de desarrollo de rampas tecnológicas para mejora de la accesibilidad e inclusión nace de la inquietud de docentes de Educación Especial que observaron la necesidad de contar con elementos didácticos y de ayuda técnica para las Necesidades Educativas Especiales (NEE) de sus alumnos con diferentes discapacidades, siendo necesario cubrir este requerimiento para brindar apoyo a su tarea educativa, como así también desarrollar dispositivos para facilitar la comunicación con los alumnos con mayor grado de discapacidad en el habla y la motricidad.

A partir de aquí, en este espacio de Extensión Universitaria se han desarrollado dispositivos tales como:

- Comunicador Pictográfico para comunicación aumentativa y alternativa. Figura 1.
- Adaptación de juguetes para niños con NEE pertenecientes a Escuelas Especiales estatales y privadas, tales como Dinosaurio y Robot para Jeremías (niño de 6 años con parálisis cerebral), Pato y Pianito (niñas mellizas, 2 años, parálisis cerebral), caballito y juego de encastre para escuela 531 (para niños con trastornos emocionales severos y autismo), pantalla vocales y dígitos para Escuela 535 para niños y adolescentes con retrasos madurativos y mentales. Figura 2 y 3 c.
- Diferentes tipos de Switch (pulsadores) tal como el Switch a varilla. Figura 3 b.
- Estudios y dipositivos sobre Control de Entorno y Domótica, Switch por soplido y/o aspiración, Switch por parpadeo, dentro de los Trabajos Finales de la Carrera de Ingeniería Electrónica que se ejecutaron en la UID.
- Desarrollos simple como la Pantalla de leds, para observación de imágenes simples: Letras (vocales), números y algunas figuras geométricas. Figura 3 a.
- Comunicador digital: Aplicación de software para tablets, que obtuvo el Registro de la propiedad intelectual en octubre de 2012.
- Comunicadores digitales basados en microprocesadores en etapa de ejecución.

Metodología de trabajo

Para el desarrollo cognitivo de todo niño es necesario abordar temáticas en forma conjunta con padres, educadores, terapistas, pedagogos y en ocasiones usuarios, a fin de indagar y detectar signos y necesidades que ameriten el desarrollo de dispositivos tecnológicos de ayuda y así lograr los objetivos curriculares específicos que permitan su inclusión en la sociedad y en determinados casos en la escolaridad común.

La puesta en marcha y seguimiento del uso de los dispositivos desarrollados sirve como eje articulador para reflexionar y debatir ideas respecto de las rampas tecnológicas necesarias para mejorar la calidad de vida de estas personas. Esta condición permite analizar la problemática bien desde las personas discapacitadas, bien desde los educadores especialistas en NEE. Como resultado se evita que estos niños y jóvenes queden indefectiblemente excluidos socialmente y se vean vulnerados sus derechos.

En las Escuelas y Establecimientos de Educación Especial (EEE) se ha detectado que un estímulo de gran importancia, en el mundo globalizado en que vivimos, es la convivencia con la tecnología. Por ello, se organizan y gestionan las actividades de la siguiente forma:
1- Se trabaja con la comunidad educativa especializada en NEE para encontrar soluciones a sus necesidades específicas (docentes de EE, autoridades escolares, sicólogos, pedadogos, médicos, algunos alumnos usuarios, padres y terapeutas), haciendo un relevamiento de la situación educativa y sociocultural.

2- Se implementan estrategias de seguimiento del uso de los dispositivos para su mejora.
3- Se evalúa la efectividad de los dispositivos para el usuario.
4- Se lleva adelante el Diseño, construcción de los equipos de adaptación.
5- Se realiza la Implementación de programas para PC´s relacionados con los equipos de adaptación.
6- Se colabora con la preparación de los docentes en el uso de dichas tecnologías (Figura 4).
7- Se logra el desarrollo de competencias en los alumnos que participan en el proyecto (Figura 4):
a) cognitivas y técnicas, donde se aglutinan rasgos concernientes a la adquisición de conocimientos tales como: la formación, preparación y competencia técnica; formación continua; innovación y superación. b) sociales, identificada por elementos como el compañerismo y las relaciones humanas; manejo de la comunicación y saber trabajar en equipo. c) éticas: integrada por rasgos como responsabilidad; honestidad; ética profesional y personal; prestación de mejores servicios a la sociedad; respeto, principios morales y valores profesionales. Y por último, d) afectivo emocionales, tales como la identificación con la profesión y la capacidad emocional.

Resultados

Las primeras experiencias realizadas en las EEE de La Plata han demostrado que el camino emprendido a través de la relación entre el alumno y la PC y sus adaptaciones es sumamente positivo. Se detectó la necesidad de desarrollar elementos de ayuda para el aprendizaje previo del uso del mouse, que involucra el desarrollo de la motricidad fina y la relación entre apretar una tecla y una acción posterior, por lo que se realizó la adaptación de juguetes a un mouse.

Otras escuelas con alumnos con bajo coeficiente intelectual, solicitaron: pulsadores de presión, vincha y puntero de control cefálico, teclado especial con teclas grandes (para facilitar la pulsación en casos de torpeza motora o bajo nivel de visión),etc.

Actualmente algunos dispositivos desarrollados se encuentran en etapa de mejora, otros en ejecución del desarrollo y algunos se encuentran en etapa de anteproyecto. Son dispositivos tales como:
• Comunicador pictográfico electrónico para tarjetas, utilizado para CAA (comunicación alternativa y aumentativa) por parte de personas con diversas necesidades especiales (Figura 1);
• Un sistema que permita jugar a dos niños con un juego común (como por ejemplo unos metegoles modernos llamados "air futbol") cuando uno de ellos tiene una discapacidad motriz importante.
• Distintos programas emuladores de teclado y/o de mouse que son los que acompañan a la utilización de los pulsadores.

La meta fundamental es el armado completo de elementos didácticos que permitan la familiarización de los niños y jóvenes con NEE, con la computadora; generación de destrezas motrices a través de juguetes electrónicos adaptados de acuerdo a las especificaciones de los terapeutas para el logro de determinada función. También se busca el desarrollo de juegos u otro elemento de interacción entre personas “normales” y aquellos con necesidades especiales, como por ejemplo adaptación de un “metegol electrónico” con la adaptación para un jugador cuadripléjico.

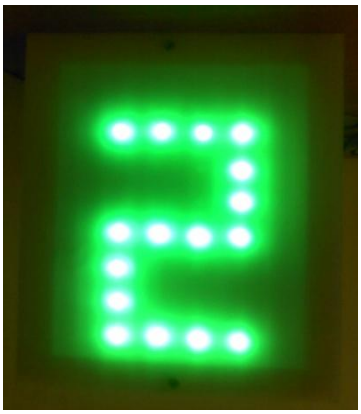


Figura 1. Comunicador pictográfico para comunicación aumentativa y alternativa



Figura 2. Adaptación de juguetes para facilitar a los alumnos con NEE el uso del mouse. Conceptualiza la idea de acción- reacción.

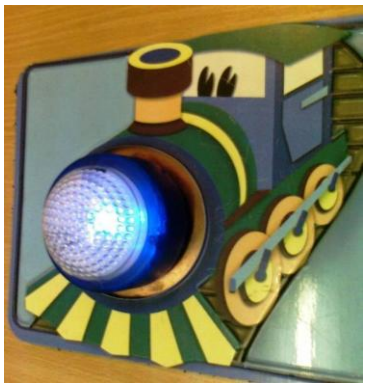
Figura 3. Otros dispositivos desarrollados



a. Pantalla (matriz de leds) para observación de imágenes simples: Letras (vocales), números y algunas figuras geométricas.



b.Switch a varilla para manejo de diferentes dispositivos PC, Comunicador pictográfico, etc



c.Juego de encastre luminoso. Desarrollo de habilidades motoras. Para atención temprana.

Figura 4 Actividades con alumnos y capacitación docentes





Mouse adaptado por docentes

Conclusiones:

La modalidad de trabajo adoptada favorece el trabajo en equipo, la búsqueda de soluciones innovadoras, el desarrollo de capacidades técnicas y prácticas para construir conocimientos y habilidades profesionales, el compromiso social y ético, y la conjunción de tareas de docencia, extensión e investigación educativa.

Los destinatarios de este proyecto de extensión, en primera instancia, son los Establecimientos de Educación Especial, que atienden a alumnos con necesidades educativas especiales con características tales como retardo mental, retrasos madurativos, ciegos y disminuidos visuales, sordos e hipoacúsicos, discapacitados motores, talentosos, con trastornos emocionales severos, con alteraciones en el desarrollo del lenguaje, los que realizan la atención temprana del desarrollo infantil, la formación laboral para todas las discapacidades, etc; en un continuo de prestaciones educativas que deben garantizar un proceso formativo integral flexible y dinámico del alumno desde su atención temprana (de 0 años) hasta su inserción socioeducativa y/o laboral. El uso temprano de estos dispositivos otorga mayores posibilidades de éxito para la inclusión en la comunidad de estos alumnos, niños y adolescentes con NEE, mejorando su calidad de vida. Los niños y jóvenes que concurren a Escuelas Especiales, para superar los obstáculos que se les presentan debido a su condición, necesitan herramientas innovadoras específicas para poder desenvolverse y lograr su inclusión en el medio.

Toda profesión se caracteriza por dos notas esenciales: el perfeccionamiento propio, ya que permite el desarrollo de las cualidades y potencialidades de la persona, en el marco de la responsabilidad moral, y el servicio a la comunidad, ya que el hombre es un ser social por naturaleza y en sus acciones personales debe procurar el bien de sus semejantes. El ejercicio de la ingeniería que no debe ser ajeno a los problemas sociales de nuestro tiempo, y debe inspirarse en actitudes de servicio y solidaridad. Otro de los objetivos de este espacio es ayudar a despertar la conciencia de la necesidad del desarrollo de una ética profesional en el ejercicio de la ingeniería que nos comprometa con el bienestar de las generaciones futuras

La experiencia desarrollada ha constituido una herramienta valiosa para la enseñanza universitaria, tanto para los estudiantes que han afianzado sus saberes y desempeño como futuros profesionales, como para el resto de profesionales y miembros de la comunidad en su papel de orientadores.

Se ha dado respuesta al desafío de integrar a la Universidad con la Sociedad para elaborar una respuesta útil y real de acuerdo a las necesidades planteadas por establecimientos de Educación Especial. Se aplicaron conocimientos de la comunidad universitaria, adquiridos

por los alumnos y guiados por la experiencia y capacidad de los docentes para culminar un proyecto con fines útiles a la sociedad.

La actividad de extensión emprendida es una tarea que nos dignifica como personas y docentes, ya que en ella nos encontramos acompañando y orientando alumnos de Ingeniería y pasantes de la Escuela Técnica Albert Thomas, tratando de ayudarlos a incorporar nociones de ética y de responsabilidad profesional, pues el individualismo y la superficialidad de criterio, han traído como consecuencia gravísimos problemas sociales..

Se ha invitado especialmente a este espacio de la UID UNITEC a la Jornada de homenaje a Francesco Tonucci, “Pensando en los niños y niñas”, desarrollando el Taller: Desarrollos Tecnológicos para la comunicación y educación, en la Escuela de Educacion Tecnica Nº 6, Albert Thomas durante 2012. También se ha participado en carácter de invitados en el Encuentro Latinoamericano de Telecomunicaciones, Cultura e Inclusión Digital “Patria Grande Conectada”, en Marzo de 2012 para disertar sobre el tema Generación de competencias tecnológicas para la inclusión digital, Tecnópolis – Buenos Aires.

Bibliografía:

1. Bouzán Matanza, José Manuel; Sacco, Antonio (2007) Actividades realizadas con el software Ardora aplicadas a las NEE, en Revista Comunicación y Pedagogía, Nº219, junio de 2007, pp.42-45.
2. Burbules, N y Callister, T. (2001) Educación: Riesgos y promesas de las nuevas tecnologías de la información, Barcelona, Gránica
3. DATUS (Diseño de Ayudas Técnicas bajo criterios de USabilidad) ¿Cómo obtener productos con alta usabilidad? Guía práctica para fabricantes de productos de la vida diaria y ayudas técnicas.Proyecto de investigación subvencionado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología con cargo al Programa Nacional de Diseño y Producción Industrial (Plan Nacional de I+D+I 2000/2003) cofinanciado con Fondos FEDER (DPI 2000-1108-C02) Instituto de Biomecánica de Valencia.
4. Wolfensberger, W. (2003). The future of children with significant impairments: What parents fear and want, and what they and others may be able to do about it. Syracuse, NY: The Training Institute for Human Service Planning, Leadership and Change Agentry, Syracuse University.
5. DIN EN ISO 9999: Assistive products for persons with disability - Classification and terminology (ISO 9999:2007).
6. Organización Mundial de la Salud. Clasificación Internacional de Deficiencias, Discapacidades y Minusvalías. IMSERSO. Madrid, 1997.
7. Organización Mundial de la Salud. Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud. IMSERSO.Madrid, 2001.
8. Gergen, Michael; Hagen, Dolores (1985) Computer technology for the handicapped, Minnesota, Closing the gap.
9. Hurtado Montesinos, Ma. Dolores; Soto Pérez, Francisco Javier (Coords.) (2005) La integración curricular de las tecnologías de ayuda en contextos escolares, Murcia, Consejería de Educación y Cultura de la Región de Murcia
10. Ministerio de Cultura y Educación de Argentina (1999) El aprendizaje en alumnos con necesidades educativas especiales. Orientaciones para la elaboración de adecuaciones curriculares, Buenos Aires, Ministerio de Cultura y Educación de la Nación
11. Rodríguez Vázquez, José; Sánchez Montoya, Rafael; Soto Pérez, Francisco Javier (Coords.) (2006) Las tecnologías en la escuela inclusiva: nuevos escenarios, nuevas oportunidades, Murcia, Consejería de Educación y Cultura de la Región de Murcia
12. WebPage Ing. Antonio Sacco: http://www.antoniosacco.net
13. Trabajo Final de Ingeniería Electrónica. Comunicador pictográfico, Tenti –Santillán. 2011
14. Trabajo Final de Ingeniería Electrónica. Switch a varilla y adaptador plug-usb, Luciano Nicola. 2012

MODELIZACIÓN NUMÉRICA PARA EL ESTUDIO DE CELDAS SOLARES BASADAS EN NANOESTRUCTURAS SEMICONDUCTORAS

Cédola Ariel P., Cappelletti Marcelo A., Casas Guillermo A. y Peltzer y Blancá Eitel L.

Grupo de Estudio de Materiales y Dispositivos Electrónicos (GEMyDE),
Dpto. de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata,
48 y 116, CC.91, La Plata (1900), Argentina (gemyde@ing.unlp.edu.ar)

Palabras claves:
Simulación numérica, semiconductores, celdas solares, puntos cuánticos, nanotecnología.

1. INTRODUCCIÓN

El avance de la nanotecnología ha abierto paso a nuevas investigaciones y desarrollos con aplicaciones en diversas áreas tales como la informática, medicina o fuentes de energía alternativas, que prometen mejorar la calidad de vida de la humanidad conservando y protegiendo el medio ambiente.

Precisamente en el campo de la energía, el estudio de dispositivos fotovoltaicos basados en nanoestructuras semiconductoras ha cobrado especial relevancia en los últimos años, a partir de cálculos teóricos que predicen para esta clase de dispositivos, por ejemplo celdas solares de banda intermedia basadas en puntos cuánticos (QDSCs: *Quantum Dots Solar Cells*), eficiencias superiores al 60% [1], aproximadamente el doble de las eficiencias disponibles en el mercado actual para silicio o materiales III-V.

Los QDs son nanoestructuras cuyo bandgap puede ser modificado variando el tamaño de los mismos, lo que los hace sumamente útiles para aplicar ingeniería de bandgap (bandgap engineering) al diseño de dispositivos. En el caso de las QDSCs, los QDs introducen niveles de energía permitidos en el bandgap del semiconductor matriz, usualmente denominado *barrera*, permitiendo que fotones de menor energía sean absorbidos y de esta manera se genere un mayor número de pares electrón-hueco [2]. Si bien la fotocorriente se incrementa, la reducción de la tensión de circuito abierto observada en todos los casos hace que la eficiencia de estas celdas caiga por debajo de la eficiencia de celdas convencionales sin QDs. Es por ello que, a partir de los numerosos trabajos experimentales desarrollados por grupos de todo el mundo con resultados no demasiado alentadores [3-7], resulta imperativo un análisis detallado de las QDSCs desde el punto de vista de la modelización, a fines de comprender las bajas eficiencias alcanzadas en la práctica (< 15%) y de obtener diseños con prestaciones más cercanas al límite teórico.

En este trabajo se presenta el estudio mediante simulaciones por computadora de celdas solares de GaAs con puntos cuánticos de InAs (InAs/GaAs QDSCs). El propósito es investigar desde el punto de vista teórico la interacción entre los QDs y el semiconductor matriz, y analizar detalladamente la influencia de la densidad y cantidad de capas de los QDs sobre la respuesta de la celda a la radiación solar. El modelo implementado, basado en ecuaciones de arrastre-difusión para el GaAs y ecuaciones de tasas para cada nivel de energía de los QDs, reproduce satisfactoriamente mediciones experimentales y resulta de suma utilidad para el análisis y diseño de dispositivos fotovoltaicos basados en nanoestructuras.

2. PUNTOS CUÁNTICOS

Los QDs son nanoestructuras semiconductoras que confinan el movimiento de los electrones de la banda de conducción y los huecos de la banda de valencia en las tres

dimensiones espaciales. La Fig. 1 muestra las dimensiones típicas de un QD en comparación con diferentes elementos [8].

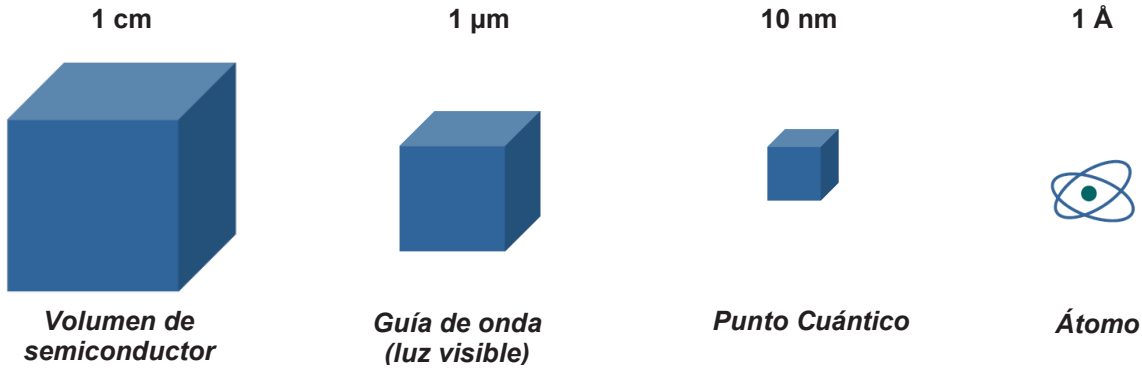


Fig. 1. Comparación entre las dimensiones típicas de distintos elementos.

El método de Stranski-Krastanow es el más utilizado actualmente para el crecimiento de QDs. Se trata básicamente de depositar el material semiconductor de los QDs sobre un substrato (o matriz) con diferente constante de red. Como consecuencia de la tensión (*strain*) entre ambas redes cristalinas, los átomos del material depositado tienden a organizarse en pequeñas islas minimizando la tensión superficial, con lo cual, tras el crecimiento de una delgada capa bi-dimensional denominada Wetting Layer, quedan formados los QDs. Debido a las características del proceso, estas estructuras se conocen como QDs auto-ensamblados. En la Fig. 2a puede observarse una imagen AFM de una capa de QDs fabricada con el método Stranski-Krastanow. La Fig. 2b muestra un esquema idealizado de la formación de QDs, en este caso piramidales, y la Wetting Layer cubriendo el substrato. Una desventaja de este método de fabricación radica en que no es posible controlar de manera precisa las ubicaciones, densidades y tamaños de los QDs.

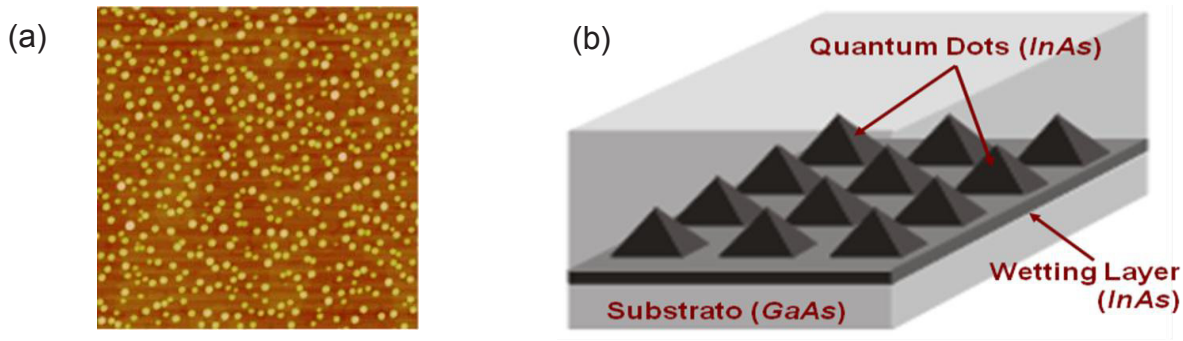


Fig. 2. (a) Imagen AFM de una capa de QDs de InAs (coverage=3.1 ML) y (b) esquema de una capa de QDs piramidales y la delgada Wetting Layer.

La estructura de bandas de los QDs consiste de un nivel de energía fuertemente confinado (Ground State, GS), uno o varios niveles excitados (Excited States, ES), ambos con densidad de estados (DOS) 0-dimensional, y un estado para la Wetting Layer, cuya DOS es bi-dimensional. La separación de energía entre los distintos niveles y por ende el espectro de absorción de los QDs, están directamente relacionados a su tamaño y forma (pirámide, cono, lente) [8]. El espectro de absorción de cada nivel adquiere una forma gaussiana producto de la no uniformidad del tamaño y composición de cada QD. La Wetting Layer (WL) juega un papel preponderante en la fotogeneración por luz solar, dado que su coeficiente de absorción es mucho mayor que el de GS y ES para densidades de QDs normales (del orden de 10^{10} cm^{-2}). Sin embargo, los espectros de absorción de estos dos

niveles son proporcionales a la densidad de los QDs, lo que significa que para altas densidades (>10^{11} cm^{-2}) la fotogeneración a través de GS y ES se vuelve importante.

3. CELDAS SOLARES DE PUNTOS CUÁNTICOS (QDSCs)

Las QDSCs son básicamente estructuras semiconductoras *p-i-n* con capas de QDs embebidas en la región intrínseca, Fig. 3a. Estas capas introducen niveles de energía discretos que facilitan la absorción de fotones con energías por debajo del bandgap del semiconductor matriz, lo que da lugar a una eficiencia cuántica más amplia y, según la calidad del dispositivo, a una mayor o menor corriente de cortocircuito.

En el caso de celdas solares de GaAs con QDs de InAs, el diagrama de bandas resulta como el mostrado en la Fig. 3b, en la cual se pueden observar además los distintos procesos de captura y escape de portadores, así como los procesos de fotogeneración y recombinación, todos ellos tenidos en cuenta en el modelo desarrollado. Los estados bi-dimensionales (WL) y 0-dimensionales (GS, ES) de los QDs están acoplados entre sí a través de procesos de captura y escape térmicos de electrones y huecos, y a su vez estos estados son capaces de interactuar con los estados 3-dimensionales del semiconductor matriz, el GaAs, mediante procesos similares. Esto significa que, por ejemplo, los electrones fotogenerados en la WL de una capa de QDs pueden ganar energía y escapar hacia la banda de conducción del GaAs, o bien pueden perder energía y ser capturados por el nivel inferior ES. Los portadores fotogenerados en los QDs que alcanzan el semiconductor matriz son los que contribuyen a incrementar la fotocorriente de la celda. Cada proceso de escape y captura es función de una constante de tiempo característica. Los tiempos de captura se conocen a partir de mediciones experimentales o cálculos de primeros principios [8], mientras que los tiempos de escape se pueden estimar teniendo en cuenta que en equilibrio térmico, las tasas de escape y captura de cada nivel deben ser iguales. La suma de todas las tasas asociadas a cada nivel debe ser cero en condiciones de estado estacionario. Si bien existen indicios acerca de otros procesos que facilitan la extracción de portadores desde los QDs hacia el semiconductor matriz, como el efecto túnel a través de las barreras de potencial entre capas o excitaciones ópticas secundarias con fotones de muy baja energía, estos efectos no son tenidos en cuenta en el modelo actual.

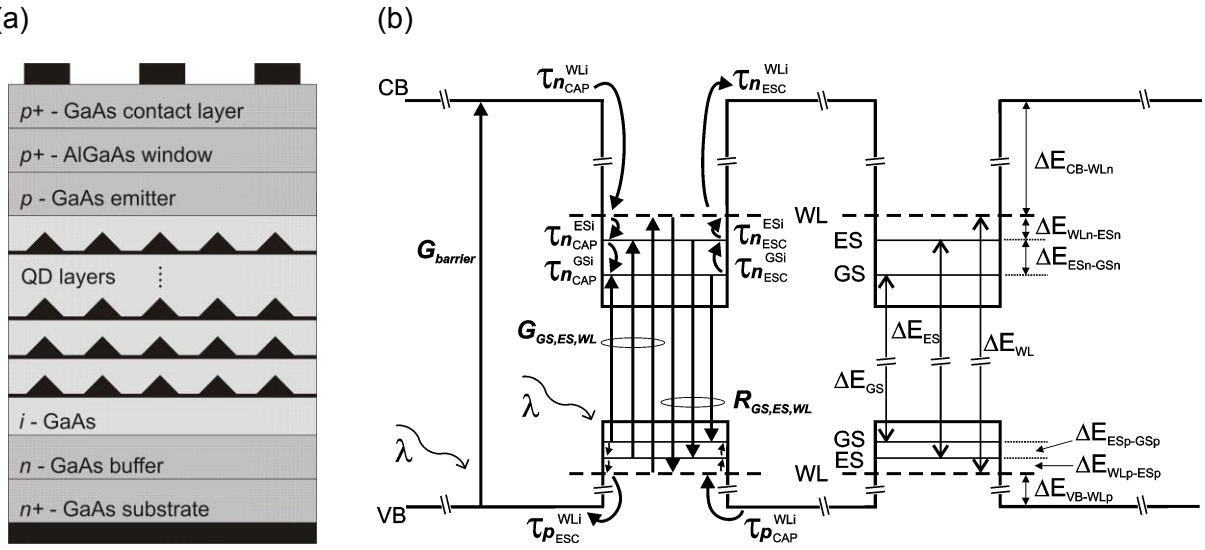


Fig. 3. (a) Estructura de una QDSC: la región intrínseca contiene varias capas apiladas de QDs y (b) diagrama de bandas de energía de una celda de InAs/GaAs con el detalle de los distintos procesos involucrados.

4. MODELO NUMÉRICO

El modelo propuesto para el análisis mediante simulaciones numéricas de las QDSCs de InAs/GaAs está basado en las ecuaciones básicas de los semiconductores [9], es decir, ecuación de Poisson (1) y ecuaciones de continuidad de electrones (2a) y huecos (2b) para el GaAs, en el modelo de transporte de arrastre-difusión (3a)-(3b), y en ecuaciones de tasas para cada nivel cuántico de energía (4a)-(4c). Solo las ecuaciones de tasas para los electrones en los QDs se detallan a continuación, las ecuaciones para huecos son análogas y se omiten.

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = -\frac{q}{\varepsilon}\left(p - n + N_d^+ - N_a^- + p_{WL_i} - n_{WL_i} + p_{ES_i} - n_{ES_i} + p_{GS_i} - n_{GS_i}\right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{1}{q}\frac{\partial J_n}{\partial x} - R_B + G_B + \sum_i \left(R_{nESC}^{WL_i \to B} - R_{nCAP}^{B \to WL_i}\right) \quad (2a)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{1}{q}\frac{\partial J_p}{\partial x} - R_B + G_B + \sum_i \left(R_{pESC}^{WL_i \to B} - R_{pCAP}^{B \to WL_i}\right) \quad (2b)$$

$$J_n = -q\mu_n n\frac{\partial V}{\partial x} + qD_n\frac{\partial n}{\partial x} \quad (3a)$$

$$J_p = -q\mu_p p\frac{\partial V}{\partial x} - qD_p\frac{\partial p}{\partial x} \quad (3b)$$

$$\frac{\partial n_{WL_i}}{\partial t} = R_{nCAP}^{B \to WL_i} - R_{nESC}^{WL_i \to B} - R_{nCAP}^{WL_i \to ES_i} + R_{nESC}^{ES_i \to WL_i} - R_{WL_i} + G_{WL_i} \quad (4a)$$

$$\frac{\partial n_{ES_i}}{\partial t} = R_{nCAP}^{WL_i \to ES_i} - R_{nESC}^{ES_i \to WL_i} - R_{nCAP}^{ES_i \to GS_i} + R_{nESC}^{GS_i \to ES_i} - R_{ES_i} + G_{ES_i} \quad (4b)$$

$$\frac{\partial n_{GS_i}}{\partial t} = R_{nCAP}^{ES_i \to GS_i} - R_{nESC}^{GS_i \to ES_i} - R_{GS_i} + G_{GS_i}\,. \quad (4c)$$

El potencial electrostático (V), las densidades de electrones (n) y huecos (p) en el GaAs y las poblaciones de los estados de los QDs (p_{WLi}, n_{WLi}, p_{ESi}, n_{ESi}, p_{GSi}, n_{GSi}) son las incógnitas a determinar a través del código computacional. El índice i hace referencia a una determinada capa de QDs. R_B y G_B son las tasas de recombinación neta y fotogeneración en el GaAs, respectivamente. Las tasas de recombinacion y fotogeneración en los QDs están representadas por $R_{WL,ES,GS}$ y $G_{WL,ES,GS}$. $R_{n(p)ESC}^{\alpha \to \beta}$ y $R_{n(p)CAP}^{\beta \to \alpha}$ son las tasas de escape y captura de portadores, desde y hacia los QDs o la barrera, siendo α=WL, ES, GS y β=B, WL, ES. Las expresiones de estas tasas están dadas por

$$R_{n(p)ESC}^{\alpha \to \beta} = \frac{n(p)_\alpha}{\tau_{n(p)ESC}^{\alpha}}\left(1 - \frac{n(p)_\beta}{DOS_\beta}\right) \quad (5a)$$

$$R_{n(p)CAP}^{\beta \to \alpha} = \frac{n(p)_\beta}{\tau_{n(p)CAP}^{\alpha}}\left(1 - \frac{n(p)_\alpha}{DOS_\alpha}\right), \quad (5b)$$

donde $\tau_{n(p)ESC,CAP}^{\alpha}$ es la constante de tiempo de cada proceso y $DOS_{\alpha,\beta}$ es la densidad total de estados de cada nivel de energía, dada por el producto entre el factor de degeneración y la densidad de QDs. Para la barrera, equivale a la densidad efectiva de estados en las bandas de conducción y valencia. El significado de los restantes parámetros encontrados en las ecuaciones (1)-(3) es el convencional [9].

El conjunto completo de ecuaciones es adecuadamente normalizado y discretizado sobre una malla 1D planteada sobre la geometría del dispositivo, aplicando diferencias finitas y el método de Scharfetter-Gummel para las expresiones de las corrientes. El sistema resultante se resuelve utilizando el método desacoplado de Gummel [9].

5. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

El modelo desarrollado ha sido aplicado al estudio de QDSCs de InAs/GaAs y a la influencia de ciertos parámetros tecnológicos sobre la performance de estos dispositivos. A fines de validar el modelo con resultados experimentales recientes, se ha simulado una celda con 20 capas de QDs de densidad 4x10^{10} cm^{-2}, similar a la presentada en [5]. La separación entre niveles de energía se fijó en los siguientes valores: ΔE_{BC-WLn} = 180 meV, $\Delta E_{WLn-ESn}$ = 62 meV, $\Delta E_{ESn-GSn}$ =70 meV, ΔE_{BV-WLp} = 28 meV, $\Delta E_{WLp-ESp} = \Delta E_{ESp-GSp}$ = 16 meV. Todos los cálculos han sido realizados a 300 K, considerando el espectro solar AM1.5G a 0.1 W/cm^2. La Fig. 4a muestra el diagrama de bandas de energía del dispositivo en cortocircuito bajo iluminación, y los cuasi-niveles de Fermi de los portadores en el GaAs y en cada nivel de los QDs. Como se puede apreciar, el índice de ocupación en cada capa de QDs es cercano a cero, excepto en las capas vecinas a las regiones *p* y *n* de la celda en las cuales se aproxima a uno. La Fig. 4b muestra la comparación entre la curva *VI* experimental y la obtenida a partir de las simulaciones, para la celda con y sin QDs embebidos. Los resultados teóricos concuerdan muy bien con los publicados en la literatura, otorgando validez al modelo implementado. Los parámetros de ajuste que se han considerado son los dopados del GaAs, los tiempos de vida de portadores minoritarios en el GaAs y los tiempos de recombinación de los QDs. Se puede observar una reducción de la tensión de circuito abierto (V_{OC}) en la QDSC (de 0.81 V a 0.76 V aprox.) y un leve incremento de la corriente de cortocircuito (J_{SC}) (de 14.63 mA/cm^2 a 15.23 mA/cm^2 aprox.), ambos efectos en total concordancia con los resultados publicados en la literatura sobre QDSCs de InAs/GaAs sin dopado en la región intrínseca. El incremento favorable de J_{SC} se produce debido a la absorción de fotones por encima del límite del GaAs (900 nm) por parte de los QDs, tal como se puede apreciar en el gráfico de la respuesta espectral, Fig. 5a.

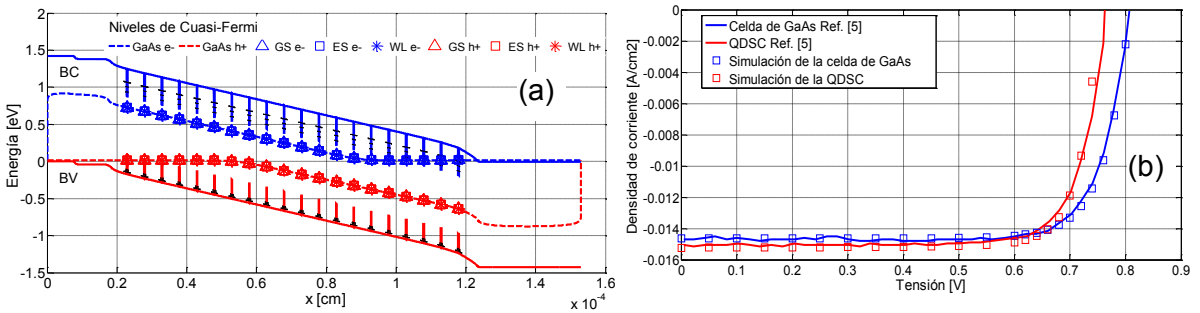


Fig. 4. (a) Diagrama de bandas de la QDSC de 20 capas simulada bajo iluminación con V=0 y (b) comparación entre curvas *VI* teóricas y experimentales.

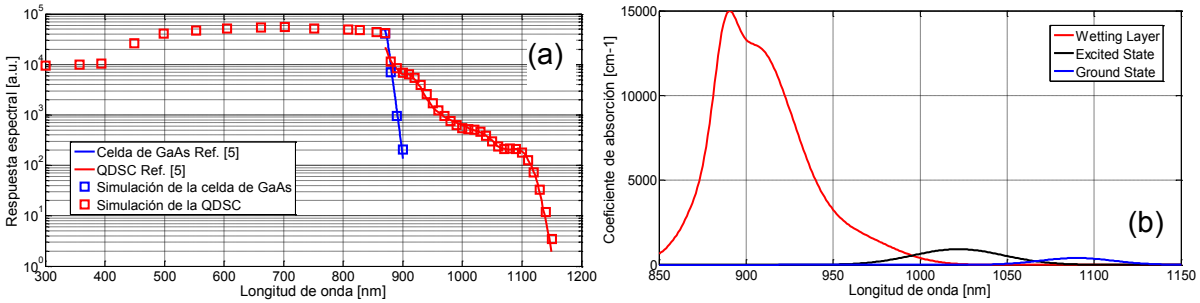


Fig. 5. (a) Comparación de la respuesta espectral experimental y teórica de la celda estudiada y (b) espectro de absorción de QDs estimados a partir de mediciones [5].

El espectro de absorción considerado para WL, ES y GS es el mostrado en la Fig. 5b, el cual fue estimado de modo de ajustar las simulaciones con la curva experimental de la respuesta espectral extraída de [5]. La WL es tratada en el modelo como una WL efectiva, que incluye propiedades de al menos un segundo ES centrado próximo a los 960 nm.

A fines de investigar la influencia de distintos aspectos de diseño sobre el desempeño de las QDSCs, se realizaron simulaciones variando tanto la cantidad de capas de QDs como la densidad de los mismos. La estructura del dispositivo analizada es idéntica a la anterior, con la salvedad que en este caso no es tenida en cuenta la reflectividad en la superficie frontal de la celda. Además, diferentes niveles de energía para WL, ES y GS son considerados, asumiendo QDs de diferente tamaño y forma en comparación con los cálculos previos. La Fig. 6a muestra curvas *VI* para celdas con 20 y 100 capas. Aumentando tanto el número de capas de QDs como la densidad de QDs en cada capa se incrementa la corriente de cortocircuito J_{SC}, al mismo tiempo que se reduce la tensión de circuito abierto V_{OC} debido al aumento de la tasa de recombinación de portadores a través de los niveles de los QDs.

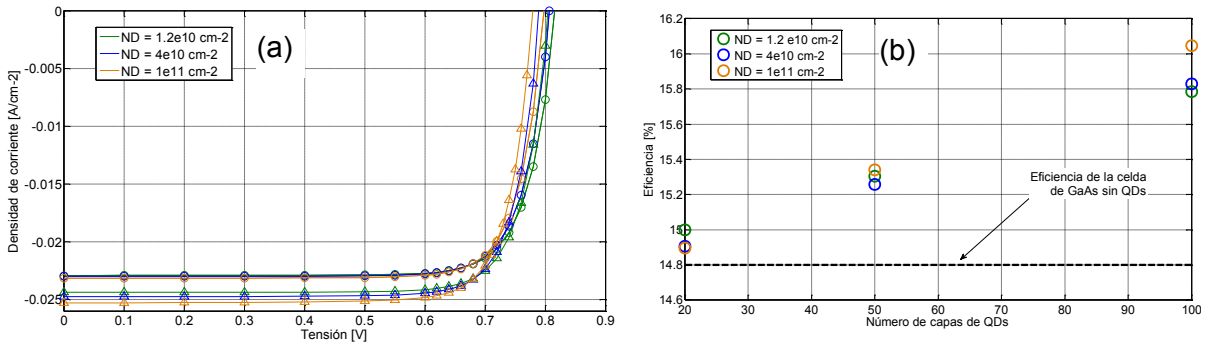


Fig. 6. (a) Curvas *VI* para tres densidades de QDs, con 20 capas (círculos) y 100 capas (triángulos) y (b) eficiencia de las QDSCs en función de número de capas y densidad.

La eficiencia de la celda solar está dada por el cociente entre la potencia máxima obtenible y la potencia incidente. La potencia máxima es proporcional a J_{SC} y V_{OC}. A pesar de la reducción de V_{OC} con la densidad de QDs y el número de capas, se puede observar en la Fig. 6b una notable mejora en la eficiencia de las QDSCs respecto a la celda de GaAs. Debe tenerse en cuenta que el número de capas a apilar está limitado por el *strain* introducido en la red cristalina de la barrera durante el crecimiento de los QDs.

6. CONCLUSIONES

Se ha implementado un modelo numérico para la simulación de celdas solares con puntos cuánticos (QDSCs). El modelo reproduce satisfactoriamente resultados experimentales, y resulta de suma utilidad para el análisis y diseño de dispositivos fotovoltaicos basados en este tipo de nanoestructuras.

7. REFERENCIAS

[1] A. Luque et. al, Phys. Rev. Lett., Vol. 78, N. 26, pp. 5014-5017 (1997).
[2] A. J. Nozik, Phys. E, Vol. 14, pp. 115-120 (2002).
[3] D. Guimard *et al*, Appl. Phys. Lett., Vol. 96, N. 20, p. 203507 (2010).
[4] X. J. Shang *et al*, Appl. Phys. A, Vol. 103, N. 2, pp. 335-341 (2011).
[5] K. Sablon et al., NanoLetters, 11, 2311-2317, 2011.
[6] G. Jolley et al, Prog. Photovolt: Res. Appl. (2012).
[7] S. Hubbard et al, Proc. 4th IEEE World Conf. on Photovolt. Energy Conv., p.118 (2006).
[8] D. Bimberg et al, Quantum dot heterostructures, Wiley (1999).
[9] S. Selberherr, Analysis and simulation of semiconductor devices, Springer-Verlag (1984).

ESTUDIO SOBRE MATERIALES PARA LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO CON CELDAS SOLARES Y PARA SU ALMACENAMIENTO.

Rocío Napán M[(1)] y Eitel L. Peltzer y Blancá[(1)]
Grupo de Estudio de Materiales y Dispositivos Electrónicos, Facultad de Ingeniería-UNLP (GEMyDE FI-UNLP) 48 y 116 La Plata (1900) eitelpyb@ing.unlp.edu.ar

Resúmen

Es importante tener conciencia de los efectos de la degradación del medio ambiente producidos por la generación de energía con combustibles sólidos, etc. Los estudios sobre remediación de esos efectos, son arduos y extendidos en el tiempo. Esto ha impulsado la investigación de formas de generación de energía menos contaminantes. El hidrógeno (H), o los compuestos que lo posean y que puedan liberarlo en forma controlada son una de las respuestas a este problema.

La utilización de H como combustible implica la necesidad de almacenarlo. Los sólidos, pueden contener mucha más cantidad de H que cuando está comprimido o en estado líquido, presentando además un mayor índice de seguridad. De esta manera, el H no debe considerarse como una fuente primaria de energía, sino como un vector energético, que es capaz de almacenarla, transportarla y liberarla. El litio (Z=3) y el berilio (Z=4), son elementos livianos, que forman compuestos sólidos estables con el H. Estos materiales se han comenzado a estudiar en forma teórica, tratando de establecer cuál sería el más conveniente para su utilización como reservorio de hidrógeno.

Como el H no se encuentra en estado libre, sino en forma de compuestos, se propone obtenerlo del agua por medio de fotoelectrólisis, mediante el uso de celdas solares (CS). Para poder realizar la disociación del agua, se debe generar una diferencia de potencial de aproximadamente 1.8 eV. No es posible conseguir estas diferencias de potencial en cualquier celda solar, por lo que se deben estudiar materiales apropiados para que las CS puedan generar esta energía.

Uno de los materiales aplicables a CS que se está estudiando es el TiO_2 con impurezas de metales 3d en su estructura. Tal estas puedan generar en el TiO_2 (usado en celdas solares) niveles de energía capaces de producir el potencial necesario para disociar el agua, liberando hidrógeno. Para este estudio se deben generar superceldas cristalinas de aproximadamente 100 átomos.

Palabras claves: Metales de transición 3d, fotoelectrólisis, sistemas de almacenamiento Li/Be-H, energía solar, band gap.

1.INTRODUCCION

En la actualidad el uso de fuentes de energías no renovables, es un motivo de gran preocupación por el impacto ambiental y costos de remediación que se generan.El camino a seguir es la producción de hidrógeno mediante tecnologías no contaminantes, las cuales serán imprescindibles durante las próximas décadas[1], en un futuro próximo, el H será considerado como el combustible ideal del futuro.

Con este propósito, la investigación de materiales semiconductores para la producción de hidrógeno, se ha convertido en una importante herramienta. Con esta finalidad, hemos estudiado el dióxido de titanio, utilizado principalmente en dos aplicaciones: la purificación del medio ambiente y la conversión de energía solar.

La eficiencia de conversión de energía solar para el TiO_2 es muy baja, debido a que su ancho de banda prohibida es demasiado grande para una eficiente absorción de fotones dentro del espectro solar, este material posee un ancho de banda prohibida de aproximadamente 3.0

eV [2,3,4], por lo que, se le debe introducir alguna impureza, tal que se genere un nivel de energía en la banda prohibida, obteniéndose una diferencia entre niveles de energía, de al menos 1.23 eV, necesarios para la disociación del agua en el proceso de fotoelectrólisis. La fotoelectrólisis del TiO_2 se puso en evidencia en 1972 cuando Fujishima y Honda[5] realizaron investigaciones sobre un electrodo de n-TiO_2 irradiado con luz de longitud de onda más corta que el equivalente a su banda prohibida (aproximadamente 415 nm ~ 3 eV) y detectaron que el agua podía descomponerse en hidrógeno y oxígeno, mediante la absorción de luz en el rango del visible, sin la aplicación de voltajes externos.

En virtud de la posibilidad de obtener H del agua mediante la fotoelectrólisis, se esta estudiando la forma de almacenarlo. Los metales Li y Be forman con el H, hidrúros metálicos. Una de las condiciones necesarias que deben cumplir los nuevos compuestos, es que seán metaestables, es decir, el hidrógeno podría ser fácilmente liberado sin coste excesivo de energía[2]. Por esta razón se ha realizado una investigación teórica y sistemática para diseñar posibles materiales para el almacenamiento. La mecánica para esta tarea es obtener el mínimo de energía de las diferentes estructuras cristalinas de los hidruros, determinar las estabilidades de los diferentes compuestos y, a continuación, enfocarnos en la determinación del compuesto más conveniente como reservorio de H.

2. PARTE TEÓRICA

La investigación se ha realizado por medio de códigos ab-initio de alta precisión, basados en la Teoría de la Funcional Densidad (DFT). El mecanismo utilizado fue obtener las energías totales (E) en función del volumen (V). Usando la ecuación de estado de Murnagham [6] para ajustar las curvas E vs.V, se han obtenido los volúmenes de equilibrio (V_o), el módulo de bulk (B), la derivada de B con respecto a la presión, etc. Las soluciones se obtienen por medio de una solución autoconsistente de las ecuaciones planteadas.

Uno de los códigos ab-initio utilizado fue el full-potential non-orthogonal local-orbital minimum basis scheme (FPLO). El código se basa en una combinación lineal de superposición de orbitales no-ortogonales. Los valores se obtuvieron en el marco de la utilización de la aproximación de gradiente generalizado propuesta por Perdew, Burke, y Ernzerhof (PBE-GGA) [7]. Los cálculos fueron completamente convergidos en densidades de carga y en número de puntos k del espacio recíproco.

El segundo método utilizado fue el Linear Augmented Plane Wave (LAPW) [8] (WIEN2k), el cual divide el espacio del sólido en esferas atómicas no superpuestas de radio R_{MT}, que rodean a los núcleos y espacio intersticial. Las funciones de onda solución de las ecuaciones de Kohn y Sham (tipo Schroedinger) se expanden en armónicos esféricos dentro de esferas atómicas y en ondas planas en la región intersticial. Para los cálculos en función del volumen, tomamos el R_{MT} = 1,55 u.a para el Be y 0,83 u.a. para la H en los compuestos Be-H, mientras que el R_{MT} para Li y H en los compuestos Li-H fue 1,74 u.a y 0,94 u.a. respectivamente. El momento angular máximo l, para la expansión de la función de onda en armónicos esféricos, se tomó como l_{max} = 10. La cantidad de puntos k usados dependen de las estructuras estudiadas, en promedio se han utilizado, aproximadamente, 2000 puntos k en toda la zona de Brillouin. La funcional de correlación-intercambio utilizada con estos códigos fue la PBE-GGA. Todos los cálculos fueron totalmente convergidos para garantizar la mejor calidad de los resultados.

Los cálculos de la estructura de banda son una importante herramienta para entender algunos aspectos de las propiedades electrónicas de los materiales. En general, la exactitud de los resultados es muy buena, sin embargo, la determinación del ancho de la banda prohibida de los aislantes y semiconductores es errónea. La DFT es una teoría del estado fundamental y subestima el valor de la banda prohibida. Hace algún tiempo, Becke y Johnson [9], formularon el método Potencial Efectivo de Optimización (OEP), donde proponen un potencial de intercambio (mBJ) que mejora sustancialmente los valores de la banda prohibida obtenidos con otros potenciales de intercambio. Este potencial ha sido utilizado en nuestros cálculos.

Para realizar los cálculos de los sistemas M-TiO_2 (M=metal 3d) donde se introdujeron las impurezas M, empleamos superceldas 2x2x2 de 48 átomos, que consisten de 8 celdas unitarias(axaxc) de TiO_2, con dimensiones 2ax2ax2c, en fase ortorrómbica y espacio puntual (C_{mmm}), correspondientes a una concentración de impureza de 2,08%(x=0.0208), los radios de las esferas atómicas fueron: para los metales de transición M (Cr, Mn, Fe, Co , Ni y Cu) R_{MT} =1.82 u.a, para el átomo de Ti ,1.89 u.a, y para el átomo de O, 1.61 u.a. La integración en un espacio recíproco fue llevado a cabo tomando 50 puntos k en la zona completa de Brillouin (BZ).

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Densidad de Estados del sistema TiO_2 con impurezas metálicas (M-TiO_2)

Los cálculos se realizaron para los sistemas cristalinos M-TiO_2, a las estructuras se les permitió relajarse(modificar las distancias interatomicas) cuando se introdujo la impureza y adicionalmente se les aplicó el potencial mBJ para determinar sus estructuras de banda.

La introducción de dopantes 3d en el compuesto TiO_2 produce una reducción del tamaño de la banda prohibida que depende del tipo de átomo-impureza presente. Estos a su vez generan niveles próximos al nivel de Fermi en la banda prohibida.

Las densidades de estados (DOS) de los sistemas M-TiO_2 son descritos de la siguiente manera: **Cr-TiO_2 y Mn-TiO_2**, el ancho de banda prohibida del Cr-TiO_2 (Mn-TiO_2) tienen un valor de 1.98 eV (1.61 eV) y se evidencia que su banda de valencia está formada principalmente de estados O-2p, y la banda de conducción consiste de estados Ti-3d e impurezas de Cr(Mn). En la banda de valencia se hibridizan los estados O-2p y Ti-3d. Por otra parte, los niveles de impurezas también participan en la zona superior de los orbitales t del TiO_2, formados por los estados Cr (Mn)-d_{xy} y Cr (Mn)-d_{xz}. La banda de conducción del Cr-3d se divide en dos partes, un nivel superior y otro inferior correspondiéndose con los orbitales e_g y t_{2g}. Esta división ayuda a reducir el ancho de la banda prohibida, de esta manera, los electrones en la banda de valencia pueden pasar a la de conducción, por la absorción de luz visible, debido a los niveles de energía generados por las impurezas.

Fe-TiO_2 y Co-TiO_2, el nivel de energía correspondiente a la impureza Fe/Co está ubicado en el tope de la banda de valencia del TiO_2. Este nivel es ocupado por 4 electrones (Fe) (o 5, caso Co). El estado Fe(Co)-e_g está dividido en los orbitales, d_{z2} y d_{x2-y2} , situados en la banda prohibida.

Ni-TiO_2 y **Cu-TiO_2,** los estados del Ni(Cu) t_{2g} y Op_{π} aparecen en la banda de valencia. Los orbitales d_{z2} y d_{x2}-d_{y2} del estado del Ni(Cu)-e_g están localizados en la banda prohibida (Fig 1).

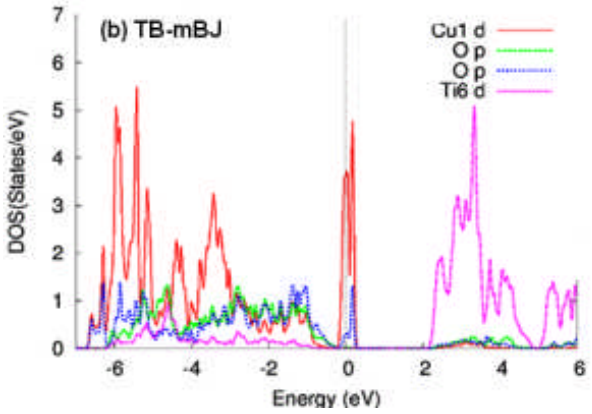


Fig.1 Densidad de estados del sistema Cu-TiO_2

3.2 Estabilidad Estructural de los sistemas M-TiO_2 .- Se pueden considerar los siguientes factores, que se describen a continuación:

(i) Las impurezas dopantes influencian las reacciones fotocatalíticas del TiO_2, que actúan como trampas para los electrones (o huecos), alterando la recombinación de pares e-/h+. Cuando un nivel de energía es introducido en la banda prohibida del TiO_2 se produce una modificación en la longitudes de onda asociadas a las diferencias de energía entre los nuevos niveles. En nuestro caso nos movemos del infrarrojo al visible [10].
La concentración de impurezas de metales de transición en el TiO_2, está vinculada con los radios iónicos de estas [11,12]. Por ejemplo, si comparamos los radios iónicos del Ti y Cr notaremos que ambos tienen el mismo orden de magnitud, 0.6 Å. Diferente es el caso del átomo de Ti con el de Mn de radio iónico de 0.80 Å, 33% mayor que el primero. Podemos interpretar que en este caso la nueva estructura cristalina sufriría distorsiones en su estructura y ocuparía un mayor espacio en la supercelda.

(ii) Como segundo factor nos enfocamos en el tamaño de la banda prohibida, para cumplir nuestro objetivo, debe encontrarse en el rango de 1.5 eV a 3.0 eV. El límite inferior se establece teniendo en cuenta el umbral de la disociación del agua de: 1.23 eV, debemos agregarle unos 0.25 eV para tener en cuenta los sobrepotenciales electroquímicos[13] existentes experimentalmente. La energía requerida para realizar la fotoelectrólisis en un electrodo es frecuentemente reportada como 1.6 - 2.4 eV por electrón[14,15]. Para corroborar estas magnitudes, se realizó el cálculo de la estructura de banda de cada uno de los sistemas M-TiO_2 con los potenciales mBJ para obtener valores teóricos precisos, estos se encuentran descritos en la Tabla 1.

Impurezas	Band Gap (eV)	λ (nm)
Cr	1.98	626.26
Mn	1.61	772.35
Fe	1.76	704.50
Co	2.56	484.78
Ni	2.63	469.78
Cu	1.77	700.60

Tabla1. Valores obtenidos del ancho de la banda prohibida para los sistemas M-TiO_2.

3.3 Estabilidad de los compuestos para almacenamiento de H: Li-H y Be-H

Los cálculos de energías totales no nos permiten comparar directamente los valores obtenidos para cada compuesto, debido a que ellos poseen diferentes cantidades de H en su estructura. Para resolver este problema, se utilizó el concepto de la energía de formación, de acuerdo a la formulación sugerida por Wolverton[16],

$$\Delta E(M_pH_q) = \frac{1}{p+q}\left[E(M_pH_q) - pE^{struct}(M) - \frac{q}{2}E(H_2)\right] \quad (1),$$

en la ecuación (1), la cantidad ΔE es la energía de formación, el primer término en el segundo miembro es la energía del estado fundamental del cristal; la segunda: es la energía del metal en su estructura cristalina en el estado fundamental, y el último es la energía de la molécula de H. En la figura 2 se observan los valores de ΔE para los diferentes compuestos Li/Be-H. En este gráfico se han incluido los valores procedentes de los cálculos FPLO porque las diferencias entre FPLO y valores LAPW están en el segundo o tercer decimal. Se puede trazar una línea que une los puntos finales de Li-bcc (Be-hcp) con el H_2-molecular, pasando por los valores más negativos de ΔE de cada uno de los compuestos de Li-H (LIH-225) y Be-H (BeH_2-72), los

números después del compuesto indican el grupo de simetría puntual. Esta poligonal nos muestra el lugar de los valores más estables de los compuestos [17] [18]. Desde otro punto de vista, podemos decir que todos aquellos compuestos fuera de esta línea presentan fases meta-estables Li/Be-H. Se pueden observar las diferencias entre ambos grupos. En el grupo de Li-H, el LiH-221 está relativamente cerca al LiH-225 (compuesto más estable), pero el LiH-129 con estructura tetragonal esta mucho más cerca al 225, la diferencia en ΔE es 0,15 eV, en el caso del LiH-129 y de 0,25 eV para el LiH-221 con respecto a la estructura estable.

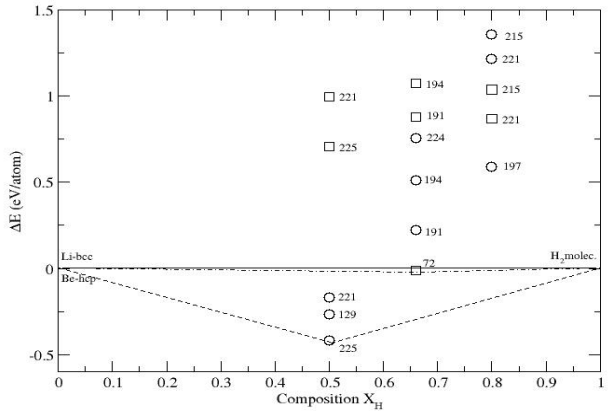


Fig.2. Valores de ΔE para los diferentes compuestos de Li/Be-H (Los círculos corresponden a los compuestos Li-H y los cuadrados a los compuestos Be-H).

Otro punto investigado fue la presión de transición entre las estructuras LiH-221 (CsCl) y LiH-225 (NaCl), el volumen de equilibrio del LiH-225 es 4 veces mayor que el del LiH-221, el valor teórico obtenido para este parámetro es de 330 GPa, muy similar a los existentes en la literatura[19]. En el caso de los compuestos Be-H, todos ellos están muy lejos de el compuesto sintetizado BeH_2-72, que indica que todos ellos son inestables. Por otra parte, es bien sabido que por regla general los elementos con una electronegatividad (χ) que varía entre 1,35 y 1,82 no forman hidruros estables. En el presente caso, la electronegatividad del Li y Be son, 0,98 y 1,57, respectivamente, según esta norma, el compuesto Li-H tienen una mayor probabilidad de formar compuestos más estables que los formados con Be-H. Además compuestos con el mismo número de átomos de H, en diferentes fases, deberían tener la misma estabilidad. Esta afirmación no es un buen argumento, según nuestros cálculos esto no ocurre. El valor de ΔE para BeH_2 tiene un valor negativo muy pequeño, que da la idea de cuál es la estabilidad de este compuesto.

4.-CONCLUSIONES

Se han realizado los estudios de las propiedades electrónicas de los sistemas M-TiO_2, considerando las relajaciones atómicas y la estructura electrónica de los sistemas dopados, utilizando el LAPW. De acuerdo, a los resultados obtenidos podemos determinar que la supercelda Cu-TiO_2, con una banda prohibida de aproximadamente 1.77 eV, es la más adecuada para poder realizar la disociación del agua, dado que se obtiene una longitud de onda de aproximadamente 700.6 nm, lo cual se encuentra dentro del espectro electromagnético del visible (de 400nm a 780nm), además es bien conocido que para llevar a cabo una eficiente fotoelectrólisis se debería tener un ancho de banda prohibida de de alrededor de 1.6 a 2.4 eV y las posiciones de los bordes de las bandas deberían estar ajustados a los potenciales redox del agua.

La transferencia de carga en presencia de dopantes efectivos parece ser uno de los factores más importantes en el mejoramiento de la fotoelectrólisis, necesaria para llevar a cabo la producción de hidrógeno. Se suma a esto, el enlace iónico, pues contribuye al incremento de la actividad fotoelectrolítica del TiO_2 en la región del visible.

Con la obtención del H, se han estudiado diferentes compuestos basados en Li-H y Be-H, para lograr su almacenamiento. En cada uno de estos grupos se han propuesto diferentes cantidades de H y estructuras cristalinas, en ese sentido se han diseñando nuevos compuestos con el fin de conocer cuáles son sus energías de formación y determinar las estabilidades de los diferentes compuestos de cada una de las series estudiadas. Las energías de formación nos dan los valores para respaldar esta idea. En este sentido, podemos ver que en el caso Li-H, el LiH-225 es más estable que el LiH-129/221, estos serían los candidatos más probables para su utilización como reservorio. En la otra serie, el BeH_2 es el que se mantiene estable, todos los demás muestran una alta inestabilidad. Esto se puede ver como una indicación de que los compuestos de Li-H exhiben una mejor alternativa que los compuestos de Be-H para su utilización como reservorios de hidrógeno.

Bibliografía

[1] M. Balat, Int.J Hydrogen Energy **33**, 4013-4029 (2008)

[2] E.C. Ekuma and D. Bagayoko. Jpn. J. Appl. Phys **50**, 101103 (2011).

[3] F. A. Grant. Rev. Modern Physics **31**, 3(1959)

[4] K. Mizushima, M.Tanaka, A. Asai, S. Iida. J. Phys. Chem.Solids, **40**,1129-1140(1979)

[5] A. A. Fujishima, K.K Honda, Nature **238**(5358):37-8(1972)

[6] Murnagham FD. American Journal of Mathematics **49**(2):235–260(1937).

[7] Perdew J, Burke K, Ernzerhof M.Physical Review Letters **77**(18):3865–3868(1996).

[8] P. Blaha, K. Schwarz,J. Luitz, G.K.H. Madsen, D. Kvasnicka, WIEN2k, Technical University of Vienna, Vienna, Austria, 2001.
K. Schwarz, P. Blaha , GHF Madsen, Comput Phys Commun **147**(1-2):71-6(2002).

[9] Becke AD, Johnson ER. The Journal of Chemical Physics **124**(22):221101–4(2006).

[10] W. Choi ,A. Termin, and Michael R. Hoffmann, J. Phys. Chem **98**,13669-13679(1994).

[11] Y. Wang, Y. Hao, H. Cheng, J. Ma, B. Xu,W. Li, S. Cai, J.Mat Sci **34**, 2773-2779(1999).

[12] T. Umebayashi, T. Yamaki, H. Itoh, K. Asai, J Phys Chem Solid **63**, 1909-1920(2002).

[13] I.E. Castelli, T.Olsen, S.Datta, D.D.Landis, S.Dahl, K.S.Thygesen and K.W. Jacobsen, Energy Environ. Sci.**5,** 5814-5819(2012).

[14] Y. Gai, J. Li, S. Li, J.Xia and S. Wei, PRL **102**, 036402(2009).

[15] M. G. Walter, E.L. Warren, J.R. Mckone, S.W. Boettcher, Q. Mi, E.A. Santori, and N, Chem. Rev. **110**, 6446-6473(2010).

[16] Wolverton C, Ozoliņš V, Asta M. Hydrogen. Physical Review B **69**(14):1–16(2004).

[17] Zurek E, Hoffmann R, Ashcroft NW, Oganov AR, Lyakhov AO. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America **106**(42): 17640–3(2009).

[18] Mihalkovič M, Widom M. Physical Review B **70**(14):1–12 (2004).

[19] Ahuja R, Eriksson O, Johansson . Physica B **265**(87-91)1999.

NOMENCLATURA Y SIMBOLOGÍA EN LA REPRESENTACIÓN DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS

Autores: Ing. Marcos Deorsola, Ing. Pablo Morcelle del Valle

Lugar de Trabajo: Cátedras de Teoría de circuitos I y Electrotecnia y Electrónica. Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, UNLP. Calle 48 y 116, 1900 La Plata. E-mail: mdeorsola@gmail.com.

1.- INTRODUCCIÓN

Durante muchos años de docencia los autores han podido comprobar la falta de coherencia respecto de la nomenclatura y simbología (NyS) utilizadas en las unidades de los parámetros eléctricos y en la representación de circuitos eléctricos. Fundamentalmente, el tema se hace crítico cuando, en la Universidad, el estudiante debe adecuarse a una NyS con la cual se desarrollan los temas de Física, luego la NyS cambia cuando debe estudiar Teoría de Circuitos, hasta que en la última parte de la carrera ocurre algo similar con las asignaturas de años superiores, tanto de la especialidad Eléctrica como Electrónica. Durante este trayecto, el estudiante debe acomodarse a estos inútiles cambios que provocan distracción o pérdida de la concentración del estudio específico, debido al esfuerzo adicional que implica acostumbrarse a manejar una nueva NyS, o a una mezcla de una nueva y una ya conocida.

Esta situación se ve lamentablemente favorecida o fomentada, por una parte, debido a la inmensa variedad de bibliografía existente, cuyos autores han adoptado una u otra NyS; y por otra parte, como consecuencia de los mismos docentes, que a su vez, han preferido utilizar, sin establecer un criterio razonable, su propia NyS.

Asimismo, la vida profesional también pone de manifiesto estas situaciones, observándose que algunos utilizan una nomenclatura y/o simbología, y otros otra; resultando, al principio, tedioso "entenderse" hasta decidir finalmente qué NyS utilizar en los trabajos en conjunto.

Ésto último resulta más trascendente cuando se encuentran individuos de formación "electrónica" (formados por bibliografía anglosajona) y "eléctrica" (formados por bibliografía alemana, italiana, rusa o europea en general), debido a la necesaria interacción de ambas especialidades; dado que en este punto también se establecen algunas diferencias.

La evolución de los textos bibliográficos surgidos en los últimos años parece marcar una tendencia, aunque aún no del todo definida, respecto de esta cuestión; fundamentalmente en lo referente a la simbología, y no tan así para el caso de la nomenclatura.

El objetivo de este trabajo es proponer el ordenamiento y la unificación de la NyS, en base a normas internacionales vigentes y a la tendencia de la bibliografía actual.

2.- NOMENCLATURA

Según el diccionario de la lengua castellana, sinónimos de nomenclatura son *lista* o *catálogo*. La definición es: *conjunto de las voces técnicas y propias de una ciencia o de un arte*.

Hasta el momento, se ha venido observando el uso de ciertos vocablos; los cuales, a juicio de los autores, pueden clasificarse de la siguiente manera:

a) Inherentes a nuestro idioma.

b) Adaptaciones que derivan de los nombres de las unidades de medida de las respectivas magnitudes.

c) Otros que, por ser de origen angloparlante o de otro idioma y no contar con un equivalente castellano, son adoptados sin cambios o con mínimos cambios por nuestra lengua.

Un caso típico entre todos estos es ***tensión***. En [1] se hace referencia a una frase de André Marie Ampère: "...llamaré a la primera ***tensión eléctrica*** y a la segunda ***corriente eléctrica***...". Esto significa que, al menos para los latinos, esta etimología debería ser respetada.

Es costumbre que aún en la actualidad se utilice la palabra ***voltaje*** para referirse a la ***tensión***. Entendemos que esta denominación surgió como consecuencia de la proliferación de bibliografía de

origen angloparlante, sobre todo referida a temas de electrónica, cuyos traductores adoptaron o castellanizaron vocablos de origen anglosajón, cuando ya existía una palabra más que adecuada y *no forzada* para denominar la magnitud en cuestión.

Otro tanto ocurre con ***amperaje*** o ***vataje***. Para el primer caso, además de la denominación acuñada por Ampère, nuestra lengua dispone acertadamente del tradicional vocablo ***intensidad (de corriente)***; y para el segundo, ***potencia (activa)***.

El cuestionamiento de estos aspectos surge de que, tanto ***voltaje***, ***amperaje*** o ***vataje***, provienen de Volta, Ampère o Watt; que, como ya sabemos son las unidades de las magnitudes en cuestión. Más aún, lo cuestionado de esta situación es la pretendida traducción de apellidos de personajes célebres de la ciencia. En el caso de ***voltaje*** el error ya viene de arrastre de otro idioma, pues es bien sabido que los angloparlantes utilizan la palabra ***voltage***.

La inquietud de los autores surge respecto de lo anteriormente expuesto, teniendo en cuenta la bibliografía actual, y en particular la que trata temas de electrónica; dado que en el caso de la bibliografía que desarrolla temas eléctricos, esto no ocurre tan asiduamente; sea porque tradicionalmente se cuenta con textos desarrollados por especialistas vernáculos, italianos, franceses, alemanes o incluso rusos, en los cuales se respetan las denominaciones tradicionales de los parámetros involucrados.

Un caso curioso respecto del tema de cómo se trata la nomenclatura según el idioma y al que vale la pena hacer mención es [2], que en la versión citada (en inglés) utiliza *voltage*, mientras que en la publicación [3], versión en castellano de [2], la palabra utilizada es *tensión*. El caso indicado resulta representativo, ya que el vocablo original alemán ***spannung*** significa ***tensión***, tanto mecánica como eléctrica.

Quienes ésto escriben no están en contra del progreso o la evolución lingüística, ni contra la practicidad de la utilización de ciertos vocablos, sino que en virtud de la riqueza de nuestra lengua, se nos ocurre inútil castellanizar vocablos que *ya* tienen una correspondencia en nuestro idioma, además de efectuar traducciones de apellidos, lo cual podría resultar una irreverencia hacia los titulares de los mismos.

Un capítulo aparte merecen las denominaciones involucradas en el apartado **c)** de nuestra clasificación. El avance tecnológico, en particular en el campo de la electrónica, ha hecho que surgieran dispositivos nuevos, sin antecedentes o versiones tecnológicas anteriores. Es lógico pensar que el inventor de cierto mecanismo o dispositivo tenga derecho también a inventarle un nombre o adecuar una palabra, grupo de palabras o juego de palabras para identificar determinado elemento. Ésto es lo que creemos que ocurrió en este caso. ¿Cómo podríamos traducir ***transistor*** si nunca antes de ser inventado había existido nada similar?

Recordemos que transistor proviene de la conjunción de dos vocablos de origen inglés: ***trans****fer* ***re****sistor*.

Algo similar ocurre con ***flip-flop***, a la cual algunos traductores le asignaron, con la mejor buena voluntad, el vocablo ***biestable***; aunque para muchos sigue siendo sencillamente ***flip-flop***.

Casos diferentes lo constituyen ***diodo*** y ***unijuntura***. La palabra ***diodo*** proviene de ***diode***, y para ***unijunction*** se encontró la traducción "perfecta": ***unijuntura***.

Hasta aquí, el presente trabajo no pretende imponer condiciones en cuanto al uso de la lengua. Sólo se hace una revisión histórica, intentando justificar el por qué de algunas situaciones inquietantes para los autores, a quienes les preocupa la correcta expresión oral y escrita. La intención es proponer una forma coherente y académica de expresión, sin necesidad de recurrir innecesariamente a voces extranjeras.

Para finalizar, se efectúan algunas aclaraciones relativas a un tema al cual no se le presta la debida atención y que es a menudo objeto de uso incorrecto.

Generalmente cuando se hace referencia a los elementos pasivos de un circuito eléctrico, se menciona indiferentemente ***capacitor*** o ***capacitancia***, ***inductor*** o ***inductancia*** y ***resistor*** o ***resistencia***. Pero ¿es correcta esta “indiferencia”? La respuesta es: NO. El **elemento** físico, tangible, que fabricamos o compramos en el comercio *debe* tener una denominación que lo distinga de su **cualidad** o **magnitud** física. Esa “diferencia” necesaria es la indicada líneas más arriba. Los elementos físicos se denominan en forma correcta: ***capacitor, inductor, resistor***. Las cualidades o magnitudes físi-

cas: ***capacitancia***, ***inductancia***, ***resistencia***. En general, estas aclaraciones no se hacen expresas en los textos o bibliografía; de aquí que se extienda la confusión y se generalice el trato "indiferente" ya mencionado.

3.- SIMBOLOGÍA

Entendemos por simbología, desde el punto de vista eléctrico, todo lo referente a cómo debe representarse un circuito para una adecuada comprensión: cómo deben ser los dibujos que representan a determinado elemento, qué símbolos literales usar, tanto para la representación de las variables o parámetros del circuito, así como las unidades de las magnitudes de dichas variables y parámetros.

¿Cuál es la ventaja que ésto representa? Bien sabemos que si no contáramos con la expresión gráfica de un circuito, resultaría muy complejo describir sólo con palabras la conformación del mismo y así analizar su comportamiento. Cuando un especialista mira el dibujo de un circuito, de un golpe de vista puede reconocerlo y hasta efectuar un somero análisis mental del funcionamiento.

Asimismo, si el dibujo no se presenta con la suficiente claridad, puede resultar hasta tedioso su estudio.

La manera de revertir esta situación es, además de procurar orden y prolijidad en el dibujo en sí mismo, utilizar la simbología adecuada y precisa para cada caso, evitando ambigüedades de representación, pero a la vez lograr la simplificación de la misma.

Las unidades de medida, aún cuando existen normas y bibliografía que claramente indican la simbología correspondiente, son objeto de distorsiones en distintos ámbitos.

La Tabla I muestra las magnitudes utilizadas en electrotecnia, con sus nombres, símbolos y unidades. Esta misma tabla es incorporada por los autores en las guías de trabajos de aplicación de los cursos de Teoría de circuitos I y de Electrotecnia y Electrónica, dictadas en la U.N.L.P. La misma está basada en gran medida en [4], [5], [6], [7] y [8].

La simbología presente en la Tabla I, extractada fundamentalmente de [4], merece algunas aclaraciones. Los símbolos de los parámetros físicos son los tradicionalmente utilizados en la bibliografía; observándose que, en general, corresponden a letras mayúsculas de los alfabetos latino y griego, y, además, se escriben en cursiva y negrita.

TABLA I

SÍMBOLOS Y UNIDADES DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS UTILIZADOS EN ELECTROTECNIA

PARÁMETRO FÍSICO		UNIDAD		PARÁMETRO FÍSICO		UNIDAD	
Nombre	**Símbolo**	**Nombre [6]**	**Símbolo [7]**	**Nombre**	**Símbolo**	**Nombre [6]**	**Símbolo [7]**
diferencia de potencial o tensión	***U***	volt	**V**	permeabilidad	**μ**	henry/metro	**H/m**
				resistividad	**ρ**	ohm metro	**Ω·m**
fuente de tensión	U_f			resistencia	***R***	ohm	**Ω**
fuente de corriente	I_f	ampere	**A**	impedancia	***Z***		
corriente	***I***			reactancia	***X***		
carga eléctrica	***q***	coulomb	**C**	conductancia	***G***	siemens	**S**
campo eléctrico	***E***	Volt/metro	**V/m**	admitancia	***Y***		
densidad de corriente	***J***	ampere/metro^2	**A/m^2**	susceptancia	***B***		
capacitancia	***C***	farad	**F**	conductividad	**σ**	siemens/metro	**S/m**
permitividad	**ε**	farad/metro	**F/m**	potencia (activa)	***P***	watt	**W**
campo magnético	***H***	ampere/metro	**A/m**	carga reactiva	**Q**	volt ampere reactivo	**var**
fuerza magnetomotriz	***Fm***	Ampere vuelta	**Av**	carga aparente		volt ampere	**VA**
inducción magnética	***B***	tesla	**T**	energía, trabajo	***W***	joule	**J**
flujo magnético	**ϕ**	weber	**Wb**	período	***T***	segundo	**s**
autoinductancia	***L***	henry	**H**	constante de tiempo	**□**		
inductancia mutua	***M***			frecuencia	***f***	hertz	**Hz**
factor de acoplamiento	***k***	adimensional		pulsación	**ω**	radián/segundo	**rad/s**
reluctancia	$\mathcal{R}$	1/henry	**H^{-1}**				

Los símbolos de las unidades merecen una atención especial, dado que se advierten frecuentes errores en su utilización. Dado que algunos provienen de iniciales nombres propios (Ampère, Coulomb) y otros de iniciales de nombres comunes (segundo, radián); debe observarse que los primeros

se escriben con mayúscula y los segundos, con minúscula [6]. Si dos unidades poseen la misma inicial (henry, hertz), para diferenciarlas se agrega a una de ellas alguna otra letra del nombre en minúscula (**H, Hz**). Un caso particular es el **var** (volt ampere reactivo) que por ser la combinación de dos nombres propios más un adjetivo que indica una característica particular, se optó por crear una palabra (en minúscula) que designe a la unidad; no ocurrió lo mismo con **VA** (volt ampere). Además los símbolos derivados de nombres propios no tienen plural y cuando se escribe la palabra completa, se lo hace con minúscula, de acuerdo a lo indicado por [5].

A modo de aporte adicional, en la Tabla II se presenta la lista de prefijos correspondientes a los múltiplos y submúltiplos de las unidades físicas, extractado de [9] y verificado en [8].

En este punto es importante aclarar que el prefijo ***k*** no se escribe con mayúscula, sino con minúscula. La aclaración se hace manifiesta puesto que es un error muy común de encontrar, incluso en mucha bibliografía especializada.

TABLA II

PREFIJOS DE MÚLTIPLOS Y SUBMÚLTIPLOS DE LAS UNIDADES FÍSICAS

Factor	Prefijo		Ejemplo
	Nombre	Símbolo	
10^{24}	yotta	**Y**	$1YJ=10^{24}J$
10^{21}	zetta	**Z**	$1Z\Omega=10^{21}\Omega$
10^{18}	exa	**E**	$1EW=10^{18}W$
10^{15}	peta	**P**	$1Pm=10^{15}m$
10^{12}	tera	**T**	$1THz=10^{12}Hz$
10^{9}	giga	**G**	$1GT=10^{9}T$
10^{6}	mega	**M**	$1MV=10^{6}V$
10^{3}	kilo	**k**	$1kA=10^{3}A$
10^{-3}	mili	**m**	$1mWb=10^{-3}Wb$
10^{-6}	micro	**μ**	$1\mu F=10^{-6}F$
10^{-9}	nano	**n**	$1nH=10^{-9}H$
10^{-12}	pico	**p**	$1pC=10^{-12}C$
10^{-15}	femto	**f**	$1fs=10^{-15}s$
10^{-18}	atto	**a**	$1aW=10^{-18}W$
10^{-21}	zepto	**z**	$1z\Omega=10^{-21}\Omega$
10^{-24}	yocto	**y**	$1yV=10^{-24}V$

4.- REPRESENTACIONES GRÁFICAS

A pesar de lo expuesto, la nomenclatura usada aún actualmente, puede llevar a confusiones; o simplemente puede ocurrir que no exista un acuerdo para denominar tal o cual magnitud de forma unívoca.

De la misma forma, la representación gráfica de los elementos de un circuito resulta muy variada, según la bibliografía consultada, o inclusive según el "gusto" de cada interlocutor. Otro tanto ocurre con la identificación literal de tales elementos.

Generalmente, y por citar un ejemplo, es frecuente ver representadas las fuentes dependientes e independientes con el mismo símbolo. De lo expuesto en párrafos anteriores, se advierte la inconveniencia de ésto. De hecho, la mayoría de la bibliografía actual tiene en cuenta esta situación tal como se puede apreciar simplemente hojeando [1], [10], [11], [12] y [13], y en este trabajo se toma cuenta de ello.

Para una rápida comprensión, sean los siguientes ejemplos:

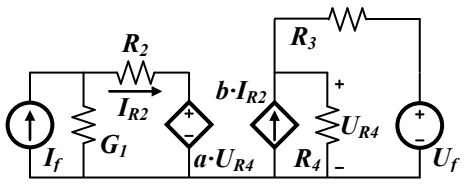


Fig. 1

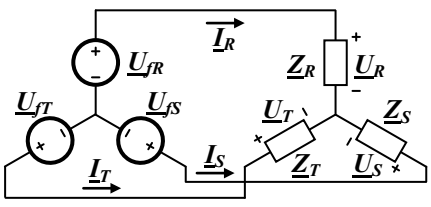


Fig. 2

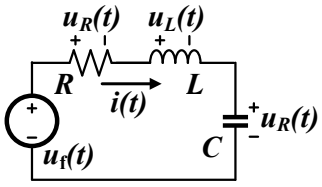


Fig. 3

4.a- Circuito en continua

Como se observa en la Fig. 1, hay una fuente de corriente independiente. Este tipo de fuente (independiente) se simboliza mediante un círculo; en este caso, dado que la fuente es de corriente, se coloca en su interior una flecha que indica el sentido asignado a la misma. Si la fuente independiente hubiese sido de tensión, en lugar de una flecha se habría colocado un juego de símbolos **+** y **-**, indicando qué polaridad tiene asignado cada borne según la ubicación de los mismos.

Como se ve, el circuito posee dos fuentes dependientes, una de tensión y otra de corriente. El símbolo en este caso es un rombo. Se debe observar que se mantiene la identificación indicada en el párrafo anterior respecto de si se trata de fuente de tensión o de corriente.

La intensidad y sentido de la circulación de cargas en un elemento, es decir ***la corriente***, se indica con una flecha próxima a dicho elemento y *no* se ubica la flecha sobre los conductores. El sentido de la corriente así indicada se puede hacer coincidir con la de malla, lo cual facilita el análisis en algunos casos.

Asimismo, ***la tensión*** se simboliza mediante los signos **+** y **-**, según la polaridad de los potenciales que la causan y no mediante flechas, evitando la confusión con una corriente.

Los elementos del circuito se designan con letras mayúsculas, que a su vez representan sus características eléctricas, y subíndices necesarios para completar la identificación.

Las tensiones y corrientes en los elementos también se designan con mayúscula, utilizándose ***U*** para las primeras e ***I*** para las segundas, con los subíndices que correspondan.

De igual forma, los ejes de las curvas características del transistor, por ejemplo, también se deben identificar con mayúscula, dado que las mismas son "estáticas".

Las fuentes merecen una mención especial, dado que por su característica de fuentes de energía podría asignarse una identificación distintiva: $\boldsymbol{U_f}$ para las de tensión e $\boldsymbol{I_f}$ para las de corriente (con el subíndice **f**, por **fuente**).

4.b- Circuito trifásico (señales de alterna de frecuencia única)

En este caso, Fig. 2, se trata de un circuito trifásico, donde existe una única frecuencia en las señales, dado que la pulsación de las tres fuentes es la misma y se considera que no hay elementos alineales.

Básicamente se respetan las premisas indicadas en el apartado ***4.a-*** respecto de las fuentes, tensiones, corrientes y elementos pasivos, que en este caso pueden ser resistivos, reactivos o combinaciones de ambos.

La nueva y única característica adicional es que, dado que en este caso los parámetros pueden representarse como números complejos, los símbolos literales poseen una raya inferior que identifica tal condición matemática.

4.c- Circuito con generador de tensión generalizado (dominio del tiempo)

Este caso, Fig. 3, podría corresponder a un circuito en estado transitorio, o a un circuito con fuente de tensión poliarmónica, entre otros.

Las tensiones y las corrientes en estos casos se identifican con letras minúsculas y dependientes del tiempo, como ocurre con las funciones matemáticas.

Al igual que en los casos anteriores, los símbolos para la representación de fuentes, tensiones, corrientes, no cambian.

Como esta forma de representación de las variables es general, $\boldsymbol{u(t)}$ e $\boldsymbol{i(t)}$ también podrían representar tanto a una constante (independiente del tiempo) o una senoidal.

5.- CONCLUSIONES

Se presenta una propuesta de unificación de la nomenclatura y la simbología para la representación de circuitos eléctricos.

Una de las consecuencias favorables de la propuesta presentada se observa en los ejemplos mostrados a lo largo de artículo: de un golpe de vista se identifican los elementos del circuito, en forma inmediata se advierte si el circuito es de continua, alterna o si las señales son de tipo especial, se diferencian inmediatamente las corrientes y sus sentidos y las tensiones y sus polaridades.

Como se mencionó en la introducción, el objetivo de este trabajo es proponer un ordenamiento, o

al menos iniciar la discusión de un tema que, en vista de las tendencias actuales respecto de la normalización y a juicio de los autores, debería ser tenido en cuenta.

Es también nuestra intención promover el intercambio de opiniones con otros interesados en el tema con el fin de establecer una nomenclatura y simbología definitiva y lo más adecuada posible al tema que nos involucra.

6.- Agradecimientos

Los autores desean recordar al fallecido Ing. Alfredo Rifaldi por sus opiniones y comentarios alentadores acerca de los temas involucrados en este trabajo. También desean reconocer la actitud de los estudiantes que pasaron por los cursos de Teoría de Circuitos I y de Electrotecnia y Electrónica por apoyar las iniciativas aquí presentadas, y mantener el uso de la nomenclatura y la simbología en cuestión más allá de los cursos mencionados.

7.- Bibliografía

[1] D. Jhonson, J. Hilburn y J. Jhonson, Análisis básico de circuitos eléctricos, Prentice Hall, 1991, p. 20.
[2] W. Müller-Schwarz, *Basic Electrical Theory and Practice*, Siemens-Heyden & Son Ltd, 1981.
[3] Autores varios, *Colección Enseñanza programada*, Siemens-Marcombo S.A., 1989.
[4] *Letter symbols including conventions and signs for electrical technology. A handbook for every day use*, International Electrotechnical Commission, 1983.
[5] A.M. Yoder, "Hablar claro", *Megavatios*, Nº 239, marzo 2001.
[6] Nombre de unidades. SI brochure, Section 5.2 http://www.bipm.org/en/si/si_brochure/chapter5/5-2.html
[7] Símbolos de unidades. SI brochure, Section 5.1 http://www.bipm.org/en/si/si_brochure/chapter5/5-1.html
[8] Prefijos. SI brochure, Section 5.2 http://www.bipm.org/en/si/si_brochure/chapter3/prefixes.html
[9] R. Feynman, R. Leighton y M. Sands, *Física. Electromagnetismo y materia*, vol. II. Addison-Wesley Iberoamericana, 1987, p. 6-18.
[10] D. Scott, Introducción al análisis de circuitos Un enfoque sistémico. McGraw-Hill, 1988.
[11] J. Nilsson, *Circuitos eléctricos*. Addison-Wesley Iberoamericana, 1995. Pearson, Prentice Hall 2005.
[12] C. Alexander, M. Sadiku, *Circuitos eléctricos.* Mc Graw Hill, 2002
[13] R. Boylestad, *Introducción al análisis de circuitos*. Pearson, Prentice Hall 2004.

SEGURIDAD ELECTRICA PARA TODOS

Una opción para mitigar accidentes de origen eléctrico en asentamientos barriales

Frene, Horacio M.
Secretaria de Extensión – Facultad de Ingeniería – UNLP
Calle 1 y 47 (1900) La Plata – hfrene@ing.unlp.edu.ar

Área tecnológica a la que corresponde: Seguridad Eléctrica.
Palabras Claves: Asentamientos Barriales, Viviendas Precarias

RESUMEN

La mortalidad infantil y los incendios en viviendas precarias, a causa de accidentes de origen eléctrico, resultan un serio problema para quienes habitan en asentamientos barriales, debido a que, entre otras causas, mayoritariamente la ejecución de las instalaciones interiores quedan en manos de sus propios habitantes. A causa de ello, las mismas son realizadas en formas defectuosas y/o precarias ya sea por desconocimiento o por falta de recursos económicos para la compra de los insumos mínimos necesarios para una correcta instalación.

Es objetivo del presente trabajo publicar la experiencia a escala piloto realizada en un barrio periférico de la Ciudad de La Plata por alumnos y docentes de la Facultad en conjunto con integrantes de la Cooperativa Los Kokitos con el fin de mitigar dichos accidentes.

En esencia, el planteo de esta alternativa de solución radica fundamentalmente en tres pilares: la utilización de tecnologías existentes en el mercado con el aporte del valor agregado en materia de capacitación a quienes las ejecutan, la generación de puestos de trabajo y por último la replicabilidad del proyecto a nivel Nacional.

Llevar adelante acciones que impacten positivamente sobre esta problemática no sólo representó un logro compartido, en materia de extensión, entre la Facultad de Ingeniería de la UNLP y la Dirección de Fortalecimiento a Organizaciones Sociales del Ministerio de Infraestructura de la Provincia de Buenos Aires, sino que a nivel social redundó en una mejor calidad de vida para los habitantes del barrio.

INTRODUCCIÓN

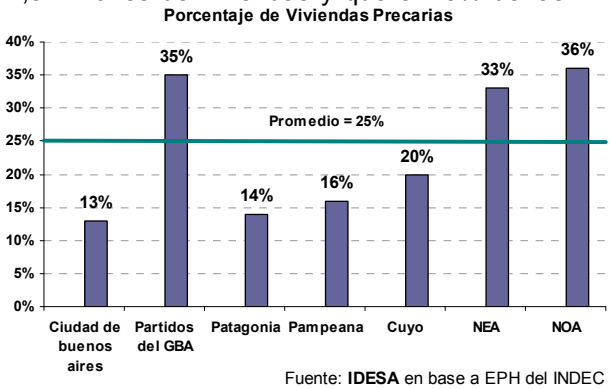
Este proyecto surge en el seno de la Facultad de Ingeniería como una actividad de extensión universitaria (principal medio de la Universidad Nacional de La Plata para lograr su función social, contribuyendo al tratamiento de los problemas que afectan al bienestar de la comunidad, la reconstrucción del tejido social, el desarrollo económico sustentable y el fortalecimiento de la identidad cultural), que en su primera etapa (etapa de capacitación inicial) incorporó un trabajo ligado al Ministerio de Infraestructura de la Provincia de Buenos Aires a través de la Dirección de Fortalecimiento a Organizaciones Sociales para el acceso a los Servicios Públicos quien con la cooperativa de trabajo Los Kokitos, que nucléa dicha dirección, se capacitaron en diferentes oficios, entre ellos instalaciones eléctricas domiciliarias. Esta labor conjunta fue posible gracias al desarrollo del proyecto de Voluntariado Universitario "En busca de un Oficio" que acreditara la Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación de la Nación, llevada adelante en aulas de la Facultad por alumnos avanzados de la Carrera de Ing. Electromecánica tutorados por Docentes de dicha carrera. A raíz del gran entusiasmo generado en los miembros de la cooperativa, se empezó a conversar con autoridades de la Dirección de Fortalecimiento a quien se le planteo la necesidad de empezar a desarrollar trabajos territoriales.

Tomando como premisas la Constitución Nacional en su *Artículo 14 bis*, "*El Estado otorgará los beneficios de la seguridad social,… la compensación económica familiar y el acceso a una vivienda digna"*, la *Autonomía Universitaria*, el concepto de la *Extensión Universitaria*[1], se decidió trabajar sin limitaciones económico culturales dado que se perseguirá contribuir a la búsqueda de respuestas a problemas sociales, fundamentalmente de aquellos sectores más vulnerables por no tener sus derechos esenciales garantizados.

[1] Estatuto UNLP, TITULO II: Funciones, CAPITULO 3: De la Extensión, el ARTICULO 17º establece que "… reconoce como una de sus funciones primordiales la extensión universitaria, entendida como un proceso educativo no formal de doble vía, planificada de acuerdo a intereses y necesidades de la sociedad, cuyos propósitos deben contribuir a la solución de las más diversas problemáticas sociales, la toma de decisiones y la formación de opinión, con el objeto de generar conocimiento a través de un proceso de integración con el medio y contribuir al desarrollo social…".

Por otro lado, profesionales de cuarteles de bomberos destacan que los problemas más graves ocurren en las viviendas precarias, donde las instalaciones eléctricas deficientes aparecen como las principales causas de incendios. Como ejemplo de lo antes citado se puede mencionar el caso de la ciudad de Santa Fe donde de enero a julio de 2006, hubo 74 casos comprobados de accidentes eléctricos que terminaron en incendios, sobre un total de 135 intervenciones por hechos fortuitos. El cortocircuito o electrocución que deriva en un foco ígneo es la causa más importante de incendios en hogares, al punto que en 2005 hubo 105 cuadros de estas características, sobre 154 intervenciones. El resto es ocasionado por negligencia de los habitantes de la casa.[2]

Una de cada cuatro familias argentinas vive en una casa precaria, y la situación empeora en las provincias del norte argentino y el Gran Buenos Aires, donde se acumulan los principales bolsones de pobreza. Según el Instituto para el Desarrollo Social Argentino (IDESA) la precariedad afecta al 35 por ciento de las viviendas en el Gran Buenos Aires y el norte del país, y al 13 por ciento en la Capital Federal. El Instituto aclaró que no es posible hacer un diagnóstico preciso y actual de la situación habitacional, pero se sabe que el Censo 2010 identificó a aproximadamente 40 millones de personas que habitan en 14,3 millones de viviendas y que el 25% de las viviendas pueden ser consideradas precarias dado el material de construcción, la ubicación, el nivel de hacinamiento o los servicios con que cuenta. A continuación, en la Figura 1 se presenta un gráfico en el que se muestran los porcentajes de viviendas precarias en distintas zonas de la Argentina.[3]



Fuente: **IDESA** en base a EPH del INDEC

Figura 1: Gráfico en el cual se muestra la distribución de viviendas precarias en la Argentina.

En Marzo de 2011, la muerte de dos niños y una joven en un incendio –presuntamente por un cortocircuito– en el barrio Elunei de Centenario abrió un debate entre los vecinos y la comuna respecto a las conexiones clandestinas de electricidad. En el caso particular de la vivienda donde ocurrió la tragedia, el Ente Provincial de Energía del Neuquén (EPEN) informó que existía una conexión clandestina, pero que el lote tuvo en un momento un medidor legal de electricidad. El servicio fue cortado por falta de pago hacía dos años, pero los vecinos habrían decidido reconectarse a la red por sus medios. Esta metodología es habitual y peligrosa, según indican desde la empresa eléctrica y la comuna, y habría sido una de las causales del trágico incendio que se investiga. Vecinos y referentes de Barrios de Pie, junto a la diputada Paula Sánchez solicitaron a los concejales que gestionen la entrega de tenencias precarias, es decir la legalización de las tomas para que puedan contar con electricidad a través de un "medidor comunitario". No obstante, el problema radica en el tipo de conexiones internas, que no son fiscalizadas por los organismos de control y que de alguna manera revisten peligrosidad para las familias[4].
A raíz de estas causas es que surge la necesidad de dar respuesta a esta problemática radicada en la mayoría de las organizaciones sociales de bajos recursos, principalmente pensando en el conurbano bonaerense, sin perder de vista el resto del país que cuenta con las mismas características planteadas.

Descripción de la situación encontrada: Las viviendas se denominan precarias cuando al menos cuentan con alguna de las siguientes características: piso interior de ladrillo suelto, tierra u otro; techo de chapa, de cartón o paja; que no contenga un baño en el interior de la vivienda; que no

[2] Edición On line del diario El Litoral. Nota titulada: Preocupan los incendios en viviendas precarias. Más del 60 % por accidentes eléctricos. Editor: Juliano Salieron.
[3] PortalBA. El portal de la provincia. Nota titulada: Viven en casas precarias. Fuente IDESA en función de datos aportados por EPH del INDEC.
[4] Edición on line del diario La mañana de Neuquén. Nota titulada: La tragedia abrió el debate por las conexiones clandestinas. Tras el incendio mortal, vecinos de Centenario piden tenencias de lotes para tramitar la electricidad.

contengan agua dentro la vivienda; que se encuentre ubicada en la cercanía de un basural, en una zona inundable o en una villa y por último que duerman 3 o más personas por dormitorio.

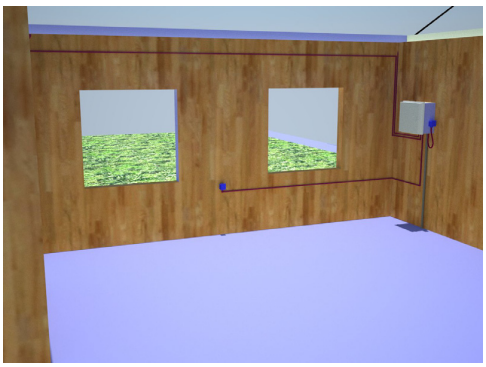
Debido, entre otras causas, al crecimiento demográfico se ha verificado que se consume hasta cuatro veces más de electricidad en las villas. El sistema eléctrico en los barrios de emergencia es clandestino, precario y falto de controles. El alto consumo de electricidad en los asentamientos de la ciudad de Buenos Aires es una problemática que preocupa, no sólo por los costos, sino por la precariedad de las instalaciones y la falta de controles del Gobierno y de las empresas. La falta de controles por parte de las empresas se debe a que los asentamientos son considerados por ellas como terrenos baldíos en los cuales sólo fueron instalados transformadores con medidores comunitarios. Las conexiones de electricidad están a cargo de los habitantes de las villas, con los riesgos que eso acarrea.[5]
Según fuentes de la Empresa EDENOR, el consumo promedio de un departamento en un edificio de Caballito es, por ejemplo, de 342 kW/h, mientras que una vivienda en un asentamiento como la villa 1-11-14 es de 671 kW/h.[6]
La situación con que cuentan estos tipos de asentamientos respecto del acceso a los servicios de electricidad es muy diversa, pero en su gran mayoría, como se indicó en el párrafo anterior, el suministro proviene de un punto común denominado Medidor Comunitario. Esta solución técnica implica que el prestatario deslinde la responsabilidad sobre el tendido eléctrico hasta el mencionado medidor, quedando librado a los usuarios la construcción de sus propios sistemas de distribución internos. Este contexto fuerza a conectarse a este punto “como puedan” desencadenando en los arreglos más insólitos y fuera de toda normativa reglamentaria.

Resulta claro que la problemática recae sobre dos frentes bien diferenciados, el primero de ellos es la instalación eléctrica dentro de la vivienda y el segundo es el acceso del servicio al punto de suministro. En el presente artículo se hará referencia a la propuesta que se ha elaborado al abordar el primero de ellos tratando de resolver las instalaciones internas de las viviendas. En las Figuras 2 y 3 se presentan dos esquemas de las situaciones antes mencionadas.



Figura 3: Esquema de propuesta para la instalación interior de las viviendas

Figura 2: Acceso al punto de suministro normalizado, donde se puede visualizar la caja estanca prevista para la acometida.



DESARROLLO

La alternativa planteada para hacer frente a los fenómenos introductorios radica en el concepto de la seguridad eléctrica entendida en el sentido más amplio “confianza en algo o alguien”, incorporando la concientización en el uso y respeto de las instalaciones como uno de sus aspectos a tener en cuenta. Otro de los visos de discusión conceptual en aspectos de la seguridad eléctrica, se dio, al querer implementar una instalación para estas características, con tecnología existente en el mercado nacional, regional y local, y fácilmente ejecutable al efectuar el montaje adoptado como solución. Resulta evidente que la situación descripta requiere plantear la disyuntiva de resolver, con bajo nivel tecnológico, alcanzar la mayor cantidad de destinatarios, en el territorio más extenso posible, con baja o nula mano de obra calificada, un problema tan crítico como el de la seguridad eléctrica.

[5] Edición on line de infobae.com. Nota titulada: Se consume hasta cuatro veces más de electricidad en las villas
[6] Edición on line de La Nación. Nota titulada: Alto consumo de electricidad en las villas.

El marco que imponen estos indicadores sintetiza la decisión de plantear una solución basada en estos pilares:

- La utilización de tecnologías existentes en el mercado,
- la generación de puestos de trabajo en el lugar,
- la replicabilidad del proyecto a nivel Nacional.

Si bien cada una de estas hipótesis posee su independencia, pensar la utilización de tecnologías existentes en el mercado puede condicionar la replicabilidad a nivel nacional. En síntesis cada una de ellas articula con las demás y así sucesivamente no es acertado pensarlas como compartimentos estancos sino más bien como complementarias. Las tres hipótesis planteadas pueden ser resueltas técnicamente de dos maneras que satisfagan básicamente los fenómenos introductorios:

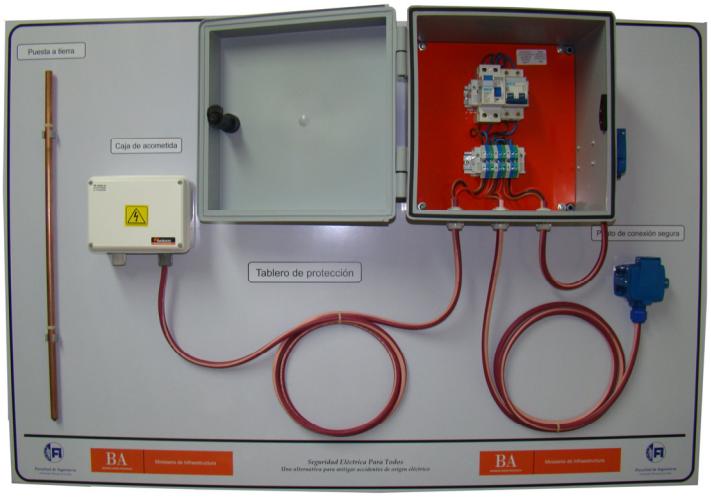
- Bajo el desarrollo, fabricación e instalación de algún equipamiento apropiado,
- Mediante el diseño, preparación y montaje de un número de elementos comercialmente existentes que conformen a una instalación.

Al descartar como solución la primera de las modalidades, se aborda el proceso puramente tecnológico incorporando como estrategia de diseño el uso de materiales “no conductores” de la corriente eléctrica como partes de la instalación expuestas al contacto de los habitantes, posicionando el mismo en una situación de apertura a los componentes de origen fundamentalmente poliméricos. Si bien se podría incorporar a los cerámicos en el análisis, estos últimos no cumplen ampliamente con la hipótesis de replicabilidad e incorporan ciertas restricciones y/o inconvenientes al momento de liberar la implementación del proyecto.

La definición del párrafo anterior permite pensar en construir una instalación que cumpla con los criterios de doble aislamiento, requisito incorporado por el ENRE en su resolución 336/09 hoy reemplazada por la 225/11 [1]. Si bien la mencionada resolución queda fuera del alcance de la implementación del presente trabajo resulta interesante desde el punto de vista técnico plantearse alcanzar ese objetivo. Se sabe que la doble aislación en su definición tácita “aislamiento que comprende, a la vez, un aislamiento principal y un aislamiento suplementario” no explicita bajo que condiciones de funcionamiento se debe cumplir con su definición. Esta reflexión la abordaremos más adelante cuando discutamos sobre la envolvente de las protecciones y los tendidos para las conexiones. La utilización de materiales aislantes en aquellas partes expuestas al contacto fortuito, evita, equipotenciar todas las masas de la instalación (tarea que frecuentemente es omitida por los instaladores), y la consecuente utilización de recursos innecesarios.

Descripción conceptual de la instalación: La alternativa *gravita* sobre la construcción de un tablero al que se ha denominado “Tablero Social”, dentro del cual se alojan dos interruptores, uno que brinda protección contra las fallas por sobrecorrientes de larga y corta duración (conocidos como sobrecargas y cortocircuitos), y otro que permite despejar contactos directos y/o fallas de aislamiento (contactos indirectos). La vinculación de este tablero con las instalaciones barriales se la efectúa a través de la conexión a una bornera bipolar ubicada dentro de una caja estanca montada sobre el frente de la vivienda. Dicha bornera se vincula eléctricamente con el tablero a través de un cable apropiado. Esta solución deja preparada la vivienda para conectarse a una futura red de distribución normalizada. Resta indicar como resolvemos la conexión de los consumos con el tablero. Para esto pensemos que las viviendas donde interviene este proyecto cumplen con la definición de vivienda precaria, típicamente conformada por un lugar común donde se desarrollan la mayoría de las actividades y otro que oficia de dormitorio completando con el baño anexo o independiente de los anteriores. Los consumos son alimentados de puntos de “conexión seguros” ubicados estratégicamente en los diferentes locales. La vinculación de dichos puntos al tablero se efectúa con cableados independientes que acometen sobre borneras preaisladas unipolares alojadas en el interior del tablero. Los puntos de conexión seguros son vinculados a una puesta a tierra de protección instalada bajo el tablero que completa el concepto de protección integral contra contactos indirectos. Cabe aclarar que el objeto del proyecto no es reemplazar toda la instalación eléctrica existente en las viviendas, sino que viene a aportar puntos de conexión que por su naturaleza cuentan con el respaldo de las protecciones mencionadas y por lo tanto generan confianza en ellos incorporando el concepto de seguridad eléctrica.

Las envolventes se han pensado a fin de cumplimentar con las exigencias que impone un sistema de doble aislamiento. En el caso del tablero social la misma fue confeccionada sobre un gabinete a prueba de salpicaduras, impactos e incluso introducción de objetos pequeños (IPX65) [2] que le confiere estanqueidad y con ello la posibilidad de montaje en interiores, semicubiertos y/o intemperie. Todos los elementos que se adosan al gabinete llevan juntas elastoméricas y los que ingresan y/o egresan de dicha envolvente lo hacen a través de prensacables de poliamida.



Así mismo incorporan otras propiedades como la no propagación de llama y la resistencia a los rayos UV.

La Fotografía puede clarificar los conceptos y descripciones efectuadas sobre el diseño de los componentes de la instalación.

Figura 4: Fotografía del exhibidor confeccionado para conferencias".

Tendidos para las conexiones: La vinculación entre el tablero y los puntos de conexión seguros constituye un punto crítico en el desarrollo conceptual de diseño. Si bien en numerosos foros se discute si conceptualmente un cable de las características de los que responden a la norma IRAM 2178 [3], puede interpretarse como un componente equivalente a una instalación con doble aislamiento [4], pensando en la definición estricta "aislamiento que comprende, a la vez, un aislamiento principal y un aislamiento suplementario". La envoltura de este tipo de cables se puede interpretar como un "aislamiento suplementario" y es ahí donde nos paramos para decir, aunque no disponible hasta el momento, que idealmente sería conveniente contar con un cable, que como parte de una instalación, posea características eléctricas y mecánicas equivalentes a "cable unipolar + caño de hierro o PVC reforzado". Un cable con una vaina conformada por una fina malla metálica de alambres de acero embebidas en PVC, tal vez es idealmente lo que requiera el proyecto, cuando uno se plantea desde el más abstracto de los pensamientos sobre las condiciones de vandalismo a las que pueda someterse la instalación. Otro punto de vista sobre la decisión tomada, lo imprime la consideración de que una instalación a la vista es conceptualmente diferente de una instalación empotrada, en cuanto que puede entenderse el aspecto fundamental de que el tendido eléctrico es perfectamente identificable y ello aporta el sentido de la prevención intrínseca a la que conlleva su presencia. Las características técnicas y normativas con las que cumplen los cables a utilizar en este proyecto se componen fundamentalmente de: Fabricación y ensayos: IRAM 2178 - CAT II - 1.1 kV, Resistencia a la llama: IRAM 2399, Conductor: Cuerda de Cu Flexible IRAM NM 280 - clase 4 o 5, Espesor Aislación: Conductor ≥ 0.8 mm, vaina ≥1.8 mm. y Material: Aislación conductor PVC, vaina PVC resistente a la llama IRAM 2399. Todas ellas subrayan los postulados impresos en este ítem.

Implementación: Aprovechando la simultaneidad con el proyecto del voluntariado universitario "En busca de un oficio" llevado adelante por alumnos universitarios de la carrera de Ing. Electromecánica dependiente del Departamento de Mecánica y como actividad práctica, se ensamblaron los primeros 40 "tableros sociales" gracias al financiamiento otorgado por la Dirección de Fortalecimiento a Organizaciones Sociales del Ministerio de Infraestructura de la Provincia de Buenos Aires, que articula el proyecto con esta Facultad de Ingeniería.

El proyecto completo a escala piloto se llevó adelante en el Barrio San Carlos de la Ciudad de La Plata en conjunto con la Cooperativa de trabajo "los Kokitos" durante las jornadas correspondientes a las 200 acciones comunitarias que la UNLP organizó en el marco de los festejos por el aniversario de la Nación. Para ello se conformaron tres grupos de Instaladores compuestos por alumnos y cooperativistas supervisados por docentes, en cuyo caso, así como el armado de los

tableros, también formó parte de la capacitación correspondiente al proyecto de voluntariado que se desarrolló íntegramente en la Facultad de Ingeniería. En la Figura 5 se presenta una fotografía representativa de la jornada en la cual se puede ver uno de los equipos conformados ejecutando el montaje de la instalación.



Figura 5: "Los kokitos" junto a alumnos instalando los tableros sociales. Se puede apreciar el momento en que se predisponen al hincado de la jabalina de puesta a tierra de protección.

Quienes participaron de esta experiencia afirman que llevar adelante acciones que impacten positivamente sobre esta problemática no sólo representó un logro compartido, en materia de extensión, entre la Facultad de Ingeniería de la UNLP y la Dirección de Fortalecimiento a Organizaciones Sociales del Ministerio de Infraestructura de la Provincia de Buenos Aires, sino que a nivel social redundó en una mejor calidad de vida para los habitantes del barrio.

CONCLUSIONES

Desde el punto de vista técnico el resultado obtenido presenta una alternativa muy fácil de implementar, más aún teniendo en cuenta que se la pretende efectuar con personas que no traen consigo una formación previa y específica al respecto. En tanto, abstraerse en el montaje que resulta tan simple y realizable con elementos sencillos, permite pensar en que es ejecutable a través de la lectura de un manual de instalación, razonamiento que nos transporta a decir que estamos enfrente de un desarrollo con propiedades de "KIT" (Conjunto de elementos necesarios para realizar el montaje completo de un aparato o equipo). Lo único que nos limita en tal sentido, es la responsabilidad con la que se puede dejar esto sin la necesaria supervisión de personal técnico preparado.

En el aspecto social, este proyecto de extensión universitaria sintetiza el enorme esfuerzo de Alumnos, Docentes y Cooperativistas. Se puede inferir que la solución planteada, ya transcurrido un año de concretada la experiencia piloto, ha impactado positivamente sobre los habitantes del barrio San Carlos. Basta con recorrer sus calles para recoger elocuencias de agradecimiento por el trabajo realizado. Hoy se puede decir que la alternativa para mitigar accidentes de origen eléctrico en asentamientos barriales ha pasado por los cuatro períodos estacionales sin que se hayan manifestado condiciones de mal funcionamiento. Esto último es un indicativo aunque prematuro, cuando de una solución técnica se trata, haber encontrado en la elección de la tecnología empleada la implementación práctica del desarrollo teórico.

Como expectativa de implementación podría decirse que es factible, aunque sin conocer el programa en profundidad, implementar esta solución en el proyecto "*un techo para mi país*", iniciativa que aún no ha sido tomada pero que seguramente con el transcurso del tiempo se encuentre la manera de articular con el mismo.

BIBLIOGRAFÍA

1 Resolución ENRE 0225/2011. Boletín Oficial n° 32.175, miércoles 22 de junio de 2011, pp. 15-17: Reglamento para la Conexión de Nuevos Suministros", de cumplimiento obligatorio en las áreas de concesión de "EDENOR S.A.", "EDESUR S.A." y "EDELAP S.A.".
2 IRAM 2244: Grados de protección mecánica proporcionada por las envolturas de equipos eléctricos. Vigente desde 6/8/1982.
3 IRAM 2178-1: Cables aislados con dieléctricos sólidos extruidos para tensiones nominales desde 1 kV (Um = 1,2 kV) hasta 33 kV (Um = 36 kV).
Isolated cables with extruded solid dielectrics for rated voltages from 1kV (Um =1,2 kV) up to 33kV (Um = 36 kV). Vigente desde 27/9/2004
4 IEEE & EMC Society - The PSN (Product, Safety and Newsletter) Vol. 7, No. 1 January-February 1994, Double Insulation by Paul W. Hill & Associates © 1990, page 7 and 12.

PERFIL DE RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS NO IONIZANTES DE LA CIUDAD DE LA PLATA

Vernieri, Julieta Z.[1]; Rodríguez, Guillermo [1, 2]; Bava, Alberto[1, 3]; y Garavaglia, Mario[3, 4]
[1] Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Argentina, calle 1 esq 47, Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, bava@ciop.unlp.edu.ar
[2] Facultad Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina.
[3] Centro de Investigaciones Ópticas, CIOp (CONICET – CIC), La Plata, Argentina.
[4] Facultad de Ciencias Exactas, UNLP, Argentina.

Palabras Claves: antenas, radiaciones, electromagnetismo, contaminación, ambiente.

RESUMEN

El desarrollo tecnológico de los últimos años en el área de las comunicaciones ha incrementado el uso de ondas de radio de altas frecuencias en servicio que emplean WiFi o Bluetooth, teléfonos inalámbricos y celulares, por sólo citar algunas de las posibles fuentes.

En consecuencia, vivimos inmersos en un nuevo tipo de polución intangible e inmaterial, denominada “contaminación electromagnética”. Esto ha producido una creciente preocupación en la población, en los ámbitos académicos y los gobiernos acerca de la inocuidad o no de estas radiaciones.

Por otra parte el fenómeno de crecimiento de estas tecnologías, lejos de estar estancado, se extiende día a día modificando permanentemente las condiciones de exposición de los seres humanos.

Ante esta situación, la respuesta científica es seguir investigando, efectuar mediciones caracterizando las nuevas tecnologías de emisión y evaluando el nivel de campo electromagnético con nuevos métodos que se adapten a la actualidad. Es por ello que consideramos que una caracterización del perfil electromagnético del ambiente al que estamos sometidos resultará un significativo aporte.

Acorde a la normativa vigente, Resolución 3690/2004 de la Comisión Nacional de Comunicaciones [1], consideramos de interés incluir como puntos adicionales de medición ambiental, aquellos correspondientes a viviendas en altura en razón de que muchos edificios alcanzan e inclusive superan las alturas de las torres donde se encuentran instaladas las antenas. Es por ello que este trabajo presenta un estudio del nivel de radiaciones no ionizantes considerando como parámetro de importancia la altura a la cual se efectúa la medición.

Estas primeras mediciones de radiaciones no ionizantes (RNI) efectuadas en altura, arrojan registros que revelan un aumento de los niveles de radiación con la altura, acusando un máximo alrededor de los 30 metros, en la zona de edificación céntrica.

INTRODUCCION

El presente trabajo tiene por objetivo caracterizar el ambiente en términos de radiaciones electromagnéticas no ionizantes en el rango de frecuencias de 50 MHz a 4 GHz, teniendo en cuenta los límites de exposición vigentes.

Las radiaciones no ionizantes, se miden en términos de densidad de potencia (S), y se considera como parámetro de importancia la altura por las razones mencionadas previamente.

Los efectos biológicos de los campos eléctricos y magnéticos son mejor evaluados por medio de cantidades físicas directamente relacionadas con los mecanismos de interacción. Estas cantidades son llamadas cantidades dosimétricas [2]. Según el rango de frecuencias de interés la cantidad dosimétrica que mejor cuantifica el efecto es diferente. La unidad dosimétrica que se emplea para medir RNI en el rango de radiofrecuencias (100kHz-10GHz) es la tasa de absorción específica o SAR (*Specific Absortion Rate*) definida como la energía por unidad de tiempo (potencia) absorbida por la unidad de masa de tejido, miembro o cuerpo, según se promedie, y se mide en watts por kilogramo (W/kg). La energía absorbida es disipada en forma de calor y los efectos son consecuencia del aumento de temperatura (general o local).

Sin embargo la medición directa del SAR en un cuerpo dado es relativamente dificultosa, por ello la ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) define los "niveles de referencia" de exposición que son más útiles y prácticos de medir y comparar. Para el rango de frecuencias de 10 MHz a 300 GHz el nivel de referencia, según la ICNIRP se mide en términos de la densidad de potencia de la onda plana equivalente, referida en el presente trabajo como densidad de potencia S [mW/cm^2], [2], [3].

Los gráficos de los niveles máximos permisibles de la densidad de potencia S de RNI, según la norma vigente en nuestro país: Resolución 202/95 del Ministerio de Salud [4], son los que se muestran en la Figura 1.

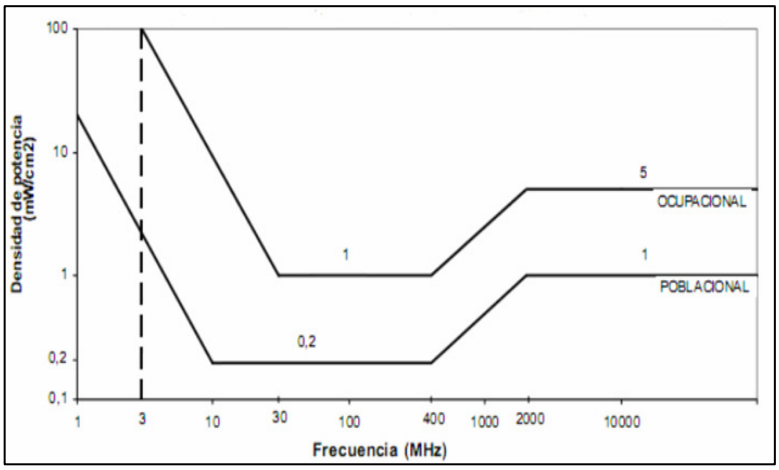


Figura 1 – Densidad de Potencia permisibles para exposición poblacional y ocupacional [4].

Los niveles *ocupacionales* están referidos a ambientes controlados y son zonas restringidas para el público en general. Por lo general son ambientes con riesgo y las personas que transitan en ese entorno saben discernir qué tiempo pueden permanecer en dicho entorno. Mientras el nivel *poblacional* se refiere a ambientes no controlados, siendo aquellos donde se habita o se transita. Los niveles por debajo de este margen son permitidos para público en general.

MARCO TEORICO

La evaluación de los niveles de las RNI se efectúa midiendo la densidad de potencia S en watts sobre metro cuadrado, dada por:

$$S = \frac{P_r}{A} \qquad (1)$$

Donde P_r es la potencia en watts recibida por el equipo de medida y A es el área de captura de la antena utilizada en metros cuadrados.

El área de captura se puede definir como:

$$A = \frac{G_i \cdot \lambda^2}{4\pi} \tag{2}$$

Siendo Gi la ganancia de antena y λ la longitud de onda en metros. Reemplazando (2) en la ecuación (1) obtenemos:

$$S = \frac{4\pi \cdot P_i}{G_i \cdot \lambda^2} \tag{3}$$

Expresando la densidad de potencia en [mW/cm^2], tendremos:

$$S = \frac{4\pi \cdot 10^{\frac{P_i - G_i}{10}} f^2}{10000 \cdot c^2} \tag{4}$$

Donde P_i representa la potencia medida en dBm, c la velocidad de la luz en m/s, f la frecuencia de captura en Hz y G_i la ganancia de antena en dBi.

De esta forma el instrumento obtiene el valor de la densidad de potencia para cada frecuencia f y por barrido del analizador, de modo que se tendrán tantos valores como barridos se realicen.

Como los límites de exposición según normas [1] y [4], están dados para un promedio temporal de seis minutos de exposición continua, debe registrarse la cantidad de barridos (N) en dicho tiempo y realizar un promedio entre los niveles de densidad de potencia. Luego la densidad de potencia total será:

$$S_{promedio} = \frac{\sum_{n=1}^{N} S_n}{N} \tag{5}$$

Las medidas de la densidad de potencia se efectuaron con analizadores espectrales digitales y portátiles de marca Spectran, modelos HF4040 y HF6060 (Figura 2). Estos instrumentos permiten, a través de un software instalado en una notebook, detectar y guardar los registros de niveles de potencia recibida para su posterior procesamiento.

.

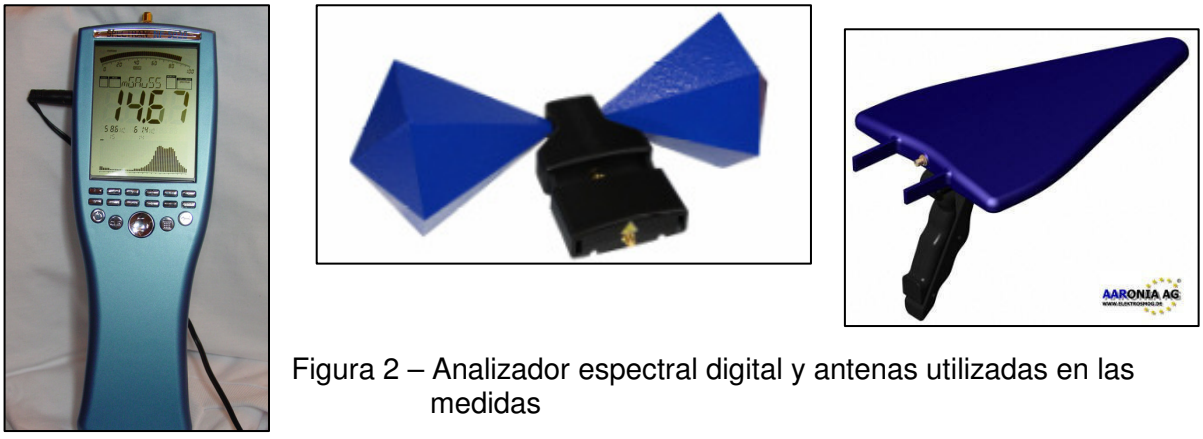


Figura 2 – Analizador espectral digital y antenas utilizadas en las medidas

Las características técnicas de mayor interés son: ancho de banda entre 1MHz y 6GHz, con una sensibilidad de -90dbm.

MEDIDAS EXPERIMENTALES

Con el objetivo de evaluar los niveles de RNI con respecto a la altura se efectuaron medidas en tres zonas de la ciudad de La Plata (Figura 3), pudiendo en dichos sitios acceder a medir a distintas ubicaciones de alturas. Los puntos elegidos para este trabajo fueron:

Zona1- Facultad de Ingeniería, Departamento de Electrotecnia, en calle 47 y 116.
Zona 2- Edificios en la zona céntrica de La Plata, en calle 12 entre 46 y 47 y en la intersección de las calles 6 y 45.
Zona 3- Torre de la Catedral de la Ciudad de La Plata, calle 14 y 53.

En cada punto elegido se midieron los valores de las RNI para distintos niveles de altura, con el fin de poder determinar un perfil vertical de los niveles.

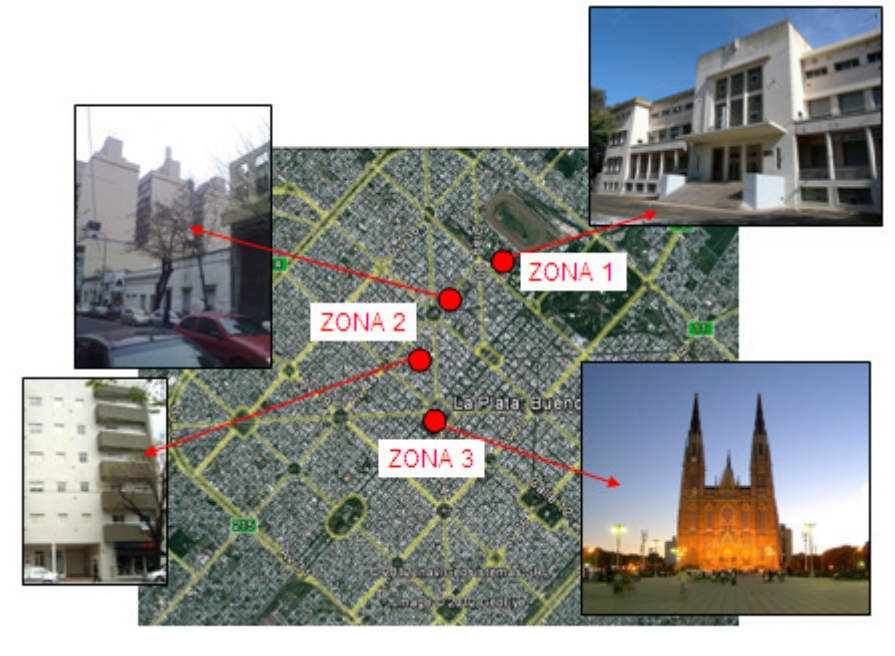


Figura 3 – Zonas de medidas de los perfiles de RNI.

Se eligieron zonas de la ciudad de La Plata con instalación de antenas en el entorno y con características diferentes. La Zona 1 corresponde a la Facultad de Ingeniería, y precisamente se midió en el edificio del Departamento de Electrotecnia. Este edificio es de cierta altura y permite fácilmente acceder a varias plantas facilitando así la medida. Su ubicación es muy cerca del bosque de la ciudad de La Plata, pero posee varias antenas de gran porte en su cercanía, como son las instaladas en la torre del edificio Central de la Policía de la Provincia de Bs As.

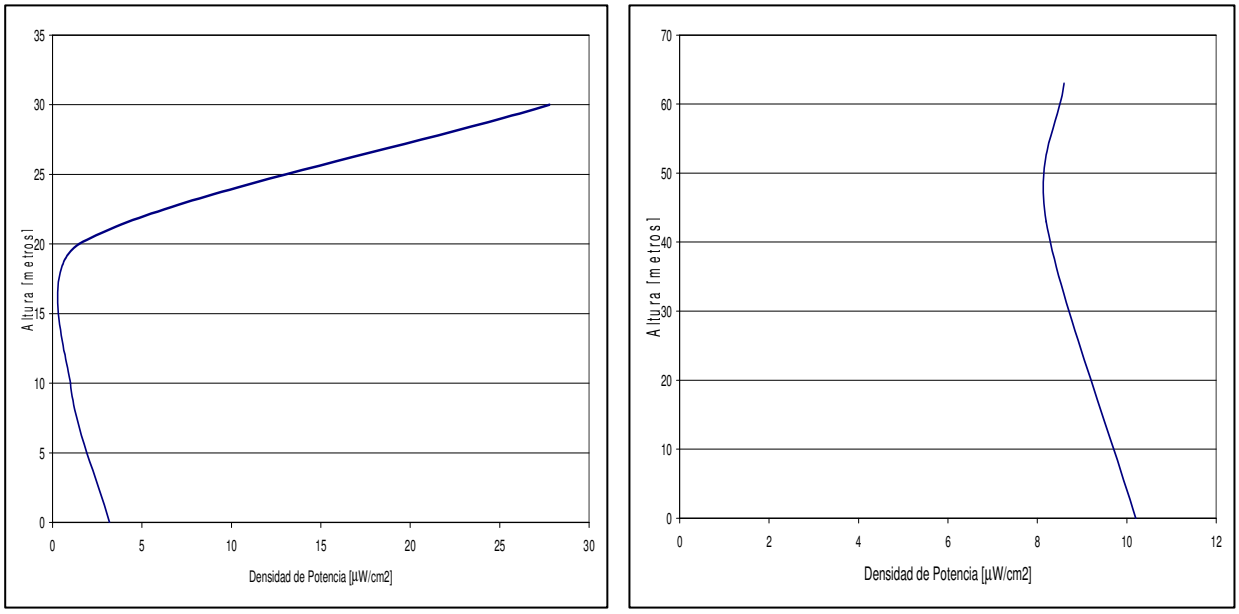
La Zona 2 corresponde a dos edificios de la parte céntrica de la ciudad de La Plata, uno de ellos con características muy particulares, ya que son tres torres y posee una antena en su torre central, que da servicio a sistemas de telefonía celular. Los dos edificios están en el área céntrica de la ciudad de La Plata, zona donde hay muchas antenas instaladas en altura y corresponde a la zona de mayor emisión radioeléctrica.

La Zona 3 corresponde al centro geográfico de esta ciudad y la medida se efectuó en la Catedral de la ciudad de La Plata. Se aprovechó el ascensor que posee una de las torres, lo que nos permitió realizar mediciones a los siguientes dos niveles de altura: 42 y 63 metros.

RESULTADOS

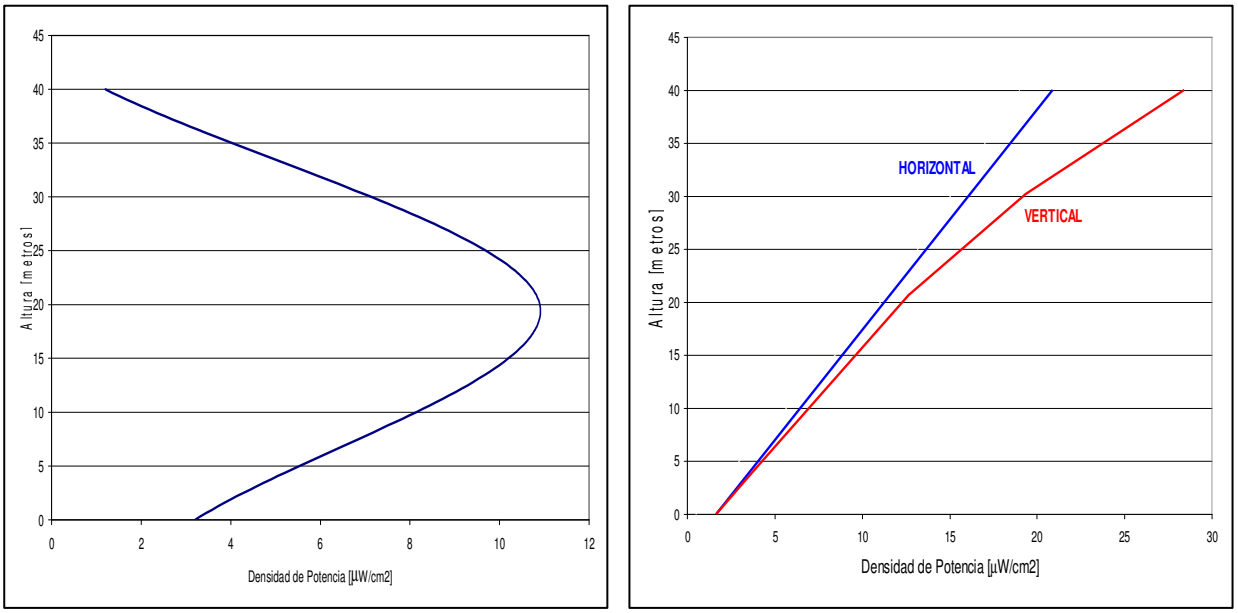
Las medidas de los perfiles de RNI en función a la altura fueron realizadas en forma discreta, evaluando entre tres a cinco puntos en altura según la accesibilidad del lugar. Las gráficas resultantes, volcadas en las Figuras 4 y 5, fueron realizadas con los valores de interpolación.

Los niveles medidos, en todos los casos, resultaron menores que los límites impuestos por las Normas para exposición a RNI en ambientes públicos, reproducidos en la Figura 1, [4].



a) b)

Figura 4 – a) Medida del perfil de RNI del Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, UNLP y b) Medida en la torre de la Catedral de la ciudad de La Plata.



a) b)

Figura 5– Medidas de perfiles de RNI de un edificios en la zona céntrica de la ciudad de La Plata, a) edificio de de calle 12 entre 46 y 47 y b) edificio de calle 45 y 6.

Las medidas fueron todas realizadas detectando sólo polarización vertical excepto en el caso del edificio de la calle 45 y 6 (Figura 5 b), en la cual se registró además la polarización horizontal, la que arrojó valores inferiores a los de la vertical.

Debido a la cantidad de zonas medidas podemos decir que estos son datos preliminares, pero que resultan de gran interés, ya que en algunas de las zonas los niveles de densidad de potencia de RNI presentan una gran diferencia de acuerdo a la altura, lo cual justifica la futura profundización de este enfoque.

CONCLUSIONES

Del análisis de las gráficas mostradas en los resultados (Figuras 4 y 5) podemos concluir que:

- en los perfiles de RNI de la Zona 1, Facultad de Ingeniería (Figura 4 a), vemos que los niveles medidos son mayores en las máximas alturas, mientras que en los niveles de alturas inferiores juega un rol importante la atenuación de las paredes del edificio.

- los niveles de RNI en función de la altura, medidos en la Zona 3, sobre la torre de la Catedral de La Plata (Figura 4 b) son más constantes respecto a la altura, lo que se explica por la posición de la Catedral frente a la plaza Moreno, lo que le permite a las ondas electromagnéticas propagarse sin atenuación.

- en los registros de RNI de las Figuras 5 a) y b), Zona 2, se puede observar un aumento de los niveles de radiación con la altura, mostrando en la edificación céntrica máximos en la zona de los 30 y 40 metros. Aunque estas medidas son sólo una muestra de los niveles de emisión en zonas pobladas, es probable que las alturas intermedias sea donde haya máximos de emisión de RNI, ya que los sistemas de telecomunicaciones por lo general poseen sus diagramas de antenas direccionados hacia abajo para lograr un mayor cubrimiento del terreno y dar un mejor servicio a los usuarios. Los niveles de RNI en la planta baja son inferiores ya que sobre ellos actúa la atenuación de la edificación circundante.

Los niveles medidos, en todos los casos, son inferiores a los valores límites impuestos por las Normas para exposición a RNI en ambientes públicos [4]. Sin embargo, es recomendable mantener un estricto seguimiento de los niveles de radiación, contemplando la posibilidad de realizar medidas a diferentes alturas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Resolución nº 3690/2004, Comisión Nacional de Comunicaciones, Boletín Oficial Nº 30.524, 10/11/04)

[2] Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz) - Health Physics 74 (4): 494-522; 1998 - http://www.icnirp.de/pubEMF.htm.

[3] Statement on the "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz) - Health Physics 97(3):257-259; 2009 - http://www.icnirp.de/pubEMF.htm.

[4] Resolución nº 202/1995. Ministerio de Salud y Acción Social de la Nación: Estandar Nacional de Seguridad para la exposición a radiofrecuencias comprendidas entre 100 kHz y 300 Ghz.



Hidráulica

CORRECCIÓN DE VÓRTICES EN DÁRSENAS DE GRANDES ESTACIONES DE BOMBEO

José Luis Carner, Cecilia Lucino, Sergio Liscia

Laboratorio de Hidromecánica –Departamento Hidráulica – Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina
jlcarner@gmail.com; clucino@ing.unlp.edu.ar; soliscia@ing.unlp.edu.ar
Presentado en el XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica – San José de Costa Rica – Septiembre de 2.012

Introducción

La formación de vórtices de superficie libre y sumergidos es un problema que puede afectar severamente el funcionamiento de las bombas, por ser causales de: vibraciones que se traducen en desgaste de los cojinetes, caída de rendimiento por el ingreso de aire, caída de rendimiento por existir componentes tangenciales del flujo en el ingreso a las bombas, eventualmente, cavitación inducida por los vórtices de fondo y posibles sobrepresiones en la impulsión por la compresión rápida del aire incorporado. Esta problemática se intensifica con el aumento de los caudales de bombeo y la búsqueda de minimización del volumen de las obras y simplicidad de los diseños (para favorecer los procesos constructivos). En el caso que se presenta, además se pretende operar en condiciones de operación muy diferentes en cuanto a rango de caudales y niveles, lo cual hace que la etapa de optimización del diseño demande una serie de correcciones que deben verificarse en las distintas exigencias operativas.

Objetivos

El trabajo desarrolla los procesos de optimización y corrección del escurrimiento del agua hacia las bombas, ante distintas condiciones de operación de la Estación de bombeo, describiendo y validando medidas de remediación a través de mediciones sistemáticas de velocidad a la entrada de las dársenas de aducción y mediciones con rotámetros en el interior de las bombas (simuladas mediante sifones) en modelo físico.

Se realiza el análisis de los elementos de remediación colocados, como pantallas delante de las bombas y formas de fondo bajo las mismas, con el fin de reducir la generación de vórtices sumergidos.

Metodología

La metodología de trabajo, de base experimental, consistió en explorar las situaciones más adversas, repitiendo sistemáticamente el ensayo variando la cantidad de bombas encendidas por cámara de aducción y variando el orden de funcionamiento, para dos condiciones de operación: en nivel medio y en nivel mínimo.

Posteriormente se exigió incrementar en un 20% los caudales bombeados, para verificar la sensibilidad de las condiciones de aducción respecto de los efectos de escala.

Se consideró el funcionamiento de hasta 3 bombas por cámara de aducción donde se varió el orden de encendido de las bombas variando desde 3 hasta 9 como máximo, quedando siempre 1 bomba de reserva por cámara. Los caudales de bombeo de la EB varían desde 1,47 m^3/s a 13,25 m^3/s (5.300 m^3/h a 47.693 m^3/h).

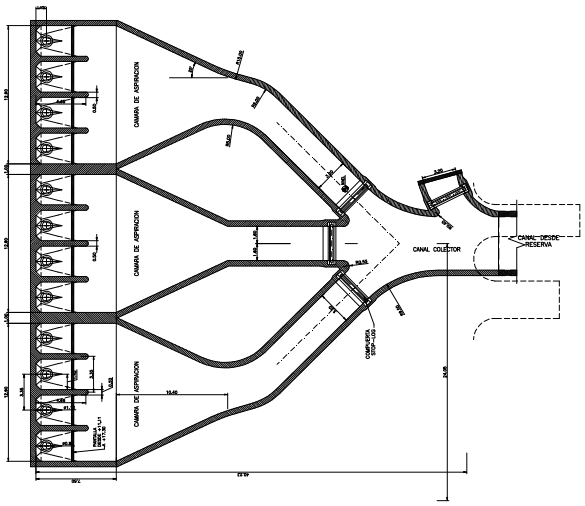


Figura 1.- Planta de la Estación de Bombeo Ensayada

El modelo físico fue desarrollado en escala de longitudes 1:7,93 y construido en chapa y acrílico para la visualización de los fenómenos de vorticidad

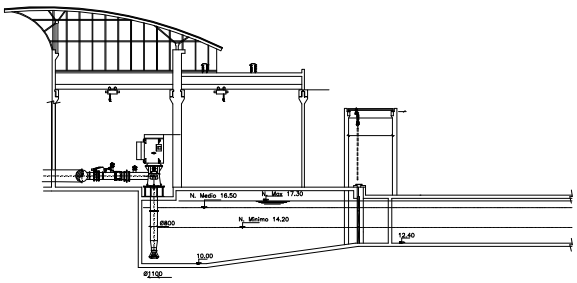


Figura 2.- Corte de la Estación de Bombeo con indicación de sus niveles de operación

Representación del escurrimiento superficial en las cámaras de aducción. Se observó el comportamiento de la superficie libre para cada ensayo realizando un esquema del campo de velocidades. Se utilizaron trazadores superficiales para poder tener una mejor valoración del patrón de escurrimiento.
Oscilación de niveles dentro de las cámaras de bombeo. En los casos donde se detectó una oscilación del nivel de la superficie libre se midió el periodo de oscilación y la amplitud de la misma.
Perfil de velocidades. Se realizaron mediciones a la entrada de cada dársena de bombeo para determinar el grado de uniformidad del perfil horizontal de velocidades. Se midió la velocidad en tres puntos próximos al fondo en la entrada de cada dársena de bombeo.
Vórtices superficiales y de fondo (en dársenas). Se utilizó la observación directa con la ayuda de trazadores para la

detección de vórtices superficiales y de fondo. Con respecto a la descripción y clasificación de los vórtices se adoptó la norma ANSI/HI 9.8-(1998). Como criterio de aceptación se admite la presencia de vórtices tipo II, de los descriptos en la norma, de manera permanente y la presencia de vórtices tipo III de manera estable o esporádica.

Pérdida de carga en dársenas. La pantalla existente en el ingreso de cada dársena de bombeo genera una perdida de carga en el escurrimiento que se evidencia a través de un descenso de la superficie libre entre la cámara de bombeo y cada dársena. Se realizó la medición de dicho descenso con una cinta métrica para cada ensayo realizado.

Circulación en el tubo de impulsión. Para la valoración de la circulación dentro de las bombas se utilizan rotámetros según la norma ANSI/HI 9.8 (1998). Éstos permiten medir la componente tangencial de la velocidad absoluta, que es la que produce el giro del rotámetro, y está limitada a un valor máximo recomendado. La norma utilizada limita la circulación o el ángulo que se produce entre la velocidad meridiana y la tangencial a 5º.

El modelo físico se construyó en escala 7.83, obteniéndose, según lineamientos de la norma ANSA/HI 9.8, valores del número de Reynolds de 75.200 a la entrada a la bomba y valores del número de Weber de 547 en el mismo lugar, requiriéndose sumergencias mayores a 2 veces el diámetro de la campana de la bomba D, valores que se verifican en el proyecto y construcción de la EB. Con estos números adimensionales de Reynolds y Weber, la presencia de fuerzas viscosas y fuerzas producidas por tensión superficial es insignificante.

Análisis de los resultados

El funcionamiento general de la EB no pudo mantenerse estable para todas las condiciones de operación requeridas sin la colocación de las pantallas (curtain wall) y las formas de fondo (side walls). Otras medidas de estabilización de los escurrimientos como muros deflectores en las curvas de entrada a las cámaras sólo corregían efectos de circulación para algunas configuraciones de operación pero generaban perturbaciones al alterar cambios de encendido de bombas.

Sólo las pantallas “curtain wall” lograron hacer aceptables las condiciones de aducción a las bombas en su condición más crítica, con formas bajo las mismas “side walls” tal cual lo recomendado por el fabricante de las bombas. El parámetro fundamental de aceptación de las soluciones propuestas consistió en el estudio del rotámetro, cuya exigencia fue aún mayor, limitando a 3° el ángulo de desfasaje entre las velocidades tangenciales y meridianas, que se ha traducido en un giro máximo en prototipo de 6.6 rpm para las mediciones de tiempo requeridas por la Norma: reducidas (entre 10 y 30 segundos) y total (10 minutos). La norma permite aceptar mayores rotaciones siempre que ocurran en un porcentaje de tiempo menor al 10%.

La norma ANSI HI 9.8 exige, complementariamente la no observación de vórtices superficiales o sumergidos (de pared y de fondo), salvo por períodos muy cortos de tiempo, menores al 10%.

Los ensayos también fueron simulados numéricamente por medio del software Flow 3D (desarrollo CFD de Flow Science Inc.), que fuera previamente calibrado con resultados de una geometría de dársena sencilla (Lucino, 2010). Este recurso aportó una mejor interpretación de la evolución de los patrones de circulación en el interior de la cámara y proximidades de las bombas.

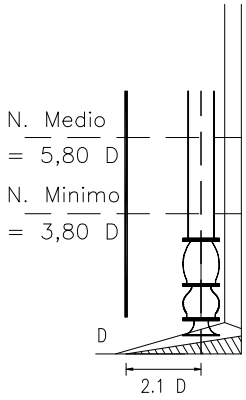


Figura 3.- Pantalla y formas de fondo adoptadas

Conclusiones

Los resultados de los 15 ensayos analizados luego de implementar elementos de remediación, como pantallas o *curtain walls*, y formas de fondo, tal como las recomendadas por el fabricante de las bombas, arrojaron resultados satisfactorios desde el punto de vista de los parámetros de referencia descriptos.

Del análisis de los resultados surge que los problemas a resolver en este diseño tienen origen principalmente en dos cuestiones: por un lado la dificultad de particionar el caudal en diferentes proporciones de acuerdo a las etapas operativas del proyecto logrando un escurrimiento de ingreso uniforme a cada uno de los canales de aducción, y por otro, la imposibilidad de lograr escurrimientos de aproximación a las dársenas libres de vorticidad con potencial ingreso de aire para las diferentes y variadas demandas de operación.

Referencias Bibliográficas

Lucino, C., Liscia, S. y Duró, G. (2010). *Detección de Vórtices en Dársena de Bombeo*. XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica 2010.

[2] American National Standard for Pump Intake Design ANSI/HI 9.8 -1998.

DESARROLLO E INSTALACIÓN DE INSTRUMENTOS PARA LA VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA OBRA HIDRÁULICA

Dardo Guaraglia, Pablo García, José Carner y Enrique Spinelli

Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, UNLP , Calle 47 nº 200, 1900 La Plata, República Argentina, dguaragl@ing.unlp.edu.ar

Resumen.

En este trabajo se describe el desarrollo, implementación, instalación y seguimiento de un sistema de recolección de variables hidráulicas, utilizado para la evaluación de los túneles Aliviadores del Arroyo Maldonado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA). Esta obra posee características particulares, que demandan un diseño específico del sistema, cuidados especiales en la selección e instalación de los instrumentos y en la recolección de los datos. Por este motivo, se desarrollaron parte de los instrumentos (pluviógrafos y limnígrafos) en la Facultad de Ingeniería, a fin de disponer del control de la tecnología y así poder adecuarla a los requerimientos especiales de la obra.

Se desarrollaron, probaron y calibraron en la facultad doce instrumentos. Se instalaron cinco pluviógrafos, cuatro limnígrafos, un barógrafo y un perfilador de velocidades. La facultad tuvo a su cargo la recolección de datos durante 10 meses en los que fue posible comprobar el correcto funcionamiento de los equipos y así como registrar algunos eventos especiales.

En este trabajo se discuten los criterios de diseño e instalación de los instrumentos; la experiencia ganada en este trabajo; y se presentan los resultados de las mediciones comparados con los del modelo matemático utilizado para el diseño de la obra hidráulica. Se concluye que es fundamental disponer de desarrollos de instrumentos propios para adaptarlos a los problemas de ingeniería locales. Se observó además, que las mediciones en las obras hidráulicas producen una significativa retroalimentación en el conocimiento lo cuál permite mejores ajustes en los coeficientes empíricos de futuros proyectos, especialmente en obras de grandes dimensiones.

Introducción

Los proyectos de Ingeniería Hidráulica de alta complejidad requieren la verificación del cumplimiento de las hipótesis de cálculo que llevaron a su concepción; y sólo las mediciones de los parámetros críticos en el campo, permiten validar las hipótesis de trabajo. Tal es el caso del Proyecto de los túneles Aliviadores del Arroyo Maldonado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Los conceptos fundamentales de diseño de esta obra han sido verificados en un modelo físico en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería; y el modelo a escala reducida ha demostrado un correcto funcionamiento de la obra antes de su construcción. Sin embargo, los mecanismos de transformación escorrentía – caudal y el funcionamiento supuesto de la descarga hacia los túneles podrían verse modificados por condiciones imprevisibles, tales como la incertidumbre en los niveles de descarga al Río de la Plata y la impermanencia de las mareas meteorológicas.

Por tal motivo, y con el fin de validar los modelos matemáticos que dieron origen al proyecto de ingeniería, era necesario instrumentar la obra y la cuenca que aporta a la misma, para determinar los movimientos de las masas de agua en los sistemas pluviales y la descarga a los túneles derivadores.

Una obra hidráulica de estas características, posee requisitos particulares de medición y de recolección de los datos, por lo cuál se requieren cuidados especiales en la selección e instalación de los instrumentos. Por este motivo, se consideró conveniente desarrollar en la Facultad de Ingeniería, parte de los instrumentos a utilizar (pluviógrafos y limnígrafos), ya que de esta manera se obtendría el control de la tecnología y la posibilidad de adecuarla a los particulares requerimientos de la obra.

Descripción del problema de medición

Los instrumentos se debían instalar en una zona urbana y se encontrarían distribuidos en un área aproximada de 9920 hectáreas. Además de la lluvia y los niveles en varios puntos, era necesario medir caudales en la descarga al Río de La Plata, para lo cuál se debió seleccionar e instalar un caudalímetro.

Pluviógrafos

La comparación del funcionamiento de la obra con su modelo matemático requería que los datos de lluvia se midiesen instantáneamente, evitando promediaciones. Los instrumentos comerciales convencionales, en general, poseen constantes de promediación que van desde algunos minutos a algunas horas.

Desde el punto de vista de la instalación de instrumentos de medición, las zonas urbanas tienen las ventajas siguientes: en general, la provisión de energía eléctrica para la alimentación de los equipos se encuentra fácilmente disponible y existe cobertura de telefonía celular, lo cuál permite la transmisión remota de los datos desde los instrumentos a una central de recolección de información. Es también una situación favorable que, al estar los equipos próximos entre sí, permiten su inspección y mantenimiento periódicos en un tiempo razonable. Entre las desventajas se pueden mencionar: que es difícil encontrar lugares en los cuáles las mediciones de lluvia no se encuentren perturbadas por construcciones o arboledas, y que los equipos se encuentran más expuestos a potenciales problemas de vandalismo.

Limnígrafos

La instalación de los limnígrafos en los túneles requería una logística especial, ya que el Arroyo Maldonado se encuentra entubado y corre por debajo de la Avenida Juan B. Justo. El acceso a los lugares de instalación se efectúa a través de bocas de inspección que se encuentran en la calzada de la avenida. Por ello, para acceder al los equipos de medición se requiere una logística difícil de coordinar, dado que resulta necesario contar con personal autorizado para desviar el tránsito, personal de bomberos para acceder a las alcantarillas y personal municipal con experiencia en trabajos en el Arroyo. Esta dificultad en el acceso a los túneles limitó la inspección previa de los sitios en los cuales se debían instalar los equipos. La planificación de las instalaciones se basó, fundamentalmente, en planos. A veces, los planos carecen de la información actualizada necesaria para diseñar las instalaciones. Por lo tanto, para la colocación de los limnígrafos se requería cierta flexibilidad en su diseño, que permitiera que los problemas que pudieran surgir en el momento de la instalación fuesen resueltos “in situ”.

Recolección y transmisión de los datos

Los eventos que aportan la información de mayor utilidad para la evaluación de la obra hidráulica son eventos excepcionales que someten a la misma a solicitaciones extremas. Estos eventos son de períodos relativamente reducidos, por ejemplo, lluvias muy grandes en toda la cuenca, en pocas horas. Por lo tanto, era indispensable que los instrumentos estuviesen siempre en perfectas condiciones de funcionamiento para registrar estos sucesos que se producen pocas veces al año.

La recolección de datos de campo debía aportar información que permitiera ajustar el modelo matemático tal que, en el futuro, pudiera prevenir colapsos de la obra hidráulica ante eventos meteorológicos excepcionales de baja recurrencia. Entonces, si el modelo así ajustado, se corriese con datos en tiempo real, podría servir para alertar sobre la necesidad de evacuaciones. Esta futura aplicación del modelo requería diseñar los instrumentos para transmitir la información recogida en tiempo real.

Algunas características de los equipos desarrollados e instalados

Lluvia

Para medir la intensidad de la lluvia a cada instante se construyeron pluviógrafos que utilizan un cangilón basculante como sensor; cada vuelco del cangilón representa un volumen de agua conocido. En los pluviógrafos tradicionales se suman los vuelcos del cangilón en un período de tiempo determinado. En nuestro caso, para poder registrar la intensidad instantánea, se grabó la hora, minuto y segundo de los instantes en los cuales se producía cada vuelco. Para guardar los datos, los equipos utilizan memorias de estado sólido no volátiles, las cuales permiten varios años de almacenamiento.

Tanto para los pluviógrafos como para los limnígrafos se desarrolló un circuito de bajo consumo, con una puerta de comunicaciones que permite programar la adquisición de datos y la extracción de los mismos con una notebook. Estas funciones también pueden efectuarse en forma remota, desde una PC instalada en una oficina, por medio de telefonía celular. Se previó asimismo que, en caso de aparecer algún problema de funcionamiento de la notebook en el campo, fuese posible reemplazar la memoria de estado sólido por una vacía y poder recuperar la información en la oficina.

Las baterías seleccionadas para los equipos tienen una autonomía de más de dos meses en el caso que se cortara el suministro de energía eléctrica. En uno de los lugares en los cuales había comunicación telefónica y no se disponía de energía eléctrica domiciliaria fue necesario utilizar un panel solar.

Nivel de agua

Para medir el nivel de agua en los túneles se seleccionaron sensores de presión sumergibles, que reciben alimentación y transmiten el dato por medio de un cable. La salida de los sensores es analógica de 4 a 20 mA; lo cuál permite colocar el sensor a gran distancia del circuito adquisidor de datos. Esta característica es esencial, dado que la instalación de los sensores debía realizarse en los canales subterráneos que son inundables. Los circuitos electrónicos debían colocarse en la superficie, en un lugar que resultara cómodo para su alimentación con energía eléctrica y para la recolección periódica de datos. El rango de medición de los sensores debía ser de 7 m de columna de agua con un error máximo admisible de ± 0,01 m.

Este tipo de sensores, robustos, de uso industrial, presentan un consumo elevado para equipos remotos si son utilizados en forma continua, y requieren tensiones de alimentación de 12 V o superiores. Para integrarlos al sistema de medida se desarrolló especialmente un convertidor que genera la tensión de alimentación a partir de la batería disponible y que a su

vez puede ser encendido/apagado por el microcontrolador que realiza la adquisición. De este modo el sensor sólo se alimenta en los instantes de medida, resultando en un bajo consumo promedio.

Existen dos tipos de sensores de presión que se podrían utilizar para medir niveles; ellos se conocen como tipo galga y tipo diferencial. La salida del primero es una corriente proporcional a la suma de la columna de agua sobre el sensor más la presión barométrica. La del segundo es sólo proporcional a la columna de agua. La presión barométrica puede variar en el orden de ± 0,1 m respecto de la presión media, por lo cuál el error introducido por el primer tipo podría resultar mucho mayor que el error admitido.

Para descontar la presión atmosférica en los sensores de tipo galga es necesario medirla con otro sensor y substraerla luego en el proceso de cálculo. El sensor de tipo diferencial posee un tubo incorporado en el cable que permite que la presión atmosférica llegue al sensor, compensando las variaciones automáticamente.

En un análisis preliminar parecía conveniente utilizar los sensores de tipo diferencial pero se encontró bibliografía que comentaba las dificultades en la compensación de la presión atmosférica cuándo se utilizan tramos largos de cable en lugares con alta humedad. Una gotita de agua condensada en el interior del tubo puede impedir la correcta compensación de la presión barométrica. Un paliativo al problema consiste en colocar el extremo del tubo por el cuál se refiere el sensor a la presión atmosférica, a través de un recipiente en el cuál se coloca silicagel. Esta solución requiere el reemplazo periódico del silicagel, lo cuál es difícil de efectuar en el campo, fundamentalmente con clima lluvioso.

Los sensores diferenciales se debían solicitar a la fábrica con el largo de cable necesario para cada instalación, dado que dentro del cable se encuentra la manguera compensadora de presión atmosférica. La dificultad para acceder a inspeccionar los túneles, impedía conocer la distancia que separaría a los sensores de los circuitos adquisidores. Por otra parte, si se sobredimensionaba el largo de los cables, se incrementaba la probabilidad de condensación de humedad en el tubo compensador y se aumentaban significativamente los costos. Estos problemas llevaron a evitar el uso de los sensores diferenciales.

Se optó por el sensor tipo galga ya que la longitud del cable podía ajustarse en el campo, en el momento de la instalación, y porque al tratarse de una cuenca relativamente pequeña, con un único sensor de presión atmosférica era posible compensar todas las mediciones de nivel.

Caudal de salida

Se deseaban conocer los caudales descargados al río a través de uno de los túneles ya construidos; el canal por el cuál descargan dichos caudales posee 14,5 m de ancho, y el nivel del agua puede alcanzar 6,5 m. Se seleccionó para esta aplicación un instrumento que, colocado en el fondo del canal, mide el perfil de velocidades en un plano vertical paralelo al eje del canal. El instrumento se colocó en el centro separado del piso para evitar que al depositarse el material en suspensión pudiera cubrir los sensores. El equipo utiliza tres sensores acústicos que emiten pulsos y reciben el eco difractado en las partículas en suspensión. El corrimiento en frecuencia debido al efecto Doppler de las señales recibidas permite conocer la velocidad de las partículas. El instrumento puede medir velocidades de hasta 5 m/s y mide, además, el nivel de agua; por medición del tiempo de tránsito de la onda acústica, discrimina espacialmente las velocidades según la distancia al instrumento, hasta en diez celdas.

Recolección y transmisión de los datos

Se estableció que la recolección de los datos y la inspección del equipamiento se efectuara cada dos semanas para minimizar la posibilidad de pérdidas de datos, ya que los

pluviógrafos pueden sufrir el taponamiento del embudo captor de lluvia debido a hojas, insectos, telas de araña y nidos de aves.

Para probar la capacidad de los instrumentos de transmitir la información, se implementaron dos estaciones con transmisión remota vía telefonía celular, una pluviográfica y una limingráfica. Estas estaciones poseían un consumo de energía bastante mayor que las otras estaciones debido al consumo del teléfono celular.

Instalación de los equipos

En la Facultad, se desarrollaron, probaron y calibraron doce instrumentos, lo que permitía tener equipos de respaldo en caso que alguno sufriera un problema. Se instalaron cinco pluviógrafos, cuatro limnígrafos, un barógrafo y un perfilador de velocidades. Éste último se adquirió en el exterior. En las Figura 1 se muestra un mapa de CABA delimitando en rojo la cuenca instrumentada y los puntos en los cuales se instalaron equipos. En la Figura 2 se muestran la instalación de un pluviógrafo, un limnígrafo y un caudalímetro.

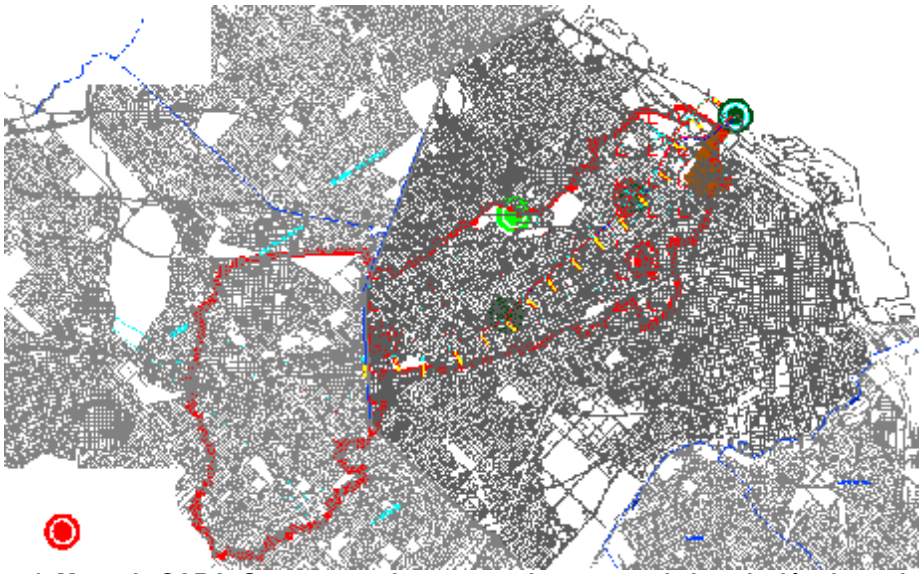


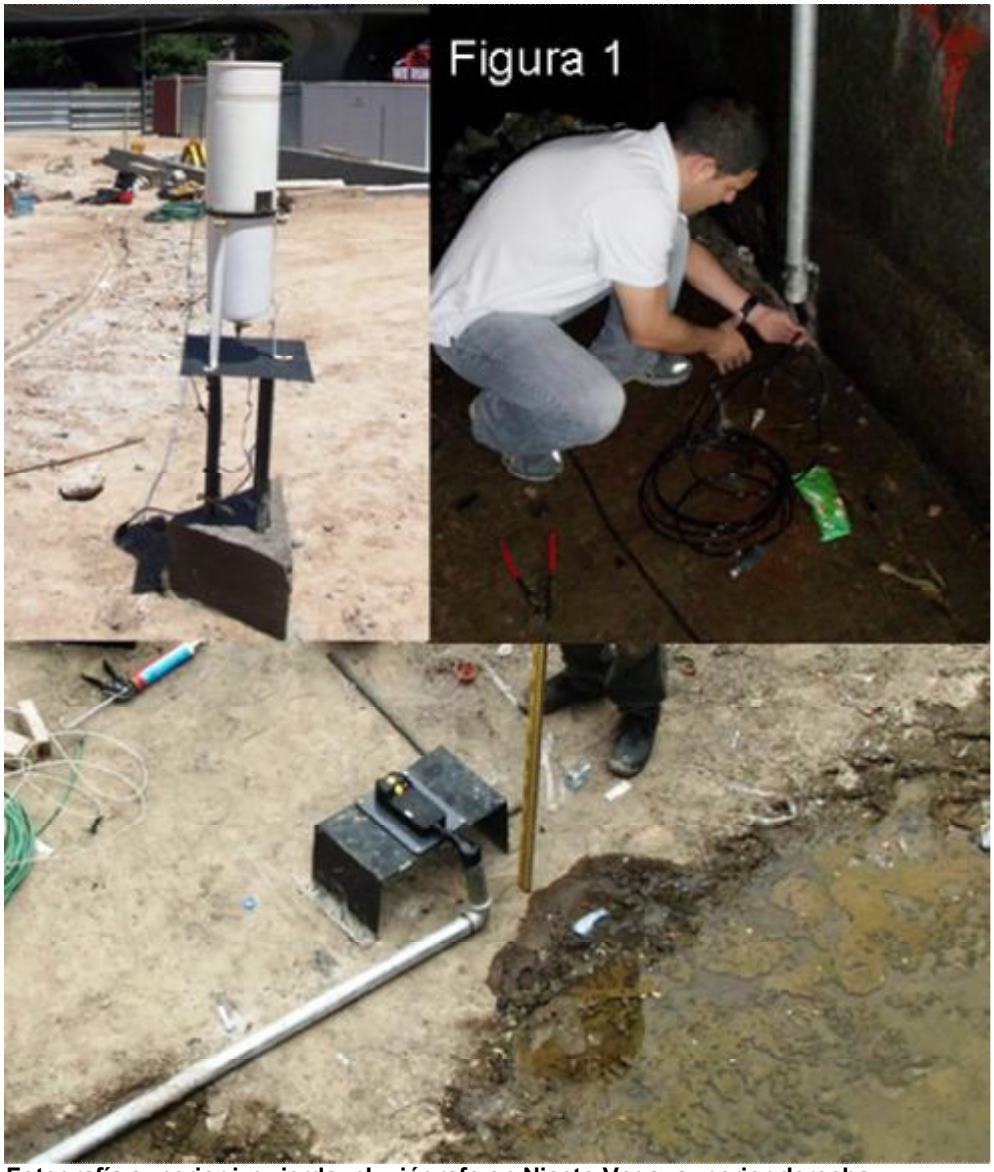
Figura 1. Mapa de CABA. Se muestran la cuenca y los puntos de instalación de equipos.

Experiencias sobre el funcionamiento de los equipos

Algunos equipos se comenzaron a instalar entre los meses de Abril y Agosto de 2010, completándose la instalación en noviembre de 2011. Al momento de redactarse este trabajo se encuentran aún en funcionamiento. La Facultad tuvo a su cargo la recolección de datos durante 10 meses en los que se pudo comprobar el correcto funcionamiento de los equipos, observándose pocas fallas y una alta tasa de efectividad en la recolección de datos.

Entre los inconvenientes se encontraron que: uno de los pluviógrafos fue vandalizado al poco tiempo de instalado; en una oportunidad, tras una tormenta con vientos importantes, el embudos de uno de los pluviógrafos fue obturado parcialmente por una cantidad importante de insectos.

Contrariamente a lo que se suponía, ni los sensores de presión ni el caudalímetro sufrieron problemas derivados del material de arrastre del canal, por lo cuál se concluyó que las instalaciones de los instrumentos, diseñadas a con el fin de protegerlos, resultaron adecuadas.

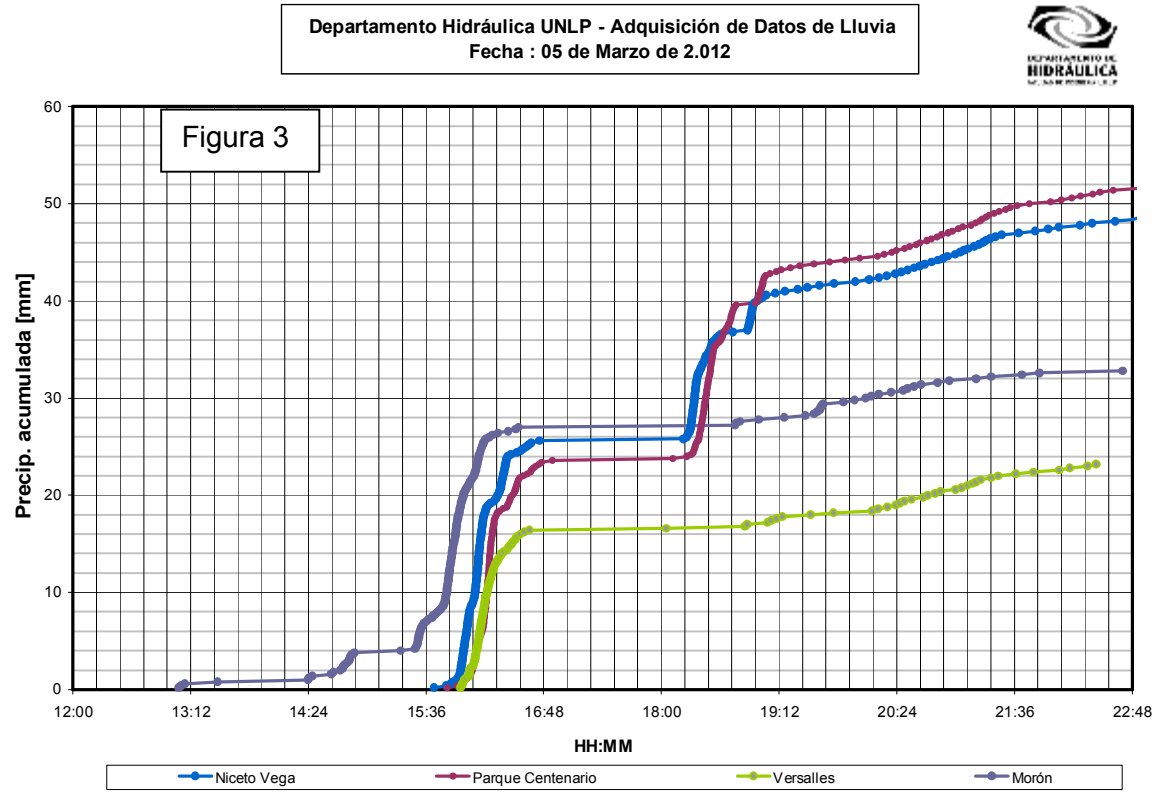


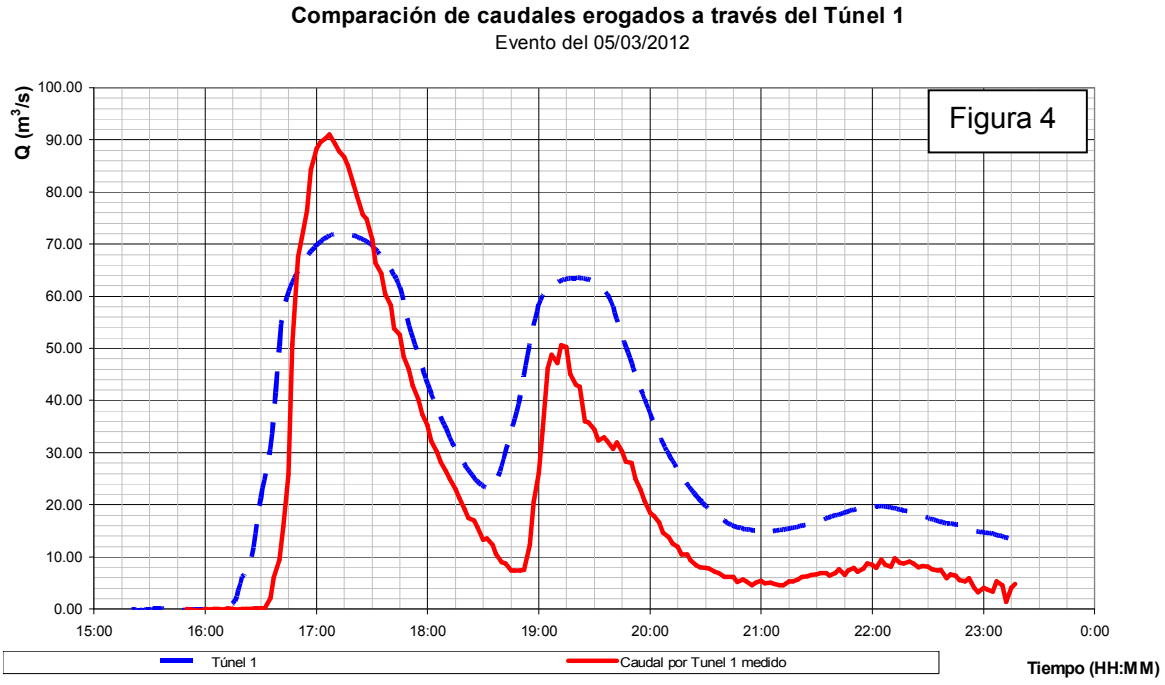
Fotografía superior izquierda, pluviógrafo en Niceto Vega; superior derecha, limnígrafo en Arroyo Madonado, abajo, caudalímetro en canal de descarga.

Resultados

En la Figura 3 se muestran datos de los pluviógrafos que permiten apreciar la coincidencia de los tiempos de inicio de una tormenta y las intensidades de lluvia en distintos lugares de la cuenca. Además, permite apreciar las diferencias entre los registros de cada estación que difieren de las condiciones modeladas originalmente para el proyecto. Esta tormenta del 5 de marzo de 2.012 generó un caudal dentro del canal semejante a la máxima capacidad de erogación. Esta es una situación particular muy interesante para la verificación del funcionamiento.

La Figura 4 muestra la respuesta de la obra comparada con el modelo matemático. La validación del modelo se realizó, y continúa realizándose, por medio de las mediciones sistemáticas de datos. La línea punteada azul corresponde a la respuesta del modelo, en tanto que la línea roja continua corresponde a los datos medidos por los equipos.





Conclusiones

Los valores medidos y calculados confirman que se necesitan ajustes menores en los procesos de derivación desde el canal al Túnel de descarga, pero los volúmenes de agua derivados son suficientemente semejantes, resultando la capacidad de descarga real más eficiente que la calculada.

Las mediciones en las obras hidráulicas, pre y post construcción, son tan necesarias como un buen proyecto de ingeniería; ellas producen una significativa retroalimentación en el conocimiento de la ingeniería hidráulica y el acceso a mejores ajustes en los coeficientes empíricos de los futuros proyectos, especialmente en obras de grandes dimensiones.

Bibliografía

Oke, T.R. Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites, World Meteorological Organization, Instruments and Observing Methods, report No. 81, WMO/TD-No. 1250, 2006.

Liscia S., R. Amarilla, M. Angulo, M. del Blanco, R. Mazzei, R. Coman, "Ensayos en Modelos Físicos de diagnóstico, verificación y optimización del funcionamiento del las Obras de Derivación y Desembocadura proyectadas por la Ciudad de buenos Aires para el Aliviados del Arroyo Maldonado", Departamento de Hidráulica, F.I. U.N.L.P., 2006.

Liscia, S, J. Carner, D. Grigera y R. Mazzei, "Obra de Desembocadura del Arroyo Maldonado, Estudio de Variantes Propuestas, Informe Final, Optimización En Modelo Fisico", Departamento de Hidráulica, F.I. U.N.L.P., 2008.

Liscia, S., J. Carner, R. Mazzei, D. Guaraglia, P. García, "ESTUDIOS SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DE LAS OBRAS DE LOS ARROYOS MALDONADO, VEGA Y MEDRANO DE LA CIUDAD DE BUENOS AIRES ", Departamento de Hidráulica, F.I. U.N.L.P., 2011.

BALANCE HÍDROLÓGICO EN CUENCAS URBANAS CON POBLACIONES BAJO RIESGO HÍDRICO. LA CAVA DE VILLA ITATÍ. QUILMES, PROV. DE BUENOS AIRES

Angheben, Enrique, Romanazzi, Pablo G.

Laboratorio de Hidrología - Departamento de Hidráulica - Facultad de Ingeniería - UNLP
Calle 47 N°200, piso 1, Oficina 6, La Plata - Tel. 0221-427-5223
hidrologia.aplicada@ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: Balance Hidrológico – Cuenca Urbana – Ecohidrología

INTRODUCCIÓN

Villa Itatí, y en particular el sector de “La Cava”, ubicados en el partido de Quilmes, provincia de Buenos Aires, conforman un ejemplo de sistema hidrológico altamente disturbado, en el cual la intervención antrópica tuvo un rol preponderante. Originalmente existía otro sistema, constituido por el terreno natural, su régimen hídrico superficial y subterráneo, el cual fue modificado sustancialmente, transformándose en otro completamente distinto.

El proceso de transformación de áreas naturales en urbanas implica la modificación del ciclo hidrológico de un modo definido y previsible (agua potable, cloacas, desagües, superficies impermeables, etc.), pero en el caso de urbanizaciones espontáneas y no planificadas esto no se cumple, dando lugar a situaciones complejas e imprevisibles. Por esto es interesante e importante el estudio del sistema hídrico en estas condiciones, para lo cual el enfoque ecohidrológico, que incluye los aspectos ambientales, se hace más necesario.

El ciclo del agua en ambientes antropizados marginales posee características particulares, como ser: déficit en el acceso al agua potable; condiciones de alto riesgo sanitario debido a la ausencia de colectoras de aguas residuales y efluentes cloacales; obtención de agua para uso doméstico de fuentes no seguras, precarias o clandestinas; deterioro de la calidad de los cursos de agua superficiales y/o del recurso hídrico subterráneo; Inundación y/o anegamiento de viviendas por insuficiencia o inexistencia de obras de infraestructura pluvial, o por ascenso del nivel freático.

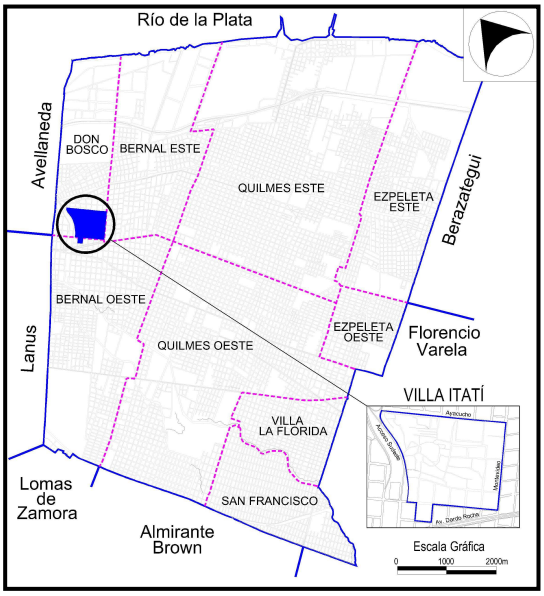
El objetivo del trabajo fue elaborar un balance hidrológico bajo régimen no permanente, en una cuenca urbana marginal no planificada, y como resultado del mismo se pudo cuantificar el agua presente en La Cava, identificarla respecto de sus orígenes y calcular los porcentajes de incidencia de cada uno de ellos. Finalmente los resultados del balance se relacionaron con los aspectos hídricos ambientales mediante la aplicación de conceptos estratégicos para la gestión urbana.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde al asentamiento urbano denominado Villa Itatí, se encuentra, dentro del partido de Quilmes, en la localidad de Don Bosco y abarca desde el Acceso Sudeste a la ciudad de Buenos Aires, hasta la calle Montevideo, y desde la calle Ayacucho hasta calle Levalle, con una superficie de 55,8 ha. Se encuentra casi en su totalidad urbanizada, las calles internas son de tierra, de forma irregular (típicas de estas zonas de asentamientos precarios donde la urbanización no responde a parámetros parcelarios ordenados), de anchos variables, y en general de uso sólo peatonal.

Respecto a los recursos hídricos superficiales y subterráneos, la cuenca hidrográfica a la que pertenece es la del arroyo Santo Domingo (Área=210 km^2), formado por la confluencia de los arroyos San Francisco y Las Piedras, el cual tiene como destino final el Río de la

Plata; y de acuerdo con González (2005) el área de estudio queda comprendida dentro de la región hidrogeológica Noreste (NE) de la provincia de Buenos Aires. La principal característica que relaciona al sistema es la recarga que se produce por el movimiento de filtración vertical descendente. El clima de la región es del tipo templado – húmedo (Auge, 2004), con temperatura media anual del orden de los 17 ℃ (1901/1990)





Figuras 1 y 2: Ubicación de Villa Itatí en el partido de Quilmes y de La Cava en Villa Itatí.

El sector denominado La Cava, está enclavado dentro de Villa Itatí y su nombre deriva de la excavación realizada para la extracción de material de préstamo o “tosca”, destinado a la construcción del Acceso Sudeste. “La Cava” es básicamente la urbanización de esa excavación y su periferia. Esta zona comprende una superficie estimada de 15,8 ha. y se caracteriza por sus construcciones precarias ubicadas sobre los taludes y fondo de la excavación, pasillos tortuosos, zanjas abiertas y carencia de los servicios públicos básicos. Por su propia característica (una excavación) confluyen en La Cava aguas de diferentes orígenes y calidades, las cuales al no ser captadas por los sistemas adecuados permanecen o escurren lentamente en superficie. La parte baja está conformada por un cuerpo de agua tipo lagunar que recibe los efluentes superficiales (precipitación, aguas servidas, desagües pluviales) y subterráneos. En esta zona más baja se encuentra instalada una estación de bombeo que permite mantener controlado el nivel de agua dentro de la misma. Este cuerpo de agua constituye un humedal cubierto en su totalidad por vegetación palustre dominada por “Totoras” (género Typha).





Fotos 1 y 2: Acceso a La cava desde el Acceso Sudeste y Laguna de Fondo.

MATERIALES y MÉTODOS

Para la realización del balance hídrico se utilizó un modelo bajo régimen no permanente (del tipo: Ingresos – Egresos = +/- Variación del Almacenaje); esto es, la diferencia entre el total de las entradas y el total de las salidas, en el período de tiempo considerado, debe ser igual a la variación en el almacenamiento, en este caso expresado como volumen [m^3]. Para el caso particular de La Cava de Villa Itatí, el mismo conforma un sistema endorreico, formado por una cuenca urbana cerrada sin afluentes superficiales, en la cual todos los aportes tienen como destino final la laguna.

El paso de tiempo del balance se estableció en un día, y el período total considerado corresponde a los meses de abril a diciembre de 2011, 270 días (nueve meses). Los datos de precipitación y temperatura se obtuvieron de los registros de la estación meteorológica Aeroparque Buenos Aires (SMN). El volumen inicialmente contenido en la laguna se estimó a partir de considerar su superficie de 2,98 ha y una profundidad promedio del orden de los 0,85 m, lo que resulta prácticamente en un almacenamiento superficial de 25.000 m^3.

Respecto al diagnóstico ambiental, para que exista riesgo debe existir una amenaza, siendo la "vulnerabilidad" la propensión de sufrir daños que exhibe un componente de la estructura social. El riesgo es, en consecuencia, una condición latente o potencial y su grado depende de la intensidad probable de la amenaza y los niveles de vulnerabilidad existentes (Merlinsky, 2006). Por ello, el eje de su análisis se sustenta en los conceptos estratégicos para la gestión ambiental urbana: Amenaza-Vulnerabilidad-Riesgo (A-V-R).

Las tareas de campo más relevantes, aparte del relevamiento topográfico, consistieron en las campañas de registro del nivel freático en pozos de observación y laguna, con el objeto de estimar el gradiente hidráulico; y el establecimiento de una “Planilla de Control de Bombeo” donde se registró, día a día, la hora de arranque y parada de cada una de las bombas. Este control estuvo a cargo de los propios vecinos que viven en La Cava y pertenecen a la Asociación de Cartoneros de Villa Itatí.

RESULTADOS y DISCUSIÓN

La evolución diaria del balance para todo el período considerado se muestra en el Gráfico 1. Se puede observar que entre los meses de septiembre a noviembre el almacenamiento superficial en la laguna tiende a estabilizarse (ver detalle), luego de un fuerte descenso durante el mes de agosto.

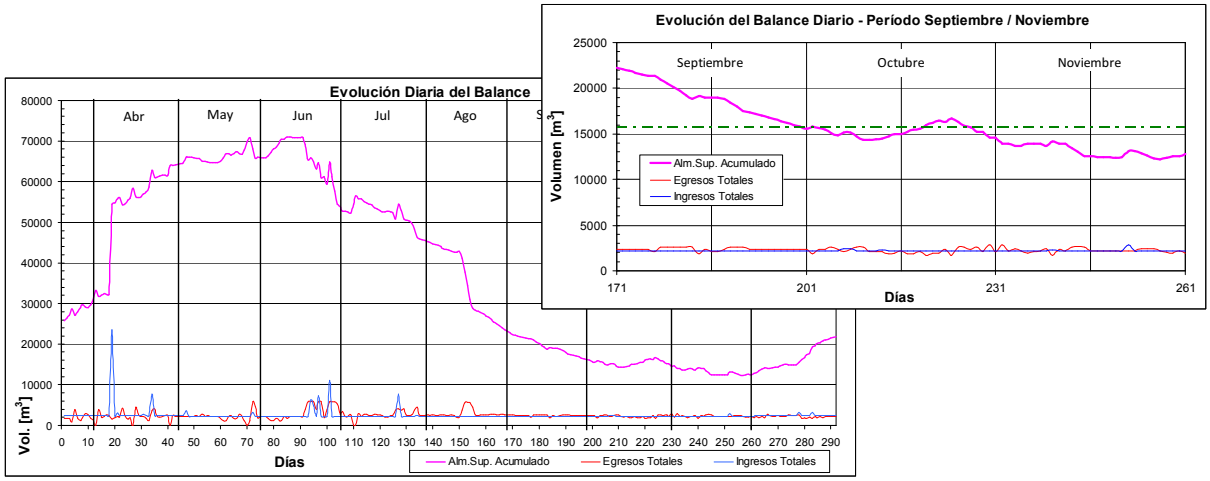


Gráfico 1: Evolución diaria del balance hidrológico

La comparación entre los ingresos y egresos totales correspondientes a cada mes se pueden apreciar en el Gráfico 2

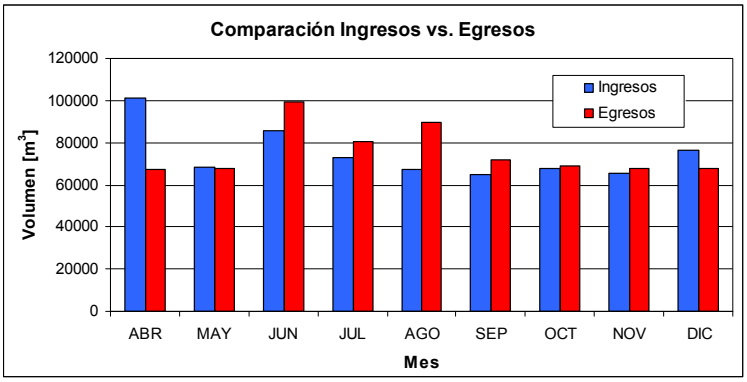


Gráfico 2: Balance hidrológico. Comparación Ingresos – Egresos Totales

En el período indicado (sept.-nov 2011, con escasa precipitación y una evapotranspiración mínimas) se realizó una comparación entre las variables predominantes: agua importada y escurrimiento subterráneo como ingresos, y bombeo como egreso. De esa comparación surgió que en el paso diario el volumen bombeado era variable, pero en su valor medio prácticamente compensaba la suma del agua importada y la afluencia subterránea, lo cual permitió ajustar los parámetros del modelo, cuyos valores finalmente adoptados fueron (Cuadro 1):

Cuadro 1: Valores de los parámetros resultantes del balance hidrológico

Variable	Parámetro	Valor
Afluencia Subterránea	Gradiente Hidráulico	$3{,}8 \times 10^{-3}$
	Transmisividad	**100** m^2/día
	Longitud de la curva isofreática	1.270 m
Agua Importada	Dotación en meses de verano	190 l/hab/día
	Dotación en meses de invierno	170 l/hab/día
	Coeficiente de vertido	**0,9**
	Porcentaje de pérdidas en la red de agua	40%
Precipitación Efectiva	Número de Curva para condición II (CN II)	**92**
Evapo-Transpiración	Índice Térmico	75

Finalmente los cálculos realizados para el período de nueve meses (270 días) considerados arrojaron los siguientes porcentajes de incidencia (Cuadro 2):

Cuadro 2: Balance Hidrológico. Porcentajes de Incidencia

Ingresos			Egresos	
Precipitación Efectiva	Agua Importada (red agua potable)	Afluente Subterráneo	Bombeo	Evapotranspiración
7,4%	71,4%	21,2%	97,4%	2,6%

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LOS PARÁMETROS ADOPTADOS

Las distintas componentes del balance requerían la determinación de parámetros para su calibración. Los valores inicialmente adoptados son los que se muestran en el Cuadro 1, los cuales surgieron en base a la experiencia y la recopilación de antecedentes. No obstante, se realizó un análisis de sensibilidad de los parámetros involucrados en las variables más relevantes (ver rango de exploración en el Cuadro 3), con el fin de evaluar su influencia sobre los resultados. Así surgieron más de 20 escenarios posibles, como consecuencia de su combinación.

Cuadro 3: Análisis de sensibilidad. Parámetros seleccionados

Precipitación Efectiva		**Agua Importada**		**Afluencia Subterránea**				
Grupo Hidrológico		Coeficiente de Vertido		Transmisividad				
Original	Nuevo	Original	Nuevo	Original	Nuevos			
Tipo "D"-CN=92	Tipo "C"-CN=88	0,9	0,8	100	50	80	120	150

Los escenarios que resultaron factibles (es decir, compatibles con los niveles observados de la laguna de fondo en el período de calibración), se muestran en el Cuadro4:

Cuadro 4: Análisis de sensibilidad. Escenarios factibles

Escenario	**Precipitación Efectiva Grupo Hidrológico**		**Agua Importada Coef. de Vertido**		**Afluencia Subterránea Transmisividad**			**ΔSsp**	**Cota**
	"C"-CN=88	"D"-CN=92	0,8	0,9	100	120	150	m^3	IGN
5	88	---	0,8	---	---	---	150	22.444	3,32
9	**88**	**---**	**---**	**0,9**	**---**	**120**	**---**	**18.061**	**3,18**
10	88	---	---	0,9	---	---	150	50.885	3,85
14	**---**	**92**	**0,8**	**---**	**---**	**120**	**---**	**9.224**	**2,72**
15	---	92	0,8	---	---	---	150	42.048	3,68
18	**---**	**92**	**---**	**0,9**	**100**	**---**	**---**	**15.782**	**3,10**
19	---	92	---	0,9	---	120	---	37.665	3,60
20	---	92	---	0,9	---	---	150	70.489	4,16

Los escenarios 9, 14 y 18 corresponden a la combinación de parámetros que mejor reproducen los niveles observados de la laguna. De esta forma se comprobó que el escenario 18 (valores coincidentes con el Cuadro 1) pertenece al conjunto de combinación de parámetros más factibles.

CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

- La conclusión de mayor relevancia que arrojó el balance hidrológico es la que establece que el bombeo diario compensa la suma de los ingresos por agua importada y afluencia subterránea. Esto significa que se extrae diariamente del sistema (bombeo) prácticamente un volumen de agua semejante al generado por la misma población que habita La Cava.

- Contrastadas las precipitaciones ocurridas en el período estudiado con las ecuaciones de I-D-R recomendadas para la Ciudad de Buenos Aires, se determinó que el cuerpo lagunar de La Cava de Villa Itatí posee una capacidad para retener o amortiguar los efectos de una precipitación diaria del orden de los 5 años de recurrencia, sin que se produzcan inundaciones en su periferia que obliguen a la evacuación de las viviendas. Relacionada esta amenaza natural y socio-natural (precipitación), con la vulnerabilidad física y social presente en La Cava, permitió establecer que el grado de riesgo de padecer inundaciones que motiven su evacuación, es del orden de los cinco (5) años.

- Las consecuencias de estas inundaciones tienen impactos particularmente importantes, debido a que vienen a empeorar una situación de vulnerabilidad pre-existente, y de por sí ya comprometida en lo habitacional y sanitario. Ante estos eventos, las pérdidas materiales pueden representar la totalidad de los bienes y equipamientos, el daño en la infraestructura de la vivienda llega a ser total y emergen las enfermedades de vector hídrico.

- Es necesario dejar un área libre de construcciones que provea un volumen remanente para absorber precipitaciones con períodos de retorno por encima del umbral mencionado anteriormente, de manera de disminuir el riesgo de inundación asociado a lluvias intensas.

- Para revertir esta realidad es necesario una gestión del territorio en lo que respecta a su planificación y ordenamiento. En este sentido, para La Cava en particular, pero para toda Villa Itatí en general, es necesario realizar una zonificación de las áreas con riesgo hídrico que permita establecer un plan de desarrollo de infraestructura, pero sobretodo para poder intervenir eficientemente ante una emergencia, no solo de origen hídrico sino también sanitario. Esta intervención debe contemplar la búsqueda de la sustentabilidad ambiental del espacio ocupado, permitiendo el acceso al abastecimiento de agua potable, saneamiento y drenaje urbano, como así también al resto de los servicios públicos esenciales.

- Como consecuencia de los resultados derivados del balance hidrológico y del análisis A-V-R surge la necesidad de intervenir en La Cava de Villa Itatí de modo de detener el asentamiento poblacional que se ha ido produciendo en los últimos años, en particular en la zona baja, aquella que posee un riesgo mayor de inundación y se encuentra en contacto con el agua de la laguna.

  Aunque esta conclusión final pudiera coincidir con la intuición de partida más lógica, esto es, que el área descripta no es apropiada para el asentamiento de población estable, se debe destacar que el peso de la recomendación dada en este trabajo se apoya en cuantificaciones técnico-ambientales y ecohidrológicas, pocas veces disponibles en los ámbitos de decisión sociopolítica.

BIBLIOGRAFÍA

- Auge, M. P., “Hidrogeología de la Ciudad de Buenos Aires”. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Departamento Ciencias Geológicas. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. Año 2004.
- Cardona, A., Omar D. “Evaluación de la Amenaza, la Vulnerabilidad y el Riesgo: elementos para el ordenamiento y la planeación del desarrollo”. En Los desastres no son naturales. Año 1991.
- Censo Social Quilmes 2010. Municipalidad de Quilmes. Año 2010.
- Custodio, E & Llamas, M. R., “Hidrología Subterránea”. Ed. Omega (2da. Edición). Barcelona. Año 1983.
- Chow, V. T., D.R. Maidment & L.W. Mays, “Hidrología Aplicada”. Mc. Graw Hill. Bogotá. Año 1994.
- González, N., “Los ambientes Hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires”, en Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino. Año 2005.
- Hargreaves, G. H., Samani, Z. A., “Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Eng. in Agric.”. Año 1985.
- Hernández, Mario A., “Método para estudios hidrológicos en una cuenca endorreica”. Conferencias de Limnología, Inst. de Limnología “Dr. A. Ringuelet”. La Plata. Año 1993.
- Merlinsky, G., “Vulnerabilidad social y riesgo ambiental: ¿Un plano invisible para las políticas públicas?”. Publicación Mundo Urbano, Universidad Nacional de Quilmes. Instituto Germani y Facultad de Ciencias Sociales de la Univ. del Salvador. Año 2006.
- Thornthwaite, C. W. y Mather J. R., “Instrucciones y tablas para el cómputo de la evapotranspiración potencial y el balance hídrico”. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires. Año 1967.
- Tucci, C. M. E., “Gestión de Inundaciones Urbanas”. Porto Alegre. Año 2006.
- Universidad Nacional de Quilmes. “Quilmes: diagnóstico sobre las condiciones urbanas y ambientales”. Año 2006.

ESTUDIOS HIDRAULICO-HIDROLÓGICOS DE EVENTOS EXTREMOS ACONTECIDOS EN LA CUENCA DEL RÍO SALADO DURANTE 2011 Y 2012

Bianchi, Guillermo J.

Laboratorio de Hidrología, Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, UNLP Calle 47 N° 200, Piso 1, Oficina 6, La Plata – Tel. 0221-427-5223

bianchiguillermo1@gmail.com

Palabras clave: precipitaciones, secas, inundaciones, río Salado, encauzamiento.

Introducción

La cuenca del río Salado de Buenos Aires presenta un régimen de caudales caracterizado por recurrentes situaciones de inundaciones y sequías resultantes de la significativa variabilidad de las precipitaciones. Esta cuestión ha sido el centro de atención desde los tiempos de Florentino Ameghino (Ref.1), antropólogo y paleontólogo que hizo el primer aporte al entendimiento de la problemática del área. En la actualidad, las nuevas obras en el río Salado (Ref.2) constituyen un avance en la búsqueda de soluciones para garantizar el desarrollo económico de esta importante región agropecuaria, históricamente condicionada por múltiples y concurrentes factores hidrometeorológicos.

El presente trabajo constituye una unidad de análisis del programa de investigación “Estudios sobre la respuesta hidrológica de la cuenca del río Salado y sus consecuencias en el ajuste morfológico del cauce en relación al nuevo plan de obras en el corredor fluvial” (Ref.3). En ambientes fluviales singulares como el río Salado, resulta interesante estudiar el comportamiento natural y la evolución de las respuestas como consecuencias de condiciones extraordinarias, ya sean inundaciones como sequías. Por otra parte, especial atención merece conocer el funcionamiento actual del sistema, modificado por las intervenciones del hombre, principalmente por las obras de adecuación del cauce que se ejecutan desde 2004.

Constituye un objetivo del programa producir información de base tratando de sostener en el tiempo el monitoreo de variables hidrológicas y ambientales. Para ello desde 2007 el esfuerzo fue puesto en las observaciones de campo y las mediciones sistemáticas, tarea que fue posible gracias a la colaboración con nuestro Laboratorio del Departamento de Hidráulica (movilidad y recursos), del LIS (análisis de muestras de agua y sedimento) y de docentes y alumnos de las cátedras de Hidráulica Fluvial e Hidrología.

Desarrollo Experimental

El monitoreo continuo de las condiciones hidrometeorológicas y/o del estado hidrométrico del río, constituye una herramienta necesaria para generar el análisis, a tiempo cuasi-real, de la situación hidrológica. En este aspecto, el equipo de trabajo ha adquirido experiencia y operatividad en la generación de información de campo, cuyos valiosos resultados son utilizados con fines de interpretación y pronóstico.

Como parte de las actividades de seguimiento desarrolladas, se presentan y analizan dos fenómenos extremos acontecidos recientemente: a) la gran seca de 2011, caracterizada por un estiaje prolongado que llevó al “corte” del cauce en diciembre de 2011; b) la crecida de 2012, que provocó inundaciones de magnitud similar a las producidas en 2001-02.

Se estudió el grado de severidad de la sequía 2011 a partir de la evaluación de las características hidrometeorológicas dadas por un conjunto de estaciones representativas de la cuenca, su evolución temporal y espacial junto con la estimación de indicadores paramétricos estandarizados. Se verificó el grado de severidad de acuerdo al estudio regional propuesto por Barbero et al. (Ref.4), que se considera aplicable a la cuenca del Salado.

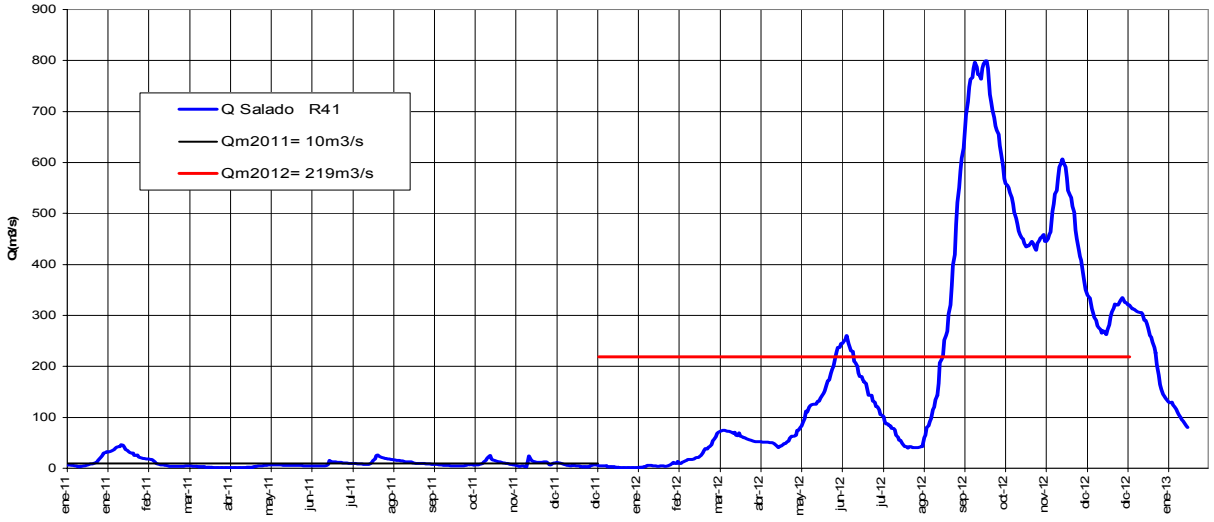


Figura 1

La caracterización de los estiajes del río se hizo en base a la actualización del estudio de frecuencia de caudales mínimos del Plan Maestro Integral (Ref. 5), que considera como variable de análisis el escurrimiento sostenido de caudales mínimos con duración de 6 meses.

Las condiciones que derivaron en la crecida de 2012 fueron interpretadas a partir de la modelación hidrodinámica del tramo inferior del Río Salado, validado por mediciones sistemáticas de niveles y caudales en el corredor fluvial. Se efectuó un análisis multitemporal de imágenes satelitales (programa MODIS-NASA), el que complementó el conocimiento alcanzado sobre el traslado de la onda de crecida y los mecanismos y dinámica de los almacenamientos en la planicie de inundación.

Para una mejor comprensión de los fenómenos, se presenta en forma gráfica los resultados del monitoreo de caudales del río Salado en General Belgrano durante 2011y 2012 (Figura 1).

Resultados y Discusión

a) Evaluación de la seca de 2011

La marcha de las precipitaciones mensuales acumuladas (Figura 2) y su comparación con las correspondientes a las normales 1961-90 advierten un comportamiento similar en los casos estudiados. El año “seco” comenzó con abundante lluvia en enero, para luego continuar con un patrón similar o levemente menor a la media. En el caso de Azul y Las Flores los apartamientos son más evidentes a lo largo del segundo semestre. En todos los casos, el mes de diciembre de muy baja precipitación, provocó la confirmación de la tendencia a escala regional.

En la Tabla 1 se presenta el recuento de días con precipitaciones acumuladas inferiores a 25 y 50 mm y su interpretación con las curvas definidas por el estudio regional (Ref.4).

Finalmente por comparación con el régimen de estiajes las condiciones observadas en 2011 se corresponde con probabilidades del orden de 1/7 (Figura 3).

b) Evolución de la crecida de 2012

En enero de 2012 la totalidad de la cuenca se encontraba bajo condiciones incipientes de sequía generalizada, consecuencia de las escasas lluvias de diciembre de 2011. En algunos tramos del río se podía observar un escurrimiento casi nulo. Tal era la situación a la altura de General Belgrano: los dos aforos realizados el 5 y 10 de enero de 2012 en la RPN41 arrojaban caudales inferiores a 0,5 m³/s.

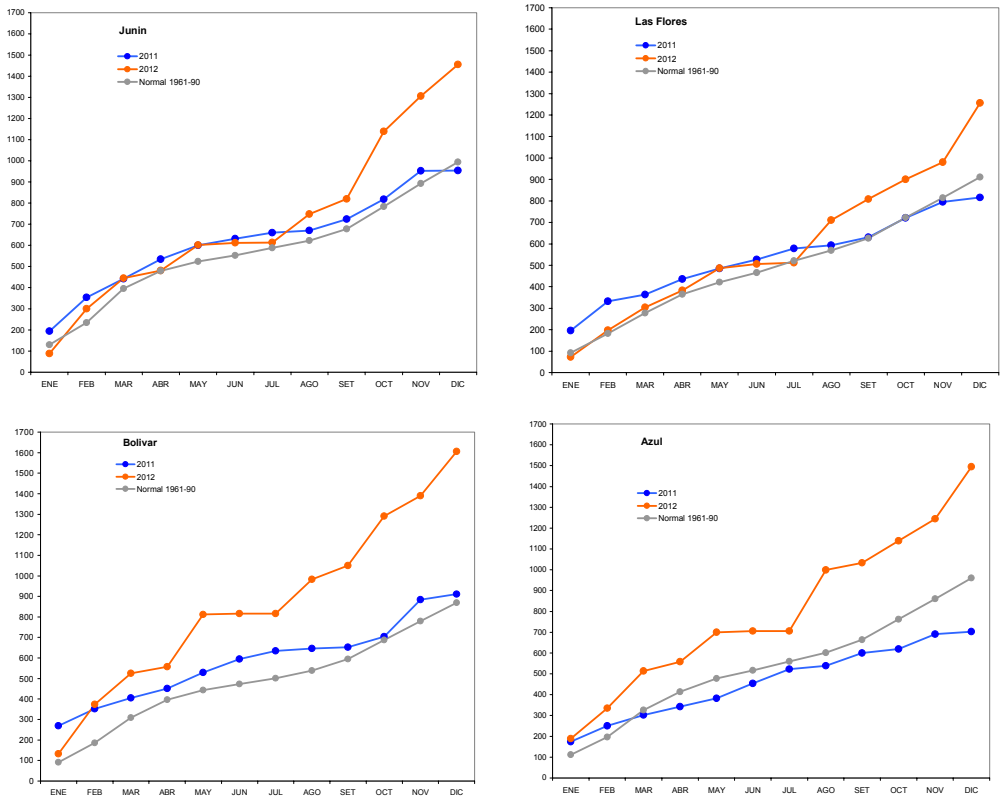


Figura 2

Tabla 1 - Frecuencia Regional de Secas Meteorológicas					
Localidad	Azul	Las Flores	Junín	Bolívar	Pergamino
Periodo	jul-set 2011				
Nro días	50	50	50	50	59
Pacum(mm)	17	14	10	12	15
Recurrencia	3	3	2	2	4
Periodo	nov 2011-ene 2012				
Nro días	40	50	48	50	48
Pacum(mm)	12	20	6	32	22
Recurrencia	2.5	2.5	4	1.5	2.2
Periodo	may-set 2011				
Nro días		56	86		114
Pacum(mm)		42	47		41
Recurrencia		<1	2.5		10

A partir de mediados de enero, y durante febrero y marzo sobrevino un trimestre lluvioso que recompuso el estado de humedad. La marcha de las precipitaciones siguió posteriormente con ritmo positivo sobre todo en la región noroeste y central de la provincia. En mayo se producen intensas lluvias, principalmente localizadas sobre la línea imaginaria que une Azul, Bolívar y Pehuajó, dando lugar a la primer onda de crecida del año (Figura 1). El periodo lluvioso que se

produjo durante agosto y septiembre de 2012 sobre toda la cuenca del río Salado generó condiciones de inundación en todos los subsistemas que desaguan en el río Salado, provocando un estado generalizado de aguas altas a lo largo de todo el eje fluvial.

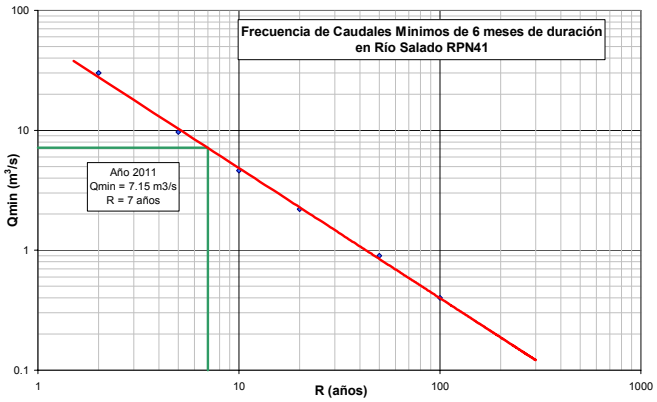


Figura 3

La cuenca del Salado genera excedentes en las diversas subcuencas o regiones que la componen, de modo que cada inundación adquiere características diferentes, en general dependientes de donde se originaron los mayores excesos. De cualquier modo, el Salado Inferior es el colector final de todos los aportes de la cuenca.

La crecida 2012 se produjo luego de un prolongado período de años con bajos caudales ya que no registraban condiciones similares a ésta desde la inundación de 2001-02.

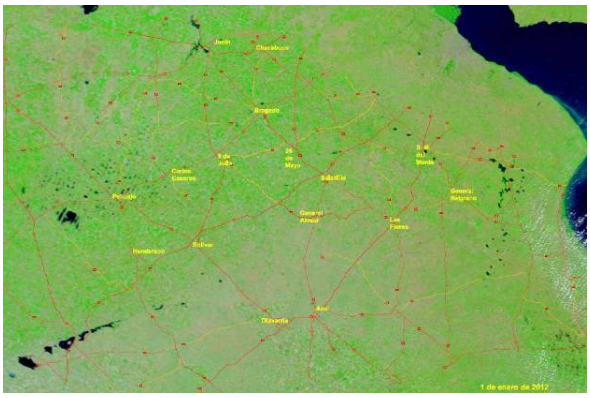
La Fig. 4 representa el estado de la región al 1 de enero de 2012. Se trata de una situación con déficit hídrico en el eje fluvial. Sólo mantienen algo de agua los mayores reservorios: las Encadenadas de Chascomús, las Encadenadas del Oeste, el complejo Hinojo-Las Tunas y las lagunas cercanas a Junín. En la región del Noroeste hay señales de humedad en los intermédanos longitudinales.

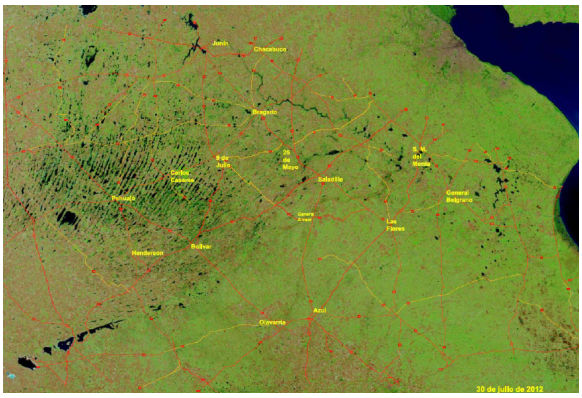
Es interesante analizar la evolución de las precipitaciones a lo largo del año en 4 estaciones representativas (Figura 2). Efectivamente, se advierten valores anómalos en mayo y en agosto en Azul, Bolívar y Las Flores, generadores de excedentes en el subsistema Vallimanca-Saladillo y Las Flores. En cambio en octubre las mayores precipitaciones se registraron en Junín, lo que significa mayor aporte de excedentes desde el Salado Superior.

Como consecuencia de las precipitaciones del primer semestre, las lluvias de mayo provocan la crecida de los arroyos Azul, Tapalqué, Las Flores y Vallimanca. Las imágenes de ese momento muestran la rápida respuesta de los arroyos Azul, Tapalqué y Las Flores así como la respuesta comparativamente más lenta del Vallimanca-Saladillo, cuyo frente de inundación acusa el retardo de la onda influenciado por su singular paisaje geomorfológico. El registro de caudales en General Belgrano (Figura 1) muestra que la onda de crecida (la primera) alcanzó el máximo a mediados de junio, es decir tres semanas después de que se produjeran las tormentas intensas acontecidas en dicha subregión.

Durante julio, favorecido por bajas precipitaciones se produjo el descenso de los niveles, no obstante ello los almacenamientos se mantenían colmados. La Figura 5 advierte el incremento de humedad en la zona de dunas longitudinales y parabólicas, así como aumento del área de las lagunas de Junín y escurrimiento en el Río Salado Superior. Las lagunas de Las Flores han acumulado aguas lo mismo que algunos bajos del Saladillo. Para la fecha, no se reconocen escurrimientos importantes en el Vallimanca-Saladillo ni en el arroyo Las Flores.

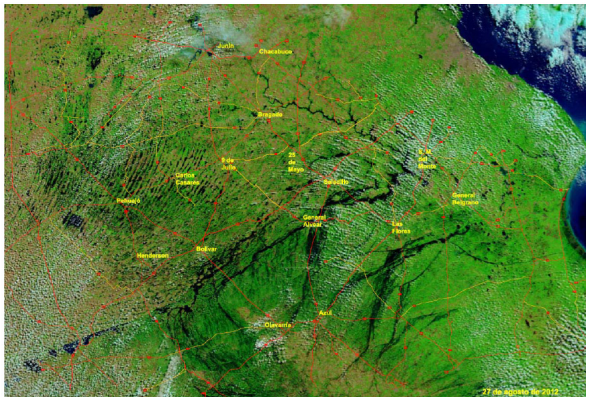
En agosto las lluvias produjeron los mayores excesos en la región, con acumulados de 180 a 250 mm en el mes. Estos valores, atípico para el mes de agosto, superan el máximo observado para ese mes, tomando como base series pluviométricas de los últimos 50 años.

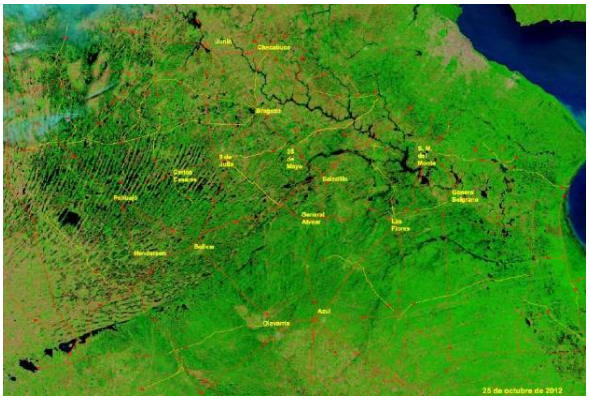




Figuras 4 y 5

Las lluvias del 7-8 de agosto aumentan rápidamente los caudales del Aº Las Flores, mientras que no aparecen aun escurrimientos continuos en el Vallimanca-Saladillo. Entre el 14 y el 18 de agosto llueve nuevamente, siendo abundante la precipitación en las sierras, incrementando los caudales en los arroyos Salado, Quilcó, Brandsen, Tapalqué, Azul, Perdido y el escurrimiento por los derivadores Canal 11, 12 y 9. El arroyo Saladillo muestra continuidad e incrementos de anegamientos en el Vallimanca. La Figura 6 corresponde al 27 de agosto en la cual el arroyo Las Flores ha alcanzado la laguna Las Flores Grande y el frente de inundación ya avanza sobre el río Salado a la altura de la RNN3. El análisis comparativo multitemporal permite identificar que, el sistema Vallimanca-Saladillo, por su característica geomorfológica, llega con cierto retardo a la laguna Las Flores, en comparación con el arroyo Las Flores.





Figuras 6 y 7

Las crecidas de agosto-septiembre de 2012 derivaron en inundaciones a lo largo de todo el eje fluvial. Para el arroyo Las Flores al avanzar la onda de crecida aparecen desbordes en la planicie desde el 27 de agosto, alcanzando la mayor ocupación espacial en el tramo inferior, entre Alvear y Laguna Las Flores, desde los primeros días de septiembre. Son significativos también, los desbordes en el interfluvio Las Flores-Tapalqué. En el corredor del Vallimanca se observó otro patrón hidrodinámico en cuanto a la llegada y avance de los excesos siendo el traslado más lento: el almacenamiento en los bajos interdunales sumado al escurrimiento poco encauzado le ofrecen mayor resistencia al avance de la onda.

En septiembre nuevas lluvias agravan la situación precedente. El día 10 el Saladillo alcanza el estado de máxima expansión en la planicie. Se suma por esos días el Salado Superior, por los caudales provenientes de las subcuencas al oeste del "nudo" de Bragado (identificado en las imágenes por el mayor ancho de inundación del Salado aguas abajo de Bragado).

Se pone de manifiesto que cada subsistema impone un determinado régimen de descargas hacia el sistema de lagunas Las Flores.

El 13 de septiembre de 2012 el frente de inundación había superado la zona de General Belgrano. La onda de crecida generaba desbordes a la altura de la RPN57 Paraje El Destino (progresiva Km 114 del río Salado) en el tramo canalizado del Salado Inferior. El 27 de septiembre, el caudal en el tramo inferior del Salado se estimó en 900-1000 m³/s (RPN57). Se estimó que la frecuencia de crecida se asocia a eventos de probabilidad 1/10.

La imagen del 27 octubre (Figura 7) muestra al arroyo Las Flores encauzado en su tramo superior, pero desbordado en la desembocadura en la laguna Las Flores. El Saladillo continuaba desbordado desde la laguna El Potrillo, situación que por el lento escurrimiento de las aguas y nuevas lluvias se mantuvo con altos niveles todo el mes de noviembre. En noviembre y diciembre los caudales del Salado Inferior eran mayoritariamente los provenientes del Salado Superior.

Finalmente, en relación a las obras se observa una mejora en la capacidad de evacuación del tramo encauzado junto con una reducción en los tiempos de permanencia de aguas altas.

Conclusiones

La situación presentada confirma que el régimen de caudales del río Salado es afectado por recurrentes eventos de inundaciones y sequías producto de la significativa variabilidad de las precipitaciones.

Se interpretó el grado de severidad de la sequía 2011 a partir de la evaluación de las precipitaciones y de los caudales de estiaje.

Las actividades de monitoreo continuo han permitido generar el seguimiento y análisis, a tiempo cuasi-real, de la situación hidrológica del río Salado, en especial el evento de crecida de 2012.

El análisis multitemporal de imágenes satelitales se constituye en una herramienta operativa auxiliar al relevamiento en campo para validar la evolución de la onda de crecida y los mecanismos y dinámica de los almacenamientos en la planicie de inundación.

Bibliografía

[1] Ameghino F. *"Las Secas y las Inundaciones en la Provincia de Buenos Aires (Obras de retención y no de desagüe)"*- 1884 -1984, Ministerio de Asuntos Agrarios, Buenos Aires.
[2] Seglie, J., Zombori, Z., Agabios, A. & Bianchi, G. *"Nuevo Criterio de Diseño de Obras de Canalización en Ríos de Llanura - El Caso del Río Salado",* XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Punta del Este, Uruguay, Noviembre 2010.
[3] Bianchi, G. *"Estudios sobre la respuesta hidrológica de la cuenca del río Salado y sus consecuencias en el ajuste morfológico del cauce en relación al nuevo plan de obras en el corredor fluvial"*, Informe de Mayor Dedicación, Área Hidrología, Laboratorio de Hidráulica, Fac. Ingeniería, UNLP, 2010.
[4] Barbero, A.J. & Serrano, G. *"Estudio de Secas en Regiones Húmedas y Subhúmedas",* Informe de Mayor Dedicación, Área Hidrología, Laboratorio de Hidráulica, Fac. Ingeniería, UNLP, 1991.
[5] Halcrow & Partners - DIPSOH. *"Plan Maestro Integral de la Cuenca del Río Salado (PMI)"*, Provincia de Buenos Aires, (1999)

SISTEMAS DE MITIGACIÓN DE INUNDACIONES EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Mauriño, Miguel F.

Laboratorio de Hidrología, Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, UNLP
Calle 47 Nº 200, Piso 1, Oficina 6, La Plata – Tel. 0221 – 427-5223
hidrologia.aplicada@ing.unlp.edu.ar

INTRODUCCIÓN

Este trabajo ha sido realizado en el marco del convenio de asistencia técnica *"Evaluación de la estructura social básica de la Provincia de Buenos Aires" llevado a cabo* entre la UNLP y el Gobierno Provincial.

Los problemas generados por inundaciones en el ámbito de la provincia de Buenos Aires han despertado el interés de autoridades, técnicos y habitantes desde épocas muy tempranas. El grado de preocupación con relación a este tema ha estado asociado, como es lógico, a los vaivenes de las "urgencias" surgidas en épocas lluviosas y las "calmas" propias de los períodos de baja pluviosidad. Han sido numerosos los planes esbozados a lo largo del tiempo; algunos se concretaron parcialmente a través de la realización de obras, otros se diluyeron con el paso de los años o quedaron superados por cambios significativos en la realidad física de las zonas a las cuales estaban destinados. Con relación a este tema, planificación de medidas de mitigación de procesos de inundación, debe señalarse que la Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas (DiPSOH) cuenta con un plan actualizado (2009), al que se lo ha denominado Plan Hidráulico Provincial. En el mismo se resaltan dos aspectos que resultan de suma importancia: "*La planificación como política de estado*" y "*la continuidad en el tiempo*". Esta forma de encarar los problemas de inundaciones, tanto en zonas urbanas como rurales, parece altamente recomendable. Es decir, planificar y asegurar el desarrollo de lo planificado a lo largo del tiempo, sin que el eventual cambio de actores detenga o desvíe la realización de los planes oportunamente definidos. En este contexto, es que se considera conveniente proponer acciones tendientes a optimizar el Plan Hidráulico de la DiPSOH, en particular unificando criterios de diseño con relación a futuras intervenciones en las distintas cuencas (rurales o urbanas). En definitiva, se trata de establecer pautas generales que aseguren igualdad de condiciones para los habitantes de la provincia en relación con eventuales riesgos de sufrir afectaciones por inundación, y de esta forma contribuir a generar las condiciones que puedan favorecer una eventual redistribución de la población. Los análisis y recomendaciones específicas que se efectúan se basan en la experiencia profesional concreta en el desarrollo de planes de este tipo, entre otros: "*Plan Director de Ordenamiento Hidráulico y Control de la Inundaciones de la Ciudad de Buenos Aires y Proyecto Ejecutivo para la Cuenca del Arroyo Maldonado*", "*Proyecto de Obras de Defensa y Desagües Pluviales de la Ciudad de Pergamino*" y "*Plan Director de los Desagües Pluviales de la Ciudad de Caleta Olivia*".

ENFOQUE CONCEPTUAL DEL PROBLEMA

Un poco de historia

El desarrollo de la provincia de Buenos Aires ha tenido su origen en la importante actividad agrícola y ganadera registrada en la región desde épocas muy tempranas. En muchos casos la ubicación de las ciudades respondió a cuestiones estratégicas en relación con las rutas comerciales empleadas a fines del siglo XVIII ó principios del XIX; las postas y los fortines

fueron núcleos iniciadores de centros de población que con el correr del tiempo se transformaron en ciudades. En general la ubicación de las mismas obedeció a la necesidad de disponer de fácil acceso a las fuentes de provisión de agua, pero, lógicamente, fuera de zonas inundables. Con el paso del tiempo el crecimiento de esos núcleos iniciales hizo que se fuesen poblando sectores deprimidos o, en algunos casos, zonas de expansión natural de los cursos de agua.

Un ejemplo típico de tales situaciones es la ciudad de Pergamino, que tuvo su origen, a mediados del siglo XVIII, en un fortín y guardia aduanera que se instaló como consecuencia del intenso tráfico de mercancías y la necesidad de controlar malones. El crecimiento del núcleo urbano invadió el valle de inundación del arroyo Pergamino y se fueron poblando sectores que, en realidad, constituían las zonas de desborde de los arroyos o bajos sin desagüe natural. Si bien la ciudad de Pergamino cuenta con un plan que fue desarrollado recientemente (año 2008) y que comprende un enfoque integral e interdisciplinario que abarca medidas estructurales (obras) y no estructurales (acciones) que garantizarán la mitigación de los impactos con un horizonte de desarrollo futuro de 25 años, existen otros importantes centros urbanos que se encuentran en situaciones de riesgo similares por carecer de la infraestructura de defensa y desagüe apropiada. Según el Plan Hidráulico Provincial (Decreto 3735/07), se encuentran en tal situación ciudades como Carlos Casares, Pehuajó, Azul, Tandil, Olavarría, Ayacucho y Rauch.

Sin ir más lejos, la ciudad de La Plata, capital de la provincia, que a pesar de haber surgido a partir de una magnífica planificación, no logró mantener plenamente ese espíritu y hoy presenta problemas por falta de capacidad de las redes de desagües pluviales; los que sumados a los que presentan los arroyos que conforman la denominada “Cuenca Río de la Plata” en el Plan Hidráulico (arroyos Sarandí, Santo Domingo, Las Perdices, San Francisco y Las Piedras, Canal San Juan, Las Conchitas, Maldonado, del Gato, Rodríguez, Martín, Carnaval, Pereyra, Baldovinos y Jimenez), marcan un amplio sector con problemas de carácter urbano y rural.

Aº Rodríguez – City Bell 28/2/2008



La Plata 9 y 520 28/2/2008



Estado Actual

En muchas de las cuencas mencionadas anteriormente existen planes, anteproyectos y en algunos casos hasta proyectos, no obstante ello, en el Plan Hidráulico se señala la necesidad de actualizar los mismos, ante eventuales cambios en los sistemas físicos involucrados (cuencas de aporte). Más allá de lo indicado en el Plan con relación a la revisión, se considera que, en muchos casos, sería necesario actualizar los criterios con que dichos planes, anteproyectos y proyectos fueron oportunamente realizados. En efecto, hasta no hace mucho tiempo atrás los diseños de redes de desagües pluviales se realizaban casi

exclusivamente con el conocido Método Racional; es más, las “Normas para la Presentación de Proyectos de Desagüe”, aprobadas por Disposición Nº 1170 del 2 de junio de 1995 y vigentes en la DiPSOH, establecen este método como el estándar de cálculo. Asimismo, señalan como recurrencia mínima de diseño para conductos y obras accesorias, el evento de dos años de período de retorno o recurrencia, lo que significa que, en promedio a lo largo de un período extenso, el sistema verá superada su capacidad de conducción cada dos años. El empleo de métodos de cálculo basados en modelos matemáticos hidrológicos e hidrodinámicos, junto con la consideración de diferentes medidas de carácter no estructural ha permitido optimizar diseños, lográndose mayores grados de protección con sistemas más flexibles y eficientes. La introducción de conceptos tales como riesgo, grado de exposición y vulnerabilidad han permitido la zonificación de los cauces de expansión identificando claramente zonas en las que es indispensable realizar medidas estructurales y sectores en los que la mitigación del efecto de las crecidas puede lograrse con medidas no estructurales. Ejemplos recientes de planificaciones de este tipo han sido el “Proyecto de Obras de Defensa y Desagües Pluviales de la Ciudad de Pergamino” (2007/08) y el “Plan Director de Ordenamiento Hidráulico y Control de Inundaciones de la Ciudad de Buenos Aires y Proyecto Ejecutivo para la Cuenca del Arroyo Maldonado” (2001/05).

Análisis del Riesgo

Resulta evidente la conveniencia de generar medidas de mitigación de las afectaciones generadas por las inundaciones. Asimismo, surge la importancia de establecer prioridades de intervención que aseguren un equilibrio justo entre los diversos actores (los que pueden tener diferentes niveles de percepción del problema, objetivos e intereses) y en particular entre los aspectos económicos, sociales y ambientales. Esta complejidad ha llevado a establecer metodologías de evaluación basadas en análisis de riesgo, de manera tal de poder tomar decisiones en base a evaluaciones “imparciales” a partir de la identificación de posibles impactos y la probabilidad de ocurrencia asociada a los mismos, esta es la esencia misma de la definición de riesgo. Se define el riesgo de inundación como la frecuencia con que se presentan los eventos multiplicada por sus consecuencias; estas últimas dependen de los tipos de peligros que se generen y de los grados de exposición y de vulnerabilidad a los mismos de: las personas, las obras, las actividades, los servicios y el medio ambiente.

Mitigar el efecto de las inundaciones, para mejorar la calidad de vida de los habitantes y generar condiciones propicias para una efectiva redistribución de la población, implica la gestión del riesgo de inundación y la reducción del mismo a niveles socialmente aceptables; ya sea reduciendo la frecuencia con que pueden presentarse eventos de inundación, mediante la realización de obras (medidas estructurales), y/o reduciendo las consecuencias por medio de la disminución del grado de exposición de bienes y personas, y/o reduciendo el grado de vulnerabilidad (principalmente mediante la aplicación de medidas no estructurales). Por lo expuesto, sería necesario actualizar y completar el Plan Hidráulico Provincial efectuando las siguientes tareas:

- Acordar y definir niveles de aceptación y tolerabilidad de riesgos en las distintas cuencas.
- Establecer prioridades de intervención en cada cuenca.
- Analizar la eficiencia de las medidas estructurales y no estructurales, en cada caso.
- Cuantificar el nivel de riesgo residual y verificar su tolerabilidad.

Medidas Estructurales

Bajo esta denominación se engloban las obras destinadas a mitigar el efecto de las inundaciones tanto rurales como urbanas. En relación a estas últimas es posible señalar que el enfoque recomendado es el que considera a la red de desagües pluviales como un

sistema dual, compuesto por la red de conductos (sistema primario) y la red de calles (sistema secundario). Ambas vinculadas por medio de los sumideros ("bocas de tormenta") y las cámaras de inspección. El criterio de diseño es aceptar una afectación en calle "tolerable" o "admisible", es decir que no genere riesgos inaceptables para peatones y vehículos. Este tipo de diseño, que requiere el empleo de modelos matemáticos hidrológicos e hidrodinámicos, permite conducir, con afectaciones aceptables, los excesos superficiales producidos por lluvias intensas de corta duración (que son las que solicitan en forma más exigente a los sistemas de desagües pluviales urbanos) de mayor período de retorno (menos frecuentes) que las habitualmente empleadas en el diseño de sistemas de conductos funcionando como canales (a superficie libre). Por ejemplo, un sistema de desagües pluviales proyectado en forma tradicional (como canal) para lluvias de 2 años de recurrencia, tal vez comience a funcionar a presión ante la ocurrencia de un evento mayor (por ejemplo 5 años de recurrencia) generando afectaciones serias en superficie; o que ni siquiera entre en carga debido a que la capacidad de ingreso al sistema menor (conductos), por medio de los sumideros, sea la limitante; en este último caso se estará desaprovechando capacidad de conducción disponible. Es posible que con el diseño de un sistema dual se logre reducir dichas afectaciones aumentando mínimamente (sin grandes costos de inversión adicional) las dimensiones de los conductos pluviales o la capacidad de captación del sistema o ambos, dependiendo de lo que la modelación matemática revele.

Otro aspecto que debe ser tenido en cuenta es que las cuencas evolucionan en el tiempo, como consecuencia de cambios en el uso del suelo. En el caso de cuencas urbanas es normal que se registren, con el paso del tiempo, incrementos de las superficies impermeables. En el caso de las cuencas rurales pueden generarse, por acción antrópica, drenados de bajos y zonas que colaboraban a atenuar y regular las crecidas, con el objetivo de transformarlas en zonas productivas. En fin, existen muchas posibilidades en este sentido y cada cuenca tiene sus singularidades, por lo que resulta necesario evaluar estas situaciones en cada caso particular, pero lo que resulta claro es que en la planificación de las medidas estructurales y no estructurales es necesario estimar las eventuales variaciones que puede sufrir la cuenca a lo largo de un cierto período (vida útil del sistema o medida proyectados). En general este horizonte se estima entre los 25 y 50 años.

Medidas no Estructurales

La experiencia internacional en planes de manejo y control de inundaciones, tanto en áreas urbanas como rurales, ha demostrado que la sola concreción de un sistema de obras de protección no es suficiente, en sí misma, para lograr los objetivos deseados. En efecto, la mitigación de los daños y perjuicios producidos por crecidas extraordinarias, se ha basado, tradicionalmente, en el proyecto y ejecución de obras hidráulicas, las que por sí solas, en muchos casos, no han logrado alcanzar la efectividad deseada. Es por ello que en los últimos años se ha reconocido la necesidad de acompañar el proyecto y ejecución de obras hidráulicas (medidas estructurales), con otro tipo de acciones (medidas no estructurales), que complementan a las anteriores.

Estas acciones comprenden un variado espectro de posibilidades, las que, en la mayoría de los casos, dependen de las condiciones particulares locales de cada sistema físico (cuenca) en estudio. Por lo que no resulta posible generalizar sobre las mismas, ya que deben ser identificadas y estudiadas en cada caso particular a fin de evaluar la conveniencia de aplicación de cada una de ellas. Sin embargo, existen ciertos tipos de medidas que deben ser desarrolladas en la mayoría de los casos. Medidas de este tipo son los planes de manejo, los de contingencia y los de comunicación social.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el marco del Plan de Regionalización propiciado por la provincia de Buenos Aires, se considera conveniente revisar, actualizar, mejorar y completar el Plan Hidráulico Provincial (DiPSOH) y sus antecedentes, adecuándolo, en los casos en que sea necesario. Tal adecuación se refiere no sólo a los criterios de diseño de las medidas estructurales (orientándolo de manera tal de lograr mayores grados de mitigación del impacto producido por los procesos de inundación), sino, además, teniendo en cuenta la necesidad de combinar los sistemas físicos naturales (cuencas) con las divisiones que surjan desde el punto de vista administrativo. En este aspecto debe tenerse en cuenta que será necesario el proyecto de medidas de carácter no estructural que permitan complementar y potenciar el efecto de las obras proyectadas o ya realizadas. Al respecto, surge como un tema de importancia la definición de los roles y responsabilidades de todos los actores intervinientes, los que deberán estar al tanto de los mismos y ser organizados en la forma más conveniente y eficaz posible. En este sentido se considera apropiada la revalorización de los “Comité de Cuenca”, ya que aparecen como una organización potencialmente efectiva para asegurar la transversalidad de medidas y acciones a través de las regiones que interesen el sistema físico cuenca. Es decir, que actuarían como integrantes de los Sistemas de Gestión (organizaciones destinadas a articular a los diferentes actores de forma tal de asegurar la planificación, implementación y mantenimiento de medidas estructurales y no estructurales).

Para actualizar y completar el Plan Hidráulico Provincial será necesario recurrir al empleo de modelos matemáticos hidrológicos e hidrodinámicos. En este sentido se recomienda propiciar, siempre que sea posible, el uso de software de distribución gratuita, ya que esto permitiría descentralizar la operación del mismo sin mayores costos para la provincia. Modelos tales como HEC-RAS y HEC-HMS (ambos desarrollados por el Cuerpo de Ingenieros de los EEUU) o el SWMM (US Environmental Protection Agency) han sido utilizados con éxito en nuestro país (Plan Director de los Desagües Pluviales de Caleta Olivia, Proyecto de Obras de Defensa y Desagües Pluviales de la Ciudad de Pergamino, entre otros) y han permitido generar Mapas de Riesgo Hídrico de aplicación en la gestión del sistema de protección contra inundaciones. La ventaja que presenta el empleo de estos modelos es que han sido ampliamente probados en nuestro medio y en el exterior y que además, al ser de distribución gratuita no requieren del pago de licencias y podrían ser instalados y operados (por ejemplo, simulaciones de situaciones posibles ante una eventual alerta) en los distintos Comité de Cuencas o en otras organizaciones que eventualmente compongan los Sistemas de Gestión. De acuerdo con lo señalado anteriormente, en términos generales se recomienda:

- Actualizar y sistematizar en bases de datos los registros de información hidrometeorológica disponible (precipitaciones, caudales, niveles, información correspondiente a situaciones críticas con inundaciones).

- Procesar la información hidrometeorológica en forma estadística, de manera tal de generar valores estándar a nivel regional para ser aplicados en los proyectos de medidas estructurales (por ejemplo isohietas para distintas duraciones y períodos de retorno, curvas Intensidad – duración – Recurrencia, curvas altura – caudal, etc.).

- Acordar y definir niveles de aceptación y tolerabilidad de riesgos de inundación.

- Desarrollar Sistemas de Información Geográfica (SIG) que contengan todos los activos (información básica tal como redes de pluviales existentes, características de los cursos de agua, etc.) de las diferentes cuencas y subcuencas.

- Efectuar modelaciones hidrológicas e hidrodinámicas de las cuencas en estado actual y futuro (por ejemplo en un horizonte de desarrollo de 25 ó 50 años), para identificar, proyectar y realizar medidas estructurales para mitigar el riesgo de inundación hasta alcanzar niveles tolerables.

- Diseñar y desarrollar sistemas de alerta temprana, que permitan reducir el grado de exposición y vulnerabilidad de la población y sus bienes ante la ocurrencia de un evento extremo.

- Diseñar e implementar medidas no estructurales que colaboren a mitigar los efectos residuales de las inundaciones (planes de contingencia, planes de capacitación, planes de difusión, que aseguren que cada actor en el proceso de inundación conozca qué hacer y cómo hacerlo).

- Establecer prioridades de intervención en las distintas cuencas y subcuencas, de acuerdo con la disponibilidad de recursos y los riesgos identificados.

- Diseñar e implementar Sistemas de Gestión, es decir un conjunto de normas y procedimientos que aseguren el desarrollo, implementación y sustentabilidad de lo oportunamente planificado.

- Mantener en forma "actualizada" las modelaciones de las cuencas, introduciendo todas las modificaciones que vayan sufriendo las cuencas a lo largo del tiempo y evaluar el impacto de las mismas.

- En caso de ser necesario, reformular los Códigos de Planeamiento Urbano teniendo en cuenta los Planes de Ordenamiento Hídrico que se desarrollen.

- Mejorar y complementar las redes de medición de parámetros hidrometeorológicos en todo el ámbito de la provincia, de forma tal de mejorar a futuro el conocimiento de estas variables.

BIBLIOGRAFÍA

"*Plan Hidráulico Provincial*" – Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas (DiPSOH) – Subsecretaría de Obras Públicas – Ministerio de Infraestructura de la Provincia de Buenos Aires, 2009.

"*Proyecto de Obras de Defensa y Desagües Pluviales de la Ciudad de Pergamino*". Provincia de Buenos Aires – Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas – IATASA – ABS, 2008.

"*Plan Director de Ordenamiento Hidráulico y Control de la Inundaciones de la Ciudad de Buenos Aires y Proyecto Ejecutivo para la Cuenca del Arroyo Maldonado*" – Consorcio Halcrow – Harza – IATASA – Latinoconsult, 2006.

"Urban Drainage: System Modelling for Integrated Catchment Management". Aradas R.D., Ivanissevich Machado L., Mauriño M.F. and Norton M.R. Waste Water Planning Users Group (WaPUG), International Conference – London, U.K., September 2004.

"Sustainable Urban Drainage Systems – Best Practice Manual" – CIRIA, London 2001.

ALGUNAS PROPUESTAS Y EXPERIENCIAS PARA FAVORECER LA CAPACIDAD DE LOS ALUMNOS EN EL TRABAJO INTERDISCIPLINARIO.

Cipponeri Marcos[1], Salvioli Mónica L.[1], Colli Gustavo A.[1], Afranchi Andrea V.[1], Paola, Analía C.[1], Servera Horacio[1]

[1] Integrantes de la Cátedra de Gestión Ambiental. Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de la Plata. Calle 47 N° 200. (1900) La Plata, Argentina. gestion.ambiental@ing.unlp.edu.ar

Resumen. El trabajo interdisciplinario en tareas de ambiente y gestión ambiental es planteado, en los textos y en las clases que se imparten en las universidades, como imprescindible para lograr buenos resultados en la aplicación de instrumentos de gestión ambiental que aseguren una buena compatibilidad entre los proyectos de ingeniería y su entorno. El logro de un trabajo conjunto entre profesionales de distintas especialidades no surge espontáneamente, sino que requiere de una preparación que debería iniciarse en las carreras de grado. Este trabajo expone una serie de ejes sobre los que trabaja la cátedra de Gestión Ambiental para lograr una efectiva iniciación en el trabajo interdisciplinario y se evalúan los resultados de manera preliminar (ya que es necesario continuar con las investigaciones), tanto desde la visión de los docentes, como incipientemente desde los estudiantes, a quienes se les ha realizado una encuesta al fin del primer semestre de 2012 en la que se incluyeron algunas preguntas sobre su visión del trabajo interdisciplinario en temas ambientales. Los resultados de las encuestas se agruparon por grupos de carreras afines en tres grupos: Civil (Hidráulica y Civil), Industrial (Mecánica, Electromecánica y Materiales), Ciencias Naturales (Biología). Los resultados de las mismas, sin agrupar por carreras afines, son los siguientes:

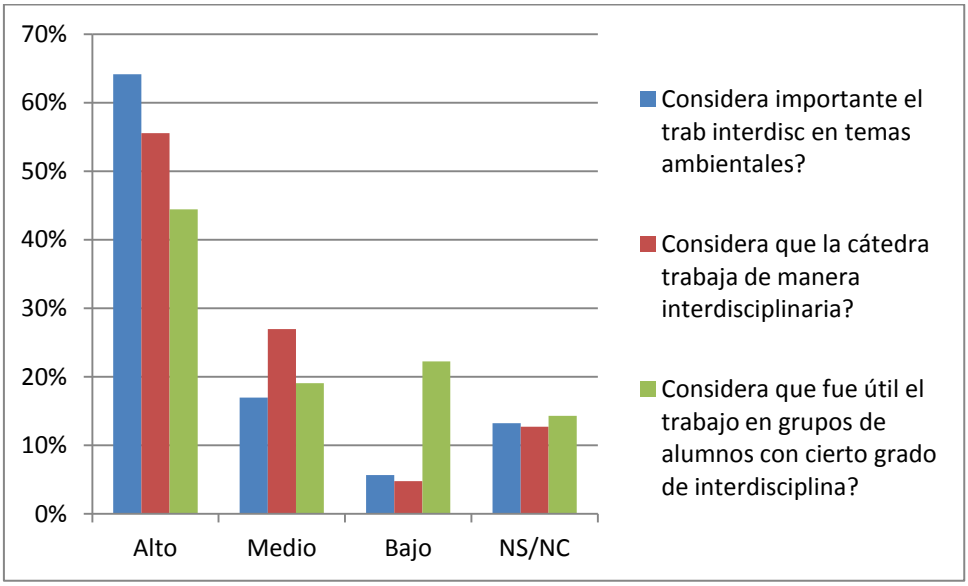


Figura1: opinión de los alumnos sobre temas vinculados al trabajo interdisciplinario

Como se puede observar existe una buena valoración del trabajo interdisciplinario, el 81% de los alumnos considera entre media y alta la importancia del trabajo interdisciplinario, el 83% considera entre medio y alto el trabajo interdisciplinario de la cátedra y el 63% considera entre media y alto la utilidad del trabajo interdisciplinario de los alumnos en clase. Si bien los resultados no son muy distintos entre los diferentes grupos mencionados más arriba, existen ciertas diferencias que se analizan en el artículo.

Palabras Clave: Interdisciplina, gestión ambiental, grado.

1 Introducción

El concepto de Interdisciplina fue desarrollado por el sociólogo Louis Wirtz y habría sido formalizado por primera vez en 1937. A partir de allí numerosos autores se ocuparon de analizar tanto ese concepto como el de muti-disciplina y el de trans-disciplina, vinculados al primero, pero excede al alcance de este artículo dicho análisis.

Según el diccionario de la Real Academia Española (20 edición) un estudio u otra actividad es interdisciplinario si "*se realiza con la cooperación de varias disciplinas*"; dicha definición podría interpretarse, en el marco de la gestión ambiental de proyectos, como: *la colaboración entre varias disciplinas con el objeto de aplicar Instrumentos de Gestión Ambiental (IGA)*[1] *a partir del manejo en común de dichos instrumentos pero aportando miradas diferenciadas y soluciones específicas desde distintas especialidades*.

En el marco de la definición propuesta precedentemente, se requiere de una serie de condiciones que deben darse entre los integrantes del grupo de trabajo, entre las principales: conocimiento de las técnicas aplicables para el desarrollo de los mencionados instrumentos, conocimientos básicos –lenguaje y conceptos- para entenderse con otros especialistas y respeto a la visión de los mismos, voluntad de trabajo en equipo con el convencimiento de que los resultados son mejores si se trabaja de esa manera.

Lograr en el alumno de grado un acercamiento hacia esos objetivos no es una tarea que se logre con el sólo enunciado de los mismos. La Cátedra de Gestión Ambiental acumula experiencia desde el año 1999 a la fecha, manteniendo buena parte de sus integrantes originales, razón por la cual puede exponer la experiencia de la misma en la búsqueda de mejorar la aptitud y actitud de los futuros profesionales para el trabajo interdisciplinario.

En este sentido, uno de los principales aspectos que se debe considerar en el trabajo interdisciplinario es la necesidad de reconocer las limitaciones de la disciplina propia desde la óptica de cada integrante a fin de consolidar una actitud integradora en lugar de alentar posturas divergentes. El funcionamiento de un grupo interdisciplinario es resultado de diversas variables que dependen de los elementos y circunstancian que lo consolidan. El presente trabajo no propone generar un "recetario" sobre cómo construir secuencialmente un grupo interdisciplinario en gestión ambiental, sino que sugiere algunos "ingredientes" cuya combinación va a depender de las características propias del grupo y del contexto de trabajo definido en tiempo y espacio.

De alguna forma la propuesta se basa en que los alumnos puedan realizar su tarea durante la cursada utilizando la cátedra como espejo en el cual reflejarse, de modo que si a los alumnos se les pide trabajo inter-disciplinario, el mismo también se debe visualizar en el trabajo del cuerpo docente.

2 Metodología de Trabajo de la Cátedra

Desde sus inicios la cátedra ha tenido una estrategia de abordaje de la enseñanza de la asignatura que se ha profundizado con el tiempo, y que apunta a los objetivos mencionados en la Introducción. Los ejes de la mencionada estrategia han sido los siguientes:

a. Composición de la Cátedra: desde un principio se entendió que la misma debía tener docentes de distintas especialidades y matices en su formación. La composición inicial incluía ingenieros hidráulicos, ingenieros civiles y biólogos; actualmente colaboran también ingenieros químicos e industriales. Asimismo han colaborado profesionales de las ciencias sociales y aún lo hacen en algunos semestres.

b. Composición del Curso: a la cátedra se le han adjudicado alumnos de distintas carreras, en primera instancia de Ingeniería en Agrimensura, Hidráulica y Civil, y desde 2011 se han sumado alumnos de las carreras de Ingeniería Mecánica, Electromecánica y en Materiales, en todos los casos en carácter de materia obligatoria perteneciente al Ciclo

[1] Ver en el glosario la definición de instrumento de gestión ambiental

Complementario[2]. La Facultad de Ciencias Naturales ha permitido desde hace varios años que los alumnos de Biología cursen la asignatura como optativa, lo cual suma aproximadamente 10 alumnos por semestre además de los de la Facultad de Ingeniería. Por otra parte, también desde hace varios años, se cuenta con alumnos extranjeros de intercambio que cursan la asignatura en el último año de su carrera. Los cursos siempre se han dado sin dividir a los alumnos por carrera. Por el contrario, se ha fomentado que cursen juntos los alumnos de distinto origen. Esto exigió reuniones con los Directores de cada Carrera para explicar las razones del trabajo en conjunto con todos los alumnos.

c. Exposición de los Temas Teóricos Específicos: los temas que se imparten en la materia están vinculados al conocimiento del ambiente –natural y socioeconómico-, a los proyectos de ingeniería –en la identificación de acciones impactantes en sus distintas etapas de desarrollo-, y principalmente al estudio y aplicación de los distintos instrumentos de gestión ambiental –que mejoren la compatibilidad ambiental proyecto/entorno-. Se procura que cada uno de esos temas sea desarrollado por especialistas. Por ejemplo, los temas vinculados a medio natural y desarrollo sostenible son expuestos por una bióloga, los vinculados con los proyectos por los ingenieros, y los vinculados a los IGA por quienes hayan participado en la aplicación de esos instrumentos. Incluso hay ocasiones en que se dan clases entre dos docentes, uno de ellos realizando la exposición de base y el otro haciendo aportes desde su especialidad. Dichas exposiciones están articuladas en cuanto al lenguaje y a la base conceptual.

d. Exposición de Estudios de Caso: la exposición de estudios de caso donde se muestra la aplicación de un IGA Activo[3], tal como un Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) o una Auditoría Ambiental (AA), es realizada por profesionales que hayan participado en ese estudio ambiental. Asimismo, en la mencionada exposición se procura mostrar el aporte de cada especialista que participó en el estudio para la implementación del mismo. De esta forma se valoriza el trabajo interdisciplinario y se muestran resultados concretos.

e. Trabajo Interdisciplinario en la elaboración de los trabajos prácticos por parte de los alumnos: la estrategia de la cátedra respondió y responde a dos ejes: a) elaborar prácticas con consignas que favorezcan el trabajo interdisciplinario, b) hacer prácticas en grupos interdisciplinarios tratando de integrar alumnos de las ciencias naturales, de la ingeniería y de las ciencias sociales –en este último caso muy limitada cantidad-.

f. Asistencia Técnica Interdisciplinaria en el desarrollo de las prácticas: si bien se adjudican tres o cuatro grupos a cada auxiliar docente –ya sea JTP o Ayudante Diplomado- existe la posibilidad de que cualquiera de ellos convoque a un compañero especialista en un tema para evacuar una duda específica de algún grupo. Por ejemplo, si a un ingeniero le hacen una consulta sobre impacto de una actividad en un cuerpo de agua, el mismo puede convocar a un biólogo para dar una respuesta más ajustada al requerimiento por parte de los alumnos.

3 Metodología

Los resultados del presente trabajo se basan en dos actividades principales:

- ✓ En la observación de los docentes del trabajo en grupo por parte de los alumnos y del análisis de las prácticas presentadas de manera formal en papel o archivo pdf. Para procesar dicha información se realizaron dos reuniones de cátedra, una durante la misma cursada y otra al finalizar la misma.
- ✓ En una encuesta realizada a los alumnos al finalizar el primer semestre de 2012, en la misma se hicieron preguntas generales sobre la materia y preguntas específicas sobre el trabajo interdisciplinario, apuntando a relevar información sobre: cuál es la percepción

[2] Según Resolución 1232/01 del Ministerio de Educación
[3] Ver definición en el Glosario

respecto de la importancia del trabajo interdisciplinario, cómo observan el trabajo interdisciplinario de la cátedra y cómo evalúan su propio trabajo interdisciplinario en las prácticas.

4 Resultados

Del debate y análisis por parte de la cátedra surgen las siguientes observaciones o conclusiones según el caso:

- ✓ Se verificaron comportamientos comunes a la mayor parte de los equipos de trabajo:
  - aparecen líderes que guían el trabajo y que toman un rol activo en la resolución de la práctica, y otros que acompañan y colaboran o toman un rol más pasivo.
  - las consultas realizadas en clase tienen un alto impacto en el contenido, calidad y el resultado final de las prácticas, dado que las consultas iniciales son muy básicas y luego van incrementando su nivel de complejidad.
  - la resolución del trabajo práctico es de mejor calidad en los grupos en los que el tiempo es utilizado para el debate con una participación activa de la mayor parte de sus integrantes, ya sea en clase o reunidos en otro momento. En estos casos se observa una mayor interacción con los docentes a fin de resolver cuestiones que surgieron en la etapa de discusión y debate.
- ✓ Aparece naturalmente el aprovechamiento de la distinta formación básica de los alumnos para la resolución de la práctica: los estudiantes de ingeniería interpretan los proyectos, los de ciencias naturales el ambiente, y en conjunto trabajan en el análisis de las interacciones proyecto–ambiente. Estas interacciones tienen un alto grado de complejidad posible de observar, por ejemplo, cuando se elaboran diagramas de flujo causa/efecto u acción/impacto, que necesitan de la intervención conjunta de expertos tanto en el proyecto como en el ambiente para su resolución.
- ✓ La obligatoriedad de la realización de los trabajos prácticos en grupos inter-disciplinarios con objetivos concretos para cada práctica, promueve la participación con los matices mencionados en el primer punto de resultados, y asimismo favorece la obtención de los objetivos propuestos, como resultado de la aplicación de las capacidades adquiridas en función de la especialidad del alumno.
- ✓ La estructuración de los informes de las prácticas presenta en general ciertas dificultades por falta de experiencia en estos aspectos, lo cual es frecuentemente superado con la asistencia técnica del cuerpo docente.
- ✓ En general los grupos logran una redacción correcta de sus informes, pero ello no se debe a un buen nivel individual de todos los alumnos en este aspecto, sino a que en general se encargan de la misma aquellos alumnos con más aptitudes para ello. Frecuentemente quienes asumen este rol son los alumnos de ciencias naturales.
- ✓ Algunos trabajos prácticos deben ser expuestos por los grupos de trabajo ante sus compañeros y ante la cátedra. En este aspecto también se perciben dificultades para estructurar y desarrollar la exposición –en power point- por falta de práctica o experiencias anteriores.

Para analizar el resultado de las encuestas, en relación al tema de la Interdisciplina, presentamos la Tabla N°1:

INTERDISCIPLINA	Área civil				Ciencias naturales				Área Industrial				General			
	Alto	Medio	Bajo	NS/NC	Alto	Medio	Bajo	NS/NC	Alto	Medio	Bajo	NS/NC	Alto	Medio	Bajo	NS/NC
Considera importante el trabajo interdisciplinario en temas ambientales?	65%	9%	13%	13%	75%	0%	0%	25%	59%	32%	0%	9%	64%	17%	6%	13%
Considera que la cátedra trabaja de manera interdisciplinaria?	48%	31%	4%	17%	75%	0%	0%	25%	56%	31%	6%	6%	56%	27%	5%	13%
Considera que fue útil el trabajo en grupos de alumnos con cierto grado de interdisciplina?	35%	26%	26%	13%	75%	0%	0%	25%	44%	19%	25%	13%	44%	19%	22%	14%
Total de Encuestados	23				8				32				63			

Tabla N°1: opinión de los alumnos de distintas carreras sobre temas vinculados al trabajo interdisciplinario

Del análisis de las encuestas surgen las siguientes conclusiones:

- ✓ En relación al trabajo interdisciplinario en temas ambientales: quienes más valoran el trabajo interdisciplinario son los alumnos de ciencias naturales, seguidos de los del Área Civil y por último los del Área Industrial, aunque en todos los casos el nivel de valoración es predominantemente alto, siempre por encima del 59 % y con una media del 64%.
- ✓ En relación a la percepción sobre el trabajo interdisciplinario por parte de la cátedra: la valoración más alta la realizan los alumnos de ciencias naturales, seguidos de los del área industrial y por último de los del área civil, aunque en todos los casos el nivel de valoración es predominantemente alto, siempre por encima del 48% y con una media del 56%.
- ✓ En relación a la utilidad del trabajo interdisciplinario en las prácticas: en este caso la valoración por parte de los alumnos fue menor que en los casos anteriores, pero aún así se percibe que lo valoran positivamente, en todos los casos se supera el 35% con valoración alta y el 61% como valoración alta o media. Nuevamente los alumnos de ciencias naturales son quienes realizan la mejor ponderación.

4 Discusión y Propuestas

En relación a la necesidad del trabajo interdisciplinario en la temática ambiental surge una evidente valoración positiva tanto por parte de la cátedra como por parte de los alumnos. La valoración que hacen los alumnos del trabajo interdisciplinario de la cátedra también es alto, y si bien valoran positivamente el trabajo interdisciplinario que ellos mismos realizan en las prácticas, surge como uno de los aspectos que se podría intentar mejorar, para ello vale profundizar un poco el análisis de este aspecto.

Si bien se forman grupos interdisciplinarios para la resolución de las prácticas, los mismos no responden a las necesidades estrictas que se plantean para resolver las mismas, ya que los condicionantes para formar esos grupos son varios: a) la composición del alumnado si bien es interdisciplinaria es aleatoria en cuanto a sus proporciones, b) el grado de inter-disciplina del alumnado está limitado a la participación de seis ingenierías y biología, con escasa o nula participación de alumnos de las ciencias sociales según el semestre. c) deben formarse grupos con un número razonable de alumnos, cuatro o cinco es lo que se adopta en la cátedra. Esta situación de cierto grado de inter-disciplina en cada grupo (en general alumnos de dos o tres ingenierías y un alumno de biología), no adecuada estrictamente a las necesidades de distintas especialidades que plantea el trabajo práctico, pone tanto en evidencia el aporte significativo de las especialidades pertinentes al trabajo como la falta de aporte de aquellas especialidades poco vinculadas al mismo. Si bien esto puede significar una frustración parcial por parte de quienes pueden aportar menos, también envía un mensaje claro respecto de la necesidad del trabajo interdisciplinario y de lo importante que sería convocar a otros especialistas en caso de que se trate de un trabajo profesional.

Para intentar mejorar el trabajo interdisciplinario en las prácticas grupales necesariamente habría que intentar que eso grupos se adecúen más estrictamente a las necesidades que se plantean en las consignas que se presentan en las prácticas, pero ello es difícil de abordar ya que la Facultad de Ingeniería puede planificar respecto de sus propios alumnos y no respecto de los de otras unidades académicas, sin embargo, la situación espontánea que se dio con los alumnos de Ciencias Naturales y los beneficios de la misma, podrían exponerse ante autoridades de otras Unidades Académicas (del área social por ejemplo) y evaluar en conjunto posibilidades de realizar experiencias en conjunto en la enseñanza de temas ambientales.

También surge de las encuestas a los alumnos, que se podría intentar mejorar el trabajo interdisciplinario de la cátedra, ello podría lograrse a través de un trabajo aún más articulado entre los docentes y fundamentalmente intentando intensificar la incorporación o colaboración de docentes de otros orígenes o especialidades. En la actualidad se están incorporando, en calidad de ayudantes alumnos ad honorem, estudiantes de ciencias naturales que han cursado la materia, con ello se espera mejorar, aunque sea de manera parcial, este aspecto.

5 Glosario

Las siguientes definiciones fueron extraídas del Apunte de Clase “Aspectos Básicos de los Instrumentos de Gestión Ambiental” (2010, Cipponeri et al).
Instrumento de Gestión Ambiental (IGA): se llama así a aquellas normas, metodologías y estudios que se han creado y se crean para favorecer la adecuada gestión ambiental de planes, programas y proyectos en sus distintas etapas de desarrollo e implementación.

a. *IGA Inductivos (IGAI): aquellos cuya existencia no depende de la realización de un proyecto, sino que en caso de realizarse uno lo orientan o condicionan. Su horizonte temporal de acción se desarrolla entre el mediano y el largo plazo. Encontramos entre ellos: Educación Ambiental, Legislación Ambiental, Ordenamiento Territorial e Instrumentos Económicos y Financieros.*
b. *IGA Activos (IGAA): aquellos que han sido concebidos para aplicarse sobre proyectos concretos, que toman forma propia cuando se aplican a los mismos y cuyo horizonte temporal de acción es el corto plazo. Los principales son: Informe Ambiental, Estudio de Alternativas, Evaluación y Estudio de Impacto Ambiental, Auditoría Ambiental, Sistemas de Gestión Ambiental, Evaluaciones Ambientales Sectoriales, Regionales y Estratégicas.*
c. *IGA de Apoyo: aquellos que se han transformado en un apoyo vital para la implementación de IGA tanto inductivos como activos, en este caso nos referimos a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) o a los modelos matemáticos.*

Agradecimientos

A la Lic. en Ciencias de la Educación Stella M. Abate por su apoyo significativo para reflexionar sobre la forma de abordar el trabajo presentado.
Al Ing. Carlos Martín Angelaccio por su guía en los primeros años de vida de la cátedra.
A Laura Mordasini por la minuciosa revisión del trabajo.

Bibliografía

Cipponeri Marcos; Angelaccio, Carlos Martín; Salvioli, Mónica Laura. Aspectos Básicos de los Instrumentos de Gestión Ambiental –Facultad de Ingeniería de la UNLP, La Plata (2010).

Real Academia Española. Diccionario de la Real Academia Española: Vigésima Edición. Madrid (2001).

Ministerio de Educación. Resolución 1232 (2001).

CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES Y MATERIAL PARTICULADO EN LA PLATA Y ENSENADA.

Colman Lerner JE.[1], Müller A.[2], Aguilar M.[1], Matamoros N.[3], Sánchez EY.[1,3], Ditondo J.[5], Herbarth O. [4], Massolo L.[1], Wichmann G. [4], Porta A.[1,3]

a. CIMA, Centro de Investigaciones del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata. 47 y 115. 1900 La Plata. Tel./fax: 0221-4229329

b. UFZ, Helmholtz Centre for Environmental Research-UFZ, Leipzig-Halle, Germany.

c. LIS, Laboratorio de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. 47 No 200. 1900 La Plata. Tel./fax: 0221-4277714

d. Facultad de Medicina, Universidad de Leipzig, Alemania.

e. IDIP, Instituto de Desarrollo e Investigaciones Pediátricas del Hospital de Niños "Sor María Ludovica", Calle 63 N° 1069 - La Plata.

Palabras Clave: Calidad del aire, espirometrías, COVs, material particulado

Resumen

Se presentan los resultados obtenidos en un estudio de calidad de aire ambiente en dos regiones bonaerenses equiparables, desarrollado en forma conjunta entre el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería (UNLP) y la Facultad de Medicina de la Universidad de Leipzig (Alemania) en el primer año de trabajo conjunto durante el desarrollo del Proyecto de Cooperación Internacional auspiciado y subsidiado por el MinCyT (Argentina) – BMBF (Alemania). En el mismo se analizan las concentraciones de compuestos orgánicos volátiles (COVs), y material particulado en suspensión en aire (MP) en aire extramuros en los Partidos de La Plata y Ensenada, región caracterizada por dos fuentes principales de emisión de contaminantes a la atmósfera: el Polo Petroquímico de Ensenada y el destacado tránsito vehicular del casco urbano de La Plata. La preocupación actual por estos contaminantes reside en su acción sobre la salud humana, tanto como irritantes de mucosas, conjuntivas y del sistema nervioso, como por sus efectos sobre la función pulmonar, mediante enfermedades obstructivas crónicas. Se colocaron 181 monitoreadores pasivos (3M 3500) y se tomaron 18 muestras de material particulado (MP10 y MP2,5) utilizando un equipo muestreador de bajo caudal MiniVol TAS en la región, diferenciando tres zonas: urbana, industrial y residencial (zona de referencia). Los niveles de COVs fueron determinados por cromatografía gaseosa/MS, comprendiendo 25 compuestos entre n-alcanos, cicloalcanos, aromáticos, compuestos clorados, terpenoides y cetonas. El contenido de MP fue determinado por gravimetría. Los datos recogidos evidencian niveles de MP10 y MP2,5 superiores en la zona industrial respecto a la urbana, y éstas dos superiores a la residencial. Los niveles de COVs siguen la misma tendencia, siendo similares los hallados en zonas urbana y residencial. Los datos actuales se comparan con los obtenidos en un trabajo anterior utilizando igual metodología y en la misma región, con una situación novedosa, durante 2007-2008 se realizaron importantes mejoras para disminuir las emisiones fugitivas en el Polo Petroquímico que redundó en una franca disminución de los tenores de COVs, tanto en Ensenada, como en la misma ciudad de La Plata, sin embargo los niveles de MP son similares. Esta influencia de las emisiones en zona industrial sobre el casco urbano de La Plata, se correlaciona con las direcciones de vientos predominantes en la región.

INTRODUCCION

La contaminación del aire representa una amenaza importante para la salud pública en todo el mundo. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) más de dos millones de

muertes prematuras anuales son atribuibles a los efectos de la contaminación del aire en espacios abiertos urbanos (extramuros) y en espacios cerrados (intramuros). Más de la mitad de esta carga de enfermedad recae en las poblaciones de los países en desarrollo.
Numerosos estudios epidemiológicos evidencian como la exposición crónica a contaminantes relacionados al tráfico vehicular y la industria química y petroquímica, tales como material particulado (PM), metales, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), compuestos orgánicos volátiles (COVs) y gases inorgánicos (SO2 y NOx), produce efectos adversos al desarrollo y la función pulmonar, expresados frecuentemente en término de asma o enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), e incremento de la mortalidad principalmente en niños. Resulta importante entonces caracterizar y cuantificar la contaminación del aire, reconocer y evaluar los efectos sobre la salud asociados y caracterizar las fuentes de emisión (1-5).

Por tal motivo, resulta fundamental conocer los niveles de COVs y PM en ambientes extramuros para poder asociarlos con efectos observados en la salud. A tal efecto, y como resultado de diversos proyectos de investigación y extensión, hemos logrado desarrollar y optimizar una metodología de trabajo simple, aunque rigurosa, que nos permite conocer los niveles de contaminantes a los que se encuentra expuesta la población. En este contexto se presentan los resultados obtenidos durante 2007 - 2010 en sendas campañas de monitoreo de COVs y PM en las regiones de La Plata.

METODOLOGÍA

Región de estudio.

En la región de estudio (Partidos de La Plata y Ensenada), según las fuentes principales de emisión y la metodología de trabajo aplicada a población infantil, se seleccionan tres tipos de zonas (4, 6-9):

- Zona industrial (Polo Petroquímico de Ensenada y adyacencias): emisiones industriales.
- Zona urbana (Casco de La Plata): emisión tránsito vehicular
- Zona blanco o de referencia: zonas residenciales externas a la ciudad (City Bell, Gonnet, Villa Elisa, Parque Siccardi)

Muestreo COVs.

Se desarrolló un monitoreo durante 2007 - 2010, colocando monitoreadores pasivos (3M 3500) extramuros en viviendas familiares y escuelas de las distintas zonas, durante 30 días. Se colocaron 181 monitoreadores 3M a cubierta de la lluvia, entre 1,5 a 2 metros de altura (4, 6-9). Se determinaron 25 COVs (n-hexano, n-decano, n-dodecano, ciclohexano, metilciclohexano, tricloroetileno, tetracloroetileno, metiletilcetona, metilisobutilcetona, 2-hexanona, benceno, tolueno, etilbenceno, m-xileno, p-xileno, o-xileno, estireno, naftaleno, cumeno y limoneno). El análisis de COVs se realizó en un cromatógrafo de gases con detector MS, equipado con una columna RTX-1 (60 m 0,32 mm DI, espesor de película 1,0 micras). El rango de linealidad para el sistema utilizado (CG-FID) queda comprendido entre 0.8–4 μg mL^{-1}.
La concentración media C de cada componente (en μg m^{-3}) durante el intervalo de muestreo se calculó según la fórmula adoptada en el Boletín de Aplicación de 3M:

$$C = \frac{m\ A}{r\ t}$$

Donde **m** es la masa absoluta del contaminante adsorbido (en μg), **t** el intervalo de tiempo muestreado (en minutos), **r** el factor de recuperación y **A** es una constante que incluye el coeficiente de difusión del contaminante, el área de difusión de la pastilla de carbón activado y la distancia de difusión dentro del muestreador 3M (10).

Material particulado.

Para el muestreo y análisis de material particulado y compuestos asociados, se realizaron muestreos de material particulado inhalable (partículas < 10 μm) y respirable (partículas <2.5

μm) utilizando un muestreador MiniVol TAS. Fueron tomadas 18 muestras durante monitoreos estacionales (invierno y verano) con una duración de unos 5 días por zona; para lo cual se utilizaron metodologías de muestreo estandarizadas (4, 11, 12).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 y las Figuras 1 y 2 se muestran las medianas (μg m^{-3}) de los valores hallados para cada zona. Las familias de compuestos graficados se definieron de la siguiente forma:

- ***Alcanos:*** *hexano, heptano, octano, nonano, decano, undecano, dodecano, tridecano, metilciclopentano, ciclohexano, metilciclohexano.*
- ***Aromáticos:*** *benceno, tolueno, etilbenceno, m+p-xileno, estireno, o-xileno, 4-etiltolueno, 3-etiltolueno, 2-etiltolueno, napftaleno*
- ***BTEX:*** *benceno; tolueno; etilbenceno; (o; m; p) xilenos; estireno*
- ***Clorados:*** *clorobenceno; tetracloroetileno.*
- ***Terpenos:*** *α-pineno, limoneno*

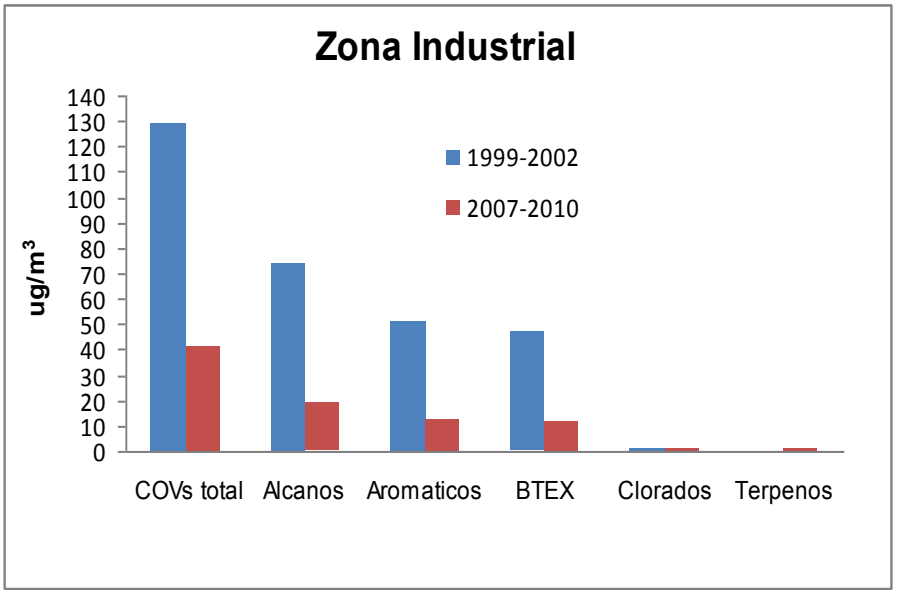


Figura 1. Concentración de COVs en zona industrial

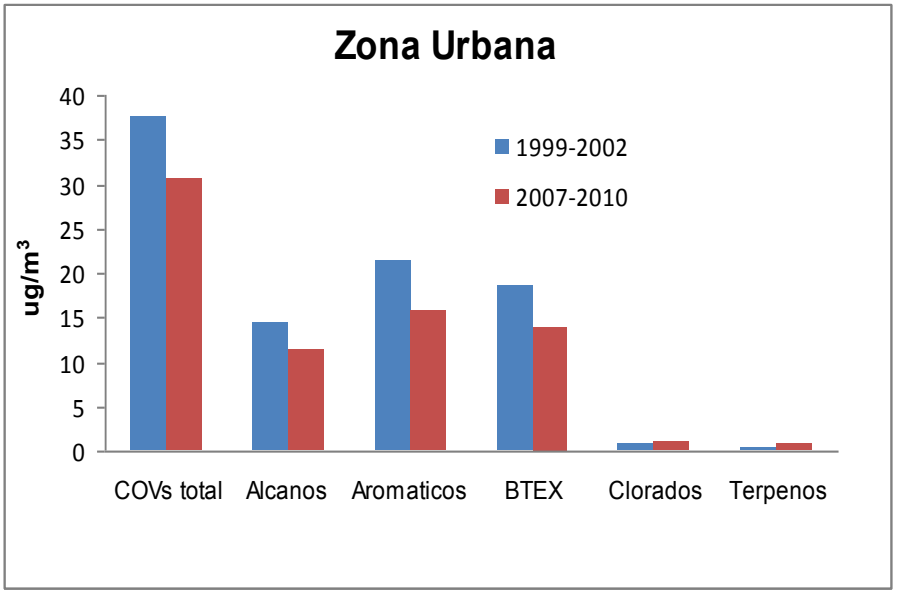


Figura 2. Concentración de COVs en zona urbana

	Industrial		urbano		residencial	
	1999-2002 *mediana*	2007-2010 *mediana*	1999-2002 *mediana*	2007-2010 *mediana*	1999-2002 *mediana*	2007-2010 *mediana*
COVs total	129.2	41.5	37.7	30.6	23.4	22.6
Alcanos	74.3	19.1	14.3	11.3	7.5	7.4
Aromaticos	51.0	12.5	21.5	15.8	8.6	10.6
BTEX	47.3	11.2	18.6	13.9	7.6	9.5
Clorados	0.9	1.0	0.6	0.8	1.9	0.8
Terpenos	0.2	0.5	0.3	0.7	0.2	0.5
n	**7**	**45**	**17**	**95**	**9**	**36**

Tabla 1. Niveles de COVs (medianas, µg m-3) en todas las zonas

En primer lugar, se destaca la predominancia de los COVs en la zona de Ensenada, respecto a las otras dos, asociada al Polo Petroquímico. Sin embargo, al comparar los datos de la actual campaña con los obtenidos en 1999-2002, se observa como los niveles de COVs totales disminuyen notablemente en la región industrial (ensenada), disminuyendo en menor medida en la región urbana y prácticamente invariante en la región residencial.
Es interesante señalar que esta observación se correlaciona con la dirección de los vientos predominantes (E, NE y N), encontrándose una fuerte influencia de las emisiones en zona industrial sobre la urbana debido al transporte de COVs por dichos vientos (13-15).
Así mismo se observan aún los mayores niveles de COVs en Ensenada. Analizando los COVs de origen vehicular (BTEX) se observa que su influencia relativa respecto al total es importante tanto en la región urbana como residencial pudiendo suponerse que es una fuente importante de contaminación en ambas regiones. En la región industrial a pesar de disminuir los niveles de COVs mediante políticas de los organismos de control (Organismo Provincial de Desarrollo Sostenible “OPDS”) siguen teniendo gran influencia los niveles de alcanos de origen industrial.
Respecto del material particulado (MP10 y MP2.5), se observa mayores concentraciones en la zona industrial, seguida por la urbana y la residencial. También se evidencia que los niveles de material particulado (MP10) ha disminuido levemente en la región industrial, aumentando en las regiones urbana y residencial (Tabla 2). Respecto al PM2.5 solo se

observa un claro aumento en la región residencial, asociado al aumento significativo del tráfico vehicular en dicha zona.

Región	1999-2002		2007-2010	
	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5
Industrial	50.9	36.1	62.0	33.7
Urbana	34.5	22.5	41.5	21.1
Residencial	12.4	4.9	33.8	18.2

Tabla 2: Valores de PM10 y PM 2,5 en (µg m-3) para las distintas zonas en cada región

Estos resultados evidencian la importancia de controlar las emisiones antropogénicas y su impacto en la mejora de la calidad de vida de la población. Del mismo modo indica la disimilitud entre los controles de emisiones para el tráfico industrial y vehicular, el último prácticamente inexistente en la región estudiada. También es importante señalar que un mayor control estatal de las emisiones fugitivas y difusas de COV procedentes de las empresas petroquímicas y refinerías de petróleo surge como consecuencia de los estudios previos y la interacción entre el organismo provincial de protección del medio ambiente y la universidad.

De esta manera pone de relieve la importancia de la cooperación mutua entre el Estado, la universidad y la industria. Por último debe destacarse la importancia de la cooperación internacional, de la Universidad de Leipzig - Universidad de La Plata, que nos ha permitido profundizar los estudios iniciales, desarrollar una metodología adecuada y proponer posibles soluciones.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio fue desarrollado mediante subsidios recibidos desde la Cooperación Internacional (MinCyT-BMBF), la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC PBA) y la Universidad Nacional de La Plata.

JE. Colman Lerner y EY. Sánchez son becarios del Consejo de Investigaciones Científicas y Técnicas de la Nación (CONICET). A. Porta es miembros de la carrera Investigador Científico de la CIC PBA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Organización Mundial de la Salud. “Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005”. WHO/SDE/ PHE/OEH/06.02 (2006). http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_ OEH_06.02_spa.pdf
2. World Health Organization. “Environmental Health Criteria 237. Principles for Evaluating Health Risks in Children Associated with Exposure to Chemicals”. Published under UNEP-ILO-WHO, Geneva, (2006).
3. Gauderman WJ, Gilliland F, Vora H. “Association between air pollution and lung function growth in southern California children. Results from a second cohort”. *Am J Respir Crit Care Med*; 166:76-84, (2002).
4. Ostro B. “Outdoor air pollution. Assessing the environmental burden of disease at national and local levels”. *Environmental Burden of Diseases Series No 5*. World Health Organization. Protection of the Human Environment. Geneva, (2004).
5. Massolo L. “Exposición a contaminantes atmosféricos y factores de riesgo asociados a la calidad de aire en La Plata y alrededores”. Tesis doctoral, Ciencias Exactas, UNLP. (2004).

6. Massolo L., Rehwagen M., Müller A., Porta A., Ronco A., Herbarth O. “Relación entre el contenido de compuestos orgánicos volátiles en aire intramuros y extramuros en zonas semirurales, residenciales, urbanas e industriales”. “Salud Ambiental y Humana: una visión holística”. Editor: J. Herkovits, SETAC Press, Buenos Aires, 3-5, 2006.
7. Cianni N., A. Müller, P. Lespade, M. Aguilar, N. Matamoros, E. Colman, M. Martín, V. Chiapperini, L. Bussi, L. Massolo, F. Wichmann, A. Porta. “Calidad del aire y salud infantil en áreas urbanas e industriales de La Plata y Ensenada, Argentina”. En: Contaminación Atmosférica en Argentina. Contribuciones de la II Reunión Anual PROIMCA”. Editores: E. Puliafito & N. Quaranta, 37-44. Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires, (2009).
8. Wichmann FA., LE. Busi, NF. Cianni, L. Massolo, A. Müller, A. Porta, PD. Sly. “Increased asthma and respiratory symptoms in children exposed to petrochemical pollution”. Journal of Allergy and Clinical Immunology, 12 (3): 632-638, (2009).
9. Massolo L., Rehwagen M., Porta A., Herbarth O., Ronco A., Müller A. “Indoor-outdoor distribution and risk assessment of volatile organic compounds in the atmosphere of industrial and urban areas”. Environmental Toxicology, 25(4): 339-349, (2010).
10. Guía de Toma de muestras y análisis para monitores de vapores orgánicos 3500 y 3520, 3M, (1999).
11. Rehwagen M, Müller A, Massolo L, Herbarth O, Ronco A. “Polycyclic aromatic hydrocarbons associated to particles in ambient air from urban and industrial areas”. Sci. of the Total Environ; 348, 199– 210, (2005).
12. Massolo L; Müller A; Rehwagen M; Porta A, Herbarth, O; A. Ronco. “Estimación del riesgo asociado a PAHs en ambientes urbanos e industriales. Contaminación Atmosférica en Argentina. Contribuciones de la II Reunión Anual PROIMCA. Editores: E. Puliafito & N. Quaranta. UTN, Buenos Aires, 45-54, (2009).
13. Ratto G., Maronna R., Repossi P., Videla F., Nico A., Almandos J. (2012). Analysis of winds affecting air pollutants transport at La Plata, Argentina. Atmos. and Climate Science, 2: 60-75.
14. Ratto G., Videla F., Maronna R., Flores A., De Pablo F. (2010). Air pollutants transport analysis based on hourly winds in the city of La Plata and surroundings, Argentina. Water air and soil pollution, 208: 243-257.
15. SMN (2011). “Estadísticas climatológicas, Servicio Meteorológico Nacional 2001-2010”.

ESTUDIOS DE BASE PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA LAGUNA MULITAS DE LA CIUDAD DE 25 DE MAYO (BA) PROPUESTA PARA SU RECUPERACIÓN Y MANEJO SUSTENTABLE.

Dr. Porta Andrés, Ing. Jelinski Guillermo, Argañaraz Lucila, Baldovino Wenceslao.
Ing. Amarilla Roberto, Dra. Neschuk Nancy, Ing. Salazar Mesia Daniel

Laboratorio de Ingeniería Sanitaria (LIS), Departamento de Hidráulica, 47 Nº 200,
e-mail: area.ingenieria.lis@gmail.com – jelinski@ing.unlp.edu.ar

1. INTRODUCCION

El estudio surge como un requerimiento de la Municipalidad de 25 de Mayo al Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la UNLP, a efectos de realizar estudios en los que se propongan las acciones necesarias a llevar a cabo para la recuperación y un manejo sustentable de la laguna, un recurso natural de elevado valor social y ambiental.
Las tareas realizadas se componen de una serie de actividades entre las que se puede destacar: recopilación y análisis de información antecedente, visitas, recorridas de campo, toma de muestras de agua y sedimentos, estudios hidrológicos e hidráulicos y la evaluación del estado actual del cuerpo superficial Laguna Mulitas. A partir de estos se procedió a describir el funcionamiento hidrológico e hidráulico de la laguna y su cuenca de aporte en su estado actual y establecer las adecuaciones necesarias para disponer de los elementos de control que permitan fijar un nivel de operación del cuerpo superficial acorde al sostenimiento de la flora y fauna, garantizando además el uso recreativo, pero sin comprometer los terrenos aledaños, a fin de minimizar la afectación sobre la población ubicada en cercanías de las márgenes.

2. DESARROLLO

La laguna Las Mulitas se encuentra dentro de la cuenca del Río Salado, la cual abarca tres regiones hídricas en un área de aproximadamente 170.000km2 cuya característica más destacable es la falta de relieve, la exigua pendiente y el bajo potencial morfogénico que dificulta la evacuación de los excesos hídricos durante las épocas de grandes precipitaciones, favoreciendo la permanencia del agua en los bajos y lagunas.
La sucesión de períodos climáticos secos y húmedos lleva a un importante desarrollo de sistemas de humedales y de lagos muy poco profundos (lagunas). Cuando se producen importantes excesos hídricos (inundaciones), los niveles del agua subterránea aumentan rápidamente y tiene lugar la descarga a la superficie, anegando grandes áreas, creando lagunas temporarias y aumentando la extensión de las lagunas permanentes. Por el contrario, en épocas en las que no hay excesos hídricos (sequías), el sistema subterráneo se halla muy localizado y el aporte al agua superficial es menor.
Dangaus (2006), establece una clasificación de los sistemas hidrológicos basándose en la periodicidad del régimen hídrico del cuerpo de agua, el que a su vez depende del régimen pluvial, la interrelación con el agua subterránea y las características morfométricas de la cuenca. Reconoce este tipo de lagunas, dentro del grupo de las casi permanentes a permanentes, a las que pertenece el cuerpo superficial analizado.
La cuenca forma parte de una zona ecológica conocida como Pastizales de la Pampa Húmeda que contaba con pasturas pampásicas extensas, desprovistas de árboles y que actualmente no existen debido a la alteración producida por la actividad humana.
La laguna Las Mulitas es un ambiente de una profundidad relativa muy baja, que aumenta con el área anegada en épocas de inundación. La presencia de la napa freática a escasa profundidad y las características topográficas hacen que el agua subterránea ejerza un control importante sobre el balance hídrico regional y sobre la composición de las aguas.

Caracterización del agua y los sedimentos de la laguna Las Mulitas

Componente Agua Superficial:

Las lagunas pampeanas se sitúan en fértiles drenajes que naturalmente les aportan grandes cargas de nutrientes. La acción humana ha incrementado sustancialmente esas cargas.

Se realizaron análisis físico-químicos en muestras de agua de la laguna, a fin de determinar la posible afectación antrópica de la calidad de la misma, ya sea por carga de nutrientes como por presencia de posibles compuestos contaminantes.

El pH resultó alcalino, en concordancia con los niveles registrados en la región. Las concentraciones de DQO registradas fueron bajas, lo que indica escasa presencia de productos químicos o sintéticos no biodegradables. Cantidades elevadas de cloruros (Cl-), fosfatos (PO4-2), fenoles y compuestos nitrogenados como nitratos (NO3-), nitritos (NO2-) y amonio (NH4+), pueden estar relacionados con el aporte de aguas residuales domésticas y, en menor medida, de descargas industriales sin tratamiento.

La variación espacial observada en la concentración total de nutrientes, puede deberse a un aporte extra de nutrientes, o por resolubilización del P presente en el sedimento por parte de las macrófitas (plantas acuáticas) que presentaban gran desarrollo en la laguna al momento de toma de las muestras, ya que actúan a modo de bombas de nutrientes.

Para el sistema en estudio, los metales analizados se encentraron por debajo de los niveles guías establecidos por la normativa nacional (DR831/93). Las concentraciones de plaguicidas organoclorados registradas se encontraron en concentraciones inferiores al límite de cuantificación, con excepción del endrin que registró 2.7 ng/l en uno de los sitios de muestreo. Los valores obtenidos no pueden considerarse peligrosos para la fauna íctica, pero no debe ignorarse su presencia.

Componente Sedimentos:

En este componente, los niveles de pH registrados fueron alcalinos, mientras que los sólidos totales mostraron una significativa variación entre ambos sitios de muestreo con un notable incremento en el sitio S2 (73 mg/l), cercano a la descarga de los desagües pluviales de la ciudad de 25 de Mayo, respecto al sitio S1 (42mg/l) ubicado hacia el centro de la laguna.

Respecto a los pesticidas determinados en este componente, los mismos se encuentran por debajo de los límites de detección. Las concentraciones de metales pesados determinados, superaron en ambos sitios los límites de detección del protocolo utilizado, encontrándose no obstante por debajo de los niveles considerados contaminantes según la reglamentación vigente.

Comportamiento hidráulico del sistema

La laguna Las Mulitas actualmente posee como receptor final el Canal del Gato que descarga sus aguas en el Aº Saladillo, integrante de la cuenca del Río Salado.

En principio, en su estado natural, la cuenca de la laguna funcionaba como un sistema arreico cuyo último punto de colección era el cuerpo lagunar.

En estas condiciones, en épocas de déficit hídrico la laguna disminuía su superficie, pudiendo llegar a secarse, y en épocas de exceso hídrico, provocaba anegamientos en su perímetro, avanzando sobre su llanura de inundación. En ambas situaciones no se generaban afectaciones antrópicas, o estas eran mínimas (área inmediata con mínima urbanización y explotación agropecuaria en la cuenca de baja intensidad).

Las modificaciones de las condiciones de escurrimiento de la cuenca de aporte, debido a la ejecución de vías de comunicación, obras de canalización hidráulica, urbanización, explotación agropecuaria, etc., ha alterado el funcionamiento natural descripto, alcanzando un nuevo estado de funcionamiento que resulta mucho más restringido en virtud de las afectaciones que sobre el medio antrópico genera.

Según los antecedentes, la cuenca de aporte a la laguna ha sufrido cambios en dos sentidos: 1) se redujo su superficie debido a la ejecución de canales de drenaje directo hacia el Canal del Gato con la consiguiente reducción de los volúmenes hídricos aportados hacia la laguna; 2) se redujo la capacidad de almacenamiento superficial de la cuenca a nivel predial debido a que, la ejecución de canales dentro de la misma permite el drenaje de las

superficies anegadas hacia la laguna en menor tiempo. Esto resulta en un incremento de los volúmenes y caudales que ingresan al cuerpo lenticular, y en un requerimiento de mayor capacidad de regulación de la laguna y de mayor capacidad de evacuación del canal de descarga que se conformó en uno de los extremos de la laguna.
En el presente, se ha construido además un canal perimetral en el contorno Este de la laguna que colecta los caudales provenientes de esa parte de la cuenca y los deriva directamente al canal artificial de descarga ejecutado aguas abajo de la misma.
En consecuencia, actualmente Las Mulitas recibe los volúmenes de excedentes hídricos superficiales que aporta sólo la parte de su cuenca que ingresan por lo conductos pluviales del área urbana. Además, la descarga de la laguna se realiza por medio del canal artificial que desemboca en el Canal del Gato y que carece de regulación de los caudales de salida del cuerpo superficial. En consecuencia, ante un período prolongado de déficit, la laguna pierde casi la totalidad del agua almacenada.
El comportamiento natural de la cuenca de la laguna se caracteriza como de recarga del freático (no existen escurrimientos encauzados por superficie), el proceso de infiltración dispone de tiempo para realizarse en los sectores bajos y anegables. Como consecuencia de esto el comportamiento hídrico natural presentaba un predominio de balance vertical: el ingreso de agua al sistema proviene casi exclusivamente de las precipitaciones y la salida de agua está compuesta por infiltración, evaporación y evapotranspiración.
Con este esquema natural coexisten obras de canalización que afectan este comportamiento y que se incorporan al sistema. El principal elemento agregado es el canal de descarga que vincula a la laguna con el Canal del Gato, otorgando al sistema una salida externa artificial, con la única regulación producto de las obras existentes en el mismo.



Relevamiento en el canal de descarga y alcantarillas pertenecientes.

3. CONCLUSIONES

Se desprende del estudio que la laguna Las Mulitas presenta un estado natural eutrófico y con alta productividad biológica como consecuencia de recibir drenajes de suelos ricos en nutrientes. La intensidad de uso de la tierra en la cuenca de drenaje de la laguna se ve reflejada en las características del ecosistema lacunar: significativos niveles de nutrientes, presencia de metales pesados en sedimentos, importante desarrollo de macrófitas, baja diversidad. La presencia de metales pesados en los sedimentos, probablemente responde al establecimiento de asentamientos humanos muy cercanos a la costa de la laguna (aportes puntuales) y a la industrialización de la región.
La disminución de la profundidad de la laguna durante las sequías extremas, si bien no aseguran un uso recreativo del recurso, tendrían efectos positivos sobre las macrófitas acuáticas, las cuales actúan como trampa de sedimentos y nutrientes.
En relación a los estudios hidrológicos, en primera instancia se elaboró un modelo de Balance Hídrico. Se utilizaron datos climáticos provenientes de las estaciones del INTA de la región, como medio de caracterizar las condiciones imperantes en el área y se confeccionó una serie histórica entre los años 2003 y 2011.
La producción de este modelo abarcó tres situaciones, a saber: el estado de la laguna sin descarga (estado natural del sistema arreico), estado de la laguna actual (sin recibir las aguas que son captadas antes por el canal perimetral y derivadas al canal del Gato) y

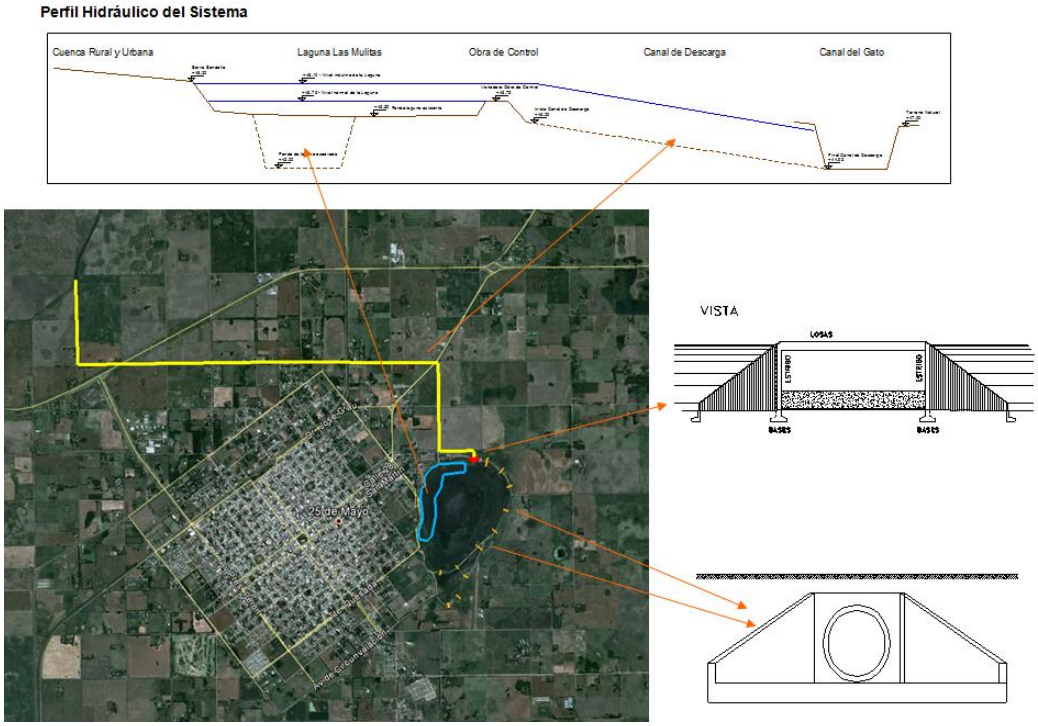
estado de la laguna con descarga (sistema funcionando con el canal perimetral anulado y con el canal de descarga activo).
Los resultados de esta simulación indican que el modelo representa adecuadamente los estados sin descarga y el estado actual, y permite asumir que es posible regular los caudales que ingresan a la laguna para eventos de 20 años de recurrencia.
A partir de estos resultados se procedió a elaborar un nuevo modelo de simulación para ajustar la definición de las condiciones operativas de la laguna ante tormentas intensas. Esta situación considera que se desactiva el canal perimetral y que los escurrimientos superficiales de toda la cuenca ingresan a la laguna.
Para ello se analizó el estado actual del Canal de Descarga y se definieron las adecuaciones que deberán realizarse sobre el canal para que cumpla con las condiciones de descarga necesarias para el funcionamiento de sistema, esto es, incrementar su capacidad de conducción a aproximadamente 10m3/s.
Respecto al resultado de la simulación, el mismo indicó que para una tormenta de 20 años de recurrencia (161mm de lluvia en 24 horas) el sistema se puede regular con la construcción de una Obra de Control consistente en un vertedero de 3m de ancho con un labio fijo ubicado a cota +46.75m IGN, ajustándose a los límites impuestos de caudales de descarga y de nivel de la laguna.
Las condiciones de borde impuestas a esta simulación fueron la capacidad de descarga del canal mencionado y el máximo nivel a alcanzar por las aguas de la laguna asociados a los sectores anegables de su entorno, tomándose el valor +48.20m IGN correspondiente al Barrio Sandalio. En tal sentido no es recomendable continuar la urbanización de esta zona ya que posee elevadas posibilidades de anegamiento. El área indicada se ubica dentro de la categorización C2/E (área complementaria, zona de esparcimiento) propuesta en el Plan de Ordenamiento Territorial del Partido de 25 de Mayo (UNLP, 2009) con usos especiales y actividades limitadas, priorizando el uso de Parque Urbano, áreas verdes naturales y culturales rodeando a la Laguna Mulitas. Por ello, previo a la realización de cualquier emprendimiento en el área zonificada como C2/E deberá efectuarse un estudio específico que incluya análisis hidráulicos y ambientales a fin de determinar los posibles impactos asociados y su viabilidad socioambiental.
A partir de los estudios realizados, surgen una serie de medidas de tipo estructural y no estructural tendientes a la recuperación y puesta en valor de un recurso natural de elevado valor social y ambiental.
En tal sentido, se delinearon diferentes acciones, unas inmediatas y otras a mayor plazo, resultando la necesidad de dar continuidad a las medidas, pues es lo que garantizará la sustentabilidad de uso del recurso a lo largo del tiempo.
Se propuso entonces:

- Llevar adelante la ejecución de obras civiles para la regulación del nivel de agua a fin de permitir que el volumen de agua de la laguna fluctúe, evitando extremos críticos y garantizando un nivel mínimo en la superficie del espejo de agua;
- Proceder a la introducción y siembra de especies de peces para control ecológico del desarrollo de las macrófitas y otras especies atractivas para la pesca deportiva;
- Estudiar el desarrollo de una obra de intercepción de contaminantes a la salida de los desagües pluviales de calle 19, lo que podría conformarse mediante un humedal artificial con vegetación específica y trampa de sedimentos y sobrenadante.
- Efectuar el control permanente de vuelcos (clandestinos, industriales, etc.) en los canales y conductos que llegan al cuerpo superficial;
- Hasta que el cuerpo lagunar alcance una profundidad media tal que se produzca el control natural del sistema, se debería efectuar el manejo de las macrófitas de manera artificial y continua a fin de disminuir las cantidades de biomasa presente.

En relación a la regulación del comportamiento hidráulico del sistema, se requiere el proyecto y ejecución de las siguientes obras:

- Obras de infraestructura control y regulación hidráulica de la laguna: recomendándose su ejecución en el orden indicado:

1. Adecuación del Canal de Descarga: ancho mínimo de solera de 5m y perfilado de la pendiente longitudinal a 0.0002 m/m, con adecuación y/o reemplazo de las alcantarillas de cruce del canal.
2. Construcción de una Obra de Control en el inicio (embocadura) del Canal de Descarga, con un vertedero de labio fijo de 3m de ancho a cota +46.75m IGM, disponible para tránsito vehicular.
3. Construcción de alcantarillas de cruce del camino costero que vinculen el canal perimetral con el cuerpo principal de la laguna. Las alcantarillas deberán ser de Ø1.00m de diámetro y colocadas cada 100m a lo largo del terraplén costero. La cota de fondo de las alcantarillas deberá ser de +46.50m IGN.
4. Construcción de cierres transversales en el canal perimetral (tapones) de tierra de 10m de ancho hasta la cota del camino costero.



- Obra destinada a la recuperación de la laguna como espacio recreativo: se entiende necesario la ejecución de una excavación del lecho de la laguna en el frente que abarca el parque Mulitas y el Club de Pesca, con las siguientes características:

- Excavación del lecho hasta alcanzar una profundidad media de 1.75m que resulte adecuada para las actividades recreativas, el crecimiento de vegetación en el lecho y mantenga las condiciones de oxigenación del cuerpo de agua.
- La extracción de suelos del lecho de la laguna permitirá disponer de material de relleno de las zonas bajas del entorno de la laguna mejorando las condiciones de seguridad ante desbordes de la laguna de los terrenos a urbanizar.
- Resultaría conveniente que de utilizarse este suelo para relleno de lotes donde pueden asentarse viviendas, se proceda a mezclarlo previamente con otro proveniente de canteras en relación 1 a 2 (1 de suelo de la laguna con 2 del otro) a fin de diluir las concentraciones.
- Se recomienda que la zona excavada no sea inferior a 10 hectáreas.
- Se recomienda la construcción de muelles de madera colocados sobre el sector costero excavado con una separación tal que permita el acceso seguro de los pescadores al cuerpo de agua.

Dentro de las medidas no estructurales, se propone además el desarrollo de estrategias de comunicación, divulgación, educación y sensibilización de la población en la protección, cuidado y uso ambientalmente sustentable de la laguna. La instrumentación de dichas medidas, deberá efectuarse a partir de la elaboración de programas específicos: A) Programa de Educación Ambiental; B) Programa de Uso Racional del Agua; C) Programa de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos; D) Programa de Monitoreo de la calidad del agua, los sedimentos y la biota del cuerpo; E) Programa de Manejo de las especies vegetales (macrófitas) del cuerpo superficial; F) Programa de Mantenimiento sistemático del sistema que contemple limpieza de taludes y fondo del canal de descarga y sus alcantarillas y puentes.

4.BIBLIOGRAFÍA

- Asociación Argentina de Médicos por el Medio Ambiente (AMMA). (2007) La problemática de los agroquímicos y sus envases, su incidencia en la salud de los trabajadores, la población expuesta por el ambiente. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable del Ministerio de Salud.
- Auge, M., Hernández, M. (1983). Características geohidrológicas del acuífero semiconfinado (puelche) en la llanura bonaerense. Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras (CNPHI). Actas 2
- Climatología e Hidrometeorología. Sitio web. Servicio Meteorológico Nacional. 2009
- Dangavs, N. (1976). Descripción sistemática de los parámetros morfométricos considerados en lagunas pampásicas. Limnobios 1: 25-39.
- Frenguelli, J. 1950. Rasgos generales de la morfología y de la geología de la provincia de Buenos Aires. M.O.P. (Bs.As.). Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica, Serie 2, 30, 72 p., La Plata
- Freyre, L.R. (1976) Normas para la inspección y determinación del estado actual de ambientes pesqueros pampásicos. Dir. Rec. Nat. Min. As. Agr. La Plata, 36p. (mimeog.)
- Grosman F.; González G.; Agüería D. y Sanzano P. (2000) Ictiologia del "Lago Municipal de Colón", Argentina, como un ejemplo de dinámica ambiental. Aquatic 10: 13p.
- Plan Maestro Integral Cuenca Rio Salado (PMI). 1999 y actualizaciones. Anexos Medio Ambiente y Evaluación de Impacto.
- Plan de Ordenamiento Territorial del Partido de Veinticinco de Mayo. Código de Ordenamiento Urbano Territorial. Instituto de Estudios del Hábitat. Fac Arquitectura y Urbanismo del UNLP. 2009
- Pace, M.; J.J. Cole; S.R. Carpentery y J.F. Kitchell (1999) Trophic cascades revealed in diverse ecosystems. Trend in Ecology and Evolution 14: 483-488.
- Paggi, J. de y Paggi, J. (1995) Determinación de la abundancia y biomasa zooplanctónica. 315-323p. En: Lopretto, E. y G. Tell (eds.) Ecosistemas de aguas continentales. Metodologías para su estudio. Ediciones Sur.
- Sala, J.M. (1975). Recursos hídricos (especial mención de las aguas subterráneas). En Angelelli, V. et al. (eds.), Geología de la provincia de Buenos Aires, 6º Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 169-194.
- Sala, J., González, N., Kruse, E. (1983). Generalización hidrológica de la Provincia de Buenos Aires. Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras (CNPHI). Actas
- Sistema de Información sobre Biodiversidad. Sitio web. Administración de Parques Nacionales.
- Solari, L; MC Claps & NA Gabellone. 2002. Riverbackwater pond interactions in the lower basin of the Salado River (Buenos Aires, Argentina). Arch. Hydrobiol. Suppl., 141(13):99-119.
- Toresani, N.I., López H.L. y Gómez, S.E. 1994. Lagunas de la Provincia de Buenos Aires. Ministerio de la Producción de la Provincia de Buenos Aires. 128 p
- Tricart, JFL. 1973. Geomorfología de la Pampa Deprimida. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina.
- Ven Te Chow. (1994). Hidráulica de canales abiertos.
- Ven Te Chow; Maindment, D.; Mays, L. (1994). Hidrología Aplicada
- Wetzel, RG. 2001a. Limnology: Lake and River Ecosystems. 3ra edn. Academic Press. New York.



Química

DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO INDUSTRIAL DE CONGELACIÓN DE CRUSTÁCEOS MARINOS MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA

Santos Maria V.[1, 3], Dima Jimena B.[2], Barón Pedro J.[2], Califano Alicia N.[1] y Zaritzky Noemí E.[1, 3]
[1]Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos-Facultad de Ciencias Exactas, UNLP, CONICET, 116 y 47, La Plata (CP 1900).
[2]Centro Nacional Patagónico (CONICET-CENPAT)-Blvd Brown 2825 Puerto Madryn-Chubut.
[3]PROAL Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, UNLP, 47 y 115. mvsantosd@gmail.com

Palabras claves: Congelación, Simulación Numérica, Cangrejos, Proceso industrial

INTRODUCCIÓN

Las especies de cangrejos *Ovalipes trimaculatus* y *Platyxanthus patagonicus* son reconocidas como recursos de valor pesquero, cuya comercialización puede generar productos de alto valor agregado. La industria procesadora de carnes proveniente de cangrejos constituye una actividad incipiente en nuestro país y por ende es de interés para el sector pesquero de la Provincia de Chubut, contar con información adecuada para el diseño y adquisición de los equipos de congelación necesarios para esta actividad. Una de las maneras en que pueden ser comercializados es como productos congelados con aplicación previa de un tratamiento térmico (Codex Alimentario 1983). Para estimar los requerimientos energéticos y diseñar adecuadamente los equipos de congelación es necesario predecir los tiempos de proceso de manera precisa. A través de trabajos conjuntos con el CENPAT (Centro Nacional Patagónico- Puerto Madryn) se estudió la congelación de sistemas complejos tales como pulpa de cangrejo cocida envasada en películas plásticas al vacío (pouches) y pinzas de cangrejo cocida que incluyen la lámina calcárea. La simulación numérica del proceso de transferencia de energía permite calcular las distribuciones tiempo-temperatura en todo el dominio del alimento variando distintos parámetros como son la temperatura del aire refrigerante y los coeficientes de transferencia de calor, entre otros. Simular numéricamente el proceso de transferencia de energía con cambio de fase, como es el caso de la congelación implica resolver un problema matemático fuertemente no lineal dado que las propiedades termofísicas del alimento intervinientes en la ecuación diferencial (conductividad térmica, calor específico y densidad) son función de la temperatura. La variación de estas propiedades termofísicas con la temperatura es muy abrupta debido a la conversión de agua a hielo en el alimento durante la congelación. El método de los elementos finitos es el más adecuado para resolver problemas en sistemas de geometrías irregulares como las presentadas por algunos de los productos a base de crustáceos marinos. Para solucionar los problemas numéricos que se presentan al utilizar el método de los elementos finitos con propiedades variables con la temperatura (problemas con cambio de fase) se puede usar una formulación entálpica y de Kirchhoff (Scheerlinck et al. 2001, Fikiin 1996) para simular la congelación de “pouches” (bolsas) de pulpa de cangrejo en túnel. Esta formulación ha sido utilizada con éxito para la simulación de procesos de congelación en productos alimenticios de geometrías irregulares tridimensionales (Santos et al, 2010, Santos y Lespinard, 2011). Sin embargo esta formulación presenta dificultades cuando existen dos o más materiales con distintos valores de entalpía en íntimo contacto. En este tipo de problemas, la energía se transfiere a través de resistencias en serie; específicamente para pinzas de cangrejo, el sistema está representado mediante dos dominios con distintas propiedades termofísicas: la carne de cangrejo en contacto con una lámina calcárea. En la condición de contorno correspondiente a la interfase entre ambos materiales no existe unicidad en los valores de entalpía y función de Kirchhoff, lo cual hace imposible su resolución mediante esta metodología (Pham 2008). Por lo tanto en el caso de materiales heterogéneos se puede utilizar un método propuesto por el software COMSOL Multiphysics para simular la transferencia de energía con cambio de fase cuando existen resistencias en serie. Los objetivos del presente trabajo son: a) utilizar un modelo numérico en términos de la formulación Entálpica y de Kirchhoff para

simular el proceso de congelación de "pouches" de carne de cangrejo; b) utilizar el simulador comercial COMSOL para predecir los tiempos de congelación en pinzas de cangrejo teniendo en cuenta dos aspectos relevantes, la estructura heterogénea del alimento (tejido cárneo y capa calcárea) y la geometría irregular del producto; c) validar los modelos numéricos mediante experimentos de congelación en la planta industrial.

SIMULACIÓN NUMERICA

Modelado de la congelación de carne de cangrejo en "pouches"

La ecuación de conducción de calor en términos de temperatura es:

$$\rho(T)\,Cp(T)\frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \bullet (k(T)\nabla T) \tag{1}$$

Realizando el siguiente cambio de variables: $H(T) = \int_{T^*}^{T} \rho(T)Cp(T)dT$; $E(T) = \int_{T^*}^{T} k(T)dT$ (2)

Donde H se define como la entalpía volumétrica que es la integral del Cp volumétrico, E es la función de Kirchhoff que representa la integral de la conductividad. T* es una temperatura de referencia que correspondiente al valor cero de entalpía y función de Kirchhoff. Las condiciones iniciales y de contorno son las siguientes:

$$T = T_0 \qquad t = 0 \qquad \text{en } \Omega \tag{3}$$

$$k\left(\frac{\partial T}{\partial x}n_x + \frac{\partial T}{\partial y}n_y + \frac{\partial T}{\partial z}n_z\right) = h'_{\text{placa-p}}\,(T - T_{ext}) \qquad t \geq 0 \text{ en } \delta\Omega_{\text{placa-p}} \tag{4}$$

$$k\left(\frac{\partial T}{\partial x}n_x + \frac{\partial T}{\partial y}n_y + \frac{\partial T}{\partial z}n_z\right) = h'_{\text{p-aire}}\,(T - T_{ext}) \qquad t \geq 0 \text{ en } \delta\Omega_{\text{p-a}} \tag{5}$$

donde los $h'_{placa\text{-}p}$ y $h'_{p\text{-}a}$ corresponden a los coeficientes de transferencia en la interfase placa-producto y producto-aire respectivamente e incluyen la resistencia al flujo calórico debido al material plástico, que contiene a la carne. Combinando Ecs. (1), (2), con las condiciones iniciales y de contorno representadas por las Ec. (3-5) se obtiene la siguiente formulación fuerte (Santos y col., 2010):

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \nabla^2 E \qquad \text{en}\,\Omega \quad t \geq 0 \tag{6}$$

$$(\nabla E).n = h'_{\text{placa p}}\,(T - T_{ext}) \qquad \text{en } \delta\Omega_{\text{placa-p}} \quad t \geq 0 \tag{7}$$

$$(\nabla E).n = h'_{\text{p a}}\,(T - T_{ext}) \qquad \text{en } \delta\Omega_{\text{p-a}} \quad t \geq 0 \tag{8}$$

$$H = H_0 \qquad t = 0 \tag{9}$$

Aplicando el método de residuos ponderados (Zienkiewicz y Taylor 1994), incorporando las condiciones de contorno (Ecuaciones 7 y 8) en la formulación variacional y reorganizando luego de aplicar el método de Galerkin: se obtiene:

$$CG\frac{dH}{dt} + FG.T(H) + KG.E(H) = m \tag{10}$$

donde: CG es la matriz global de capacitancia, KG es la matriz global de conductancia, FG es la matriz global convectiva y m es el vector térmico global. H, E, y T son los valores nodales de entalpía, de función Kirchhoff y Temperatura, respectivamente. Para la obtención de la solución numérica de la ec. 10 se desarrolló un código computacional propio que fue codificado en Matlab 6.4 y descripto en Santos y col. (2010). Dada las dimensiones de los pouches el sistema se podía asimilar a un proceso de transferencia de calor unidimensional, considerando sólo el espesor del dominio (Fig. 1a)

Modelado de la congelación de Pinzas de Cangrejo

En el caso de pinzas de cangrejo se tiene un sistema compuesto por dos dominios con propiedades termofísicas diferentes: carne de cangrejo y lámina calcárea. En el caso de la carne de cangrejo esta sufre un proceso de cambio de fase durante la congelación, en cambio la lámina calcárea presenta propiedades termofísicas constantes en todo el rango de estudio. Las ecuaciones que describen el sistema son las siguientes:

$$\rho_c(T)\,Cp_c(T)\frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \bullet \left(k_c(T)\nabla T\right) \qquad \text{en } \Omega_c \tag{11}$$

$$\rho_{LC}\,Cp_{LC}\frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \bullet \left(k_{LC}\nabla T\right) \qquad \text{en } \Omega_{LC} \tag{12}$$

donde el subíndice “c” y “LC” corresponde a la carne de cangrejo y lámina calcárea, respectivamente. Las condiciones iniciales y de contorno son las siguientes:

$$T = T_0 \qquad t = 0 \qquad \text{en } \Omega_c \text{ y } \Omega_{LC} \tag{13}$$

$$k_{LC}\left(\frac{\partial T}{\partial x}\,n_x + \frac{\partial T}{\partial y}\,n_y\right) = h_{placa\ p}\,(T - T_{ext}) \qquad t \geq 0 \qquad \text{en } \delta\Omega_{placa\text{-}p} \tag{14}$$

$$k_{LC}\left(\frac{\partial T}{\partial x}\,n_x + \frac{\partial T}{\partial y}\,n_y\right) = h_{p\ a}\,(T - T_{ext}) \qquad t \geq 0 \qquad \text{en } \delta\Omega_{p\text{-}a} \tag{15}$$

Se han utilizado coeficientes de transferencia individuales, teniendo que resolver simultáneamente las ecuaciones 11 y 12 de conducción de calor en los dominios del tejido muscular y la lamina calcárea. Asimismo se mantiene la diferencia en cuanto al tipo de interfase a la que está expuesta la superficie de la lámina calcárea de acuerdo a si está en contacto con la placa o con el aire refrigerante (Fig. 1b).

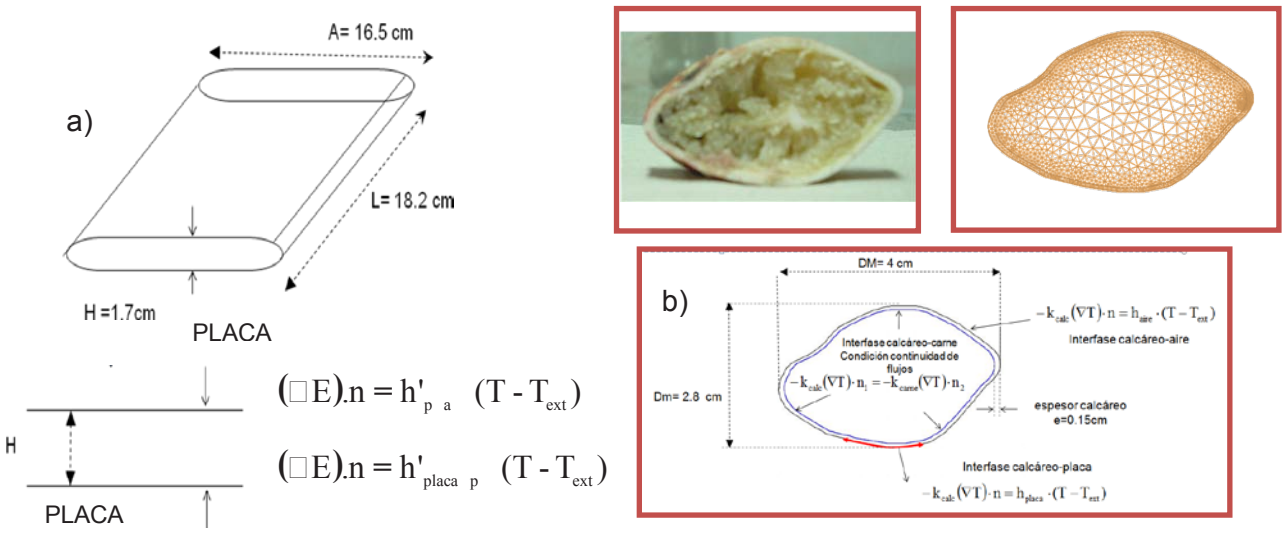


Figura 1: a) Dimensiones de los “pouches” con carne de cangrejo y esquema del sistema unidimensional modelado b) Imagen digital de la sección transversal de una pinza de cangrejo, dimensiones características y condiciones de contorno del modelo bidimensional utilizado. Contorno irregular discretizado en elementos triangulares. Sección transversal con visualización de ambos dominios (capa calcárea y tejido muscular).

El calor específico aparente (que incluye el cambio de fase) fue representado mediante la suma de las funciones Heaviside y Gaussiana, lo cual genera una función más suave en todo el rango de temperaturas especialmente en la zona de cambio de fase, evitando inestabilidades numéricas para la resolución por elementos finitos, según lo recomendado por el manual del COMSOL (COMSOL Multiphysics vs. 3.4 Manual).

$$Cp_c(T) = Cp_{cc} + \frac{\Delta H_m}{Ts}\,f(H_{ea}) + D\,\Delta H_m \tag{16}$$

donde el Cp_{cc} corresponde al valor de calor específico de carne de cangrejo congelada, Tm la temperatura del pico de congelación (equivalente a la media μ en la curva gaussiana), ΔH_m es el calor latente de fusión, y D es la función Gaussiana definida como :

$$D(T) = \frac{e^{\left(\frac{(T-T_m)^2}{dT^2}\right)}}{\sqrt{\pi dT^2}} \tag{17}$$

donde dT es la mitad del rango de transición, 2dT corresponde a la diferencia de temperatura donde ocurre la liberación del 84% del calor latente de fusión (Neeper 2000), $f(H_{ea})$ es una función escalón Heaviside, codificada en el entorno del programa COMSOL-Matlab y tiene la gran ventaja de tener derivadas segundas continuas, lo cual permite al software resolver el problema a pesar de la abrupta variación del calor específico aparente, respetando los parámetros físicos, como es el rango de cambio de fase, temperatura de congelación, calor latente de fusión, etc.

TRABAJO EXPERIMENTAL

Se analizó la composición proximal de la carne de cangrejo cocida, se determinó el contenido de humedad, proteína, lípidos, glucógeno y cenizas del músculo del cuerpo y las pinzas de ambas especies siguiendo la metodología descripta en Dima y col. (2012).

El calor específico de la carne de cangrejo Cp en estado congelado y sin congelar, la temperatura de congelación inicial, la cantidad de agua no congelada y el calor latente de congelación, se midieron utilizando calorimetría diferencial de barrido (DSC) en un Equipo TA modelo Q100 controlado por un módulo TA 5000 (TA Instruments, New Castle, Delaware, USA). La conductividad térmica, la densidad y el calor específico aparente de la carne en función de la temperatura se calcularon utilizando los modelos de Choi y Okos (1986) teniendo en cuenta la composición de la carne a base de cangrejo. La dependencia de la conductividad térmica y la densidad con la temperatura se estimó utilizando un modelo en paralelo (Choi y Okos 1986). El calor específico aparente de la carne de cangrejo se estimó usando la ecuación de Miles (1983). Para el caso de pouches de carne a base de cangrejo una vez obtenidas las propiedades térmicas, Cp, k, y ρ se procedió a integrarlas en función de la temperatura para obtener la función Entalpía vs. Temperatura y la función de Kirchhoff vs. Temperatura. En el caso de pinzas de cangrejo se utilizó el calor latente de fusión junto con el calor específico aparente de la carne de cangrejo en estado completamente congelado en las ecuaciones 16 y 17.

Validación experimental del modelo de congelación: Se realizaron mediciones de temperatura-tiempo durante la congelación a los efectos de validar experimentalmente el modelo numérico implementado en elementos finitos. Las muestras se congelaron en un equipo perteneciente a la empresa Refmar S.R.L, situado en la Planta “Madryn Mariscos”. El mismo es un túnel de congelación horizontal continuo de 6 metros de largo con un área transversal de 3.6 m^2. El equipo cuenta con seis ventiladores adaptados en la parte superior del túnel que trabajan a una frecuencia máxima de 50Hz y puede alcanzar una temperatura de -40 ºC. El tiempo máximo de residencia de los productos dentro del túnel es de 40 minutos, pudiéndose regular dicha velocidad para producir menores tiempos de residencia para la congelación. Otra característica del equipo es que el producto a congelar se coloca sobre una cinta metálica móvil, la cual se encuentra a la temperatura del equipo, por lo tanto la transferencia de energía durante la congelación se producía tanto por convección (aire) como por conducción en la parte inferior (placa metálica de apoyo). La velocidad del aire a lo largo del equipo se registró por medio de un anemómetro STANDARD (Modelo ST82) digital portátil, siendo en promedio de 4.16 m/s para una frecuencia de trabajo de 40 Hz y 1.56 m/s. para una frecuencia de 30 Hz. Se registraron experimentalmente las historias térmicas en el túnel de congelación de los productos pinzas de cangrejo cocidas y pouches de carne de cangrejo envasada al vacío. Las curvas se registraron a 4.16m/s y 1.56 m/s de velocidad del aire, durante 35 min. y a una temperatura externa de -40ºC. El registro de las historias térmicas tiempo -temperatura se realizó para pinzas de cangrejo cocidas mediante termocuplas calibradas tipo K, y adquisidor de datos (Omega, USA). Para la carne de cangrejo envasada al vacío, debido a que la inserción de una termocupla producía pérdida de vacío, se utilizó un data logger muy pequeño de temperatura, digital (iButton® Sensors, Maxim products USA) de rango de trabajo -55ºC a 100ºC, con mediciones cada 1 minuto que se colocó dentro del producto empaquetado en el centro geométrico del envase.

Los coeficientes de transferencia calórica en interfase se determinaron experimentalmente utilizando piezas regulares (esfera y prisma) construidas en aluminio a las cuales se les insertaron termocuplas tipo K en el centro geométrico para registrar la temperatura en

función del tiempo al ser introducidas en el equipo de congelación en túnel. Se realizaron experimentos numéricos variando el valor de h con el fin de encontrar el valor de h que minimizaba las diferencias entre las corridas experimentales y numéricas. En el caso de pouches los coeficientes de transferencia calórica que mejor ajustaron con el modelo fueron h'_{p-a}(producto-aire)= 10W/m^{2}K, y $h'_{placa-p}$(placa-producto) = 80 W/m^{2}K. En el caso de las pinzas fueron h_{p-aire}=20 W/m^{2}K y $h_{placa-p}$ =500 W/m^{2}K.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el caso de congelación de pouches se muestra en la Fig. 2 a) la comparación del modelo numérico desarrollado en Matlab con una de las experiencias donde las condiciones fueron Temperatura inicial Ti=7 ºC, Temperatura del aire T_{ext}=-40 ºC, coeficientes de transferencia h'_{p-a} (producto-aire)=10W/m^{2}K y $h'_{placa-p}$(placa-producto)=80W/m^{2}K. La posición de la termocupla era 0.85x10^{-2}m (centro del pouch). En el caso de congelación de pinzas las condiciones fueron las siguientes, Ti=8.8 ºC, T_{ext}= -40 ºC, h_{p-aire}=20 W/m^{2}K, $h_{placa-p}$ =500 W/m^{2}K y posición de la termocupla x=0.015m, y=0.01m (Fig. 2 b).

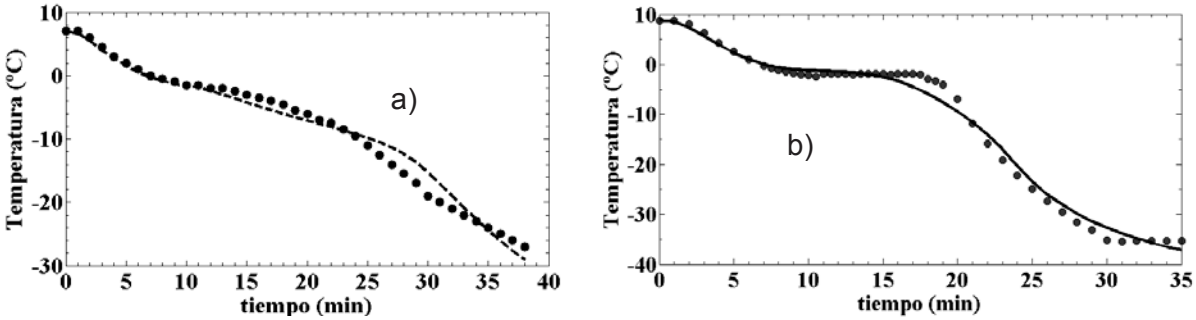


Figura 2: ● Temperatura experimental, ▬ Temperatura predicha por el modelo a) utilizando formulación Entlálpica y de Kirchhoff para congelación de pouches, b) utilizando el simulador COMSOL para congelación de pinzas.

Como puede observarse existe una buena concordancia entre los valores experimentales y los predichos por el modelo, tanto para pouches como para pinzas de cangrejos. El desvío estándar promedio $RMSE = \sqrt{\frac{\sum (T_{exp} - T_{pred})^2}{N}}$, fue de 1.5ºC tanto para pouches como para pinzas, siendo N = número de datos. Una vez validados ambos modelos numéricos se procedió a su utilización para simular condiciones operativas diferentes variando temperaturas externas de aire y el coeficiente de transferencia de calor entre el producto y el aire, simulando las distintas velocidades del fluido refrigerante.

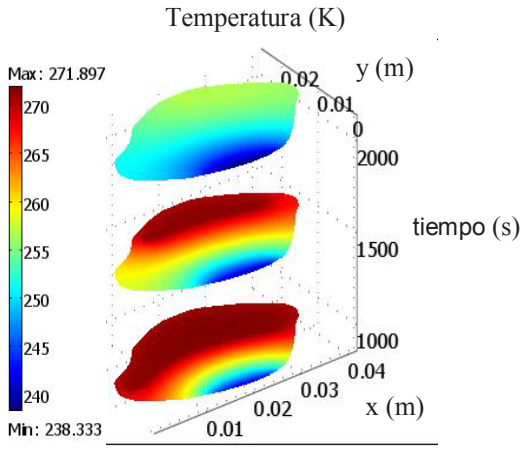


Figura 3: Distribución de temperaturas dentro de la pinza a los 15, 25, y 30 minutos luego de haber ingresado al congelador. Ti=8.8 ºC, T_{ext}= -40 ºC, h_{p-aire}=20 W/m^{2}K, $h_{placa-p}$ =500 W/m^{2}K

En la Fig. 3 se observan las distribuciones de temperaturas en la pinza de cangrejo a distintos tiempos luego de haber sido introducida en el túnel de congelación. En el caso de pouches se calcularon los tiempos para que el punto x=0.85cm (Fig. 1) alcance una temperatura final de -15 °C, siendo la Temp inicial del producto de 7°C y considerando distintos valores de Temp. externa del aire refrigerante (-20, -30 y -40°C) y coeficientes globales de transferencia correspondientes a la superficie producto–aire (h_{p-aire}= 5, 10, 15 W/m^{2}K). A partir de los datos numéricos obtenidos (tiempos de congelación) se procedió a realizar una regresión polinomial mediante el método “step-wise foward” utilizando SYSTAT 12.0 con el objeto de obtener una ecuación algebraica que permita determinar los tiempos de congelación (tc) en pouches, válida en los siguientes rangos

operativos, -40ºC≤ T_{ext}≤.-20ºC, y 5≤ $h_{p\text{-}aire}$≤ 15W/m^2K (R^2= 0.99982):

$$\mathbf{tc(min) = 202.6 + 7.715\,(T_{ext}) - 1.89333(h'_{p\text{-}aire}) + 0.08783\,(T_{ext})^2(h'_{p\text{-}aire}) - 0.036(h'_{p\text{-}aire})(T_{ext})} \quad (18)$$

Del mismo modo se estimó en el caso de pinzas los tiempos para que el punto x=0.022m y=0.017m (Fig. 3) alcance una temperatura final de -15 °C, siendo la Temperatura inicial del alimento de 8.8°C. La regresión polinomial obtenida para los siguientes rangos operativos; -40ºC≤ Text≤.-20ºC, and 5≤ $h_{p\text{-}a}$≤ 20W/m^2K fue (R^2= 0.99925) :

$$\mathbf{tc(min) = 46.34690 + 0.04783(T_{ext}) - 0.01385(h_{p\text{-}aire})^2 + 0.03541(T_{ext})(h_{p\text{-}aire}) - 0.00102(h_{p\text{-}aire})^2(T_{ext})} \quad (19)$$

Estas ecuaciones algebraicas permiten calcular tiempos de congelación variando la temperatura del aire refrigerante y los coeficientes de transferencia calórica, constituyendo herramientas útiles para su aplicación industrial

CONCLUSIONES

Se desarrolló un programa en elementos finitos utilizando el lenguaje Matlab, que permitió conocer la temperatura en función del tiempo para la congelación de pouches conteniendo carne de cangrejo. Se modeló numéricamente el proceso de congelación de pinzas de cangrejo considerando las distintas propiedades termofísicas de los componentes del alimento: capa de calcáreo y carne. Se consideró el proceso de transferencia de energía conductivo, placa-producto, y el proceso convectivo, producto-aire, utilizando coeficientes de transferencia de calor adecuados. Se incorporaron a cada modelo de simulación las propiedades termofísicas de los productos utilizando datos experimentales y ecuaciones predictivas teniendo en cuenta la fracción de hielo con la temperatura. Se analizó el efecto de la velocidad del aire en el túnel y temperatura externa refrigerante en los tiempos de proceso. Las predicciones numéricas concordaron satisfactoriamente con los resultados experimentales permitiendo determinar de manera rápida y precisa los tiempos de congelación de estos productos lo cual permite la optimización del proceso.

BIBLIOGRAFÍA

Dima J.B, Santos M.V., Barón P., Califano A., Zaritzky N. 2012. Modelado matemático del proceso industrial de congelación de crustáceos marinos IV Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Córdoba, Argentina, 14 a 16 de Noviembre.

Choi Y, Okos MR. 1986. Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods. En Le Maguer M, Jelen P., editores. Food engineering and process applications, volume 1. Elsevier Applied Science: New York.

Codex.1983.Código internacional recomendado para cangrejos (Codex:CAC/RCP 28).

COMSOL Multiphysics™ documentation, www.comsol.com.

Fikiin KA. 1996. Generalized numerical modeling of unsteady heat transfer during cooling and freezing using an improved enthalpy method and quasi–one–dimensional formulation. International Journal of Refrigeration, 19 (2): 132 -140.

Miles CA, van Beek G, Veerkamp CH. 1983. Calculation of the Thermophysical Properties of Foods. En Jowitt R et al., editores. Physical Properties of Foods. London: Appl. Sci. Publ. pag 269-312.

Neeper, DA. 2000. Thermal dynamics of wallboard with latent heat storage. Solar Energy, 68 (5): 393–403.

Pham QT. 2008. Modelling of freezing processes. En Evans J, editor. Frozen Food Science and Technology. Blackwell Publishing: Oxford.

Santos MV, Lespinard A. 2011. Numerical simulation of mushrooms during freezing using the FEM and an enthalpy: Kirchhoff formulation. Heat and Mass Transfer, 47:1671–1683.

Santos MV, Vampa V, Califano A, Zaritzky N. 2010. Numerical simulations of chilling and freezing processes applied to bakery products in irregularly 3D geometries. Journal of Food Engineering, 100: 32-42.

Scheerlinck N, Verboven P, Fikiin KA, De Baerdemaeker J, Nicolaï BM. 2001. Finite element computation of unsteady phase change heat transfer during freezing or thawing of food using a combined enthalpy and Kirchhoff transform method. Transactions of the ASAE, 44 (2): 429 – 438.

Zienkiewicz OC, Taylor RL. 1994. El método de los elementos finitos, volumen I. McGraw-Hill, Barcelona.

AGRADECIMIENTOS: Los autores agradecen la contribución a este trabajo de las siguientes Instituciones: Universidad Nacional de La Plata, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET), Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCYT), y CENPAT (Centro Nacional Patagónico- CONICET) y al Ing. Miguel Galarza, responsable de la empresa REFMAR S.R.L. en Puerto Madryn.

CAMBIOS EN LAS CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES Y REOLÓGICAS DE PASTAS LIBRES DE GLUTEN DURANTE EL PROCESO DE COCCIÓN

Larrosa, Virginia J.[1,2]; Lorenzo, Gabriel[1,3]; Zaritzky, Noemí E.[1,3]; Califano, Alicia N.[1]

[1]CIDCA, CONICET, Fac. Cs. Exactas, UNLP, 47 y 116, La Plata (1900), Argentina.
[2] Fac. de Bromatología UNER. [3] PROAL Dep. Ing. Química, Fac. Ingeniería, UNLP
e-mail: zaritzky@ing.unlp.edu.ar

Palabras Claves: pastas, reología, libres de gluten, cocción, microestructura

Introducción

La enfermedad celíaca consiste en una intolerancia irreversible a la fracción gliadina de las proteínas de trigo, y a las prolaminas de centeno, cebada y avena (Hall y col., 2009). En Argentina se estima que uno de cada 100 individuos padece de celiaquía. Esta situación condiciona, en pacientes, a desarrollar lesiones severas de la mucosa del intestino delgado. El único tratamiento efectivo que tienen los pacientes es ajustarse a una dieta libre de gluten durante toda su vida. En los últimos años ha aumentado significativamente la investigación relacionada a la obtención de productos de panadería libres de gluten (Lazaridou y col., 2007; Lorenzo y col., 2009).

El gluten desde el punto de vista microestructural es el principal responsable en la formación de la red proteica y es el que otorga las características de elasticidad y masticabilidad de un alimento como la pastas. La pasta es un producto alimenticio estable, principalmente elaborado con mezclas de trigo *durum*, semolina y agua. Puede ser consumido luego de la cocción del producto fresco o secado para futuros usos. Las pastas son uno de los productos farináceos típicamente consumidos alrededor del mundo y juegan un importante rol nutricional.

En el desarrollo de alimentos libres de gluten el mayor desafío tecnológico en el área de Ingeniería de Alimentos es encontrar componentes biopoliméricos (proteínas e hidrocoloides) que puedan conferirle a las masas las características reológicas deseadas tanto en la etapa de laminación como en el producto final. Dentro del proceso tecnológico de producción de pastas para celíacos, la definición de la etapa de cocción es muy importante debido a que estos productos carecen del retículo proteico que forma el gluten en las pastas tradicionales y contiene a los gránulos de almidón dentro de la matriz (Mariotti y col., 2011).

La reología es una ciencia de gran importancia en la elaboración de diversos alimentos que permite determinar las condiciones de procesamiento y calidad del producto final. En particular, este trabajo tiene como objetivo el estudio de las características reológicas y texturales de pastas libres de gluten, analizando la influencia de la composición y el tiempo de cocción sobre las mismas.

Parte Experimental

Las pastas fueron preparadas empleando mezclas de almidón y harina de maíz, NaCl, mezcla de gomas xántica y garrofín, huevo en polvo, ovoalbúmina y agua. Se empleó un diseño bifactorial con punto central para analizar el efecto del contenido de proteínas (entre 1.1 y 6.6%) y agua (34.8 y 37.4%) en las propiedades reológicas de las pastas cocidas. Se analizó también el efecto del tiempo de cocción en agua a ebullición (100ºC) durante períodos entre 0 y 15 min.

Tiempo óptimo de cocción: fue determinado de acuerdo a la AACC método 66-50 (AACC 2000), que corresponde a la desaparición del núcleo opaco de la pasta cuando se comprime entre dos placas de vidrio.

Pérdidas por cocción: se define como la cantidad de sólidos perdidos en el agua de cocción y se la determinó según el método 66-50 (AACC, 2000).

A partir de un análisis de textura con un texturómetro TA-XT2i (Stable Micro System, UK), usando una sonda de compresión de 2.5 cm de diámetro, se determinaron los valores de adhesividad de las pastas en su tiempo óptimo de cocción sobre muestras de masa cuadradas (80x80x2 mm). La adhesividad es la fuerza (negativa) necesaria para despegar la sonda de la muestra durante la descompresión de la misma. Esta fuerza está relacionada con la cantidad de almidón y la gelatinización del mismo (Sozer y col., 2007)

Complementariamente, para caracterizar el comportamiento viscoelástico de las masas, se realizaron ensayos oscilatorios en un reómetro de esfuerzo controlado (RS600, Thermo Scientific, Alemania), determinando la dependencia de los módulos elástico (G') y viscoso (G'') con la frecuencia de oscilación. Previamente, para determinar el rango viscoelástico lineal se realizaron pruebas a una frecuencia fija (6.28 rad /s), barriendo la amplitud del esfuerzo de corte entre 0 a 100 Pa. Para el estudio de los espectros mecánicos se calculó el módulo "plateau" G_N^0, que corresponde al valor que toma G' a la frecuencia en que se encuentra un mínimo en la evolución de la tangente de pérdida (tan δ = G''/G'). El análisis se realizó con las masas cocidas entre 0 y 15 minutos.

Se estudiaron los cambios en la microestructura del producto durante la cocción empleando un microscopio electrónico de barrido ambiental, ESEM (FEI- QUANTA 200, Oregon, USA).

Resultados y Discusión

Todas las muestras analizadas mostraron un comportamiento tipo gel con un módulo de almacenamiento (G') siempre por encima del módulo de pérdida (G'') y una baja dependencia con la frecuencia de oscilación (Figura 1a). Se obtuvieron las curvas maestras para cada formulación utilizando el módulo *plateau* (G_N^0) para cada tiempo de cocción como factor de normalización. El espectro de las muestras que fueron sometidas a distintos tiempos de cocción fueron satisfactoriamente superpuestos; las muestras no cocidas mostraron un comportamiento marcadamente diferente con una mayor dependencia con la frecuencia de oscilación, asociada a masas más fácilmente deformables (Figura 1b). Los primeros 5 minutos de cocción fueron suficientes para lograr una marcada transformación en la estructura de la matriz cruda, debido a la gelificación de las proteínas de huevo, el hinchamiento de los gránulos de almidón y la parcial gelatinización de los mismos, que formaron una fase continua de amilosa solubilizada y una contribución parcial de la amilopectina. A mayores tiempos de cocción, el ingreso de agua produjo una disminución de los módulos G' y G'' pero no se observaron cambios cualitativos en la forma de los espectros.

Esto se vio ratificado mediante la observación microscópica del producto cocido a distintos tiempos de inmersión (Figura 2). Inicialmente, la estructura general de las masas se vio contenida por una red continua formada por los hidrocoloides y proteínas donde los gránulos de almidón de maíz se ordenaron de manera aleatoria, lo que muestra la homogeneidad de la matriz observada (Figura 2a). A medida que aumentó el tiempo de cocción la estructura interna de la pasta presentó tanto gránulos gelatinizados como no gelatinizados, disminuyendo la cantidad de gránulos intactos. En la Figura 2b aun es posible identificar algunos gránulos de almidón que mantienen su conformación, mientras que en la Figura 2d, la gelatinización es casi completa y resulta imposible distinguir entre la matriz generada por los hidrocoloides y el almidón.

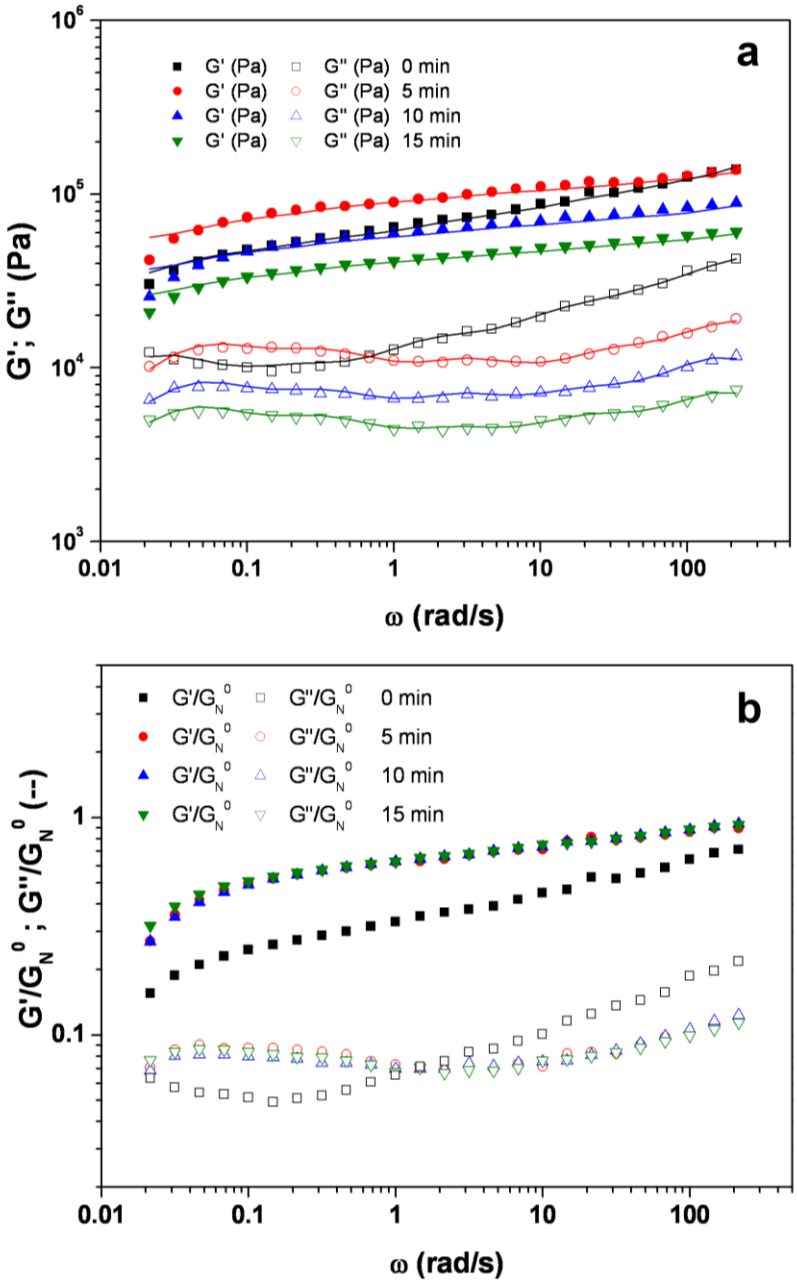


Figura 1. Barridos de frecuencias para pastas libres de gluten con 36.1% agua y 6.4% proteínas. (a) datos originales a distintos tiempos de cocción (b) curvas maestras normalizadas para los módulos elástico (G'/ G_N^0) y viscoso (G''/ G_N^0).

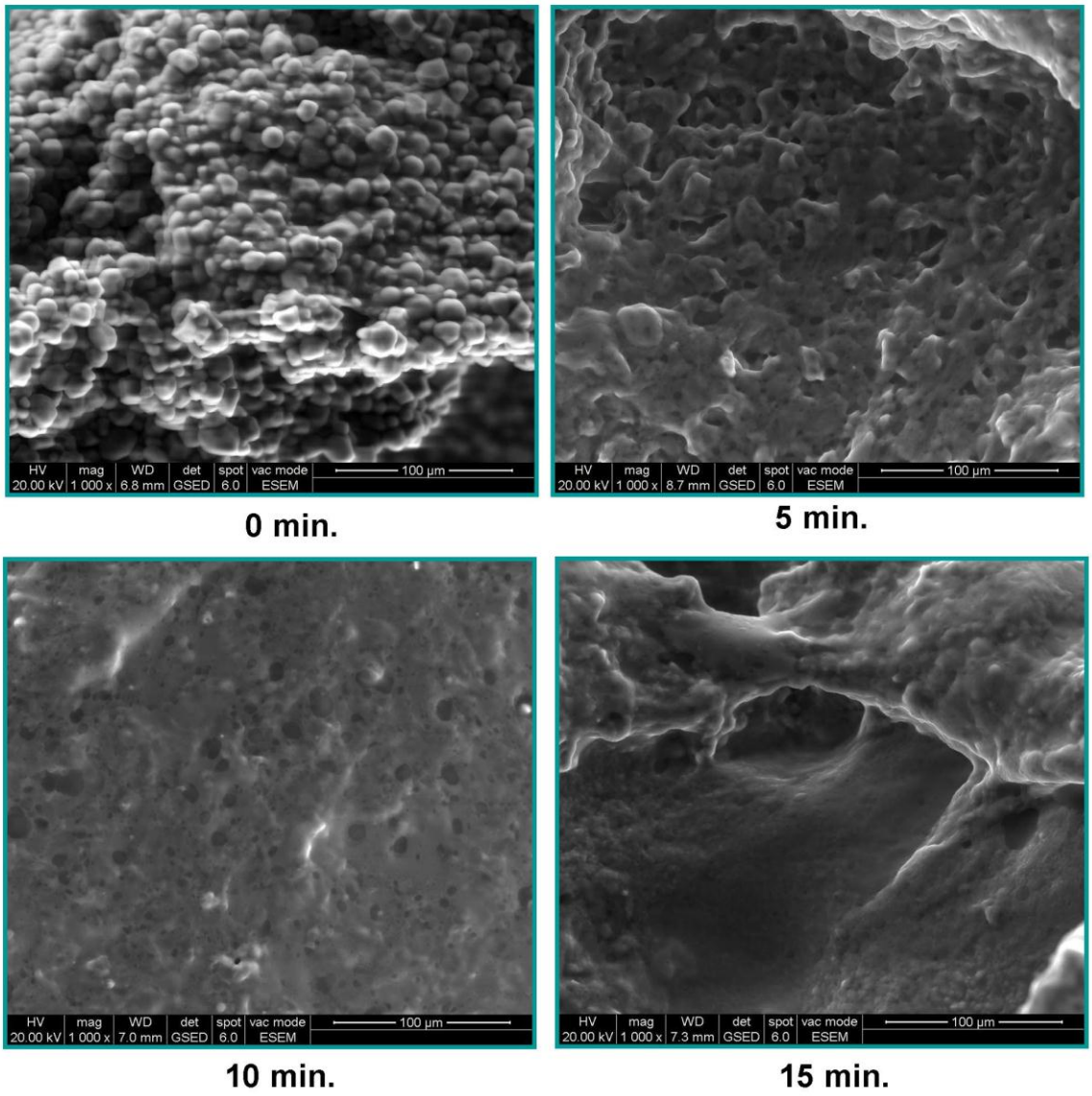


Figura 2. Imagen obtenida mediante microscopía electrónica de barrido ambiental de una masa formulada con 36.1% de agua y 4.6% de proteínas a distintos tiempos de cocción (a) 0 min, (b) 5 min, (c) 10 min, (d) 15 min.

La composición de las pastas libres de gluten afectó de manera diferente a las muestras crudas y cocidas. Para el primer caso se observó que el incremento en el contenido de proteínas, manteniendo el porcentaje de agua constante, produjo una disminución ($P<0.05$) del módulo *plateau* (G_N^0), lo que condujo a masas menos elásticas. Análogamente, el aumento en el contenido de humedad de las masas generó un debilitamiento de la red que se tradujo en menores valores de G_N^0.

Para las muestras cocidas el efecto del cambio en el contenido de proteínas fue el opuesto. Se observó un fortalecimiento de la matriz al incrementarse el contenido de proteínas de huevo debido a la desnaturalización y gelificación de las mismas (Figura 3). Por otro lado, el incremento en el contenido de agua mostró la misma tendencia que en las masas crudas.

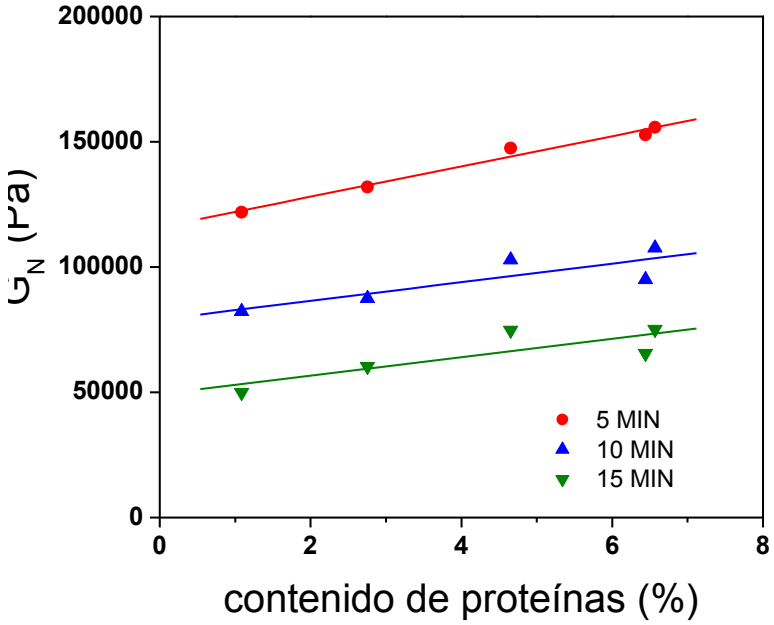


Figura 3. Dependencia del módulo plateau (G_N^0) con el contenido de proteínas de pastas cocidas a distintos tiempos de cocción.

Se determinó que el tiempo óptimo de cocción fue de 10 minutos para todas las formulaciones estudiadas. Los valores obtenidos se encuentran comprendidos en el rango de valores reportados para pasta a base de semolina (Malcomson y Matsuo, 1993).

Se ha demostrado que durante la cocción de pasta en agua, algunos componentes solubles como la amilosa, polisacáridos y proteínas pueden salir de la pasta e ingresar en el agua de cocción. Malcomson y Matsuo (1993) encontraron que el componente principal en el agua de cocción es la amilosa y utilizaron su cuantificación como un indicador de la calidad de pastas cocidas. El contenido de amilosa en el agua puede entenderse como un índice de la resistencia a la desintegración durante la cocción de la pasta (Malcomson y Matsuo, 1993); bajas cantidades de residuos indican una alta calidad de la pasta cocida (Del Nobile y col., 2005). Los resultados mostraron que a menor contenido de proteínas se incrementaron significativamente ($P<0.05$) las pérdidas por cocción desde 9% hasta 11.5%.

La adhesividad mostró una tendencia a aumentar al incrementarse el porcentaje de agua y disminuir el contenido proteico. A partir de los datos de textura y del comportamiento viscoelástico a pequeñas deformaciones se obtuvo una correlación entre la adhesividad determinada en el tiempo óptimo de cocción (10 min) y los módulos de almacenamiento y de pérdida correspondiente a 1 Hz (6.28 rad/s) para todas las formulaciones. La Figura 4 muestra que existe una correlación negativa entre los datos, es decir que, cuando mayor es la adhesividad las masas se volvieron menos elásticas. Durante el proceso de cocción de las pastas los gránulos de almidón presentes comienzan a absorber agua, se hinchan y gelatinizan. Esta penetración de agua y la gelatinización del almidón dependen de la calidad de la red biopolimérica del sistema (Grzybowski & Donnelly, 1979). La migración de agua durante la cocción se inicia desde el exterior hacia las partes internas de fibras de pasta; de tal modo, el almidón de la superficie se desprende y como consecuencia aumenta la adhesividad. De esta manera, se espera que al debilitarse la red polimérica, aumente la cantidad de almidón lixiviado y por lo tanto se incremente la adhesividad (Figura 4).

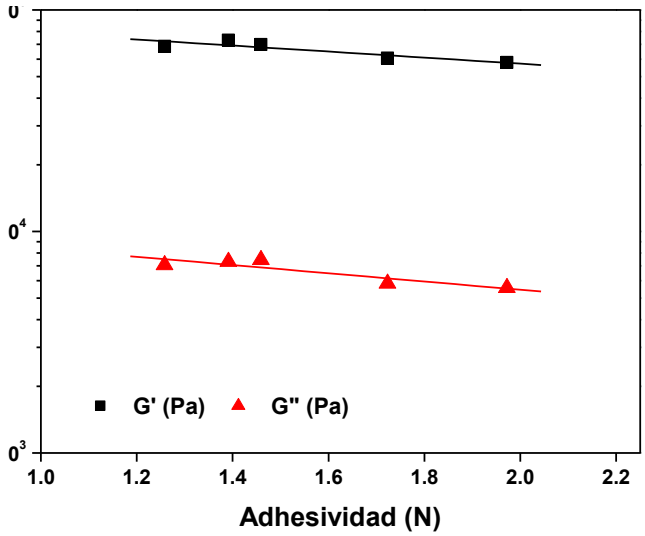


Figura 4. Correlación entre la adhesividad de las pastas y los módulos elástico y viscoso a 10 min. de cocción.

Conclusiones

Los espectros mecánicos de todas las formulaciones mostraron cualitativamente el mismo comportamiento donde G' fue siempre mayor que G'' y con una baja dependencia con la frecuencia. El principal efecto observado fue el del tiempo de cocción mientras que los cambios en el contenido de agua y proteínas fueron menos significativos. Los estudios reológicos fueron complementados con ensayos a grandes deformaciones como análisis de perfil de textura (TPA). Los resultados observados correlacionaron de manera satisfactoria con los correspondientes a pequeñas deformaciones en los ensayos oscilatorios. Las pastas libres de gluten desarrolladas mostraron un satisfactorio rendimiento en la cocción con bajas pérdidas de amilosa y baja adhesividad.

Referencias

AACC (American Association of Cereal Chemists) (2000) Approved Methods of the AACC, 10ed. St Paul, MN, USA.

Del Nobile, M.A., Baiano, A., Conte, A., Mocci. G., 2005. Influence of protein content on spaghetti cooking quality. Journal of Cereal Science 41 347–356.

Grzybowski, R.A., Donnelly, B.J., 1979. Cooking properties of spaghetti and factors affecting cooking quality. Journal of Agricultural Food Chemistry, 27, 380-384.

Hall, N.J., Rubin, G., Charnock, A., 2009. Systematic review: adherence to a gluten-free diet in adult patients with celiac disease. Alimentary Pharmacology & Therapeutics 30, 315–330.

Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., Biliaderis, C., 2007. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. Journal of Food Engineering 79, 1033-1047.

Lorenzo, G., Zaritzky, N.E., Califano, A.N., 2009. Rheological characterization of refrigerated and frozen non-fermented gluten-free dough: Effect of hydrocolloids and lipid phase, Journal of Cereal Science 50, 255–261.

Malcolmson, L.J., Matsuo, R.R., 1993. Effects of cooking water composition on stickiness and cooking loss of spaghetti. Cereal chemistry, 70, 272-275.

Mariotti, M., Lametti, S., Cappa, C., Rasmussen, P., Lucisano, M., 2011. Characterisation of gluten-free pasta through conventional and innovative methods: Evaluation of the uncooked products. Journal of Cereal Science 53, (3), 319-327.

Sozer, N., 2009. Rheological properties of rice pasta dough supplemented with proteins and gums. Food Hydrocolloids 23(3), 849-855.

ANALISIS TÉRMICO Y FLUIDODINÁMICO DE UN CALEFACTOR A GAS DE TIRO BALANCEADO

Néstor J. Mariani*, Roberto Pereiras*, Sergio D. Keegan*, Guillermo F. Barreto*

*PROIRQ, Depto. de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de La Plata – CONICET - La Plata, ARGENTINA
nmariani@quimica.unlp.edu.ar

1. Introducción

Una parte significativa de los requerimientos energéticos de los países (60–70%) puede asignarse al consumo doméstico [1]. El costo de la energía resulta un componente de importancia en la economía de las familias, variando su impacto de acuerdo al área geográfica, precios de los combustibles, características del grupo poblacional (ingreso familiar, nivel de educación, etc.) y características de la vivienda (tipo, antigüedad, etc.) [2]. Por ejemplo, de acuerdo a un estudio relativamente reciente [3] realizado en la ciudad de Bariloche (Argentina) el consumo anual promedio de gas fue 169 GJ por vivienda por año, mientras que el de electricidad resultó 8 GJ. Paralelamente, este consumo de gas reportado resulta el doble del valor para Estocolmo (Suecia), una ciudad cuyas condiciones climáticas pueden considerarse similares.

La energía total consumida puede emplearse en forma directa o indirecta. En general, una parte considerable de la energía de uso directo corresponde al rubro calefacción. En Argentina el sistema de calefacción domiciliaria mayoritariamente utilizado son los calefactores de tiro balanceado, representando aproximadamente un 80% del mercado. De acuerdo a la información consignada en las estadísticas de productos industriales elaborada mensualmente por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [4] el promedio anual de calefactores a gas producidas en la Argentina entre los años 2000 y 2010 (excluyendo el año 2002) resulta de 325,000 unidades. Si se tiene en cuenta que alrededor del 60% de las mismas son de tiro balanceado resultan aproximadamente 195,000 unidades anuales [5].

Los calefactores de tiro balanceado son elegidos fundamentalmente por razones de confort y seguridad, ya que no consumen aire del ambiente ni descargan los gases de combustión en el mismo. Su principio de funcionamiento se basa en la circulación natural de los fluidos por diferencia de densidades: los gases de combustión calientes abandonan el calefcator mientras que aire del exterior frío (más denso) ingresa al mismo. Sin embargo, la eficiencia térmica (definida como energía entregada al ambiente a calefaccionar frente a la energía consumida) de las unidades comercializadas en la actualidad dista considerablemente de ser óptima. Si bien los fabricantes, en general, no informan valores de eficiencia, cabe aclarar que la norma vigente en la Argentina [6] prevé una eficiencia no inferior a 65% (calentadores cuya potencia sea inferior a 5000 cal h^{-1}) ó 70% (calentadores cuya potencia sea superior a 5000 cal h^{-1}) para operación a caudal térmico nominal (*i.e.*, llama o potencia máxima), presión normal de ensayo y conductos de entrada de aire y salida de gases de combustión en un ambiente calmo, mientras que para operación a llama mínima, el valor no debe ser inferior a 50%.

A pesar de su uso extendido y su madurez como producto en el mercado (se comercializan en la Argentina hace más de 50 años), la información disponible en la literatura abierta referida a la evaluación del funcionamiento térmico y fluidodinámico de estas unidades resulta llamativamente escasa; sólo pueden contabilizarse una serie de trabajos relativamente recientes del mismo grupo de investigadores argentinos [7, 8]. En los mencionados trabajos (*e.g.*, [7]) se reportan medidas de eficiencia térmica realizadas para una marca de calefactor en particular que, dependiendo del sistema de evacuación de los gases empleado, no superan el 60% a llama máxima. Estos valores, ya sean los establecidos por la norma o los medidos, resultan particularmente bajos si se lo compara con otros sistemas de calefacción domiciliarios que utilizan gas como combustible, como las calderas de agua caliente que pueden alcanzar rendimientos de hasta 90% [9]; sin embargo y como contrapartida, los costos asociados a la adquisición de estos últimos resultan varias

veces superiores para calefaccionar una habitación del mismo volumen. Otro aspecto que resulta importante mencionar a cerca de los calefactores de tiro balanceado es que para operación a potencia máxima, la temperatura de salida de los gases de combustión puede resultar considerablemente elevada (cercana a los 500ºC según se consigna en [7]).

Se evidencia entonces el impacto negativo que presenta el empleo de los calefactores de tiro balanceado comercializados en la actualidad desde dos puntos de vista. Uno de ellos está referido a la utilización racional de los recursos naturales - a tal fin resulta útil recordar que las reservas probadas de gas natural en Argentina se encuentran en franca disminución, según información la Secretaria de Energía de la Nación en la última década (2002-2011) las mismas ha disminuido sostenidamente registrándose un descenso del 50%, en particular entre los años 2010 y 2011 la diferencia, siempre en menos, resultó de un 7% [10]. En este contexto, resulta significativo mencionar que la matriz energética primaria de la Argentina se presenta como fuertemente dependiente del gas natural superando su participación el 50% [11], circunstancia que ha ocasionado que desde el año 2009 el país deba importar gas natural, fundamentalmente desde Bolivia. Otro de los aspectos que resulta resentido es el de naturaleza medio-ambiental. Por una parte, la utilización de dispositivos de calefacción ineficientes, aún suponiendo una combustión completa y perfecta (higiénica), implica una generación “extra” de CO_2 (unos de los principales contribuyentes al efecto invernadero) para obtener la misma tasa volumétrica de calefacción (kW m^{-3}). Por otra parte, las altas temperaturas de descarga mencionadas anteriormente constituyen ciertamente una fuente de contaminación de tipo térmica.

En artículo reciente Lutz y col. [12] estudiaron el impacto positivo global generado a través de la mejora en la eficiencia de los dispositivos de calefacción a gas. Belosevic y col. [13] analizan el empleo de un dispositivo de intercambio térmico instalado en el interior de una estufa que quema combustibles sólidos para calentar agua y utilizarla como agente calefactor en un radiador ubicado en otro ambiente.

Lo expuesto antes permite afirmar que resulta de sumo interés el análisis de alternativas que mejoren la eficiencia de los calefactores a gas de tiro balanceado comercializados en la actualidad en la Argentina.

En este trabajo se presentan resultados de la caracterización, a través de ensayos experimentales, del comportamiento térmico y fluidodinámico de un calefactor a gas de tiro balanceado. En adicción, se reportan resultados preliminares obtenidos a partir de la implementación de un dispositivo recuperador de calor, compatible con el tamaño del calefactor, que permite aprovechar la entalpía de los gases producto de la combustión para precalentar el aire de ingreso al mismo.

2. Equipamiento experimental y medidas

Con el objetivo de desarrollar un plan de experiencias que permita evaluar el funcionamiento de los calefactores a gas de tiro balanceado y de los calefactores incorporándoles un recuperador de calor se instaló un banco de ensayos adecuadamente instrumentado. En una primera etapa se empleó un calefactor a gas natural de tiro balanceado marca Emegé 9030 GN línea Patagonia con una potencia de 3000 Kcal h^{-1}.

Los ensayos experimentales fueron realizados en condición de llama piloto y a potencias mínima y máxima, con (al menos) 5 repeticiones en cada caso. Para cada ensayo se siguió un protocolo experimental permitiendo primeramente que el sistema alcance el estado estacionario para luego realizar las medidas, las cuales fueron repetidas durante el transcurso del mismo. Las variables medidas fueron: temperatura y humedad del aire ambiente, presión y caudal del gas natural, temperatura y composición de los gases de combustión y campo de temperaturas en la pared frontal de la cámara de combustión del calefactor.

Para llevar adelante las medidas térmicas se emplearon termocuplas de tipo K con acople magnético a las superficies metálicas, las cuales se encuentran conectadas a 2 adquisidores de datos USB-TEMP (Measurement Computing Corp.) de 8 canales (cada uno) con conexión USB a una computadora personal.

Las condiciones (temperatura y humedad) en el ambiente en el que estuvo ubicado el equipo experimental se registraron con un termo-higrómetro digital.

Respecto a análisis de los gases producto de la combustión se empleó un instrumento marca Testo modelo 327-1, el cual que permite monitorear la composición de O_2 (precisión: ±0.2% en Vol.) y CO (precisión: ±20 ppm hasta 400 ppm, ±5 % del v.m. hasta 1000 ppm y ±10 % del v.m. hasta 4000 ppm). Paralelamente, se empleó un analizador de gases de marca GasCheck equipado con sensores para medir hidrocarburos no quemados, NO_x y CO_2, además de CO y O_2. Se observó una muy buena concordancia entre las medidas realizadas con ambos equipos para CO y O_2. Respecto a los hidrocarburos no quemados y NO_x en ninguno de los ensayos realizados se detectaron cantidades significativas.

Para medir el caudal de gas natural se utilizó un equipo marca Elster AMCO modelo BK-G1.6 que proporciona una precisión del orden del 1% en las condiciones de medida.

3. Resultados

Las series de medidas realizadas incluyen: calefactor en su configuración original, calefactor incorporándole un regulador de presión de gas a la entrada, conjunto calefactor con regulador de presión-recuperador de calor en posición horizontal en reemplazo de los conductos de entrada y salida estándar y, finalmente, conjunto calefactor con regulador presión-recuperador en posición vertical de manera de elevar el tiraje del sistema en 45 cm.

3.1 Serie de ensayos para el calefactor sin recuperador de calor

Para las dos primeras series de ensayos (calefactor funcionando sin recuperador), la sonda de toma de muestras de gases de combustión y medida de la temperatura de los mismos, se ubicó en el centro del conducto de salida de los gases de combustión a un diámetro (del conducto interno) de la salida de gases, de acuerdo a la norma europea EN 613. Cabe aclarar que la versión revisada de norma Argentina NAG 315 (que se encuentra para su aprobación) adopta el mismo procedimiento de ensayo para los calefactores que la norma europea, por esta razón se optó por su empleo. Los resultados obtenidos, en promedio, se muestran en la Tabla 1.

La potencia informada en la Tabla 1 (y en la Tabla 2) es la que surge de medir el consumo de gas natural (caudal) a intervalos regulares durante los ensayos.

Se desprende de la Tabla 1 (a) que el calefactor opera con un exceso de aire mínimo (prácticamente en condiciones de combustión estequiométrica) para potencia máxima, mientras que la temperatura de salida resulta muy elevada. Por otra parte, para la condición de potencia mínima aparece un elevado exceso de aire y simultáneamente las temperaturas de salida también pueden considerarse altas.

En adición, se detectó que cuando la presión de la línea de gas natural supera los 18 mbar (presión estándar de funcionamiento acuerdo a la normativa Argentina) en más de un 15-20% comienza a aparecer CO a la salida en cantidades significativas. Por esta razón se decidió para todos los ensayos a realizar incorporarle al calefactor un regulador de presión. Se indica que otros modelos de calefactores cuentan con este dispositivo como accesorio de fábrica.

La incorporación del regulador de presión hace que la presión de alimentación disminuya ligeramente respecto de la presión normal de operación que es 18 mbar; esta circunstancia conduce a que la potencia máxima “efectiva” desarrollada por el calefactor resulte algo inferior (3,1-3,2 frente a 3,45 kW, ver Tabla 1 b). De los datos reportados en la Tabla 1 (b) se advierte que el hecho de operar con una presión regulada de gas natural inferior (16 mbar) conduce a que el exceso de aire resulte algo mayor, y por ende, la temperatura de salida ligeramente menor en la condición de llama máxima. La combustión sigue siendo completa sin presencia de hidrocarburos no quemados ni CO en cantidades significativas.

Debe señalarse que se detectó experimentalmente una fuerte asimetría en la distribución de los flujos en la sección transversal, los gases de combustión tienden a circular por la parte superior de conducto interno mientras que el aire lo hace básicamente por la inferior del ánulo. En la sección transversal del tubo interno se registraron diferencias de temperatura de hasta 100ºC. No obstante, se verificó que el valor medido en el centro del tubo de acuerdo a la norma resulta representativo de la temperatura media de salida de los gases de combustión. Esta temperatura se empleó para estimar la eficiencia resultando la misma cercana al 70% a potencia máxima.

Los valores máximos de la temperatura sobre la pared frontal del la cámara de combustión resultan superiores a 400 °C tanto para el calefactor operando, sin como con regulador de presión, siendo ligeramente superiores en el primer caso.

Tabla 1. Ensayos en un calefactor de tiro balanceado Emegé – mod. 9030 TB Patagonia de 3,5 kW. Conductos concéntricos de entrada y salida. Combustible: gas natural

Condiciones	Potencia [kW]	Composición a la salida [% V/V]					
		Exceso de aire	Temp. de salida de gases [°C]	O_2	CO_2	CO	HC (no quemados)
(a) T_{amb}=18ºC, p_{GN} ≈18 mbar (sin regular)	3,4	6-8%	420-430	1,4-1,8	11,0-10,7	0,001	-
	1,2-1,8	150-380%	230-290	13,0-17,0	2,2-4,5	0,0002	-
(b) T_{amb}=20ºC, p_{GN}=16 mbar (regulada)	3,1-3,2	20-32%	390-405	4,0-5,5	8,5-9,3	0,001	-
	1,1-1,6	230-380%	220-270	15,0-17,0	2,2-3,3	0,0005	-

3.2 Serie de ensayos para el calefactor incorporándole el recuperador de calor

Como se adelantó en la Introducción, para mejorar la eficiencia del calefactor la propuesta a implementar consiste en precalentar el aire necesario para la combustión que ingresa a la misma empleando los gases de salida. Para explorar esta posibilidad se simularon, empleando el enfoque bibliográfico clásico de diseño de intercambiadores de calor, pero considerando las particularidades tanto desde el punto de vista térmico como fluidodinámico, una serie de recuperadores que presentan la característica común de poseer micro-canales rectilíneos. En todos los casos se estableció como premisa el funcionamiento por circulación natural del conjunto calefactor-recuperador. Las simulaciones permitieron comprobar que distintos diseños de tipo compacto compatibles con el tamaño del calefactor, es decir, que pueden perfectamente incorporarse a la salida del mismo, permitirían alcanzar un nivel de recuperación del orden del 10% de la potencia total del calefactor. A partir del análisis de los resultados de las simulaciones se seleccionó de entre los distintos recuperadores estudiados uno consistente en tubos concéntricos aletados, mostrado en la Figura 1, (por el tubo interno salen los gases de combustión mientras que por el ánulo ingresa el aire) que presenta las siguientes características.

Diámetro del tubo interno: 7.5 cm Diámetro del tubo externo: 15 cm
16 aletas longitudinales (chapa galvanizada) internas y externas
Dimensiones Altura: 3.65 cm Espesor: 0.05 cm Largo: 22 cm
Peso aproximado (sólo aletas): 1 kg

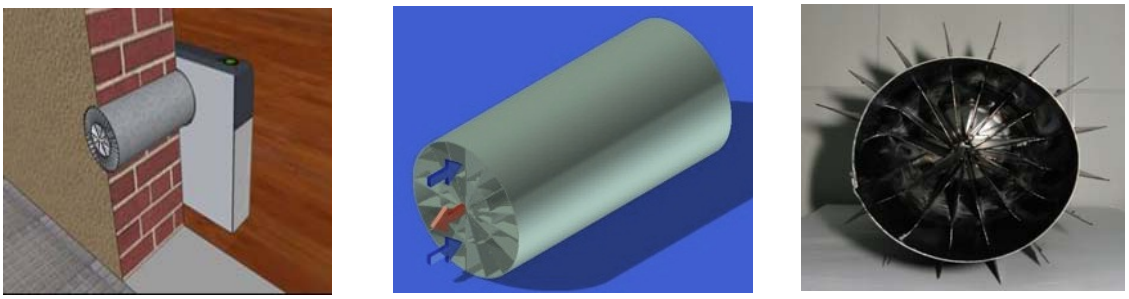


Figura 1. Esquema y fotografía del recuperador de calor incorporado al calefactor

Una vez construido e instalado el recuperador se realizaron una serie de ensayos para el conjunto calefactor con regulador de presión-recuperador de calor en posición horizontal en reemplazo de los conductos de entrada de aire y salida de gases de combustión estándar. La sonda de toma de muestras de gases de combustión y medida de la

temperatura de los mismos, se ubicó a la salida del recuperador de calor en la corriente de gases de combustión.

Se encontró que, a potencia máxima, el tiro no resulta suficiente para vencer la pérdida de presión ocasionada por la incorporación del recuperador, circunstancia que se refleja en el hecho de que se detecta una cantidad significativa de CO (superior a 0,4%, límite superior de detección del analizador) en los gases de combustión, claramente esta situación no puede admitirse. Respecto a la operación a potencia mínima, el recuperador funciona correctamente detectándose una disminución del exceso de aire y de la temperatura de salida de los gases de combustión y un aumento de las temperaturas de la pared frontal de la cámara de 10°C en promedio, recuperándose alrededor de un 40% de la entalpía de los gases de combustión.

Debe señalarse que la alternativa de instalar el recuperador en posición horizontal tiene la desventaja de acentuar la asimetría en la distribución de los flujos en la sección transversal. En consecuencia, no se aprovechan integralmente ni el área de transferencia ni las secciones transversales para la circulación de ambas corrientes.

El hecho de que el calefactor original no provea un tiraje apropiado, sumado a la distribución asimétrica del flujo, motivaron la implementación de la alternativa de ubicar el recuperador en posición vertical y elevar el tiraje del sistema en 45 cm.

Los resultados presentados en la Tabla 2 muestran que para esta alternativa la combustión se produce en forma completa y perfecta, no detectándose la presencia, en cantidades significativas, de CO ni de hidrocarburos no quemados. Simultáneamente, puede apreciarse que para la condición de potencia máxima ha podido disminuirse la temperatura de salida de los gases de combustión en aproximadamente 250ºC respecto al calefactor funcionando sin el recuperador (Tabla 1 b), lo cual implica un nivel de recuperación entálpica elevado (50%), aún considerando que el exceso de aire es mayor para la alternativa calefactor-recuperador que para el calefactor sólo (se ha incrementado el tiraje en 45 cm). Este comportamiento tiene su correlato en un incremento de entre 10 y 15ºC en los valores de temperatura de la pared frontal de la cámara de combustión.

Tabla 2. Ensayos para el conjunto calefactor de tiro balanceado Emegé – mod. 9030 TB Patagonia de 3,5 kW y recuperador de calor en posición vertical (tiraje total del sistema 82 cm). Combustible: gas natural

Condiciones	Potencia [kW]	Composición a la salida [% V/V]					
		Exceso de aire	Temp. de salida de gases [°C]	O_2	CO_2	CO	HC (no quemados)
T_{amb}=25ºC, p_{GN}=16 mbar (regulada)	3,0	42-50%	190-205	6,8-7,6	7,5-8,0	0,001	-
	1,4-1,5	240-260%	140-150	15,3-15,6	3,0-3,3	0,0006	-

La disposición vertical del recuperador elevando el tiraje puede considerarse aceptable en términos de recuperación de energía, en este sentido, los resultados alcanzados son alentadores. Finalmente, cabe aclarar que con este tipo de disposición de los conductos de evacuación de gases el conducto externo debe estar aislado para evitar las pérdidas de calor al aire ambiente.

4. Conclusiones

En este trabajo se aborda el estudio experimental de un calefactor a gas de tiro balanceado, de las típicamente empleadas en la Argentina como medio de calefacción de las viviendas, con el objetivo de analizar su comportamiento térmico y explorar alternativas que incrementen su relativamente baja eficiencia térmica.

En primer término se determinó la necesidad de incorporarle al calefactor un regulador de presión de gas natural para garantizar una combustión completa. Posteriormente y como resultado significativo de los ensayos se observó que a potencia máxima la temperatura de

salida de los gases de combustión alcanza un valor significativamente elevado superando los 400ºC, mientras que el exceso de aire que resulta de entre 20-30% puede considerarse razonable. Sin embargo, a potencia mínima los valores medidos tanto para la temperatura de salida como para el exceso resultan significativamente altos, 250ºC (en promedio) y superiores al 200%, respectivamente.

En este contexto, se reportan también los resultados preliminares del diseño y la implementación de un dispositivo recuperador de calor de tubos concéntricos aletados, con funcionamiento por circulación natural y tamaño compatible con el del calefactor, que permite aprovechar la entalpía de los gases producto de la combustión para precalentar el aire que ingresa al calefactor. Se muestra que la incorporación del recuperador resulta una alternativa viable por cuanto permite recuperar hasta un 50% de la entalpía de los gases de combustión incrementando la eficiencia del sistema.

Como aspectos pendientes puede mencionarse la posibilidad, en función de los resultados obtenidos, de rediseñar el recuperador para maximizar la velocidad de transferencia de calor teniendo como premisas incrementar el número de aletas y disminuir la relación entre los diámetros de los tubos interno y externo, manteniendo el nivel de caída de presión en los valores actuales. En adición y para otorgarle mayor generalidad a la alternativa del empleo del recuperador calor sería deseable avanzar en un estudio sistemático que involucre otros modelos de calefactores.

Agradecimientos

Los autores agradecen el aporte de las siguientes instituciones argentinas: ANPCyT – ENARGAS (PICTO 191), CONICET (PIP 0304) y UNLP (PID 11/I136).

Referencias

[1] W. Biesiot, K.J. Noorman, Energy requirements of household consumption: A case study of the Netherlands, Ecological Economics, 28 (3), pp. 367–383, 1999.

[2] D. A. Poyer, L. Henderson, A. P. S. Teotia, Residential energy consumption across different population groups: comparative analysis for Latino and non-Latino households in USA, Energy Economics, vol. 19, pp. 445-463, 1997.

[3] A. D. González, A. Carlsson-Kanyama, E. S. Crivelli, S. Gortari, Residential energy use in one-family households with natural gas provision in a city of the Patagonian Andean region, Energy Policy, vol. 35(4), pp. 2141–2150, 2007.

[4] Estadísticas de productos industriales - Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2012.

[5] Comunicación personal (7/2012) - Cámara Argentina de Fabricantes de Artefactos de Gas (CAFAGAS)

[6] NAG 315, Norma provisoria para la aprobación de calentadores de ambiente con cámara estanca; entrada de aire y ventilación verticales, tipo U y balanceados, ENARGAS, Ente Nacional Regulador del Gas, 1995.

[7] L. E. Juanicó, A. D. González, High-efficiency prototypes of commercial gas heaters extensively used in Argentina, Int. J. of Hyd. Energy, vol. 33 (13), pp. 3471-3474, 2008a.

[8] L. E. Juanicó, A. D. González, Thermal efficiency of natural gas balanced-flue space heaters: Measurements for commercial devices", Energy and Buildings, vol. 40, pp. 1067–1073, 2008b.

[9] Sistema de información sobre eficiencia energética de calderas, Instituto para la diversificación y ahorro de energía, Ministerio de industria, turismo y comercio, Gobierno de España. Disponible en el sitio: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10540_Procedimientos_inspeccion_calderas_GT5_07_f5b208e3.pdf (4/02/2013)

[10] L. Caratori, Evolución de las reservas de hidrocarburos en Argentina entre 2002 y 2011, Informe, Instituto Argentino de la Energía "General Mosconi", Agosto, 2012.

[11] Balance Energético Nacional, Secretaria de Energía de la Nación

[12] J. Lutz, A. Lekov, P. Chan, C. Dunham Whitehead, S. Meyers, J. McMahon, Life-cycle cost analysis of energy efficiency design options for residential furnaces and boilers, Energy vol. 31, pp. 311–329, 2006.

[13] S. Belosevic, M. Paprika, M. Komatina, Z. Stevanovic, R. Mladenovic, N. Oka, D. Dakic, Experimental and numerical investigation of heat exchanger built in solid fuel household furnace of an original concept, Energy and Buildings, vol. 37, pp. 325–331, 2005.

OXIDACIÓN PREFERENCIAL DE CO MEDIANTE CATALIZADORES DE Cu Y Pt SOBRE CeO_2-Al_2O_3

Núñez Natalia E.[a,b], Bideberripe Hernán P.[a,b], Casella Mónica L.[a,b], Siri Guillermo J.[a,b]

[a] Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas "Dr. Jorge Ronco" (CINDECA), Facultad de Ciencias Exactas, UNLP - CCT La Plata - CONICET, 47 N°257, 1900 La Plata, Argentina.
[b] PIDCAT, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata UNLP, 1 esq. 47, 1900 La Plata, Argentina.

Palabras Claves: PROX, Platino, Cobre, Óxido de cerio.

INTRODUCCIÓN

Las *celdas de combustible de membrana de intercambio protónico* (PEMFC) despiertan interés debido a que son alternativas eficientes para la generación de energía eléctrica, tanto en fuentes móviles como fijas. Estas celdas, que utilizan hidrógeno como combustible, basan su funcionamiento en una reacción electroquímica por lo que no tienen las limitaciones de eficiencia de los ciclos térmicos. Las celdas PEM poseen alta eficiencia, baja temperatura de operación, rápido encendido y no despiden contaminantes al ambiente [1].

Actualmente, los principales procesos disponibles para la obtención de hidrógeno son: reformado de hidrocarburos o alcoholes y fermentación de compuestos orgánicos. De los anteriores, los métodos más utilizados para obtener gas de síntesis son el reformado de gas natural, metanol o gasolina [2]; el gas resultante posee entre 3% a 10% de CO [3]. El CO debe eliminarse porque envenena el electrodo de Pt, que es el ánodo de la celda. De acuerdo a los estándares actuales, la máxima cantidad aceptable de CO en la alimentación es de 100 ppm [4]. Luego del reformado, la mezcla gaseosa se somete a la reacción de Water Gas Shift (WGSR) (ecuación 1) en dos etapas: la primera etapa a alta temperatura (HTS) entre 350°C a 600°C y la segunda etapa a baja temperatura (LTS) entre 150°C a 300°C [5]. Esta reacción permite reducir aún más el contenido volumétrico de CO, obteniéndose concentraciones de salida de entre el 2% y el 0,2%:

$$CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2 \qquad \Delta H_{298} = -41 \frac{kJ}{mol} \qquad (1)$$

La reacción WGSR es efectiva en la conversión de monóxido de carbono a dióxido de carbono, pero a causa de su leve exotermicidad es termodinámicamente desfavorable a alta temperatura. Por consiguiente, un aumento en la temperatura provoca que la conversión de CO disminuya [5].

Existen varios métodos para reducir aún más el contenido de CO en una corriente rica en H_2 y lograr una mezcla factible de ser alimentada a la celda de combustible, entre ellos se pueden mencionar: metanación catalítica de CO, difusión selectiva usando membranas de Pd [1], adsorción mediante cambio de presión y oxidación preferencial de monóxido de carbono (PROX). La oxidación preferencial tiene bajo costo y sencilla implementación sin que implique pérdidas significativas de hidrógeno [6-8]. La reacción de oxidación preferencial de CO está representada mediante la siguiente reacción (ecuación (2)):

$$CO + \tfrac{1}{2}O_2 \leftrightarrow CO_2 \qquad (2)$$

Debiendo evitarse la oxidación de hidrógeno (ecuación (3)):

$$H_2 + \tfrac{1}{2}O_2 \leftrightarrow H_2O \qquad (3)$$

Los principales requerimientos que deben cumplir los catalizadores a usarse en la reacción PROX son: alta actividad a una temperatura que se debe encontrar entre la temperatura operación de la reacción WGS a baja temperatura (150 °C-300 °C) y la de PEMFC (80 °C-100 °C); alta selectividad hacia la oxidación de CO evitando oxidar el hidrógeno (tal acción decrece la eficiencia global del proceso) y resistencia a la desactivación causada por CO_2 y H_2O en la corriente de alimentación [1, 9, 10].

El clásico catalizador de platino sobre alúmina (Pt/Al_2O_3) fue propuesto como un efectivo medio para la oxidación selectiva de CO por Cohn en 1963 [9]. Catalizadores de Pt sobre zeolita demostraron que oxidan el CO más selectivamente que el catalizador de platino sobre alúmina, pero es necesario adicionar un exceso de O_2 [4]. Varios autores reportaron que el Pt fue el metal más activo entre varios metales soportados sobre alúmina a alta temperatura [6, 9, 11]. A bajas temperaturas, catalizadores de Au soportados han demostrado ser activos, pero la selectividad decrece rápidamente a medida que la temperatura aumenta [6].

Los catalizadores de Pt presentan la desventaja de tener baja actividad a bajas temperaturas (cercanas a los 100 °C que es la temperatura de operación de PEMFCs) la adición de un segundo metal es una alternativa eficiente para mejorar la actividad del catalizador monometálico [11]. Los sistemas más interesantes para la reacción PROX son aquellos que combinan este metal noble con algún metal que presente un comportamiento redox [3]. El agregado de cobre como metal promotor es ampliamente usado y presenta muy buena actividad en reacciones de oxidación [12, 13]. Es posible también modificar el soporte del catalizador con diferentes clases de óxidos. El óxido de cerio, debido a su alta capacidad para almacenar y liberar oxígeno, es usualmente empleado como promotor de otro metal, como soporte o para modificar el mismo. El agregado de cerio modificando el soporte mejora el suministro de oxígeno, condición favorable en reacciones de oxidación [14]. Buenos resultados se logran usando Cu y Ce. Durante la reacción, el cerio y el cobre sufren un proceso redox. Su alta eficiencia se asocia a la movilidad que tiene el oxígeno en la estructura del óxido de cerio y a que el Cu mejora la capacidad de acumular oxígeno del Ce [15].

El objetivo de este trabajo es diseñar catalizadores de platino, promovidos con cobre, soportados sobre alúmina modificada con cerio, que sean efectivos en la reacción PROX, obteniendo bajas concentraciones de CO entre los límites de temperatura previamente mencionados.

EXPERIMENTAL

El soporte CeO_2/Al_2O_3 se preparó impregnado γ-Al_2O_3, de entre 60 y 100 mesh, previamente calcinada en aire a 500 ºC durante 4 horas, con soluciones de $(NH_4)_2Ce(NO_3)_6$ de diferentes concentraciones. El agua se eliminó por medio de un rotavapor. Se prepararon soportes con 5 y 15% p/p de CeO_2.

El platino se agregó mediante intercambio iónico usando una solución de $(NH_4)_2[PtCl_4]$, de concentración tal de proporcionar una carga de platino 1% p/p. La solución y el soporte se dejaron en contacto durante 48 horas para que fuera posible el intercambio iónico entre ambos. Transcurrido este tiempo, se quitó el sobrenadante se lavó en varias oportunidades con agua destilada y se secó en estufa durante 3 horas a 100 °C. Posteriormente, el catalizador se redujo a 500 °C durante 20 minutos bajo una corriente de hidrógeno. A continuación se realizó el lavado del catalizador en repetidas oportunidades con una solución acuosa de NH_4OH hasta la total eliminación de cloruros. Finalmente, se secó en estufa a 100 °C durante 60 minutos.

El agregado de cobre para obtener los catalizadores bimetálicos se efectuó impregnando los catalizadores previamente preparados con soluciones acuosas de nitrato de cobre preparadas a partir de la sal $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$, de manera tal de lograr varias concentraciones de cobre. La impregnación se realizó a volumen de poros. Se dejaron reposar los catalizadores durante 30 minutos y se llevaron a estufa a 100 °C durante una hora para eliminar el agua presente. Los catalizadores preparados y sus composiciones se detallan a continuación (Tabla I):

Tabla I: Nomenclatura usada en los catalizadores ensayados.

Nombre	Catalizador	CeO_2/ (CeO_2+Al_2O_3)	Cu	Pt
(a)	$1Pt/Al_2O_3$	0%	0% p/p	1% p/p
(b)	$1Pt/5\%CeO_2$-Al_2O_3	5%	0% p/p	1% p/p
(c)	$1Pt/15\%CeO_2$-Al_2O_3	15%	0% p/p	1% p/p
(d)	$1.5Cu$-$1Pt/15\%CeO_2$-Al_2O_3	15%	1.5% p/p	1% p/p
(e)	$4Cu$-$1Pt/15\%CeO_2$-Al_2O_3	15%	4% p/p	1% p/p

Los catalizadores fueron caracterizados mediante diferentes técnicas, tales como área superficial, volumen de poros y reducción a temperatura programada.

Los ensayos de actividad se efectuaron en un reactor de flujo, calentando desde temperatura ambiente hasta 250 °C. Cada catalizador se activó reduciéndolo con hidrógeno gaseoso a 500 °C. Para la reacción de oxidación se alimentó al reactor con una mezcla gaseosa con la siguiente composición: 0.97% CO, 8.71% He, 0.49% O_2, 15.85% N_2 y 73.98% H_2. Los gases de salida del reactor se analizaron mediante dos cromatógrafos gaseosos: uno equipado con un detector de conductividad térmica (TCD) y otro equipado con un detector de ionización de llama (FID). En el cromatógrafo equipado con FID se determinan las concentraciones de CO y CO_2 realizando la separación de los mismos mediante una columna Porapak-Q mantenida a 30 °C. Una vez separados el CO y el CO_2, se efectúa la metanación de los mismos a 450°C, usando un catalizador de níquel sobre alúmina. Para proveer el H_2 necesario para la metanación se utiliza H_2 como gas portador. El cromatógrafo equipado con TCD permite cuantificar: O_2, H_2 y N_2.

La conversión de CO a CO_2, excluyendo coque y CH_4 (suposición adecuada a temperaturas bajas para los catalizadores ensayados aquí), se calculó de acuerdo a la siguiente expresión (ecuación (4)):

$$Conversión \quad CO\ (\%) = \frac{([CO]_{in} - [CO]_{out})}{[CO]_{in}} \times 100 \qquad (4)$$

Siendo [CO]in y [CO]out la concentración de entrada y de salida de CO, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de área superficial BET de los soportes se detallan a continuación: γ-Al_2O_3=285 m²/g, $5\%CeO_2$-Al_2O_3=197 m²/g, $15\%CeO_2$-Al_2O_3=171 m²/g, lo que representa una disminución del área superficial a medida que aumenta la carga de ceria.

En la **Figura I** se presentan los diagramas de reducción a temperatura programada (TPR). En la curva (a) se observan los dos picos de reducción característicos del Pt/Al_2O_3 a

alrededor de 180°C y 450°C. Los picos se asocian a óxidos de platino con distinto grado de interacción con la alúmina [17, 18].
En las curvas (b) y (c) de la **Figura I** se observa la aparición de un nuevo pico alrededor de 300 ºC relacionado con la reducción de los oxígenos superficiales del CeO_2 [18, 19].

Los catalizadores que poseen 15% de CeO_2 tienen un crecimiento continuo y poco definido en el consumo de H_2 a partir de 600°C, relacionado con la reducción de Ce^{4+} a Ce^{3+}, asociado a la formación superficial de $CeAlO_3$ y Ce_2O_3 [18-20]. El pico centrado en 400°C que aparece en los diagramas (d) y (e), se asigna a la reducción de Cu^{2+} a Cu^0 [20]. Además en estas curvas se observa el crecimiento del pico de baja temperatura correspondiente a la reducción de Pt, lo que estaría indicando que al menos parte del Cu se halla en íntimo contacto con el Pt.

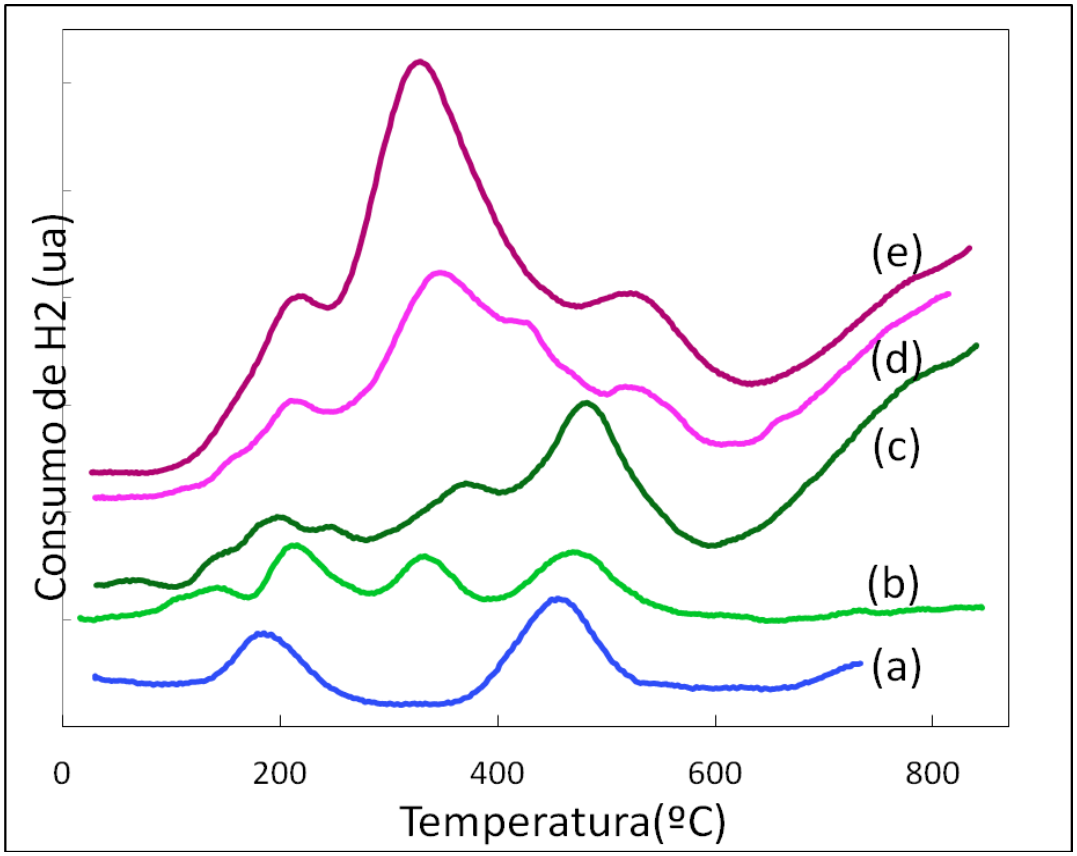


Figura I: Resultado de los análisis de TPR

En la **Figura II** se muestran las curvas de conversión del monóxido de carbono en función de la temperatura para los distintos catalizadores analizados. La curva (a) corresponde al catalizador Pt/Al_2O_3.

Los catalizadores monometálicos soportados sobre alúmina modificada con CeO_2, curvas (b) y (c), muestran una significativa mejora en la conversión, con respecto al catalizador de Pt soportado sobre alúmina sin modificar, siendo esta mejora proporcional al contenido de ceria.

Los catalizadores bimetálicos, curvas (d) y (e), muestran un aumento en la conversión de CO superior a la de los monometálicos a la misma temperatura. Este aumento es mayor a mayor contenido de Cu.

El efecto positivo del CeO_2 se podría atribuir a sus propiedades redox y su capacidad de acumular oxígeno, siendo este óxido una fuente de oxígeno atómico que permite que la reacción de oxidación preferencial de monóxido de carbono se lleve a cabo mediante un mecanismo no competitivo de dos sitios en lugar del mecanismo tipo Langmuir-Hinshelwood competitivo de un solo sitio que es el aceptado en los catalizadores monometálicos Pt/Al_2O_3 [8, 10, 18].

El agregado de cobre mejora aún más la actividad de los catalizadores aportando probablemente otro tipo de sitio proveedor de oxígeno. Para lograr este objetivo el cobre debe encontrarse en íntimo contacto con el platino, tal como sugieren los resultados de TPR.
Se observó que excepto en el catalizador Pt/Al_2O_3, por encima de 130 C la conversión de CO comienza a disminuir. Esto puede deberse a que a altas temperaturas la reacción de gas de agua inversa (RWGS) cobra mayor importancia, indicando que estos catalizadores serían activos para la misma.

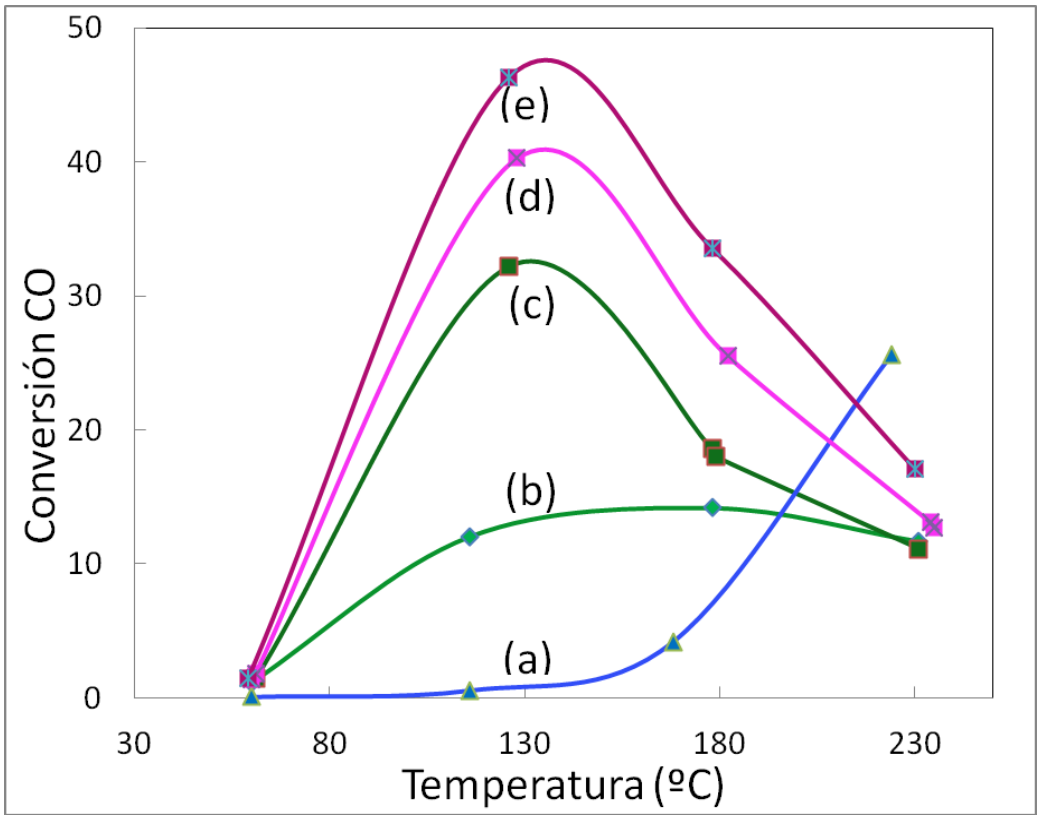


Figura II: Conversión de CO en la reacción PROX en función de la temperatura.

CONCLUSIONES

Todos los catalizadores desarrollados son activos en la reacción de oxidación selectiva de monóxido de carbono. Los catalizadores modificados con ceria y cobre presentan mayores conversiones de CO a menores temperaturas en comparación con el catalizador de Pt/Al_2O_3. Con los resultados obtenidos hasta el momento, se concluye que el catalizador que presenta la mayor actividad es el que contiene mayores concentraciones tanto de Ce como de Cu. En estos catalizadores el agregado de cobre y la modificación del soporte con CeO_2; generan mejoras sustanciales en la actividad de los catalizadores en la reacción PROX. Esta mejora se puede asignar a la fácil generación de sitios activos y vacancias de oxígeno en la interface entre Cu-CeO_2. Como ventaja adicional también es posible destacar que, en

las condiciones en las cuales se efectuaron los ensayos experimentales, estos catalizadores no producen metano y no presentan desactivación a medida que transcurre la reacción.

REFERENCIAS

[1] Z. Zhao, M. Yung, U. Ozkan; Catal. Communications 9 (2008) 1465-1471.
[2] S. Jain, E. Crabb, L. Smart, D. Thompsett, A. Steele; Appl. Catal. B: Environ. 89 (2009) 349-355.
[3] C. Kwak, T. Park, D. Suh; Chem. Engineering Science 60 (2005) 1211-1217.
[4] H. Li, X. Yu, S. Tu, J. Yan, Z. Wang; Appl. Catal. A: General 387 (2010) 215-223.
[5] C. Callaghan; Kinetics and Catalysis of the Water-Gas-Shift Reaction: A Microkinetic and Graph Theoretic Approach (2006).
[6] M. Woods, P. Gawade, B. Tan, U. Ozkan; Appl. Catal. B: Environ. 97 (2010) 28-35.
[7] E. Ko, E. Park, K. Seo, H. Lee; Catal. Today 116 (2006) 377-383.
[8] Lobera, Téllez, Herguido, Menéndez; Catal. Today 157 (2010) 404-409.
[9] K. Uğuz, R. Yildirim; Turk J Chem 33 (2009) 545-553.
[10] M. González-Marcos, M. Gutiérrez-Ortiz. Intl. J. of Hydrogen Energy 31 (2006) 2231-2242.
[11] T. Komatsu, A. Tamura; Journal of Catalysis 258 (2008) 306-314.
[12] P. Park, J. Ledford2; Applied Catalysis B: Environmental 15 (1998) 221-231.
[13] G. G. Jernigan, G. A. Somorjai; Journal of Catalysis 147 (1994) 567-577.
[14] A. Martínez-Arias, D. Gamarra, M. Fernández-García, X.Q. Wang, J.C. Hanson, J.A. Rodriguez; Journal of Catalysis 240 (2006) 1-7.
[15] J. Park, J. Jeong, W. Yoon, H. Jung, H. Lee, D. Lee, Y. Park, Y. Rhee; Applied Catalysis A: General 274 (2004) 25-32.
[16] M. Lobera, C. Téllez, J. Herguido, M. Menéndez; Catal. Today 157 (2010) 404-409.
[17] J. Wu, Z. Lin, J. Pan, M. Rei; Appl. Catal. A: General 219 (2001) 117-124.
[18] S. Damyanova, J. Bueno.; Appl. Catal. A: General 253 (2003) 135-150.
[19] S. Damyanova, C.A. Perez, M. Schmal, J. Bueno; Appl. Catal. A: General 234 (2002) 271-282.
[20] G. Águila, F. Gracia, P. Araya; Appl. Catal. A: General 343 (2008) 16-24.

PURIFICACIÓN DE SISTEMAS EQUIVALENTES A EFLUENTES COLOREADOS DE CURTIEMBRES UTILIZANDO MINERALES ARCILLOSOS

Volzone Cristina[1], Gallegos Norma G.[2,3], Stábile Franco M.[1,2]

[1] Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica-CETMIC- CCT CONICET La Plata/CICPBA, C.C.49, Cno. Centenario y 506, (1897) M. B. Gonnet, Argentina.
[2] Dpto. de Ing. Química. Facultad de Ingeniería. UNLP, 1y 47, (1900) La Plata, Argentina.
[3] Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas – CINDECA - CCT-CONICET- La Plata, calle 47 Nº 257, (1900) La Plata, Argentina. norgal@quimica.unlp.edu.ar

Palabras claves: purificación, colorantes, arcillas, curtiembres

Introducción

En la actualidad existen numerosos problemas ambientales provocados por las actividades industriales, que conducen a efectos nocivos para el ser humano y su entorno. Es necesario poner énfasis en encontrar procedimientos adecuados para disminuir los efectos contaminantes de las diversas actividades industriales.

Efluentes conteniendo colorantes pueden proceder de diferentes industrias, entre las cuales puede mencionarse la industria del curtido. Las concentraciones de los tintes en los mencionados efluentes deben ajustarse a las normativas vigentes antes de su disposición final. Uno de los colorantes mas utilizados para el teñido de los cueros es el llamado *negro acido* (acid black). Si bien, el colorante mencionado está presente en la mayoría de los efluentes de la industria del cuero, ha sido muy poco estudiada su eliminación.

Actualmente, diferentes tipos de materiales son evaluados para ser utilizados como adsorbentes, con el objeto de reducir o eliminar la concentración contaminante. Los minerales arcillosos, se caracterizan por ser de bajo costo y amplia disponibilidad, y suelen ser utilizados como adsorbentes, por sus pequeños tamaños de partícula y capacidades de intercambio (Bailly y col., 2010; Volzone y col., 2012). Estos minerales suelen encontrarse en la naturaleza acompañados por impurezas, las cuales pueden ser removidas.

El objetivo del presente trabajo consiste en analizar la posibilidad de utilizar sólidos arcillosos modificados, para ser considerados como potenciales adsorbentes de colorantes presentes en efluentes de la industria del curtido. En particular se analizará la capacidad de retención del colorante comercial Negro Acido 210, utilizando un mineral arcilloso nacional de la zona de San Juan y otro importado, ambos modificados con una sal cuaternaria.

Parte experimental

Una bentonita natural proveniente de la región de San Juan, Argentina (J) y otra de origen extranjero de USA (B1) fueron utilizadas en este trabajo. Las mismas están compuestas mayoritariamente por montmorillonita (especie de la familia de las esmectitas) y pequeñas cantidades de impurezas de cuarzo (Volzone y Garrido, 2008).

Las bentonitas fueron modificadas con sal cloruro de hexadeciltrimetilamonio para transformarla en órgano bentonita. La preparación se realizó contactando una solución de la sal orgánica con bentonita en suspensión al 2% p/v, hasta llegar al equilibrio. Posteriormente el sólido fue lavado para remover excedentes. La cantidad agregada del catión hexadeciltrimetilamonio (h) fue una vez la capacidad de intercambio de la bentonita, cuyos

valores fueron 105 y 110 meq/100g para las muestras J y B1, respectivamente. Las bentonitas orgánicas fueron denominadas Jh y B1h.

El colorante comercial Negro Acido 210 fue provisto por el Centro de Investigación y Desarrollo del Cuero (CITEC). Para este estudio se preparó una solución de 50 mg L^{-1}. El rango de relación sólido/solución colorante analizado fue 0,02-0,2 % p/v y los tiempos de contacto entre uno y veintidós días. La capacidad de retención del colorante fue evaluada midiendo valores de absorbancia en un espectrofotómetro UV-visible HP 8354 en el rango de 190 – 1100 nm. La cantidad retenida en % fue calculada por diferencia de concentración entre la solución colorante antes y después del contacto con el sólido, midiendo la banda ubicada a 460 nm, que fue la longitud de onda donde se registró el máximo de absorbancia en el rango de concentraciones de trabajo de colorante cumpliendo la ley de Lambert y Beer.
Los cambios del espaciado interlaminar de las arcillas fueron medidos por difracción de rayos X utilizando un equipo Philips 3020 con radiación Cu Kα (λ =1.5405 Å), a 40kV y 30 mA y filtro de Ni. Los posibles cambios estructurales también fueron analizados por medio de espectros infrarrojos obtenidos en el equipo Spectrum One Perkin Elmer en el rango de 4000 a 380 cm−1, preparando las muestras en pastillas soportadas por KBr.

Resultados y discusión

Caracterización de los sólidos

La Figura 1 muestra los difractogramas (espaciados interlaminares) del componente esmectitico de las bentonitas J y B1, cuyos valores fueron 15,1 y 15,6 Å, respectivamente. El tratamiento con el catión orgánico (Jh y B1h) originó un cambio en el espaciado interlaminar de las muestras, aumentando sus valores respectivos a 24,2 y 23,0 Å. Este aumento es atribuido a la intercalación del catión orgánico en el espaciado interlaminar, en donde los cationes naturales de ambas arcillas fueron intercambiados por el catión orgánico. Lagaly (1982) propone que un catión tipo n-alkylpyridinium (similar al utilizado en este trabajo) se dispone en forma de dos capas (bilayer), como se muestra en forma esquemática en la Figura 2.

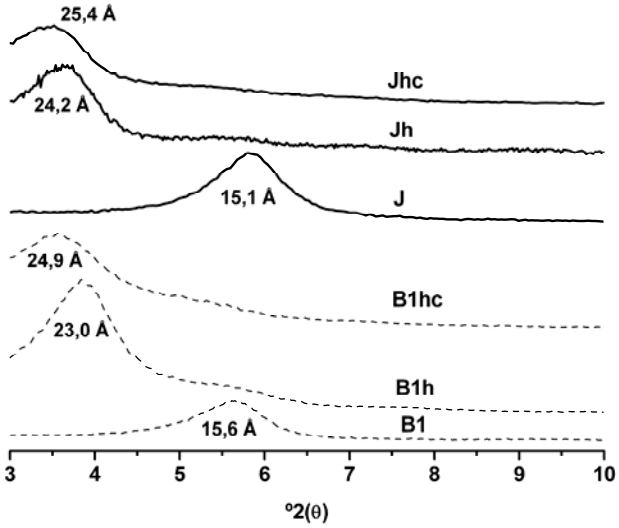


Figura 1. Espaciados interlaminares de los minerales arcillosos por difracción de rayos X: naturales (J, B1); posterior al tratamiento con el orgánico (Jh, B1h) y luego de la retención del colorante (Jhc, B1hc).

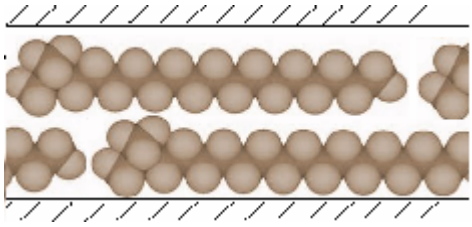
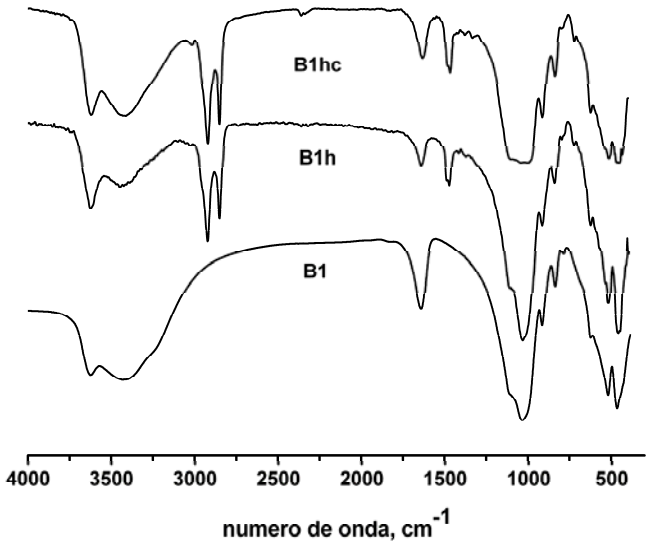
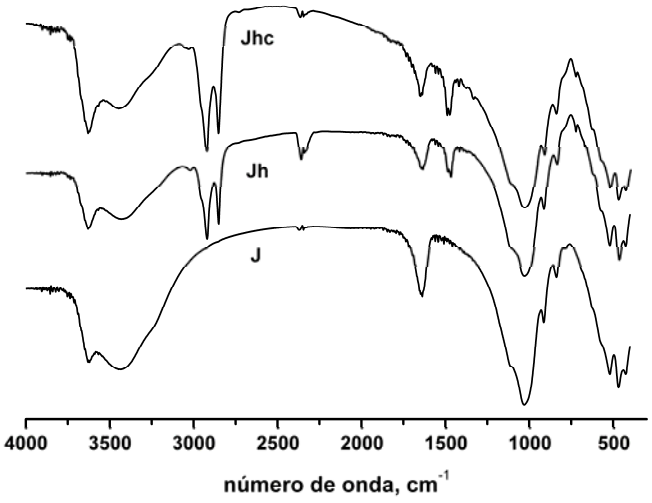


Figura 2. Disposición de los $HDTMA^+$ entre las láminas de las arcillas.



a



b

Figura 3. Espectros en el infrarrojo de las bentonitas naturales, tratadas con HDTMA y luego del contacto con el colorante negro ácido.

El espectro en el infrarrojo de la muestra J y B1 (Figura 3) presentó bandas a 3623 (Al-Mg-OH estiramiento), 3438 (H-O-H estiramiento), 1110 (Si-O-Si estiramiento), 1025 (Si-O-Si estiramiento), 914 (Al_2OH flexión), 837 (Al-Mg-OH flexión), 519 (Si-O-Al flexión) y 463 cm^{-1} (Si-O-Si flexión), típicas de la especie mineralógica montmorillonita (Farmer, 1974). Luego del tratamiento con el catión HDTMA se han observado nuevas bandas que pertenecen al catión mencionado, ubicadas a 2920 $cm.^{-1}$ y 2849 $cm.^{-1}$ correspondientes al modo asimétrico y simétrico de la unión metileno, C-H, respectivamente. Las bandas a 1473 y 722 $cm.^{-1}$ son asignadas de los modos "tijera" y "balanceo" del metileno, respectivamente (He y col., 2004).

Es importante resaltar que la presencia del orgánico y del colorante no afectaron las bandas correspondientes a las uniones Si–O–Si estiramiento, Al–Al–OH, Mg–Al–OH, $Si–O–Al^{IV}$ y Si–O–Si grupos del mineral arcilloso montmorillonita.

La presencia del catión orgánico en la esmectita, mineral arcilloso principal de las bentonitas utilizadas, originó un aumento considerable del espaciado interlaminar y además desplazó parte del agua presente en la arcilla observado por espectroscopia en el infrarrojo.

Retención del colorante

La capacidad de retención de las bentonitas orgánicas para el colorante en estudio, en función del tiempo de contacto, se muestra en la Figura 4. Se puede observar que el aumento en la relación sólido/solución colorante favorece el mayor porcentaje de retención variando entre un 25 y 98 %, para ambas muestras y para todos los tiempos estudiados.

El espaciado interlaminar de las bentonitas orgánicas luego de la retención del colorante, observado por difracción por rayos X (Figura 1) muestra un desplazamiento en el espaciado, lo cual indicaría que el colorante se ha situado entre las laminas junto con el catión orgánico que posee la bentonita preparada en este estudio.

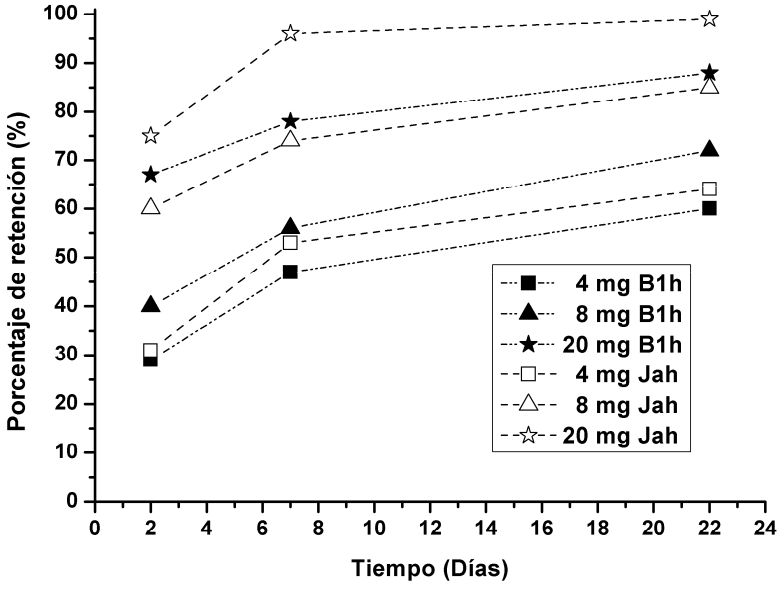


Figura 4. Porcentaje de retención de colorante en función del tiempo de contacto para distintas relaciones sólido/solución.

Por otro lado, los resultados mostrados en la Figura 4 indican que la muestra Jh posee una mayor capacidad de retención respecto a la B1h, probablemente atribuido a un mayor espaciado interlaminar como se muestra en la Figura 1, cuyos valores son 24,2 y 23,0 Å, respectivamente.

Por análisis infrarrojo, el colorante disminuyó la intensidad la banda del agua a 3430 cm^{-1}, debido a la influencia del catión orgánico.

Conclusiones

La presencia del catión orgánico en la esmectita, mineral arcilloso principal de las bentonitas, originó: a) un aumento considerable del espaciado interlaminar alcanzando valores de 24,2 y 23,0 Å; y b) desplazó parte del agua presente en la arcilla observado por difracción de rayos X y espectroscopia en el infrarrojo, respectivamente.
El colorante retenido afectó el arreglo del catión orgánico ubicado en el espaciado interlaminar de la bentonita orgánica.
Los sólidos preparados permitieron retener altos contenidos del colorante negro ácido, frecuentemente presente en los efluentes de curtiembres.
Los minerales arcillosos estudiados aumentaron considerablemente su capacidad de retención del colorante, luego de sus modificaciones con una sal de amonio cuaternario.
La arcilla de origen argentino proveniente de la zona de San Juan mostró una mayor retención.
Un análisis global desprende que este tipo de minerales arcillosos podrían ser considerados como un potencial adsorbente de colorantes presentes en efluentes de la industria del curtido.

Bibliografía

Bailly, J.; Volzone, C.; Cantera, C. y Greco A. Modified bentonites as adsorbents for retaining anionic dyes used in tanning industry. Proceedings of the XXXI IULTCS Congress, Valencia, Spain, - September 27th-30th, 2011.

Farmer. V.C. The Infrared Spectra of Minerals. Monograph 4. Mineralogical, 1974.

He, H.; Frost, L.R.; Zhu, J. Infrared study of HDTMA+ intercalated montmorillonite. Spectrochimica Acta, Part A, 60, 2853-2859, 2004.

Lagaly, G. *Layer charge heterogeneity in vermiculites.* Clays Clay Minerals, 30, 215-222, 1982.

Volzone, C.; Gallegos, N.; Canteras, C.; Huck, L.; Robledo Candia, L. Retención del colorante negro ácido 210 por una bentonita modificada. Libro XI Jornadas Argentinas de Tratamiento de Minerales, Neuquén, Argentina, 409-413, 2012.

Volzone, C. y Garrido, L.B. Use of modified hydroxy-aluminum bentonites for chromium(III) removal from solutions. Journal of Environmental Management, 88, 1640-1648, 2008.

REUTILIZACIÓN DEL CROMO(III) CONTENIDO EN EL LÍQUIDO RESIDUAL DE CURTIDO

Hintermeyer, Blanca H.[1]; Lacour, Norman A.[2]; Tavani, Eduardo L.[2,*]

[1] Facultad de Ingeniería y Ciencias Económico-Sociales de la Universidad Nacional de San Luis, 25 de Mayo 384, (D5730EKQ) Villa Mercedes, San Luis, Argentina
[2] Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica (CETMIC), Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, CONICET, Camino Centenario y 506, C.C. 49, (B1897ZCA) M.B. Gonnet, Argentina. *E-mail: etavani@netverk.com.ar

Palabras Claves: cromo(III), líquido residual de curtido, precipitación alcalina, ósmosis inversa, adsorción

RESUMEN

En este trabajo se estudió la reutilización del cromo(III) disuelto en el líquido residual de curtido. El tratamiento se inició con la separación de grasas y proteínas desnaturalizadas por tamizado en combinación con ultrafiltración. La composición química lograda con esta metodología fue: 0,99 g L^{-1} de cromo(III); 12,51 g L^{-1} de sodio, 11,20 g L^{-1} de cloruro, 11,53 g L^{-1} de sulfato, 0,18 g L^{-1} de grasas, 0,26 g L^{-1} de proteínas desnaturalizadas y pH 3,63. A continuación se procedió a descontaminar el efluente parcialmente desprovisto de las referidas sustancias orgánicas aplicando tres procesos diferentes. Bajo las condiciones más propicias se obtuvieron: un sobrenadante con 1,8 mg L^{-1} de Cr^{3+} por medio de precipitación alcalina, un permeado con 1,6 mg L^{-1} de Cr^{3+} mediante ósmosis inversa y una solución de equilibrio con 4,5 mg L^{-1} de Cr^{3+} por adsorción. Las fases portadoras del catión removido con dichas tecnologías fueron analizadas a fin de determinar sus principales características fisicoquímicas. El contenido de Cr^{3+} para cada una de ellas fue: 24,99% p/p en el precipitado, 2,09 g L^{-1} en el concentrado y 32,8 mg por g de adsorbente. Finalmente, se evaluó la preparación de un licor apto para el curtido de piel vacuna que incluyera en su composición el cromo(III) recuperado por tecnología de membrana.

INTRODUCCIÓN

El agente curtiente primario de mayor uso en las últimas décadas para transformar la piel cruda del animal en cuero es cromo(III). La reacción para producir dicho material se lleva a cabo en medio acuoso y el mejor resultado se consigue con sulfato de cromo(III) 32-34% básico. En cuanto a la composición del licor curtiente elaborado por disolución de la sal comercial, se ha determinado que el ión complejo más abundante es un dímero de cromo(III) con dos puentes hidroxo y un puente sulfato $[(H_2O)_3Cr(OH)(SO_4)(OH)Cr(H_2O)_3]^{2+}$ [1-5].

Entre el 15-30% del cromo(III) agregado permanece sin reaccionar al final del proceso. Este porcentaje depende de las condiciones operativas empleadas y del tipo de cuero que se desea obtener. Por kilogramo de piel se generan 3,0-5,0 L del líquido residual de curtido, cuyo contenido de cromo(III) puede variar de 0,7 a 2,5 g L^{-1}. La descripción se completa señalando que los efluentes derivados de las etapas de depilación, acondicionamiento, neutralización, lubricación, teñido y acabado tienen cantidades exiguas del agente curtiente [4, 6-7].

El cromo es un elemento de transición que posee varios estados de oxidación, los más frecuentes son trivalente (III) y hexavalente (VI). El cromo(III) es muy estable, necesitándose para ciertas actividades biológicas del ser humano. La especie hexavalente se encuentra en diversos productos comerciales y su presencia, aún en concentraciones bajas, provoca efectos adversos para la salud [8-10]. En la Provincia de Buenos Aires, distrito de Argentina que cuenta con gran cantidad de curtiembres, los valores máximos permitidos en un efluente para su vertido al medio ambiente son: 0,2 mg L^{-1} para el cromo(VI) y 2,0 mg L^{-1} para el cromo total.

Ósmosis inversa es la técnica reportada hasta ahora que resulta más apropiada para quitar la carga contaminante del líquido residual de curtido. En tanto, precipitación alcalina remueve muy eficientemente sólo al cromo(III) [1-3, 11-12]. La comparación se completa con

adsorción sobre materiales inorgánicos y biomateriales [12-16]. De las tres alternativas consideradas, esta última es la de más bajo rendimiento. Las referencias temáticas citadas permiten afirmar que una cuestión todavía no resuelta de modo definitivo es el reciclado del agente curtiente. Si demostramos la factibilidad de dicha propuesta, se requeriría un menor procesamiento de minerales con el lógico beneficio ambiental que ello representa. Conforme a estos hechos, se decidió implementar un procedimiento que permita lograr el mayor aprovechamiento posible del cromo(III) removido.

EXPERIMENTAL

El efluente líquido fue colectado de un curtido industrial típico efectuado con sulfato de cromo(III) 33% básico. En una primera etapa se eliminaron grasas y materiales proteínicos por tamizado (abertura de las tres mallas metálicas empleadas: 840 (N° 20), 74 (N° 200) y 45 (N° 325) μm) seguido de ultrafiltración con el equipo Pellicon Casette bajo una presión transmembrana de 1,5 atm (membrana de polisulfona PTHK00005 de peso molecular nominal límite 100.000). La composición química del líquido residual de curtido resultante se muestra en la Tabla 1.

Las precipitaciones se hicieron con carbonato de sodio anhidro puro, a temperatura ambiente 24 ± 1 °C, en frascos cerrados mientras la suspensión se agitaba en forma moderada (90-120 rpm). En cada experiencia se utilizaron 0,75 L de efluente y el peso estequiométrico del álcali (2,2703 g). Al concluirse el tiempo de reacción (24, 48, 72, 96 y 120 h), se separó el líquido sobrenadante pasándolo por un papel de filtro Schleicher & Schuell banda roja, cuyo rango de retención es 2-4 μm. Las soluciones obtenidas se dejaron en reposo durante un período mínimo de 10 días y antes de realizar el análisis químico fueron filtradas nuevamente. A su vez, los precipitados se secaron a temperatura ambiente para su posterior disolución.

Los ensayos de ósmosis inversa se llevaron a cabo usando el módulo Osmo-Econopure 19E-HR500 y membrana semipermeable de poliamida de arrollamiento en espiral Osmo-192 HR con un área activa de 1,5 m^2. Se dispusieron 24 L del líquido residual de curtido sin sólidos suspendidos (exigua concentración de las citadas sustancias orgánicas), operándose la unidad con una presión transmembrana máxima de 15 atm. El tratamiento finalizó cuando se lograron 16 L de permeado y 8 L de concentrado.

Las adsorciones se efectuaron sobre carbón activado, cargando dentro del reactor primero el efluente a descontaminar y luego lentamente el sólido (relación adsorbente:solución acuosa = 30 g L^{-1}). Las suspensiones fueron mantenidas a 40 ± 1 °C y agitadas (90-120 rpm) durante 60 min. Transcurrido ese período, el carbón activado fue extraído con papel de filtro S & S banda roja, se lavó con abundante agua destilada y posteriormente fue secado a temperatura ambiente para su valoración.

Tabla 1. Análisis químico del líquido residual de curtido con bajo contenido de grasas y proteínas desnaturalizadas

Componente	cromo(III)	sodio	cloruro	sulfato	grasas	proteínas	pH
g L^{-1}	0,99	12,51	11,20	11,53	0,18	0,26	3,63

Los procedimientos para la reutilización del cromo(III) removido mediante los tres procesos estudiados se implementaron de modo que tuvieran la mayor similitud posible entre sí. El precipitado alcalino se disolvió con ácido sulfúrico 0,5 M, a 70 °C, durante 60 min. Para asegurar la recuperación cuantitativa del agente curtiente fue agregado un exceso del 33% sobre el volumen teórico. Luego de completar la lixiviación se separó el residuo con papel de filtro S & S banda roja. La elución de la fase adsorbida se realizó con ácido sulfúrico 0,5 M, a 70 °C, tiempo de contacto 1 h y relación sólido:solución eluyente = 200 g L^{-1} [16]. El concentrado producido por ósmosis inversa se utilizó como diluyente de la sal comercial sulfato de cromo(III) 33% básico para preparar un licor curtiente.

Los análisis químicos fueron llevados a cabo por volumetría, gravimetría y absorción/emisión atómica con un instrumento Jarell Ash [17]. Las grasas se determinaron por medio de extracción con diclorometano y posterior evaporación del solvente a 40-60 °C hasta conseguir un peso constante. La evaluación del nitrógeno orgánico se hizo por el método de Kjeldahl (NOK) y la cantidad de proteínas fue calculada multiplicando NOK por el factor de proporcionalidad 5,51 [18]. Las especies de cromo(III) en solución fueron identificadas por sus espectros de absorción en el rango visible (300-700 nm) con un equipo Hewlett Packard 8453. El pH fue medido con un pH-metro Radiometer PHM201 y electrodo combinado pHC3005.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descontaminación del líquido residual de curtido

Las grasas y los materiales proteínicos (trozos de piel muy pequeños y proteínas desnaturalizadas) se desprenden durante la etapa de fijación del agente curtiente a la piel. Se comprobó que dichas sustancias orgánicas coprecipitan con el cromo(III), afectan el funcionamiento de la membrana semipermeable y bloquean los sitios activos del adsorbente. Por tales motivos, se consideró conveniente eliminarlas. La muestra original tenía 1,41 g L^{-1} de grasas y 1,69 g L^{-1} de materiales proteínicos. Después del tamizado ambos contenidos se redujeron a 0,65 g L^{-1} y 0,61 g L^{-1}, respectivamente. El pre-tratamiento fue completado mediante ultrafiltración (Tabla 1).

Cantidades apreciables de sodio, cloruro y sulfato son encontradas en el líquido residual de curtido. Estos iones provocan diversos efectos perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente, de modo que también deben ser separados. Actualmente, la limpieza del efluente líquido se efectúa en nuestro medio por precipitación alcalina con el único objetivo de extraer cromo(III) y en muy pocas ocasiones se llega a plasmar su recuperación. El rendimiento de los procesos aquí empleados se determinó en función del rechazo R (%) de los componentes mayoritarios removidos y su valor se calculó con la expresión

$$R_i\,(\%) = \left(1 - \frac{Cp_i}{Clr_i}\right)100 \qquad (1)$$

donde Cp_i (g L^{-1}) es la concentración del soluto *i* en el líquido filtrado/permeado (producto) y Clr_i (g L^{-1}) es la concentración de la misma especie en el líquido residual de curtido. En la Tabla 2 se indican los resultados obtenidos. A modo de síntesis puede decirse que la técnica de uso más frecuente en la industria local es efectiva sólo para el agente curtiente. El menor contenido de Cr^{3+} en el líquido sobrenadante (120 h de reacción, cantidad estequiométrica de álcali, temperatura ambiente, filtración, 10 días de reposo y nueva filtación) fue 1,8 mg L^{-1}.

Tabla 2. Composición química de los líquidos filtrados (precipitación alcalina–adsorción) y del permeado (ósmosis inversa), indicándose para cada catión/anión su rechazo

	Precipitación alcalina		Ósmosis inversa		Adsorción	
Componente	g L^{-1}	R (%)	g L^{-1}	R (%)	g L^{-1}	R (%)
cromo(III)	0,0018	99,82	0,0016	99,84	0,0045	99,55
sulfato	10,95	5,03	0,70	93,93	10,60	8,07
sodio	11,12	11,11	4,34	65,31	12,23	2,24
cloruro	10,67	4,73	6,55	41,52	10,98	1,96

La membrana semipermeable es una barrera selectiva al transporte de materia, impide el pasaje de soluto pero no el del solvente. La fracción que la atraviesa está constituida básicamente por agua con muy poca cantidad de sales disueltas (permeado). Por el contrario, la parte retenida tiene una concentración muy alta de sodio, cloruro, sulfato y cromo(III) (concentrado). La composición química del permeado y los respectivos rechazos se muestran en la Tabla 2.

La adsorción es un proceso capaz de separar cromo(III) del líquido residual de curtido por medio de sólidos capaces de desarrollar fuerzas superficiales de atracción. Las mismas se originan a partir de sustituciones isomórficas y disposición de grupos funcionales sobre superficies/bordes de las partículas. De acuerdo con estos mecanismos resulta una carga eléctrica que puede atraer o repeler las especies iónicas disueltas en medio acuoso. El carbón activado es utilizado con bastante frecuencia para remover sustancias tóxicas de efluentes líquidos industriales, por esta razón fue elegido para efectuar el presente estudio. Se determinó que a 40 °C su capacidad máxima es 40,2 mg de Cr^{3+} por g de adsorbente y la menor concentración del catión en una solución de equilibrio alcanza a 3,91 mg L^{-1} [16]. Dicho valor casi duplica al de referencia y el efluente todavía no se puede descargar al medio ambiente. En el ensayo realizado con ~20% más de carbón activado (30 g L^{-1} en lugar de 24,63 g L^{-1} requeridos por estequiometría), se logró una concentración de cromo(III) (4,5 mg L^{-1}) superior a la esperada. Esta diferencia fue atribuida al hecho de haber trabajado en forma discontinua (reactor tipo *batch*) y no utilizarse una columna en contracorriente [19].

Conforme al límite máximo fijado para el vertido de cromo total (2,0 mg L^{-1}), precipitación alcalina y ósmosis inversa son convenientes para el tratamiento del líquido residual de curtido. Si se toman en cuenta los restantes constituyentes del efluente, el mayor rendimiento fue con tecnología de membrana. Una cuestión muy poco considerada en adsorción se refiere a sí la elución del agente curtiente es suficiente para regenerar el adsorbente. Se advirtió que el carbón activado requiere una etapa posterior de activación [16], evidenciando este procedimiento de descontaminación las mayores desventajas operativas.

Recuperación del cromo(III) removido

El estado de agregación del cromo(III) separado fue fase sólida homogénea para precipitación alcalina, fase líquida homogénea para ósmosis inversa y fase sólida heterogénea para adsorción. La lixiviación del precipitado alcalino (24,99% p/p de Cr^{3+}) y la elución del catión adsorbido (32,8 mg de Cr^{3+} por g de carbón activado) se efectuaron con ácido sulfúrico. A fin de facilitar la comparación, ambas soluciones se diluyeron hasta igualar el contenido de cromo(III) del concentrado (Tabla 3). La presencia de sulfato, sodio y cloruro en el concentrado (55,44 g L^{-1}) superó ~7 veces al lixiviado del precipitado alcalino (8,01 g L^{-1}) y casi cuadruplicó a la solución de desorción (14,44 g L^{-1}). Contrariamente a lo observado en la etapa anterior, el reciclado del agente curtiente recuperado por tecnología de membrana es la vía más dificultosa.

Tabla 3. Análisis químico de las soluciones resultantes de cada proceso: redisolución del precipitado alcalino, concentrado de ósmosis inversa y desorción del carbón activado

	Redisolución	Concentrado	Desorción
Componente	g L^{-1}	g L^{-1}	g L^{-1}
cromo(III)	2,11	2,09	2,08
sulfato	7,78	22,96	14,31
sodio	0,09	19,53	0,05
cloruro	0,14	12,95	0,08

La espectrofotometría de absorción en la región visible de radiación electromagnética es la técnica empleada para diferenciar la estructura molecular de las especies solubles portadoras de cromo(III). El análisis se basa en que los electrones 3d ($1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^3$) pasan de sus 3 orbitales del subconjunto de menor energía a otros de mayor energía. Mediante cálculos teóricos fue establecido que las mencionadas transiciones d–d deberían ocurrir a: 575 nm (~207 kJ mol^{-1}), 403 nm (~296 kJ mol^{-1}) y 270 nm (~442 kJ mol^{-1}) [20]. El último de estos picos corresponde a la región ultravioleta. En la Figura 1 se exhiben los espectros de absorción de las tres soluciones que contienen el cromo(III) recuperado, del líquido residual de curtido (0,99 g L^{-1} del catión) y de sulfato de cromo(III) (1,03 g L^{-1} del catión).
Las bandas de absorción del concentrado se desplazaron mínimamente con relación al efluente líquido, este comportamiento sugiere que la conformación del ión complejo de

cromo(III) tuvo cambios mínimos después de usarse la membrana semipermeable. Por su parte, los espectros de absorción correspondientes al lixiviado del precipitado alcalino y al eluido del adsorbente fueron similares al de sulfato de cromo(III). Si bien no es posible afirmar que se forma $Cr_2(SO_4)_3$, los arreglos moleculares de las nuevas sustancias portadoras del catión son diferentes al inicial del dímero.

El concentrado tiene el mayor contenido de impurezas y aparece como la muestra más desfavorable para implementar nuestra propuesta. Por este motivo fue elegida para la preparación de un licor que posibilite el curtido de piel vacuna (75-85 g L^{-1} del catión y pH= 1,75-1,95). La sal sólida comercial sulfato de cromo(III) 33% básico fue disuelta, alternativamente, con el concentrado y con agua. Mediante el agregado de carbonato de sodio se ajustó el pH a 2,8-4,1, condición requerida para lograr una mayor fijación del cromo(III) a los grupos funcionales ácidos de la piel. La calidad de los materiales elaborados con los dos diluyentes se estableció a partir de la temperatura de encogimiento hidrotérmico (Ts). La Ts es una medida de la estabilidad estructural del cuero en estado húmedo y su valor permite determinar la eficacia del agente curtiente. Los valores promedios de Ts fueron: 62±2 °C para la piel vacuna original, 99±2 °C para los cueros producidos con la sal sólida comercial +concentrado y 99±2 °C para los cueros producidos con la sal sólida comercial+agua.

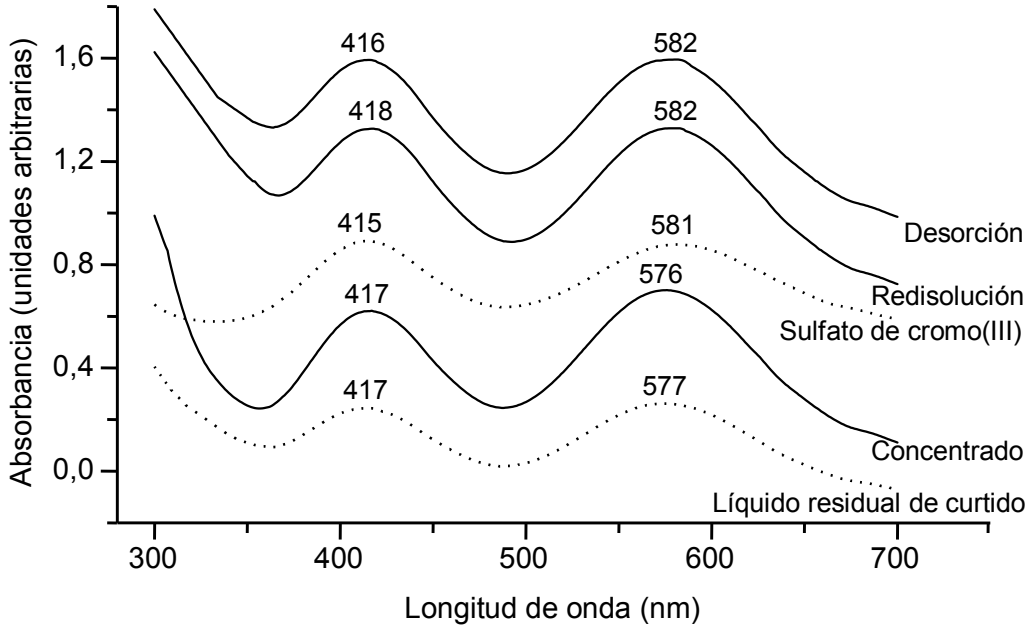


Figura 1. Espectros de absorción de las soluciones que contienen el cromo(III) recuperado (redisolución del precipitado alcalino, elución del carbón activado, concentrado de ósmosis inversa), del líquido residual de curtido y de sulfato de cromo(III)

CONCLUSIONES

Se estableció la conveniencia de remover las grasas y sustancias proteínicas del líquido residual de curtido. Este pre-tratamiento mejoró el rendimiento de los procesos empleados y la pureza del cromo(III) obtenido con esta metodología.

Bajo las condiciones óptimas determinadas en cada caso, los contenidos de Cr^{3+} fueron 1,8 mg L^{-1} para el líquido sobrenadante (precipitación alcalina), 1,6 mg L^{-1} para el permeado (ósmosis inversa) y 4,5 mg L^{-1} para la solución de equilibrio (adsorción).

Se comprobó que con ácido sulfúrico 0,5 M fue redisuelto el cromo(III) contenido en el precipitado alcalino y el retenido sobre carbón activado. En cuanto al concentrado, fue usado como solvente del sulfato de cromo(III) 33% básico comercializado en estado sólido. Con el licor así elaborado se procedió al curtido de piel vacuna, obteniéndose resultados muy satisfactorios.

La elección de la ruta que resulta más propicia para reutilizar el cromo(III) surge de considerar el procedimiento en su totalidad, o sea la suma de las etapas de separación y recuperación.

REFERENCIAS

1. A. Cassano, L. Della Pietra, E. Drioli. Integrated membrane process for the recovery of chromium salts from tannery effluents. Industrial & Engineering Chemistry Research, 46, 6825-6830, 2007.
2. Z.-R. Guo, G. Zhang, J. Fang, X. Dou. Enhanced chromium recovery from tanning wastewater. Journal of Cleaner Production, 14, 75-79, 2006.
3. L.M. Ortega, R. Lebrun, I.M. Noël, R. Hausler. Application of nanofiltration in the recovery of chromium (III) from tannery effluents. Separation and Purification Technology, 44, 45-52, 2005.
4. J. Ludvik, J. Buljan. Chrome management in the tanyard. United Nations Industrial Development Organization, Vienna, 2000.
5. E. Heidemann. Fundamentals of leather manufacture. Eduard Roether KG, Darmstadt, 1993.
6. T. Thorstensen. Pollution prevention and control for small tanneries. Journal of American Leather Chemists Association, 92, 245-255, 1997.
7. A. Püntener. The ecological challenge of producing leather. Journal of American Leather Chemists Association, 90, 206-219, 1995.
8. R.J. Watts. Hazardous wastes: sources, pathways, receptors. John Wiley and Sons, New York, 1997.
9. J. Harte, C. Holdren, R. Schneider, C. Shirley. Guía de las sustancias contaminantes. Editorial Grijalbo, México, 1995.
10. Committee on Biologic Effects of Atmospheric Pollutants. Chromium. National Academy of Sciences, Washington D.C., 1974.
11. B.H. Hintermeyer, R.A. Curvale, A. Pérez Padilla, E.L. Tavani. Comparative analysis on efficiency of reverse osmosis and alkaline precipitation to remove hazardous substances contained in a tanning wastewater. Journal of Scientific & Industrial Research. 71, 79-84, 2012.
12. B.H. Hintermeyer, N.A. Lacour, A. Pérez Padilla, E.L. Tavani. Separation of the chromium(III) present in a tanning wastewater by means of precipitation, reverse osmosis and adsorption. Latin American Applied Research, 38, 63-71, 2008.
13. S. Srivastava, I.S. Thakur. Isolation and process parameter optimization of *Aspergillus* sp. for removal of chromium from tannery effluent. Bioresource Technology, 97, 1167-1173, 2006.
14. S. Sharma, A. Adholeya. Detoxification and accumulation of chromium from tannery effluent and spent chrome effluent by *Paecilomyces lilacinus* fungi. International Biodeterioration & Biodegradation, 65, 309-317, 2011.
15. C. Covarrubias, R. García, R. Arriagada, J. Yánez, M.T. Garland. Cr(III) exchange on zeolites obtained from kaolin and natural mordenite. Microporous and Mesoporous Materials, 88, 220-231, 2006.
16. B.H. Hintermeyer, E.L. Tavani. Adsorción sobre carbón activado como una ruta alternativa para recuperar cromo(III) del líquido residual de curtido. Libro de las XI Jornadas Argentinas de Tratamiento de Minerales, 319-324, 2012. Neuquén, 24/26-10-2012.
17. A.E. Greenberg, L.S. Clesceri, A.D. Eaton (Editors). Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th ed., American Public Health Association, Washington D.C., 1992.
18. International Union of Leather Technologists and Chemists Societies. Determination of nitrogen and hide substance (IUC 10)/ Determination of matter soluble in dichloromethane and free fatty acid content (IUC 4). Society of Leather Technologists and Chemists, 1996.
19. M.D. LeVan, G. Carta, Adsorption and ion exchange, Sección 16 en Perry´s Chemical Engineers´ Handbook, 8th ed., D.W. Green (Editor), Mc Graw Hill, New York, 2008.
20. F.A. Cotton, G. Wilkinson, C.A. Murillo, M. Bochmann. Advanced Inorganic Chemistry, 6th ed., John Wiley and Sons, New York, 1999.



Mecánica

SOLDADURA POR FRICCIÓN Y AGITACIÓN DE PLACAS DE ALUMINIO 5086.

Autores: Danilo A. Vucetich; Juan L. Lacoste; Lucas E. Feloy; Alfredo C. González.

Lugar de trabajo: Laboratorio de Investigaciones de Metalurgias Físicas (LIMF), Departamento de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, danilo.vucetich@ing.unlp.edu.ar

Palabras Clave: soldadura, batido, aluminio

Resumen:

A finales de 1991 fue concebido y desarrollado por The Welding Institute (TWI) un nuevo método de soldadura, el cual se denominó Friction Stir Welding (FSW). El proceso de soldadura por fricción agitación o FSW se realiza con una herramienta cilíndrica compuesta de dos cuerpos, el hombro y la espiga, la cual gira a un determinado número de revoluciones. Esta herramienta es introducida lentamente por una fuerza axial, entre la línea de unión de las dos chapas o placas a unir, las cuales se encuentran dispuestas a tope una con otra.

El calor para la soldadura es generado por el contacto entre el hombro de la herramienta con la superficie de las chapas a soldar y la deformación del material promovida por el pin de la herramienta provoca un ablandamiento del material, sin llegar a la fusión, favoreciendo la deformación del mismo. El movimiento de rotación y avance de la herramienta promueve un flujo y mezclado del material desde un borde hacia el otro de la soldadura, lo cual conduce a la unión, en estado sólido, entre las dos piezas. El diseño de la herramienta juega un importante rol en la calidad final de la soldadura, como así también, en la velocidad de soldadura.

La disponibilidad de una fresa de tres ejes con control numérico en el Departamento de Mecánica, permite controlar con detalle los parámetros del proceso.

Los estudios se iniciaron sobre placas de aluminio de aleación AA5086, empleado distintas formas y tamaño de herramientas, como así también, los parámetros de movimiento para cada geometría de herramienta, a partir de ello se han conseguido soldaduras morfológicamente sanas que permitieron realizar estudios tanto macroscópicos como microscópicos de la zona del material afectada a la soldadura.

El análisis de los resultados obtenidos de las soldaduras, permite proyectar el estudio del proceso hacia nuevos horizontes, tanto de materiales a soldar como de diseños de herramientas.

INTRODUCCIÓN.

A finales de 1991 fue concebido y desarrollado por The Welding Institute (TWI) un nuevo método de soldadura, el cual se denominó Friction Stir Welding (FSW). Este nuevo proceso demostró a lo largo de estos últimos años tener un gran potencial para la realización de cualquier tipo de uniones, en especial para aleaciones de Al. En el proceso de FSW una herramienta cilíndrica compuesta de dos partes, el hombro y el pin, la cual gira a un determinado número de revoluciones, es introducida lentamente por una fuerza axial, entre la línea de unión de las dos chapas o placas a unir, las cuales se encuentran dispuestas a tope una con otra. En la *Figura 1* se muestra el esquema de funcionamiento de tal dispositivo.

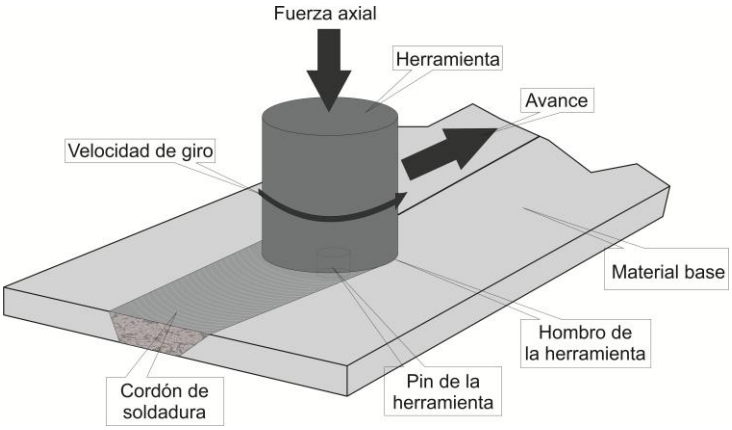


Figura 1: Esquema del principio de funcionamiento del proceso de soldadura FSW.

El calor para realizar la unión es generado por dos fenómenos, uno es el roce entre la herramienta, principalmente el hombro, y el material, y el otro es el roce interno del material debido a la deformación plástica que impone el pin. Este calor provoca un ablandamiento del material, sin llegar a la fusión, favoreciendo la deformación del mismo. El movimiento de rotación y avance de la herramienta promueve un flujo y mezclado del material desde un borde hacia el otro de la soldadura, lo cual conduce a la unión, en estado sólido, entre las dos piezas.

Entre las principales variables a considerar en el proceso de soldadura FSW, las cuales son fácilmente controladas, se destacan:

- Velocidad de rotación de la herramienta.
- Fuerza axial que se aplica sobre la herramienta.
- Velocidad de avance de la herramienta.

El diseño de la herramienta juega un importante rol en la calidad final de la soldadura, como así también, en la velocidad de soldadura. Dicho herramental debe ser fabricado con un material de suficiente resistencia al desgaste y a las temperaturas de trabajo, además de poseer una buena resistencia a la oxidación y baja conductividad térmica a fin de minimizar las pérdidas.

Las ventajas del proceso FSW resultan del hecho que la soldadura toma lugar en fase sólida, a temperaturas por debajo del punto de fusión de los materiales a unir. Por lo cual, resulta posible la unión de materiales que son difíciles de soldar por proceso de fusión convencional, tal el caso de aleaciones de aluminio de las serie 2XXX y 7XXX.

Los primeros intentos de clasificar las microestructuras presentes en la zona de la soldadura fueron realizados por P L Threadgill (Boletín de marzo de 1997 del TWI) sobre la base de la información disponible a partir de las soldaduras de aleaciones de aluminio. Si bien tal esquema no puede ser ampliado a la mayoría de los materiales, el mismo ha sido discutido en diversos ámbitos académico e industriales y ha sido aceptado provisoriamente.

El método de clasificación de la microestructura, divide a la zona de soldadura dentro de distintas regiones:

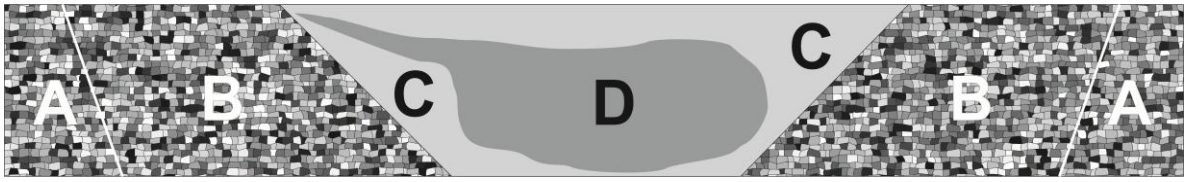


Figura 2: Clasificación de las estructuras en la soldadura FSW.

A. Material no afectado o material base.

B. Zona afectada por el calor (ZAC).

C. Zona termomecánicamente afectada (ZTMA).

D. Zona de soldadura por Batido (ZSB, zona de flujo de material detrás del recorrido del pin)

DESARROLLO EXPERIMENTAL.

Herramientas utilizadas para las experiencias.

El diseño de las herramientas a utilizar fue basado en la bibliografía existente. El parámetro que marca el inicio del proceso de diseño de la herramienta para la soldadura es el pin. La longitud del pin es la única magnitud que no se manifiesta como una variable controlable en cuanto al calor aportado, sino que está ligada al espesor de las chapas a soldar y al ángulo de inclinación que se pretenda en la herramienta para realizar la soldadura. Las chapas disponibles para realizar las soldaduras tienen un espesor de 5 mm y se pretende realizar las experiencias aplicando un ángulo de inclinación de la herramienta máximo de 3°. Con lo cual, la longitud del pin debe ser de 4,5 mm. Para aprovechar al máximo toda la longitud del mismo, se optó por una forma cilíndrica y la base del hombro plana.

El diámetro del pin debe ser, por un lado, lo suficientemente grande como para soportar el esfuerzo transversal en el avance de la herramienta por el material sin deformación o roturas, y por otro, lo suficientemente chico como para permitir la consolidación del material detrás de la herramienta antes de que el material se enfríe.

Para la aleación empleada, se recomienda una relación hombro/pin de 2,7 a 3,3, con un diámetro de hombro entre 13 y 20 mm. Con estas premisas se diseñaron tres herramientas fabricadas en acero H13 con un tratamiento térmico de temple y revenido para lograr una dureza de 35 – 40 HRc. En la *Figura 3* se muestra una fotografía de tales herramientas.

Soldaduras.

La primera tanda de experiencias realizadas se programó para soldar con la herramienta de 13 mm de hombro, con una velocidad de giro entre los 700 y los 850 RPM, mientras que las velocidades de avance de la herramienta se definieron en 30 mm/min, la *Figura 4* muestra una macrografía obtenida de esta serie.

La macrografía de la soldadura muestra su sección transversal libre de defectos y presenta claramente las características indicadas en la *Figura 2*. La zona termomecánicamente afectada adopta la forma cónica, llegando también hasta el borde inferior de las chapas. La ZSB, es de un tamaño considerablemente grande y se encuentra

ubicada en el camino del pin. Su forma también corresponde a la propuesta por la bibliografía de referencia.



Figura 3: Fotografía de las herramientas de soldadura luego del tratamiento térmico de temple y revenido.

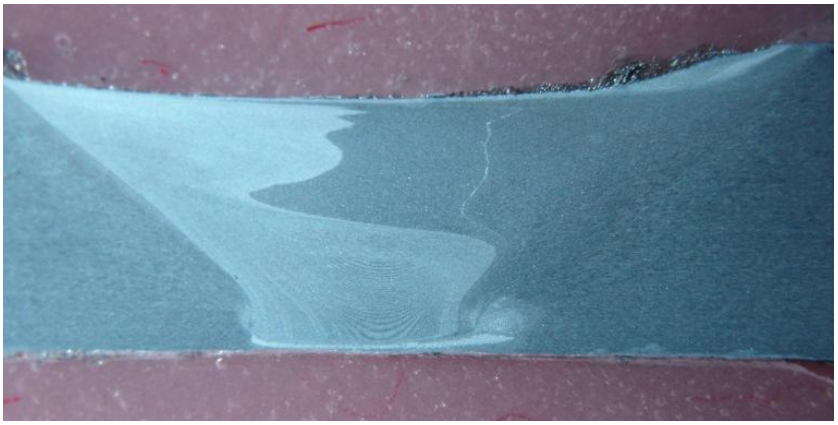


Figura 4: Macrografía de soldadura obtenida con una velocidad de giro de 750 RPM y una velocidad de avance de 30 mm/min

A fin estudiar los cambios microestructurales en la zona térmicamente afectada, se realizaron observaciones mediante microscopía óptica de dicha zona.

Para la preparación de la probeta, se cortó la soldadura de forma transversal, la misma fue incluida en un polímero para ser manipulada adecuadamente. Paso seguido se procedió al desbaste en lijas al agua de distintas granulometrías hasta llegar a la de 1500. Para finalizar su pulido mediante el empleo de paños con pasta de diamante de 6 µm y de 1 µm.

Posteriormente, la probeta fue atacada con el reactivo de Keller, compuesto por ácido clorhídrico 20 ml, ácido nítrico 20 ml, ácido fluorhídrico 5 ml, agua destilada 20 ml. La observación en el microscopio óptico con un aumento de 500x bajo luz polarizada es mostrada en la *Figura 5*.

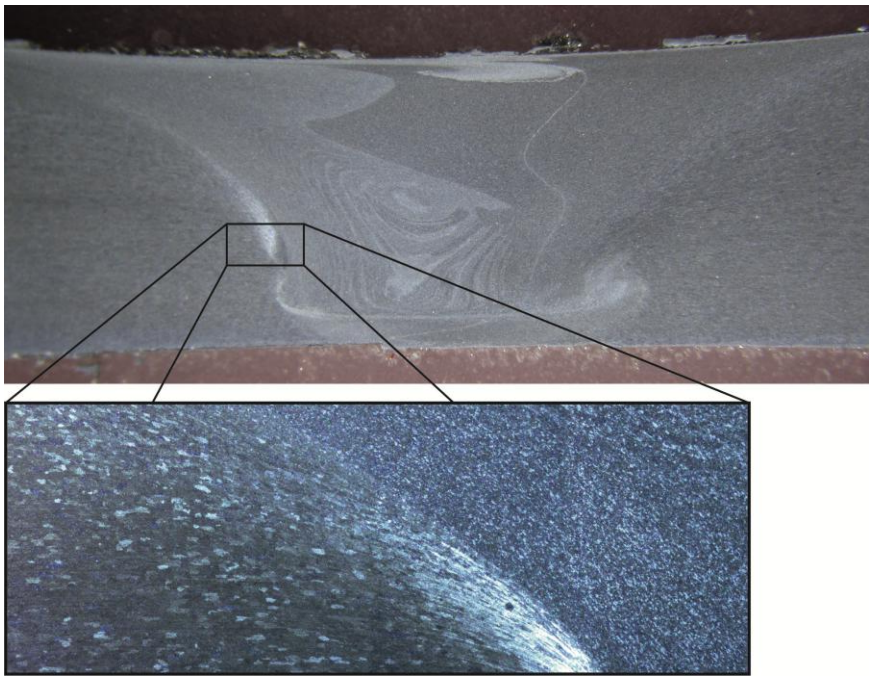


Figura 5: Microscopía obtenida de una probeta de la serie soldada

La zona de soldadura por batido (ZSB), a la izquierda de la micrografía, se encuentra claramente diferenciada por el reducido tamaño de grano. La causa de este tamaño en el grano de esta zona se podría considerar como consecuencia de dos eventos simultáneos que se presentan en esta zona de la soldadura, el primero se asocia a la elevada deformación plástica que se genera en el material debido al flujo plástico que el mismo es sometido, situación ésta que promueve una alta velocidad de nucleación de los granos recristalizados. La segunda, se relaciona con que la temperatura alcanzada en dicha zona resulta relativamente baja con lo cual la velocidad de crecimiento de los núcleos resulta baja. Esta combinación de efectos resulta en el pequeño tamaño de grano resultante en tal zona de la soldadura.

La ZTMA se puede distinguir en la transición desde la región donde el grano es imperceptible, hasta la región donde el mismo se hace regular. A partir de aquí se encuentra la zona térmicamente afectada. Como se puede apreciar en la figura, no se observa un crecimiento de grano que pueda considerarse.

CONCLUSIONES

Luego de varias experiencias realizadas, se puede asegurar que el equipo disponible para las soldaduras es adecuado, tanto en la capacidad de operación, como el la potencia disponible en sus motores. Todo indica que el equipo no sólo es capaz de soldar la aleación en cuestión, sino que también, permite pensar en soldar aleaciones de aluminio de mayor resistencia.

Las soldaduras realizadas presentan morfologías sanas, tanto en la superficie como en sección transversal, mostrando las características típicas desarrolladas en la bibliografía sobre el tema. Las micrografías obtenidas de la sección transversal de la soldadura muestran, a las claras, las distintas zonas que se despliegan en la misma. Esto quiere decir que los parámetros de soldadura utilizados se encuentran dentro del rango operativo para esta aleación. Además, la herramienta diseñada es capaz de cumplir con lo requerido.

Si bien la aleación de aluminio 5086 se presenta como relativamente fácil de soldar por este método, todos los resultados, los datos obtenidos y la experiencia ganada en este trabajo permiten pensar en soldar aleaciones de aluminio más resistentes como las de la serie 2XXX y 7XXX .

Las tareas pendientes a realizar en investigaciones futuras son las de definir un rango operativo para la soldadura de la aleación AA5086 y aleaciones más resistentes como la AA2219, encontrar un modelo matemático que permita relacionar estos parámetros con los del material y así poder determinar fácilmente el rango operativo, realizar mediciones de temperatura al material soldado para poder determinar el ciclo térmico que sufre.

BIBLIOGRAFIA

1- S.T. Amancio-Filho, S. Sheikhi, J.F. dos Santos, C. Bolfarini**.** Preliminary study on the microstructure and mechanical properties of dissimilar friction stir welds in aircraft aluminium alloys 2024-T351 and 6056-T4. Journal of materials processing technology, 206, (2008) 132–142.
2- P. Biswas and N. R. Mandal. Effect of tool geometries on Thermal history of FSW of AA1100. Welding Jounal, Vol. 90, July 2011. Pp 129s-135s.
3- S. J. Vijay and N. Murugan. Influence of tool pin profile on the metallurgical and mechanical properties of friction stir welded Al-10% TiB_2 metal matrix composite. Materials and Design, Vol. 31, 2010.Pp 3585-3589.
4- M. J. Greitmann and P. Deimel, Frition Stir Welding- Innovative Technology for Joining Aluminium Components. Otto-Graf-Journal, Volume 16, 2005.
5- Khalid Rafi. H, Janaki Ram, G.D, Phanikumar, G, Prasad Rao, K. Microstructure and tensile properties of friction welded aluminium alloy AA7075-T6. Materials Design 31 (2010) 2375-2380.
6- D. Burford, C. Widener and B. Tweedy. Advances in Friction Stir Welding for aerospace applications. Airframer, Vol 14, December 2006. Pp 3-7.
7- L.E. Murr, et al., A comparative study of friction-stir welding of aluminium alloys. Aluminium Transactions. 1 (1) 141-154, 1999.
8- Bray, J.W. Metals Handbook Vol.2, p146, ASM int. USA, 1990.
9- Rooy, E L. Aluminum and Aluminum Alloys. Vol.15, p1622, ASM int. USA, 1992.
10- ASM Specialty Handbook, Aluminium and Aluminium Alloys, American Society for Metals, 1996.
11- Welding Handbook, Volume 3 Welding Processes, Part 2, American Welding Society, 2007.
12- ASM Metals HandBook Volume 02 – Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials, American Society for Metals, 1992

EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO TÉRMICO DE HOMOGENEIZADO A TRAVÉS DE ENSAYOS DE IMPACTO

Lambertucci Luis A, Maffia Ernesto G. (*),González Alfredo (**)

LIMF (laboratorio de Investigaciones en Metalurgia Física), Departamento de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, (UNLP), 1900, BA, Argentina

(**) Facultad de Ingeniería de La Plata (UNLP), Conicet, BA, Argentina

(*). Email: ernesto.maffia@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: tratamiento térmico, homogeneizado, charpy

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existe una gran demanda de materiales de alta conductividad térmica y eléctrica conjuntamente con elevada resistencia mecánica para aplicaciones eléctricas y electrónicas. Si bien, las aleaciones cobre-berilio alcanzan a cubrir estos requisitos, también presentan algunos inconvenientes, como ser: un alto costo y un fuerte poder contaminante durante el proceso de fabricación. Por estas razones han surgido algunas alternativas de reemplazo, siendo una de la más promisoria la aleación *CuNiSiCr*. Si bien es un material que se fabrica en otros países desde hace tiempo, hace pocos años ha comenzado a desarrollarse en el país por una PYMES en sustitución de importaciones, lo cual ubica a esta iniciativa en una franca actitud de apoyo al desarrollo de la industria nacional.

La mayoría de las aplicaciones de la aleación CuNiSiCr son objetos con formas de placas o laminas finas y para conseguir estas formas se deben aplicar grandes deformaciones plásticas al material. Surge entonces la necesidad de lograr un estado de máxima ductilidad a través del tratamiento térmico de homogeneizado y encontrar algún ensayo para evaluar la ductilidad del material antes de someterlo a procesos de conformado. El homogeneizado es un tratamiento térmico que se realiza a altas temperaturas durante prolongados periodos de tiempo con la finalidad de eliminar o disminuir la segregación dendrítica en los productos fundidos que solidifican fuera de equilibrio. El tiempo y temperatura requeridos para homogeneizar un producto, varía con el tipo de aleación, con el tamaño de grano de la pieza fundida y con el grado deseable de homogeneizado. Los valores típicos de tiempo y temperatura para la mayoría de las aleaciones base cobre varían entre 3 y 10 hs y las temperaturas están siempre por encima del rango de temperaturas de recocido, aproximadamente 50°C por encima de la temperatura de solvus [2]. Existe un parámetro para evaluar la capacidad de procesamiento de un material, y este parámetro se denomina trabajabilidad [3]. Diferentes investigadores han trabajado en la aplicación de tratamientos térmicos de homogeneizado con la finalidad de aumentar la trabajabilidad de materiales poco dúctiles. Según estudios realizados sobre la aleación CuNiSiCr, la mejor trabajabilidad se obtiene con homogeneizados a 850°C con tiempo de mantención de 6 horas. Esta mejora en la ductilidad está asociada a la presencia de una microestructura conteniendo una escasa cantidad de precipitados en limite de grano, de manera discontinua y precipitados en el interior de los granos de forma redondeada lo que conlleva a una disminución del efecto entalla ante la aplicación de cargas externas [4].

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Las muestras se preparan en fábrica a partir de un lingote de CuNiSiCr colado en coquilla refrigerada, usando para la fusión un horno de fosa con un crisol de grafito Para la confección de las muestras se corta el lingote en dos partes y estas son homogeneizadas durante 2 Hs a 850°C (denominada “condición A”) y 5 Hs a 850°C (denominada “condición B”) y después forjadas en caliente a 1000°C. Del proceso de

forja surgen dos barras de 15x15x500 mm. La composición de la aleación CuNiSiCr, obtenida mediante un análisis químico vía húmeda dice: 2,03%Ni, 0,1% Cr, y 0.8% de Si.

La única variable que se genera en el todo el proceso de transformación es el tiempo de homogeneizado, ya que las demás condiciones (temperatura de homogeneizado, temperatura y tiempo de forjado y temperatura y tiempo de envejecido) se mantienen constantes. En base a las muestras obtenidas, se mecanizan las probetas para el ensayo de impacto método Charpy. Las dimensiones utilizadas son las especificadas en la norma ASTM E23 para probetas tipo A. El ensayo de impacto es realizado en una maquina pendular para ensayos de choque, con una energía máxima de péndulo de 300 joule. Para realizar el análisis fractográfico de las superficies de fracturas se utiliza un microscopio de barrido electrónico (ESEM) con el objeto de observar rasgos que nos permitan caracterizar el tipo de fractura producido durante el ensayo. También se utiliza un microscopio óptico (Leica) para la observación de las microestructuras resultantes de las diferentes condiciones de homogeneizado. La preparación metalográfica se lleva a cabo usando de técnicas metalográficas convencionales.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

- Fractografía de las superficies de fractura.

Este es un tipo de examen microestructural relativamente nuevo, a partir del cual se puede obtener una gran cantidad de información mediante la observación de las superficies de fractura a aumentos relativamente elevados. El aspecto de la fractura indica, en modo cualitativo, la energía absorbida en la fractura. Las técnicas fractográficas electrónicas comenzaron a utilizarse poco después del desarrollo de los primeros microscopios electrónicos por transmisión (1933-40) y actualmente constituyen una herramienta de análisis muy empleada en el análisis de falla [14].

A seguir se presentan en la figura 4, la micrografía del material en condición de homogeneizado a 2 hs (condición A). En la misma se pueden observar pequeñas cavidades (también denominados hoyuelos) que son la resultante de la coalescencia de microcavidades iniciadas alrededor de inclusiones o discontinuidades. Estas microcavidades originan una gran concentración de tensiones y un aumento local de la deformación plástica. Según M. Ipohorski [14], tanto el diámetro como la profundidad de la cavidad dependen del número de sitios donde se puedan iniciar las microcavidades originales, y por supuesto de la plasticidad de la matriz. Podemos describir como ejemplo a una aleación que contenga un gran número de partículas dispersas. Aquí, la superficie de fractura presentará una mayor densidad de cavidades que un metal puro sin aleantes. En este último caso existen menos sitios de nucleación de microcavidades y en la superficie de fractura se observaran entonces menos cavidades, pero de dimensiones mayores.

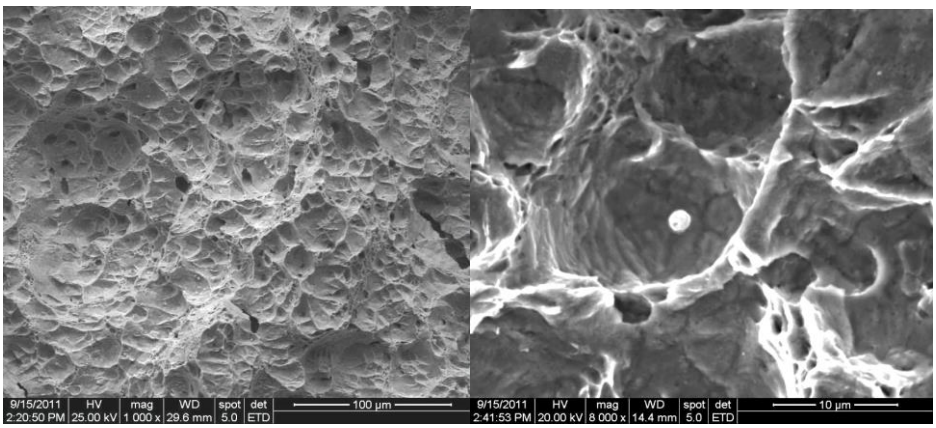


Figura 4. Micrografía de aleación CuNiSiCr en la condición A: 2 hs de homogeneizado a 850°C. A la izquierda se observa una vista general y a la derecha un acercamiento para ver los hoyuelos y sus características.

En la figura 5, se observan las micrografías del material en la condición de homogeneizado a 5 hs (condición B). De la comparación entre ambas condiciones, no surgen diferencias fractográficas apreciables como para extraer conclusión alguna.

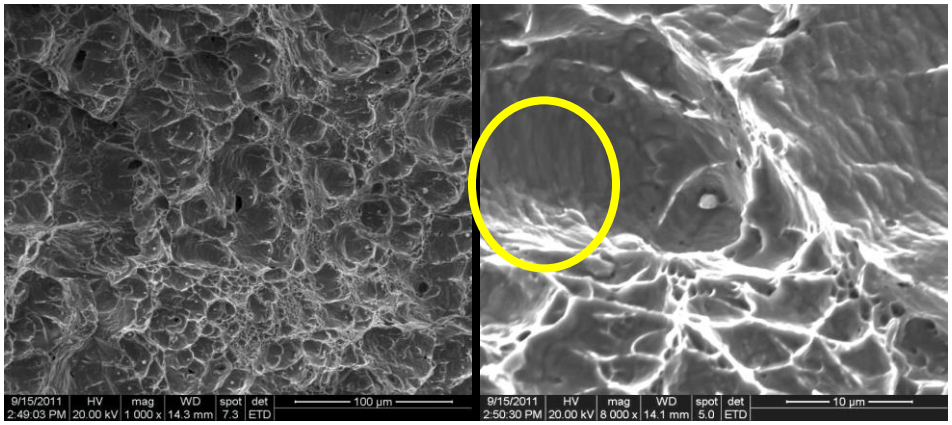


Figura 5. Micrografía de la probeta en la condición B: 5 hs de homogeneizado a 850°C.

Una de las pocas afirmaciones que pueden hacerse a través de la observación de la forma de la cavidad es que al ser esta equiaxial, indica que el esfuerzo aplicado fue un esfuerzo de tracción simple. También, se observa que en las paredes internas de las cavidades mayores (hoyuelos), en las dos condiciones se encuentra una cierta cantidad de líneas de deslizamientos (circulo amarillo en figura 5). La formación de varias líneas de deslizamientos ocurre en aquellos metales que, frecuentemente sufren una considerable deformación plástica, generándose entonces las llamadas *"marcas de deformación"* en las paredes del hoyuelo. Estas marcas se producen porque los planos deslizamiento en la superficie de los hoyuelos están favorablemente orientados a la dirección del esfuerzo principal. El esfuerzo continuo de las superficies libres de los hoyuelos a medida que se agrandan los microporos, produce el desplazamiento de planos de deslizamiento en la superficie del hoyuelo[15]. Cuando se forman por primera vez, las huellas de deslizamiento son agudas, bien definidas, formando una estructura reticular que se conoce generalmente como serpentina de deslizamiento. A medida que se va desarrollando el proceso de deslizamiento, las trazas inicialmente agudas y afiladas se convierten en lisas, lo que resulta en una estructura de superficie "como ondas".

- Energía absorbida.

Los resultados de los ensayos de choque sobre probeta entallada no son fácilmente expresables en forma de datos utilizables para el diseño, porque no pueden medir el estado triaxial de tensiones creado en la entalla y no hay un acuerdo general para interpretar el significado de los datos obtenidos [16].

La respuesta de la probeta de aleación CuNiSiCr al ensayo de choque se mide por la energía absorbida en la rotura de la probeta y esta información se acompaña con alguna medida de ductilidad, por ejemplo, el tanto por ciento de contracción de la entalla [17].

Tanto en la figura 7 (a) como en la figura 7 (b) se puede observar la contracción lateral en el fondo de la entalla. El tanto por ciento de contracción lateral, (Indicado por las flechas amarillas), para la probeta homogeneizada durante 2 hs es, aproximadamente un 26% mientras que en la probeta homogeneizada por 5hs, la contracción alcanza al 50%. Este tipo de comportamiento es una medida, cualitativa, de la ductilidad del material.

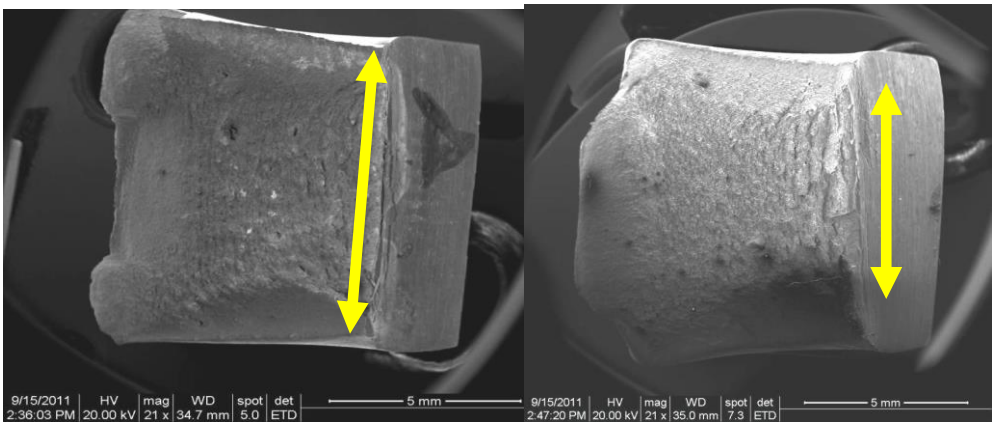


Figura 7. Superficies de fractura de probetas charpy ensayadas con distintas condiciones de homogeneizado

En los ensayos de impacto, también se calcula el valor de la energía de rotura ó energía absorbida en la rotura, en Joule (J) como unidad de medida. Si bien esta determinación no nos ofrece una propiedad definitiva de la aleación en estudio por ser muchos los factores que inciden en los valores de los ensayos de impacto, conforma un índice de la tenacidad con respecto a valores obtenidos en ensayos análogos, dado que no admite otra condición de comparación [16].
En la Tabla 2 se ilustran los valores de energía absorbida obtenidos en los ensayos de choque sobre probeta entallada para las dos condiciones del tratamiento térmico de homogeneizado. Se observa que los datos presentan alguna dispersión y en gran parte, esta se debe a las variaciones locales en las propiedades del material y también a la dificultad de preparar entallas perfectamente reproducibles. Son decisivas, entonces, la forma y la profundidad de la entalla así como la colocación de correcta de la probeta en la máquina de ensayo.

Tabla 2. Energía absorbida en las muestras homogeneizadas 2 hs (condición A) y 5 hs (condición B).

Muestras condición A (envejecidas)	**Energía absorbida para la fractura. (Joule)**	**Muestras condición B (envejecidas)**	**Energía absorbida para la fractura. (Joule)**
1	*78±1*	*1*	*122±1*
2	*95±1*	*2*	*112±1*
3	*92±1*	*3*	*120±1*
		4	*112±1*
		5	*110±1*
	Promedio: 88.3 Joule		*Promedio: 115.2 Joule*

Los datos de la tabla 2 muestran que las probetas homogeneizadas por mayor cantidad de tiempo absorben mayor energía al momento del impacto. Este resultado sugiere que el tratamiento de homogeneizado realizado por 5 hs, genera una microestructura mas maleable, más tenaz, probablemente con menor cantidad de precipitados en la matriz.

- Segundas fases.

Para corroborar si la cantidad de precipitados está relacionado en modo inverso al tiempo de homogeneizado, se observa por medio de microscopia óptica la microestructura de muestras homogeneizada en diferentes tiempos. La finalidad de estas observaciones es evaluar la cantidad y la morfología de las segundas fases presentes en función del tiempo de tratamiento.

Como ya se sabe, las propiedades y características metalúrgicas en cualquier material, tanto de la matriz como de las segundas fases, afectan directamente su ductilidad. En general, aquellos factores que aumentan la resistencia de la matriz, tienden a disminuir su ductilidad.
El efecto que produce una segunda fase sobre las propiedades mecánicas es siempre significativo y tiene relación directa con la trabajabilidad del material. N. Singh el al estudiaron la influencia que producen segundas fases en las propiedades mecánicas de una aleación de aluminio 7075. Sus resultados muestran que se genera un aumento significativo de la ductilidad conforme se elimina la segunda fase [18].
En la micrografía óptica de la figura 8 (a) de la aleación en estudio, el material muestra segundas fases de tamaños significativamente mayores, comparados con segundas fases de las muestras homogeneizadas durante 5 hs de la figura 8 (b). En cuanto a su morfología, esta es del tipo elipsoidal en las dos condiciones de homogeneizado. Según Z. Rdzawski [19], como también se demuestra en los análisis vía EDX de la figura 9 realizados por el autor, las fases observadas en estas micrografías son, fundamentalmente, inclusiones de óxidos y segundas fases, de Cr_3Si.

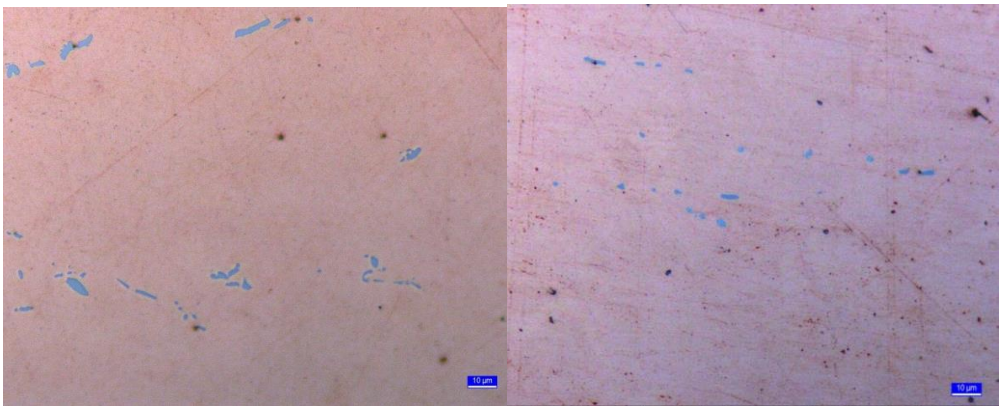


Figura 8. Morfología y cantidad de precipitados encontrados en la aleación CuNiSiCr después de sufrir el tratamiento de homogeneizado durante: (a) 2 hs y (b) 5 hs.

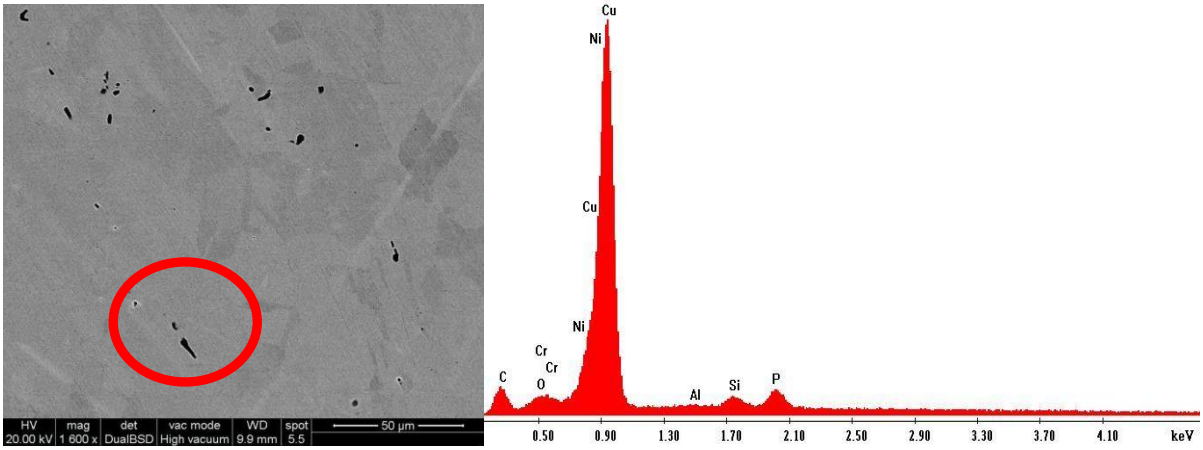


Figura 9. Análisis de segundas fases en la matriz.

Las segundas fases siempre juegan un rol dominante en la fractura dúctil de aleaciones termotratables. Su naturaleza, forma y distribución en la matriz se convierten entonces en factores de gran importancia, así como su fracción en volumen [20].
De modo que, al encontrar una disminución en la cantidad y el tamaño de los precipitados en muestras homogeneizadas por 5 hs, se genera un material más tenaz y dúctil, lo que se demuestra a través de la mayor energía absorbida en los ensayos de impacto (tabla 2).

CONCLUSIONES

Del estudio realizado en la aleación termotratable CuNiSiCr, resulta evidente que el tratamiento térmico de homogeneizado afecta la microestructura de la aleación y esto se evidencia en los valores de energías absorbidas en el ensayo de impacto. En probetas con diferentes condiciones de homogeneizado, las partículas de segunda fase se encuentran distribuidas en toda la matriz. Sin embargo, se observa que son grandes y de forma irregular después de la aplicación de un homogeneizado de solo 2 hs. Pero cuando se aplican 5 hs de homogeneizado, se observa una menor cantidad de segunda fase y de tamaños menores.

Se concluye entonces que esta situación microestructural, producto de la aplicación de un tratamiento de homogeneizado y forja, genera un aumento significativo de la tenacidad conforme se elimina la segunda fase, lo cual produce un material de mayor trabajabilidad.

Por lo tanto, el tratamiento térmico de homogeneizado es una herramienta adecuada para aumentar la trabajabilidad de un material en condición de colado y el ensayo de impacto permite evaluar la calidad y el grado de alcance de este tratamiento térmico, o sea, sus características microestructurales.

REFERENCIAS

[1] Corson, US patent N° 1658186, http://patft.uspto.gov.
[2] ASM Handbook, Vol. 4, Heat Treating, American Society for Metals 1991.
[3] ASM Handbook, Vol. 14, Forming and Forging, G.E.Dieter 1996.
[4] G. Maffia, D. Tovio, A. Cozzarin y A. González, Efecto del Tratamiento de Homogeneizado en la Trabajabilidad de la Aleación CuNiSiCr, V congreso Bolivariano de Ingeniería Mecánica, 16 – 20 Junio de 2008, Cúcuta, Colombia.
[5] Donald R. Askeland, Ciencia e Ingeniería de los Materiales, 3ra edición 1998.
[6] W. W. Edens y Q. F. Ingerson, US patent N° 4191601.
[7] González Palazón, Ensayos Industriales, 9na edición 1979.
[8] W. Callister, Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, 3ra edición 1991.
[9] Gustavo T. Sanchez, Fundamentos del Análisis de Fallas, 1ra edición 2006.
[10] ASM Handbook, Vol. 12, Fractography, American Society for Metals 1987.
[11] M. Groover, Fundamentos de la Manufactura Moderna, 1ra edición 1997.
[12] Apunte de Cátedra, Conformado Plástico, Cap. 2 Deformación en Caliente, Ftad. de Ingeniería UNLP, Autor. Mg. Ing. Daniel Culcasi 2010.
[14] M. Ipohorski, Fractografia Electrónica: Su Contribución al Análisis de Fallas. Revista SAM, Septiembre 2004 Vol. 1 N° 2.
[15] ASM Handbook, Vol. 9, Metalography and Microstructure, American Society for Metals 2004.
[16] Gonzales Palazón, Laboratorio de Ensayos Industriales, Editorial Litenia 1992.
[17] G. E. Dieter, Metalurgia Mecánica, Editorial Aguilar 1967.
[18] N. Singh et al, Trans AIME 245, 2063, October 1968.
[19] Z. Rdzawski, J. Stobrawa, 1996, Materials and Technology, Vol. 9 p 142 – 149.
[20] W. Hosford, 1993, Metals Forming 2nd ed. PtR Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ0758.
[21] ASM Handbook, Vol 8, Mechanical Testing and Evaluation, American Society for Metals 2000.

AGRADECIMIENTOS

Los autores a agradecen al Laboratorio de Investigaciones en Metalurgia Física, (LIMF) de la Facultad de Ingeniería de La Plata (UNLP), por facilitar el uso de sus instalaciones y equipamientos.

VISUALIZACIÓN DE MACLAS EN PARTÍCULAS DE SILICIO EN ALEACIONES DE ALUMINIO PARA MOLDEO

Cozzarín, Ana L.; Davanzo, Juan A.; Echarri; Juan M.; González, Alfredo C.
Laboratorio de Investigaciones de Metalurgia Física "Ing. Gregorio Cusminsky", LIMF
Departamento de Mecánica, Facultad de Ingeniería. Calle 48 y 116, B1900TAG
Email acozzarin@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: Aluminio, Silicio, Maclas, SEM

RESUMEN

Desde hace un tiempo se viene estudiando la relación que presentan las fracturas de las aleaciones de aluminio para moldeo de baja ductilidad con distintas características, entre otras las propiedades mecánicas, el tamaño de las partículas de Si, el factor de forma de las mismas y la direccionalidad de las fracturas.

En este tipo de aleaciones el silicio adopta diferentes morfologías que están relacionados con las distintas condiciones de solidificación, la cantidad de Si y la modificación química o térmica del mismo.

Se ha comprobado que la modificación térmica de las partículas de Si en aleaciones de Al-Si, provoca un cambio en la trayectoria de las fracturas a través de las mismas, pasando de ser longitudinal a transversal a medida de que las partículas de Si disminuyen de tamaño.

Las maclas desarrolladas en las partículas de Si constituyen concentradores de tensiones, de efecto creciente con el tamaño de las mismas y serían dichas maclas en las aleaciones hipoeutécticas de Al-Si las que indican cual es el plano de fractura del Si cuando se carga el material en tracción.

En lo que respecta a la observación de las maclas se ha avanzado con la técnica de microscopía óptica en aleaciones sin modificación de las partículas de Silicio, pero resulta imposible visualizar con esta herramienta las partículas modificadas. Se ha verificado la teoría de Makhlouf para partículas grandes (sin modificación), que indica que las maclas crecen en la dirección del eje longitudinal de la misma.

Actualmente se está trabajando con diferentes técnicas con microscopía electrónica de barrido para poder llegar a observar las maclas en partículas más pequeñas y de esta forma relacionar las mismas con el comportamiento que presentan las aleaciones estudiadas. Según la teoría del autor antes mencionado, en partículas modificadas el crecimiento de las maclas sería transversal a la longitud de la misma.

Este trabajo muestra el avance logrado en la técnica logrado visualizar maclas en las partículas de Silicio en muestras de aluminio con modificación térmica.

INTRODUCCIÓN

En las aleaciones de aluminio – silicio para moldeo, este último adopta formas variadas que son función de las condiciones de solidificación, contenido de Si y modificación química o no del mismo.

En uno de los primeros artículos sobre la morfología del Si en las aleaciones de Al – Si se debe a Day y Hellawell [1], quienes ubican a las microestructuras obtenidas en un gráfico G (°C/mm) – Gradiente de temperatura – y V (µm/s) – Velocidad de avance del frente de solidificación. Este gráfico está dividido en regiones A, B, BC y C, en cada una de las cuales se ubican las pruebas que han dado características similares. En región C se encuentran la mayoría de microestructuras obtenidas en las prácticas habituales de

laboratorio e industriales siendo característico de ella el que las partículas presenten múltiples maclas en la dirección <111>.

Las aleaciones estudiadas en este trabajo se ubican en la región C. Las condiciones prevalecientes en esta región promueven la formación de partículas de Si de dimensiones importantes y con mecanismos de crecimiento que se ligan no sólo a la historia térmica de la aleación sino también a la composición, es decir a la cantidad de silicio. Por otra parte, en estas aleaciones existe una práctica, la modificación del Si, que origina cambios profundos en la morfología de dicho elemento [2], [3]. La modificación del mismo puede ser química o térmica. La primera se logra por el agregado de determinados elementos químicos. Los más habituales son el Na y el Sr. Para lograr la modificación térmica del silicio se procede a un enfriamiento rápido en la solidificación.

En trabajos anteriores [4], [5], [6] se ha publicado sobre distintos aspectos que hacen al comportamiento de las partículas de Silicio en aleaciones de aluminio para moldeo, tendiendo los estudios principalmente al modo de fisuración que presentan dichas aleaciones y a la característica del Silicio de presentar un crecimiento maclado. Se ha podido observar perfectamente en el microscopio óptico las maclas en el Silicio en partículas bastas producidas por un enfriamiento extremadamente lento (molde de arena), pero se han presentado dificultades al querer observar las mismas en partículas modificadas térmicamente, las cuales presentan un tamaño mucho menor que las anteriores.

Es objetivo del presente trabajo observar en el microscopio electrónico maclas de crecimiento del Silicio en partículas de menor tamaño para continuar con el estudio de la fisuración de las aleaciones Al – Si.

PARTE EXPERIMENTAL

Las experiencias realizadas en el Laboratorio se confeccionaron con la aleación de aluminio para moldeo A380. En la Tabla 1, se muestra la composición química de la aleación utilizada, conjuntamente con los valores típicos de dicha aleación. En la Figura 1, se muestra una micrografía típica de esta aleación sin modificar y sin ataque químico alguno. En ella se indican los cuatro constituyentes microestructurales fundamentales de este tipo de aleaciones. La matriz constituida de solución sólida de Al en la que aparecen distribuidas las siguientes fases Si, prácticamente, puro, el Fe formando la fase β-Al_5FeSi, y el cobre como Al_2Cu.

Tabla 1: Composición química de la aleación utilizada y de la típica A380.

Aleación	Fe	Mg	Mn	Cu	Si	Ni	Sn	Zn
Utilizada	0.75	0.01	0.32	3.40	8.21	0.02	0.02	1.10
Típica	2	0.1	0.5	3-4	7.5-9.5	0.5	0.35	3

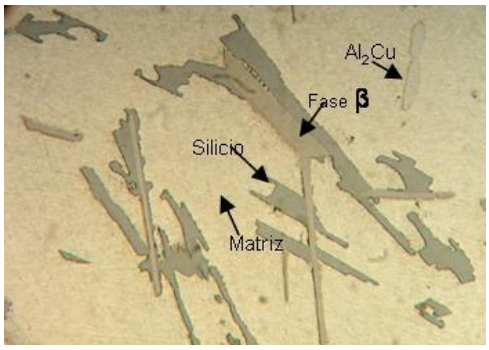


Figura 1: Probeta con pulido mecánico

Las muestras para observación metalográfica se prepararon mediante lijado y posterior pulido con pasta de diamante de 6 μm y terminadas con pasta de 1μm. Las micrografías mostradas en la Figura 2 corresponden a dos velocidades de enfriamiento bien diferenciadas, la primera de ellas corresponde a una probeta obtenida en molde de cobre (enfriamiento rápido, izquierda) y la segunda corresponde a una probeta en molde de arena (enfriamiento extremadamente lento, derecha).

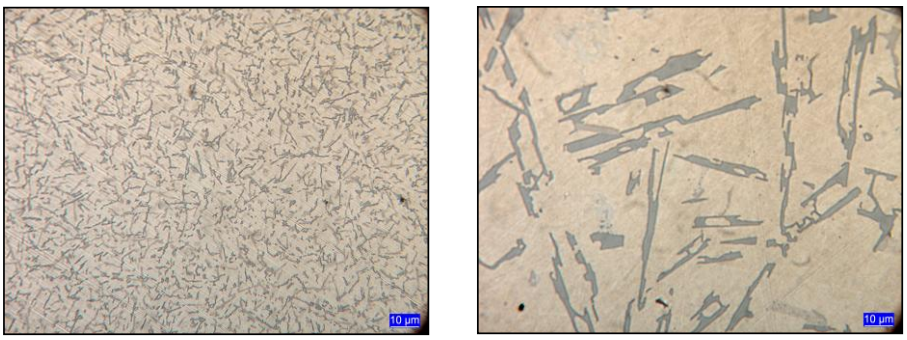


Figura 2: Microestructuras obtenidas, aumento 1500x. Izquierda: Velocidad de enfriamiento de 164 ºC/s. Derecha: Velocidad de enfriamiento de 0,4 ºC/s.

En trabajos anteriores se lograron observar maclas en partículas de Silicio de gran tamaño, pero no así en partículas modificadas térmicamente. Se realizaron algunos intentos en los microscopios electrónicos del CINDECA y del Museo de Ciencias Naturales de la UNLP pero sin llegar a resultados satisfactorios.

Para la visualización de las maclas en partículas de Silicio modificadas se utilizó uno de los reactivos propuestos por Atasoy et al. [7] dado que resultó ser el más efectivo a la hora de visualizar las maclas en el Silicio. El mismo contiene 1 (una) parte de Ácido Fluorhídrico, HF; 1 (una) parte de Ácido Nítrico, HNO_3 y 7 (siete) partes de Ácido Acético, CH_3COOH. Luego del ataque las muestras se lavaron con alcohol y se secaron en aire caliente.

La forma de las placas de Silicio sin modificar exhibe cristales que puede crecer fácilmente sólo en la dirección <112>, y cuando la estructura del cristal de silicio es tomada en cuenta, implica que las grandes caras planas del cristal son planos {111}. Una característica muy importante de la cristalización del silicio, es que se forman muy fácilmente planos maclados. Estos defectos cristalográficos, ocurren cuando grandes números de átomos cambian de posición uniformemente a través de un plano en la estructura del cristal, conocido como plano de macla. En el silicio, los planos maclados se forman a través de los planos <111>, y esto tiene como efecto el producir continuamente un ángulo reentrante de 141° en la interfase sólido-líquido, como se muestra en la Figura 3. La cristalización del silicio toma lugar por la adición de átomos para formar escalones, los cuales se mueven a través de la interfase sólido-líquido. Cuando se coloca un modificador (por ejemplo el Sr), se provoca la interrupción del crecimiento del cristal de Si, dado que el Sr inhibe el progreso de la partícula.

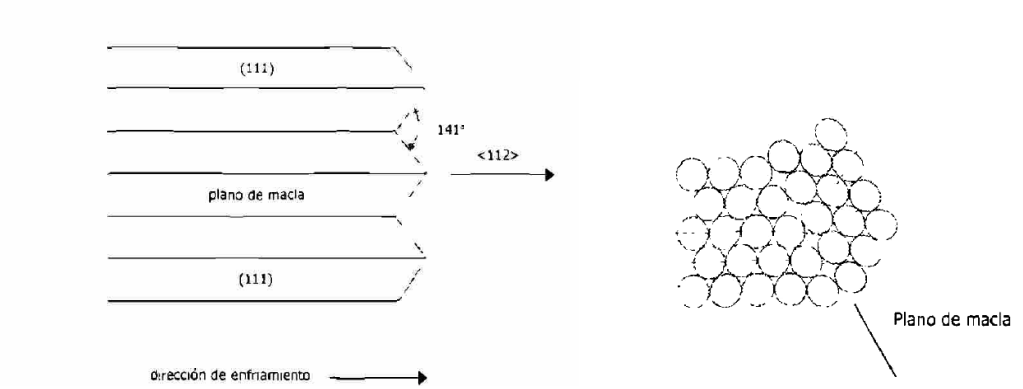


Figura 3: Izquierda: Representación esquemática de crecimiento del silicio acicular. Derecha: Plano de macla con ángulo de 141°

Para la observación de las muestras estudiadas se empleó el microscopio electrónico de barrido, SEM, disponible en el Laboratorio de Investigaciones de Metalurgia Física (LIMF). Se utilizó la técnica de microscopía electrónica de barrido analítica (SEM, Scanning Electron Microscope). El SEM es uno de los instrumentos más versátiles para el análisis y caracterización de los rasgos microestructurales de aleaciones metálicas. Lo anterior se debe a su capacidad de resolución (entre 20 a 50 Å) y a la formación de imágenes topográficas de gran profundidad de foco en su modo de detección de electrones secundarios (SED, Secondary Electrons Detector). Otra herramienta útil para la distinción de fases y precipitados es el modo de detección de electrones retrodispersados (BSED, Back-scattered Electron Detector) siendo capaz de obtener imágenes con contraste según el número atómico (Z) promedio de la región estudiada. El SEM utilizado en el LIMF cuenta con capacidad analítica por rayos X (EDS, Energy Dispersive Spectrometer). De esta manera pudo obtenerse información topográfica, imágenes por contraste según Z y composicional de forma simultánea.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se mencionó anteriormente, las muestras atacadas fueron observadas mediante la técnica de SEM obteniendo imágenes como las que se muestran a continuación. Se realizaron observaciones con muestras atacadas ni bien se preparó el reactivo y otras con ataques en los días posteriores a la confección del mismo, arrojando estas últimas resultandos negativos.

En las micrografías de las Figuras 4 y 5, pueden observarse maclas de crecimiento en partículas de Silicio, las mismas son longitudinales al largo de la partícula. También puede notarse que la fase β-Al_5FeSi se disuelve con el reactivo utilizado, quedando visibles solamente el Silicio y la fase Al_2Cu. En la Figura 4 se utilizaron 2500 y 2600 aumentos, mientras que en la Figura 5 fue de 3000 aumentos la magnificación utilizada. Todas estas imágenes fueron obtenidas de muestras modificadas térmicamente, obteniendo en la colada una velocidad de enfriamiento de 18 °C/s.

Cuando se observan zonas o sitios angulosos en el microscopio electrónico, se produce el denominado efecto de borde. El fenómeno se basa en la acumulación de carga en dichas zonas debido a la dificultad de los electrones para abandonar la región, observándose un brillo intenso que define claramente el borde.

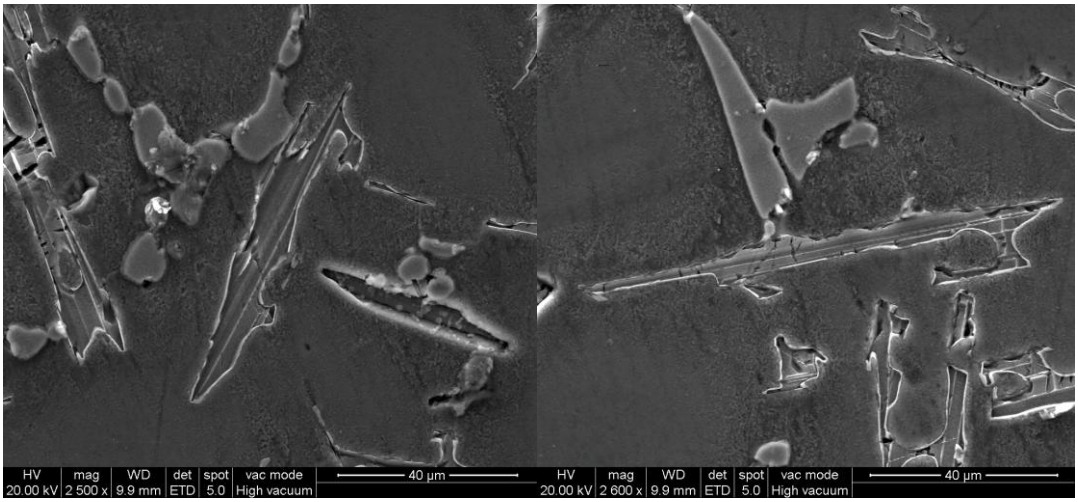


Figura 4: Partículas de Silicio en las que se observan maclas del crecimiento

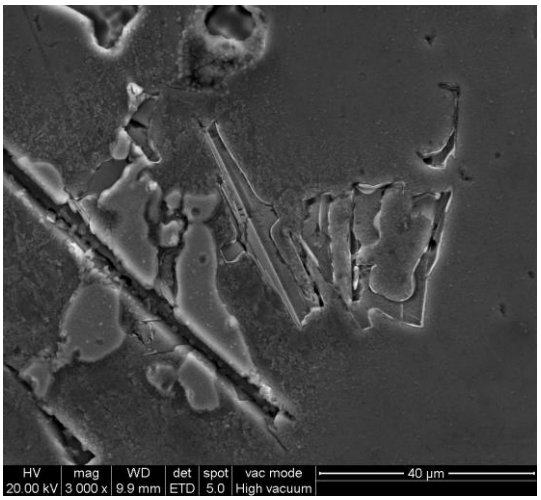


Figura 5: Partícula de Silicio maclada

También se realizaron observaciones con rayos retrodispersados, siendo el resultado de las mismas negativo. Posteriormente se trabajó con muestras con mayores velocidades de enfriamiento (83 °C/s). En estas muestras el tamaño de las partículas de Si es menor. En la Figura 6, se muestra una partícula de Si maclada y un análisis por EDS para confirmar que dicha partícula es Silicio. El aumento utilizado en este caso fue de 50000 magnificaciones.

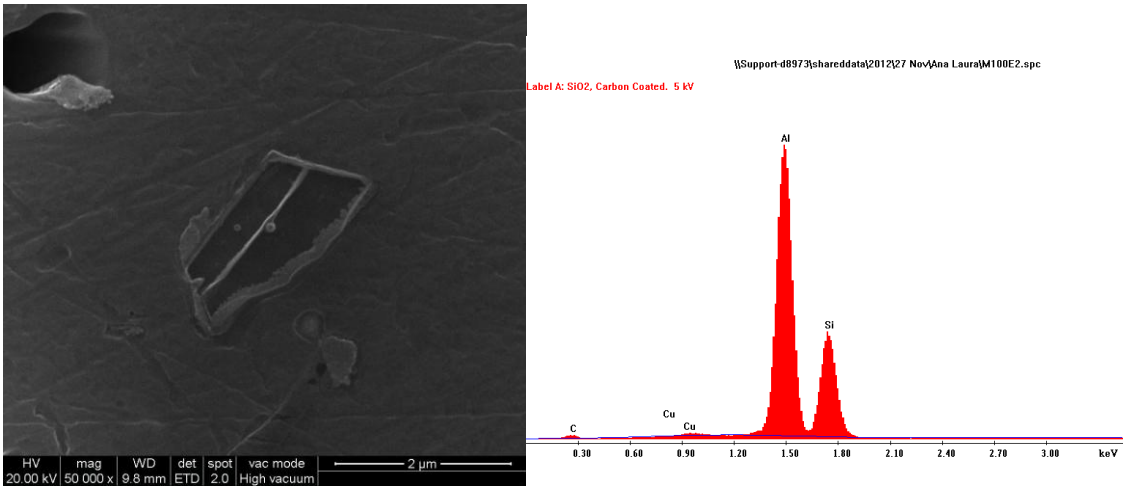


Figura 6: Partícula de Silicio maclada y EDS de dicha partícula

CONCLUSIONES

A través del trabajo experimental desarrollado se establece que en el microscopio electrónico pueden visualizarse las maclas de crecimiento del Silicio. El ataque químico debe realizarse inmediatamente cuando se prepara el reactivo ya que el mismo se degrada rápidamente y no es posible revelar las maclas si se atacan las mismas pasadas las 24 horas desde la preparación del químico utilizado.

Se han llegado a observar maclas en partículas de Silicio de aproximadamente 2 µm de largo y para asegurar que la partícula estudiada es dicho elemento se realizaron análisis a través del EDS dando los mismos resultados satisfactorios.

BIBLIOGRAFIA

1. M. G. Day y A. Hellawell, 1968, The microestructure and crystallography of aluminium – silicon eutectic alloy. Proc. Roy. Soc. A. 305, pp 473-491.
2. M. M. Makhlouf, H.V. Guthy, 2001, The aluminium – silicon eutectic reaction: mechanims and crystallography. Journal of Light Metals 1, pp 199-218.
3. R.E. Napolitano, H. Meco, C.Jung. 2004, JOM, 2004, pp 16 – 21.
4. A. L. Cozzarín, R. Grammattico, D. Tovio, J. Cuyás, 2008, El maclado en partículas de Silicio y sus efectos en las propiedades mecánicas de las aleaciones Al – Si para moldeo. V Congreso Bolivariano de Ingeniería Mecánica – II Congreso Binacional de Ingeniería Mecánica, Cúcuta -Colombia
5. Cozzarín, Ana L.; Tovio, Daniel O.; Cuyás, Julio C.; González, Alfredo C., 2011, Relación entre el tamaño y el modo de fractura de las partículas de Silicio en aleaciones para moldeo Al-Si. Primeras Jornadas de Investigación y Transferencia de la Facultad de Ingeniería, UNLP, pag. 391 – 398.
6. Lacoste, Juan; Bosco, Cristián; Cozzarín, Ana Laura, 2009, Efecto del Factor de Forma en el Cambio de dirección de propagación de la fisura en aleaciones de aluminio para moldeo A380. Jornada de Jóvenes Investigadores, Grupo Montevideo, Concordia, Entre Ríos.
7. O. A. Atasoy, F. Yilmaz , R. Elliott, 1984, Journal of Crystal Growth 66), pp 137 – 146
8. J. Yeh y W. Liu, 1996, The cracking mechanism of Silicon particules in an A357 Aluminum alloys. Metallurgical ans Materials Transactions A. Volume 27 A, Canada, pp 4832 – 4833.
9. M. Samuel y F. H. Samuel, 1995, Effect of metal teatment, solidification conditions and porosity level on the tensile propierties of 319.2 endchill aluminium casting, J. Mater. Sci. 30, pp 4823 – 4833.
10. J.P. Choi, K.B. Kim y E.P. Yoon, 2004, Effect of electromagnetic force on the silicion size in hipereutectic Al – Si alloy. Materials Science Forum Vols. 449 – 452, pp. 157 – 160.
11. A. Kelly and G. J. Davies, 1965, "The Principles of the Fibre Reinforcement of Metals" . Metallurgical Rev., 10
12. C. H. Cáceres y B. I. Selling, Mater. Sci. Eng. A220 (1996), pp 109-116.
13. J. C. Cuyás, G. W. Mugica, D. O. Tovio y A. C. González, Proc. SAM 2000 y IV Coloquio Latinoamericano de Fractura y Fatiga, Vol 1, Neuquén, Argentina, 2000, pp 191-198
14. E. Pan, C. S. Lin, y C. R. Loper, 1990, Effects of solidification parameters on the feeding efficienty of A356 Aluminium Alloy AFS Trans, pp 735-746
15. J.S. Stroh, 1954, The formation of cracks as a result of plastic flow. Proc. Roy. Soc. (Londres) Vol. 223, pag. 404 – 414.

Efectos del tratamiento de Homogeneizado en la extrudabilidad de la aleación AA – 6063

Echarri Juan Manuel[a]; Jodra, Sebastián; Culcasi, J. Daniel[a]; Echarri, Tomás[b]

a. Laboratorio de Investigaciones de Metalurgia Física (LIMF), Facultad de Ingeniería UNLP, La Plata 1900, Argentina.
b. Unidad de Investigación y Desarrollo DISIM, "Diseño e innovación de sistemas Mecánicos", Facultad de Ingeniería UNLP, La Plata 1900, Argentina.

E-mail: juanecharri@yahoo.com.ar

Palabras claves: Aleación AA6063, barrote, fase AlFeSi, fase $SiMg_2$, homogeneizado-solubilizado.

RESUMEN.

Los procesos de plantas industriales son el único modelo que reproduce de forma exacta las transformaciones que sufre el material a lo largo de la cadena de producción, es común entonces encontrarnos con la afirmación: "El mejor laboratorio que reproduce las condiciones de proceso es la planta misma". En el proceso de fabricación de productos de extrusión de Aluminio se parte del barrote colado y se busca a través de un proceso de homogeneizado-solubilizado romper la estructura de colada y optimizar la microestructura de cara al proceso de extrusión. Las distintas estructuras de colada encontradas en los barrotes producto de los gradientes térmicos inherentes al proceso industrial, junto con la dispersión en los ciclos de homogeneizado-solubilizado dieron como resultado una amplia variabilidad en las microestructuras observadas. Se caracterizó y estudió la microestructura de los barrotes, tamaño de grano, fases AlFeSi y $SiMg_2$ presentes, en dos condiciones: a) En bruto de colada y b) luego del homogeneizado-solubilizado. Se relacionó lo observado con la calidad superficial del producto terminado. En el presente trabajo se encuentra una marcada consistencia entre el la calidad superficial de los perfiles de extrusión y el criterio de extrudabilidad que se desprende del estudio de la microestructura. Se concluye finalmente que luego del homogeneizado-solubilizado, es el grado de transformación β→α-AlFeSi, su fragmentación y esferoidización, lo que define la calidad superficial del producto.

INTRODUCCIÓN.

La aleación de aluminio AA6063 es una de las más utilizadas para extrusión. Posee como principales elementos aleantes Mg, Si y Fe. La tabla 1 muestra la composición [1].

Tabla 1. Composición química según Aluminum para la aleación AA6063.

REGISTERED INTERNATIONALDESIGNATION											OTHERS		ALUMINUM
No.	DATE	BY	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Each	Total	Minimum
6063	1954-07-01	USA	0.20-0.6	0.35	0.10	0.10	0.45-0.9	0.10	0.10	0.10	0.05	0.15	Remainder

El grado AA6063 es endurecible por precipitación: partiendo de la estructura de colada, el solubilizado se realiza durante el ciclo térmico de homogeneizado-solubilizado (575 y 590 °C con un mantenimiento de 6 horas), a la salida de la prensa se realiza un enfriamiento brusco (mediante ventiladores a una velocidad mínima de 250 °C/hora hasta alcanzar los 250 °C), buscándose luego el temple T-6 (envejecido artificial) mediante hornos de envejecido.

La microestructura de los barrotes en bruto de colada y de los tochos en estado homogeneizado-solubilizado juega un papel de suma relevancia en el proceso de extrusión, impactando en el desempeño de la prensa, en términos de productividad, calidad del producto final y complejidad de la forma a elaborar. Se definen las características de una estructura de colada aceptable como [2,3]: 1) Libre de fisuras internas y porosidad, 2) Capa cortical de un máximo de 3 mm de espesor, 3) Las fases con contenido de hierro deberían estar en un 100% como β-AlFeSi en forma de agujas; no debería estar la fase α-AlFeSi precipitada en forma de escritura china, ni en intermetálicos gruesos, 4) Los tamaños de partícula (dimensión mayor) no deberá exceder los 15 μm. De la misma forma los propósitos del homogeneizado se describen como: 1) Reducción de los gradientes de Mg y Si, 2) Disolución de las partículas de Mg_2Si precipitadas durante la solidificación. 3) Transformación de la fase β-AlFeSi en α-AlFeSi. 4) Fragmentación y esferoidización de la fase α-AlFeSi. El tamaño de los precipitados que quiere lograrse en esta instancia es aproximadamente 0,5 μm [3].

La aleación AA6063 además de los aleantes mayoritarios, Mg, Si, presenta contenidos significativos de Fe debido a que durante el proceso de colada el Fe se encuentra presente en el baño. Al final del proceso de colada se forman intermetálicos ricos en Fe, Al y Si (AlFeSi) caracterizados como α-AlFeSi y β-AlFeSi y precipita el intermetálico $FeAl_3$ además del siliciuro de magnesio (Mg_2Si) ya mencionado. Las cinco fases presentes en una aleación AA6063 son: $FeAl_3$, α-AlFeSi, β-AlFeSi, Mg_2Si, hAlMgFeSi. Se describen a continuación, aquellas que toman relevancia en el presente trabajo [4,5].

α-AlFeSi: Durante la solidificación, esta fase precipita en los espacios interdendríticos como el eutéctico Al_8Fe_2Si [2] presentándose con morfología irregular tipo “escritura china”, o como partículas aisladas alargadas de alrededor de 10 μm de longitud y 0,5 μm de ancho. Durante el homogeneizado, las fases $FeAl_3$, β-AlFeSi y h-AlMgFeSi se transforman a la fase α-AlFeSi, y, también tiene lugar la formación de la fase α-AlFeSi como precipitados sub-microscópicos a partir de sus elementos constituyentes partiendo de su estado en solución.

β-AlFeSi: El enfriamiento rápido durante la solidificación promueve la formación de esta fase, constituyéndose en el intermetálico de mayor presencia en las estructuras de bruto de colada por el método de colada directa semicontínua. Se encuentra en los espacios interdendríticos. El β-AlFeSi se ve como agujas, usualmente de lados paralelos y extremos regulares, precipitadas de forma aislada. El largo de estas partículas es algo menor al de los α-AlFeSi, mientras que se las puede diferenciar claramente por el ancho marcadamente menor (de alrededor 0,1 μm). Durante el homogeneizado, las partículas de β-AlFeSi transforman a α-AlFeSi pero conservan en gran parte su forma original. El aluminio se separa de la fase β-AlFeSi durante la transformación β→α, y a altas magnificaciones, puede identificarse como zonas blancas sobre los platos o agujas.

Mg_2Si: En la estructura de bruto de colada esta fase está presente como partículas de forma irregular y del tipo “escritura china”. Usualmente se pueden encontrar cerca de las agujas de β-AlFeSi. La fase Mg_2Si puede coalescer y disolverse completamente durante el calentamiento y es la responsable del endurecimiento por precipitación.

Samaras y colaboradores [6] mostraron la evolución de la microestructura en una aleación AA6061 (de la misma familia a la del presente trabajo), mediante microscopía óptica estándar, durante el tratamiento térmico de homogeneizado-solubilizado a 580 °C durante distintos intervalos de tiempo. Dichas microestructuras se muestran en la Figura 1.

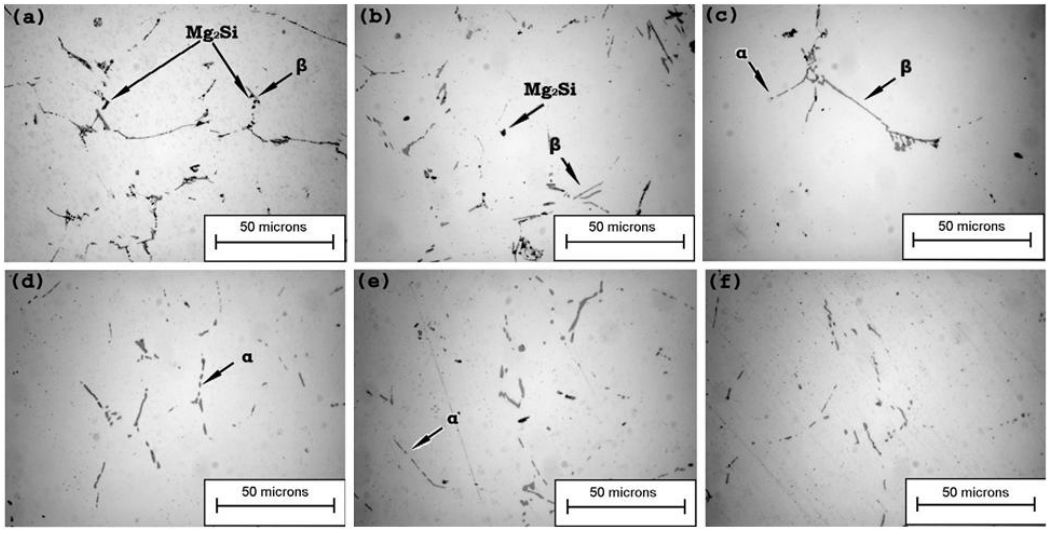


Fig. 1. Evolución microestructural para distintos tiempos de homogeneizado a 580 °C, X1000, reactivo de ataque 0,5% HF, tiempo de ataque 5 s: (a) en bruto de colada, (b) 40 min, (c) 2 h, (d) 4 h, (e) 8 h y (f) 10 h [6].

Rivas y colaboradores [2] estudiaron los efectos de la microestructura sobre las propiedades mecánicas y calidad superficial de una aleación AA6063 para extrusión en barrotes de dimensiones similares a las del presente trabajo. Propusieron 3 ciclos distintos basados en una misma temperatura de calentamiento (560 °C) con mantenimientos de 4, 6 y 8 horas. Encontraron que superadas las 6 horas de mantenimiento, la transformación, fragmentación y esferoidización se completaba de forma óptima. Las conclusiones formuladas tienen respaldo en los trabajos de Hidalgo y Samaras [4,6]. Estas conclusiones se basaron en la observación de la microestructura y en los resultados favorables de ensayos de tracción y mediciones de dureza, además de la observación de la calidad superficial del producto final para distintos tiempos de homogeneizado.

En este trabajo se caracteriza y estudia la microestructura de los barrotes, tamaño de grano, fases AlFeSi y $SiMg_2$ presentes, en dos condiciones: a) En bruto de colada y b) luego del homogeneizado-solubilizado. Se relaciona lo observado a lo largo del proceso de extrusión en planta con la calidad superficial del producto terminado. El trabajo tiene como principal objetivo estudiar la extrudabilidad de una aleación AA6063 analizando las implicancias de las microestructuras obtenidas a través de distintos ciclos de homogeneizado/solubilizado. Sobre el producto terminado se evalúa calidad superficial, tipo y cantidad de defectos.

PARTE EXPERIMENTAL.

La prueba se realizó en planta utilizando barrotes de 200 mm de diámetro por 825 mm de longitud. Se seleccionaron 4 barrotes en diferentes zonas del horno de homogeneizado de forma de obtener ciclos marcadamente distintos. Se definió como punta de barrote al extremo contra el lado frío del horno (puerta) y como cola de barrote al extremo del lado caliente del horno (fondo). El ciclo de homogeneizado constó de un rango de 575 y 590 °C con mantenimiento de 6 hs. Los ciclos se relevaron con termocuplas sobre la carga en los extremos de los barrotes. A la salida de la prensa el enfriamiento controlado se realizó mediante *spray* y ventiladores a una velocidad mínima de 250 °C/hora hasta alcanzar los 250 °C.

Luego del homogeneizado el barrote se cortó en dos tochos. Se extrajeron muestras de ambos extremos de los 4 barrotes sobre los que se realizó el seguimiento. Los tochos se nombraron según el orden de prensado como: Tocho 1 (barrote 3 cola), Tocho 2 (barrote 2 punta), Tocho 3 (barrote 2 cola), Tocho 4 (barrote 1 punta), Tocho 5 (barrote 1 cola), Tocho 6 (barrote 4 punta), Tocho 7 (barrote 4 cola), Tocho 8 (barrote 3 punta).

Para la caracterización de las muestras se realizaron: Macrografías (reactivo Tucker), medición de dureza Brinell (según norma ASTM E10), micrografías para el estudio de fases AlFeSi y Mg_2Si (preparación por electropulido + ataque con ácido fluorhídrico al 0,5% en volumen), medición del tamaño máximo de precipitados, distribución de partículas y medición de tamaño de grano. De cada tocho prensado se cortan 10 tiras de 3570 mm de longitud del perfil en cuestión, se selecciona la tira número 5 de cada tocho para cuantificar la cantidad de defectos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La medición de tamaño de grano en bruto de colada mostró que la mayor diferencia existe entre el tocho 2 (tamaño de grano promedio igual a 87 µm) y el tocho 6 (tamaño de grano promedio igual a 125 µm) en buen acuerdo con los reportados en la bibliografía [3]. Tanto el tamaño de grano como el espaciado interdendrítico finos favorecen la cinética durante el proceso de homogeneizado.

La presencia de siliciuros de magnesio en la condición de bruto de colada es fácilmente reducida gracias a la alta difusividad de estos elementos en el aluminio, esto se pudo apreciar en todas las micrografías (ver Figura 2 a y b) para los distintos tiempos de homogeneizado. En base a lo anterior y a trabajos consultados [4,5] es la cinética de la transformación β→α (AlFeSi), el estrangulamiento y esferoidización de las partículas de α-AlFeSi, cuya cinética es lenta, la que define el tratamiento térmico.

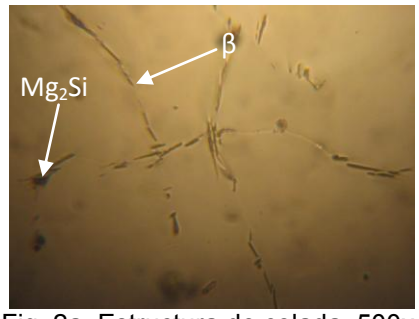


Fig. 2a. Estructura de colada. 500x. Presencia de Mg_2Si (oscuros) y los β-AlFeSi en forma de bastón.

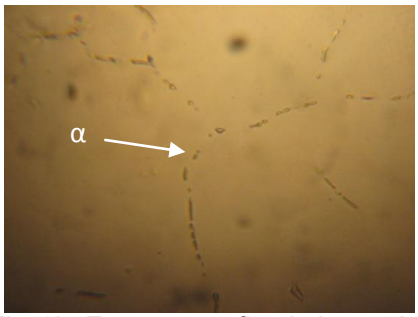


Fig. 2b. Estructura refinada luego del homogeneizado-solubilizado. Se aprecia la fase α-AlFeSi fragmentada.

En la Figura 3 se observa la dificultad para fragmentar y globulizar la fase α-AlFeSi precipitada como escritura china. Debido a las altas temperaturas requeridas para su fragmentación [3] esta fase no es deseada en las estructuras de colada.

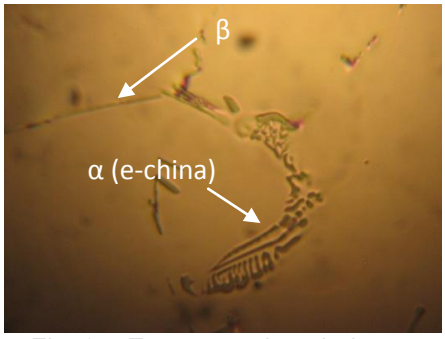


Fig. 3a. Estructura de colada. α-AlFeSi de escritura china. 1000x.

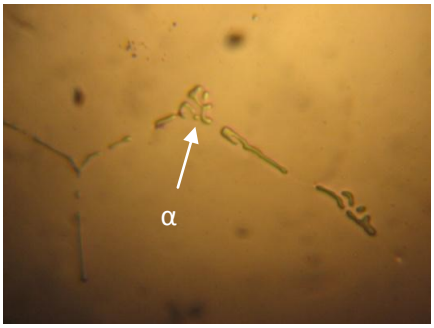


Fig. 3b. Estructura obtenida luego del homogeneizado-solubilizado. 1000x.

La fase α-AlFeSi es la que predomina en la estructura del material homogeneizado. Todos los ciclos experimentados por el material de prueba son suficientes a los efectos de cumplir con los objetivos del homogeneizado según la bibliografía [2]. No obstante, se verá a continuación, que

los resultados obtenidos evidenciaron que para las condiciones de prensado no todos respondieron de igual manera. Esta variación en el comportamiento puede ser explicada en la dispersión de la estructura de colada y su bajo grado de refinamiento, constituyéndose en el principal limitante para los resultados del homogeneizado.

Del análisis de los tochos 1 y 4 en condición bruto de colada se determinó que el tocho 4 presentó una microestructura más refinada que el tocho 1. La distribución de tamaños en la microestructura de colada nos indica que las partículas deseables (dimensión mayor por debajo de los 15 µm), comprenden un 94% de las partículas en el tocho 4 y un 88% en el tocho 1. Se vio que el homogeneizado invirtió el grado de dispersión de partículas encontradas en las muestras, logrando situar la distribución del tocho 1 en un 79,3% de partículas en el rango deseado (< 4 µm) contra un 73,5% para el tocho 4.

De la observación de las muestras se realizó una valoración del material analizado en la cual se expondrán en orden creciente de extrudabilidad (grado de refinamiento) las distintas microestructuras de los tochos que posteriormente fueron extruidos para estudiar la calidad superficial del producto final. Por la paridad de resultados se elige no hacer referencia a la estructura de colada en esta etapa y partir del homogeneizado-solubilizado. No obstante se debe tener presente que los dos extremos en cuanto a condición de bruto de colada son el tocho 1 (menor grado de refinamiento) y el tocho 4 (mayor grado de refinamiento). La Figura 4 muestra los daños relevados visualmente y en la Tabla 2 se vuelcan los resultados de este análisis.

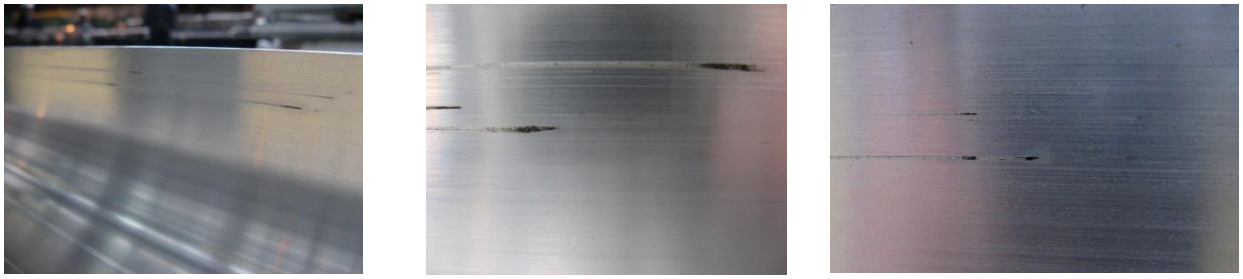


Fig. 4. Visualización cercana de los daños ocasionado por el defecto.

Tabla 2. Resultado de la observación superficial

Microestructura	Calidad Superficial		Tocho N°	Homogeneizado/Solubiliz. (575 a 590°C, mant. 6 hs)
Refinamiento	Rayas/metro	Tamaño de defecto[cm]		
1	>30	>5	8	7:30 hs calentamiento
				5:10 hs mantenimiento
2	>30	≤5	6	5:10 hs calentaminto
				7:29 hs de mantenimiento
3	17	≤5	5	6:00 hs calentamiento
				6:30 hs mantenimiento
4	26	≤5	2	8:08 hs calentamiento
				4:31 hs mantenimiento
5	6	≤5	4	6:00 hs calentamiento
				5:00 hs a 570°C
6	5	≤1	7	3:36 hs calentamiento
				9:03 hs mantenimiento
7	4	≤1	3	4:44 hs calentamiento
				7:50 hs mantenimiento
8	0	-	1	2:49 hs calentamiento
				9:50 mantenimiento

CONCLUSIONES.

Se puede observar la importancia del control de la dispersión térmica del horno de homogeneizado ya que una de las peores microestructuras en bruto de colada (Tocho 1) pasó a ser, una de las mejores estructuras previas al prensado, mientras que el tocho 4 (de mejores condiciones en bruto de colada), luego del homogeneizado adquirió un grado de refinamiento de la microestructura inferior al del tocho 1 (ver tabla 2).

Se pudo ver que la calidad superficial del producto depende directamente del grado de refinamiento de la estructura. Siendo consistente el análisis de la calidad superficial de los perfiles con el criterio de extrudabilidad asociado a la microestructura.

Se encontró como principal dificultad, a la hora de analizar los resultados, el grado de dispersión y las limitaciones de control del proceso a escala industrial. Para el avance en el estudio de la temática se propone como acciones futuras abordar el estudio de las transformaciones procurando un mayor control de las variables pudiendo lograrse mediante prácticas de laboratorio, nutriendo el estudio con técnicas microscopía electrónica y difracción de rayos-X aplicadas al proceso de transformación β→α-AlFeSi.

REFERENCIAS.

[1]. Aluminum Standars and Data SI, “Aluminium Asociation”, 2006.
[2]. A. L. Rivas, “Efect of de microestructure on the mechanical properties and surface finish of an extruded AA-6063 aluminium alloy”; Dpto. de Ciencias de los Materiales, Universidad Simón Bolivar, Venezuela, 1999. p. 21-23.
[3]. A. J. Bryant, F. R. Philipson, “Etrusion Ingot Metallurgy for AA6063 and Related Alloys”; Alcan International, Quebec, Canada, 1990.
[4]. B. Hidalgo, “Microscopy of Phase Transformations in Commercial Aluminium Alloys”; Depto. de Ciencia de los Materiales, Laboratorio de Caracterización de Materiales, Venezuela, 2007.
[5]. N.C.W. Kuijpers, y col., “Assessment of different techniques for quantification of α-Al(FeMn)Si and β-AlFeSi intermetallics in AA 6xxx alloys”; Neherlands Institute for Metals Research, Nethelands, 2003. p. 413-418.
[6]. S. N. Samaras, G. N. Haidemenopoulos, “Modelling of microsegregation and homogenization of 6061 extrudable All-alloy”; Laboratory of Materials, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Thesaly, Greece, 2007. p. 66-68.

SERVICIO DE MICROSCOPÍA ELECTRÓNICA DE BARRIDO Y MICROANÁLISIS DEL LIMF – FACULTAD DE INGENIERÍA – UNLP

Kang, Kyung W., Echarri, Juan M., Llorente, Carlos L.

Laboratorio de Investigaciones de Metalurgia Física "Ing. Gregorio Cusminsky (LIMF), Departamento de Mecánica, Facultad de Ingeniería, UNLP, Calle 48 y 116 (1900), La Plata.
E-Mail: esem.limf@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: Microscopio Electrónico de Barrido, Espectroscopía Dispersiva en Energías

INTRODUCCIÓN

En el año 2009 se instaló y puso en funcionamiento el servicio de microscopia electrónica de barrido ambiental con capacidad de microanálisis (ESEM-EDS), en el LIMF-Facultad de Ingeniería-UNLP. El equipamiento se adquirió en el marco del PME-2006 Nº 1891 "Estudio teórico-experimental de componentes para la tecnología energética y de materiales" en el cual participaron diferentes grupos de investigación de la UNLP, CONICET y CICPBA.

El microscopio electrónico de barrido (SEM, Scanning Electron Microscope) es uno de los instrumentos más versátiles para el examen y análisis de características microestructurales de objetos sólidos. Una de las razones para ello es su alta resolución (de 20 a 50 Å) y otra característica importante es la apariencia tridimensional de las imágenes, producto de su gran profundidad de foco (aproximadamente entre 100 y 1000 veces mayor que la de un microscopio óptico a la misma magnificación).

En general los SEM cuentan con capacidad analítica mediante el agregado de un detector de rayos X dispersivo en energías (EDS, Energy Dispersive Spectrometer), que permite obtener información composicional de manera rápida y eficiente.

Los microscopios electrónicos de barrido (SEM), trabajan a un vacío aproximado de 10^{-6} torr. En estos microscopios las muestras no conductoras (orgánicas, biológicas, vidrios, polímeros, etc.) necesitan una cubierta conductora metálica, para evitar carga eléctrica y daño por radiación, y lograr su observación. En estos casos se utiliza generalmente una cubierta de oro por ser buen conductor del calor y la electricidad, o se recubren con carbono cuando se quiere realizar análisis químico por EDS. Por otro lado, las muestras conductoras pueden ser examinadas sin ningún tipo de cubierta.
En el caso de las muestras biológicas, estas deben recibir un tratamiento de secado por punto crítico (CPD, Critical Point Drying) previo al metalizado. El CPD es un método de secado posterior a la deshidratación con alcohol o acetona, que permite conservar la forma y estructura celular de la muestra. El proceso se basa en el reemplazo de los líquidos (utilizados en la extracción, fijación y conservación iniciales) por CO_2, que es finalmente evacuado sin dañar los tejidos de la muestra.
Los nuevos microscopios electrónicos de barrido (ESEM, Enviromental Scanning Electron Microscope) tienen la capacidad de trabajar con bajo vacío (hasta 20 torr), aumentado notablemente el campo de aplicación, llegando a extremos de poder estudiar en esas condiciones muestras con un 100% de humedad relativa.

El objetivo de este trabajo es la presentación y difusión de la capacidad del servicio de microscopía electrónica de barrido que cuenta la Facultad de Ingeniería de la UNLP, detallando el potencial de los equipos y las posibilidades de uso de los mismos.

PARTE EXPERIMENTAL

En la Figura 1 se puede observar el microscopio electrónico de barrido ambiental (ESEM), marca FEI, modelo Quanta 200, instalado en el LIMF.



Figura 1. Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental, FEI Quanta 200 del LIMF.

Las partes esenciales del microscopio electrónico de barrido son: el sistema de vacío, la columna de electrones, la cámara portamuestras y el sistema de adquisición y procesamiento de imágenes.

El Sistema de Vacío

En cualquier microscopio electrónico de barrido, la columna de electrones debe estar a un vacío de aproximadamente 10^{-6} torr para evitar la dispersión del haz de electrones y asegurar una mayor duración de la fuente de emisión electrones, entre otros. Las bombas de vacío estándar utilizadas son las difusoras de aceite, que se dañan si trabajan a presiones cercanas a las atmosféricas. Para evitar este daño, se coloca previamente una bomba mecánica para bajar el vacío a un valor aproximado de 10^{-3} torr. Para minimizar la introducción de gotas de aceite en la cámara portamuestras se utilizan, en la actualidad, bombas turbo moleculares en reemplazo de las difusoras de aceite. Estas bombas tienen la ventaja de ser limpias, aunque pueden introducir vibraciones al microscopio y requieren de una bomba mecánica para retirar el aire que se comprime en la base de la bomba turbo molecular.

En los SEM convencionales, tanto la columna de electrones como la cámara portamuestras deben estar a un vacío aproximado de 10^{-6} torr. Sin embargo, en los ESEM la columna de electrones se mantiene a un alto vacío mientras que la cámara portamuestras puede estar a un vacío entre 10^{-2} y 20 torr. En este caso, se utiliza un juego de aperturas múltiples que limitan la presión y separan la cámara portamuestras de la columna de electrones. En consecuencia, los microscopios electrónicos de barrido ambientales (ESEM), pueden trabajar en tres modalidades de vacío: Alto Vacío (10^{-6} torr), Bajo Vacío (10^{-2} a 1 torr) y Modo Ambiental (1 a 20 torr). La ventaja de las modalidades Bajo Vacío y Ambiental es que se pueden analizar muestras sin necesidad de preparación previa, como el metalizado o secado por punto crítico, aunque la calidad de resolución es menor que en el modo Alto Vacío.

La columna de electrones

Un esquema de la columna de electrones y óptica del SEM puede observarse en la Figura 2.

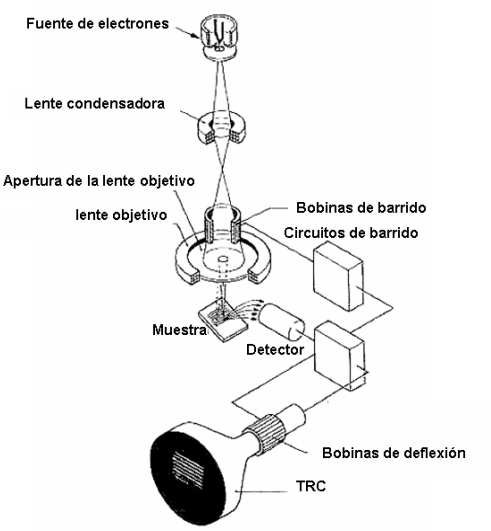


Figura 2. Diagrama esquemático de un microscopio electrónico de barrido.

La fuente de electrones convencional consta de un filamento de tungsteno (W) de aproximadamente 100μm de diámetro que se calienta produciendo un haz de electrones por emisión termoiónica. El filamento está rodeado por una pieza metálica cilíndrica, denominada cilindro de Wehnelt (Figura 3), que se mantiene a un potencial negativo variable que obliga a los electrones a focalizarse en una pequeña región de entre 25 y 100μm. Unos pocos milímetros por debajo de esta pieza metálica se encuentra un ánodo que puede polarizarse hasta un potencial de 50kV. Los electrones se aceleran a este potencial mientras que un par de bobinas electromagnéticas denominadas lentes condensadoras, de-magnifican el haz una cierta cantidad. Un segundo par de bobinas, llamadas lentes objetivo concentran el haz hasta una sección mínima, que puede variar de 1nm a 500nm. Asimismo, un par de bobinas de deflexión electromagnéticas permiten realizar el barrido del haz de electrones sobre la muestra en sincronismo con la impresión de la imagen en la pantalla del monitor. Esto implica que a cada punto de la muestra le corresponde un punto de la imagen.



Figura 3. Imagen del cilindro de Wehnelt utilizado en el ESEM del LIMF.

Existen otras fuentes electrónicas más intensas como los cátodos de hexaboruro de Lantano (LaB_6) y los cátodos fríos o de emisión de campo (FEG), que son más duraderos permitiendo mejores resoluciones por ser de mayor brillo. El FEG es la fuente de electrones utilizada en los SEM de alta resolución.

Interacción de los electrones con la materia

Cuando un haz de electrones choca con la superficie de una muestra se producen distintos y complejos fenómenos, siendo los más comunes las dispersiones inelásticas (cambios en la energía de los electrones incidentes con cambios despreciables en su dirección) y las dispersiones elásticas (cambios de dirección de los electrones incidentes con pérdida despreciable de energía). La interacción del electrón incidente puede ser con el núcleo o con los electrones atómicos, dando lugar a diferentes señales que pueden ser utilizadas para producir una imagen en el SEM o bien para realizar análisis elemental de la muestra en estudio:

- Cuando la interacción del electrón incidente es con los electrones más periféricos de los átomos de la muestra, muchos de estos electrones de valencia son eyectados fuera de la muestra como ***electrones secundarios*** de baja energía.
- En la interacción de los electrones incidentes cerca del núcleo de los átomos de la muestra, se produce una gran deflexión en la dirección del electrón. De esta manera, estos electrones son dispersados elásticamente hacia atrás y son eyectados fuera del espécimen (***electrones retrodispersados o "backscattered"***), y la fracción de éstos aumenta con el número atómico de la muestra.
- La interacción inelástica de los electrones incidentes con los electrones de las capas más internas del átomo dan lugar al ***espectro de rayos X de líneas características*** de los elementos presentes en la muestra.
- Muchos de los electrones incidentes que interactúan elástica o inelásticamente, pueden atravesar la muestra, si la misma es muy delgada. Estos ***electrones transmitidos***, dan lugar a diferentes señales en lo que se conoce como modo STEM (Scanning Transmision Electron Microscope). En este caso, se puede colocar en la cámara portamuestras del ESEM del LIMF un detector para obtener imágenes en modo STEM.

El ESEM del LIMF cuenta con capacidad analítica por rayos X. En la Figura 4 se puede observar el detector de rayos X dispersivo en energías adosado al microscopio. Este detector permite obtener imágenes de rayos X, además de los espectros de composición química elemental. Estos análisis proveen información cualitativa y semicuantitativa de la zona en que se encuentran determinados elementos en forma simultánea.



Figura 4. Espectrómetro de rayos X dispersivo en energías EDAX SDD Apollo 40.

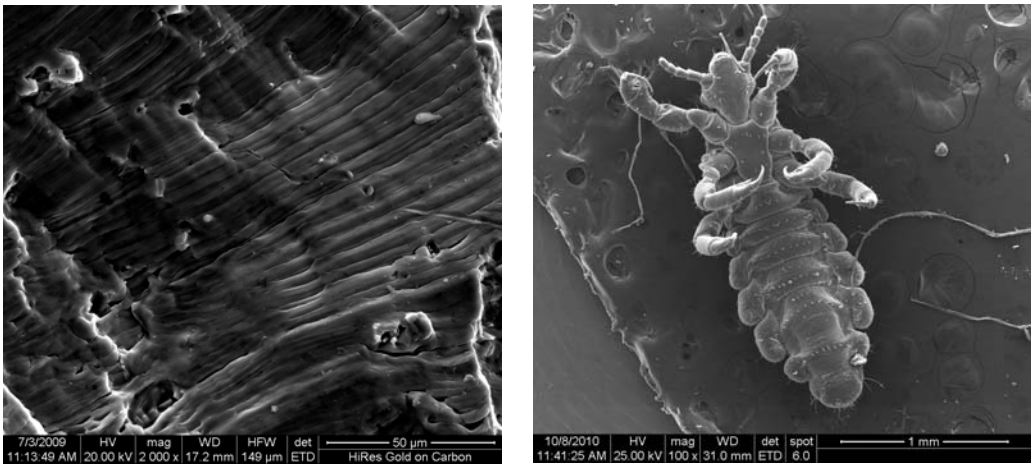
Formación de imágenes en el SEM

En el SEM, se focalizan electrones de alta energía en un fino haz, el cual barre la superficie de la muestra. Como fuera explicado anteriormente, una amplia variedad de señales son producidas debido a interacciones complejas del haz de electrones con los átomos del espécimen. Estas señales (electrones secundarios y electrones retrodispersados o backscattered) son colectadas por distintos detectores colocados en la cámara portamuestas del microscopio. En el modo Alto Vacío, el detector fotomultiplicador

centellador desarrollado por Everhart and Thornley (E-T), genera imágenes topográficas a partir de la detección de electrones secundarios. En el modo Bajo Vacío se utiliza para la generación de estas imágenes el detector Large Field Detector (LFD) de FEI. En las dos modalidades mencionadas, el detector de electrones retrodispersados DualBSD de FEI, permite obtener imágenes con contraste composicional. En la modalidad Ambiental, la imagen se genera a través del detector de electrones secundarios gaseoso (GSED). En esta modalidad, se coloca en la cámara un portamuestras que permite variar la temperatura, de esta manera se puede mantener la muestra dentro de la cámara, con un 100% de humedad relativa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se pueden observar algunas imágenes obtenidas con el ESEM del LIMF. En la Figura 5a se muestra una imagen topográfica adquirida con el detector E-T de la superficie de fractura de una pieza de aluminio. En la Figura 5b se puede observar la imagen obtenida con el detector LFD de un piojo en modo Bajo Vacío y en este caso la muestra no requirió secado por punto crítico y/o metalizado. Esta misma muestra sin preparación, se habría colapsado en modo Alto Vacío por el vacío generado en la cámara portamuestras.



(a) **(b)**

Figura 5. (a) Superficie de fractura de una muestra de Aluminio, (b) Imagen de un Pediculus humanus comúnmente denominado piojo.

En la Figura 6 se puede observar una imagen obtenida con el detector GSED. En este caso la muestra tampoco requirió preparación para ser observada en el ESEM.

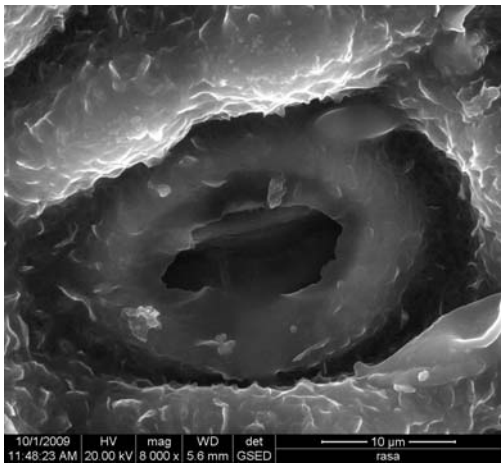
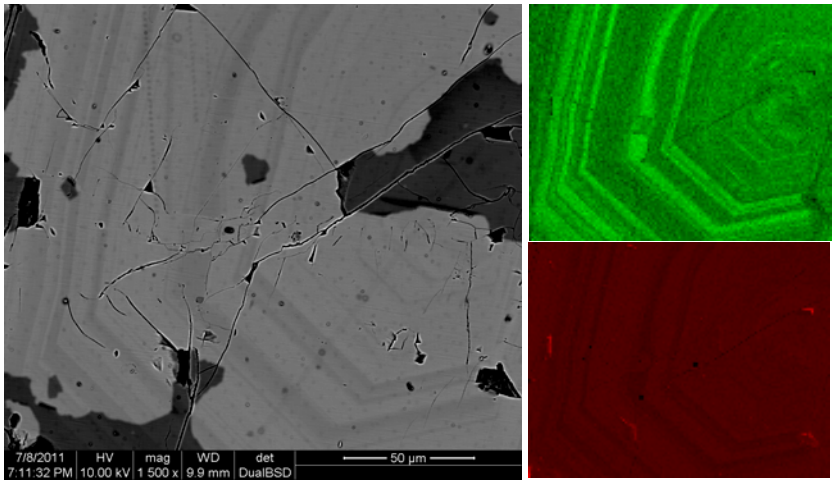


Figura 6. Estoma de la hoja de un eucalipto en alcohol obtenida con el detector GSED.



(a) **(b)**

Figura 7. Imagen de una muestra de plagioclasa (a) obtenida con el detector DualBSD (b) imagen de rayos X de calcio (arriba) y sodio (abajo) obtenidos con el detector dispersivo en energías.

En la Figura 7a se puede observar la imagen de electrones retrodispersados con contraste composicional de una plagioclasa (solución sólida isomorfa entre albita ($NaAlSi_3O_8$) y anortita ($CaAl_2Si_2O_8$)). En este caso, el contraste de grises se produce debido a los diferentes elementos que componen la muestra. En la Figura 7b se muestran las imágenes de rayos X del sodio y calcio presentes en la plagioclasa. Esta imagen da información de dónde se encuentra el elemento, es decir, cada punto indica la presencia del elemento. También se pueden obtener datos semicuantitativos de cada elemento punto a punto.

CONCLUSIONES

El microscopio electrónico de barrido permite obtener información topográfica y composicional rápida, eficiente y simultáneamente en distintos tipos de muestras. En este trabajo se muestra el potencial de los equipos y las posibilidades de uso de los mismos. El Servicio de Microscopía Electrónica de Barrido y Microanálisis del LIMF-Facultad de Ingeniería-UNLP, brinda sus servicios a toda la comunidad científica, organismos oficiales, y empresas estatales y privadas, a través de todo el equipamiento mencionado en el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Goldstein J.I, Newbury D.E., Echlin P., Joy D.C., Romig Jr., A.D., Lyman C.E., Fiori C. and Lifshin E. (1992). *Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis, Second Edition*; Scanning Plenum Press.
- Joy D.C., Romig Jr., A.D., and Goldstein J.I. (1989). *Principles of Analytical Electron Microscopy*; Plenum Press.
- Reimer L. (1985). *Scanning Electron Microscopy – Physics and Image formation and microanalysis*; Springer Series in Optical Sciences; Springer-Verlag.

CARACTERIZACIÓN SUPERFICIAL DE 316LVM BLASTINIZADO Y PASIVADO PARA SU APLICACIÓN COMO BIOMATERIAL

Lemos B. Adriana.L.[a], Kang K.W.[a], Pereda M.D.[a,b], Bonetto R.[c], Llorente C.[a,d], Bilmes P.[a], Gervasi C.[b,e]

[a]Laboratorio de Investigaciones de Metalurgia Física (LIMF), Facultad de Ingeniería UNLP, La Plata 1900, Argentina
[b]Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA), Facultad de Ciencias Exactas UNLP, La Plata 1900, Argentina
[c]Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas "Dr. Jorge J. Ronco" (CINDECA), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Facultad de Ciencias Exactas UNLP, La Plata 1900, Argentina
[d]Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICPBA)
[e]Laboratorio de Ingeniería de Corrosión y Tecnología Electroquímica (LICTE), Facultad de Ingeniería UNLP, La Plata 1900, Argentina
E-mail: adriana.barboza@ing.unlp.edu.ar

Palabras claves: acero inoxidable 316LVM; blastinizado; parámetros de rugosidad; corrosión por picado; pasivado químico, microdureza

INTRODUCCIÓN

Existen diferentes procedimientos para los tratamientos superficiales en biomateriales, algunos de los cuales dependen de la aplicación, tal como en cirugía ortopédica. En general, la biofuncionalidad de estos implantes está gobernada por las propiedades de volumen pero la interacción con el medio biológico está determinada por las características de la superficie [1]. Por lo tanto, un buen desempeño de estos biomateriales con diferentes tratamientos superficiales y/o recubrimientos se obtendría caracterizando inicialmente la composición química, la micro y/o nanoestructura, la rugosidad, el espesor de capa modificada y después correlacionar esta información con las propiedades fisicoquímicas, biocompatibilidad, resistencia a la corrosión, etc.
El tratamiento de blastinizado con partículas esféricas (*bead blasting*) es ampliamente utilizado y estudiado como tratamiento superficial para implantes en Ti c.p. y Ti6Al4V [2]. Sin embargo, hay pocos estudios realizados con respecto a su aplicación en aceros inoxidables para biomateriales [3]. Sin embargo, existen varios estudios donde tratan su uso en diferentes aplicaciones [4] como así también en aceros de bajo carbono [5]. En el tratamiento de blastinizado se utilizan pequeñas partículas abrasivas propulsadas por una corriente de aire que impactan en la superficie, a una presión y tiempo de proceso fijos. Generalmente, el proceso genera severas modificaciones en la superficie y en la sub-superficie [6]. Las modificaciones podrían ser de naturaleza química [2], relacionadas con la microestructura como el refinamiento de grano [3] o asociadas con las propiedades mecánicas como dureza o tensiones residuales de compresión [3]. Otro efecto relacionado al blastinizado es el aumento en la rugosidad superficial. La magnitud de estas modificaciones depende de los parámetros de proceso: tamaño, composición y forma de la partícula, presión y tiempo de blastinizado [6]. Para lograr una limpieza eficaz y aumentar la resistencia a la corrosión después del blastinizado es necesario aplicar como último tratamiento superficial un pasivado químico o electropulido [4].
Por otro lado, se conoce que la topografía final de la superficie afecta la interacción de los biomateriales con los tejidos biológicos [7] y la degradación por corrosión debida a los fluidos biológicos [1]. La corrosión juega un papel importante en la biocompatibilidad del material ya que la liberación de productos de corrosión o de iones metálicos de una naturaleza no biocompatible podrían causar reacciones adversas en el organismo como hipersensibilidad, inflamación o citotoxicidad [1].

Además, la corrosión puede provocar la pérdida de estabilidad del implante, disminuyendo su funcionalidad y vida útil de servicio [1].
El objetivo del presente trabajo fue evaluar los efectos que producen el proceso de blastinizado y pasivados químicos en los parámetros de rugosidad, el comportamiento frente la corrosión por picado y el endurecimiento superficial. Con este fin se utilizó acero inoxidable austenítico AISI 316 LVM con diferentes preparaciones superficiales, todas basadas en blastinizado con partículas de sílice.

Parte experimental

Se utilizó el acero inoxidable AISI 316LVM (0.019 %C, 1.86 %Mn, 17.29 %Cr, 2.77 %Mo, 14.34 %Ni, 0.36 %Si, 0.017 %P, 0.001 %S, 0.14 %Cu, 0.086 %N). Las muestras fueron blastinizadas por un proveedor industrial durante 30 seg, 2 min, 5 min y 15 min con partículas de sílice entre 30 a 160 µm de diámetro a 5 Kg/cm^2 de presión. Estas muestras fueron luego pasivadas químicamente con 20% HNO_3 (v/v) por 30 y 60 min (2030 y 2060, respectivamente) y en 40% HNO_3 (v/v) por 30 min (4030) a temperatura ambiente. Los resultados obtenidos se compararon con muestras blastinizadas durante 2 min sin pasivado químico y muestras pulidas mecánicamente con pasta de diamante de 6 µm y pasivado 2060. La Tabla 1 muestra la nomenclatura utilizada para los diferentes tratamientos superficiales. Los símbolos (I) y (II) indican dos etapas distintas en las cuales el mismo proveedor industrial realizó el tratamiento de blastinizado.
La rugosidad se analizó con un microscopio electrónico de barrido (MEB) Philips SEM 505 provisto con una interface de barrido digital ADA II y un software de análisis Scandium SIS Imagen. El voltaje de trabajo fue de 25 kV y el tamaño de spot utilizado fue de 200 nm. Se obtuvieron diez pares estereos de imágenes MEB a 203X de magnificación de cada muestra blastinizada y pasivada; estos fueron procesados para obtener los parámetros de rugosidad (PR) con el programa EZE Image [8].
El comportamiento mecánico se evaluó utilizando un microdurómetro Future Tech FM-700. Las medidas de microdureza Vickers se realizaron en secciones transversales y superficiales con una carga de 10 gf durante 10 segundos (tiempo de carga) según ASTM E 384-89.
La caracterización electroquímica se realizó en solución deareada Ringer (8.6 g/L NaCl, 0.3 g/L KCl, 0.33 g/L $CaCl_2$) termostatizada a 37ºC. Se utilizó una celda convencional de tres electrodos con contraelectrodo de Pt y electrodo de calomel saturado como electrodo de referencia (ECS). Las curvas de polarización potenciodinámicas (CP) se realizaron a una velocidad de barrido de 13.8 mV/s entre -1.2 V_{ECS} y 1.6 V_{ECS}. Antes de cada medida, las muestras fueron pintadas con pintura epoxi dejando aproximadamente 0.4 cm^2 de área expuesta. Las densidades de corriente se calcularon con el área geométrica ya que la real varía con los distintos tratamientos. El potencial de picado (Ep) se tomó como el valor de potencial al cual la densidad de corriente anódica alcanza los 200 $\mu A/cm^2$.

Tabla 1.- Nomenclatura utilizada para los diferentes tratamientos superficiales.

Nomenclatura	Tratamientos superficiales
PM	Pulido mecánico con pasta de diamante de 6 µm
PMP2060	Pulido mecánico con pasta de diamante de 6 µm y pasivado químico 2060
B30s (I)	Blastinizado con partículas esféricas durante 30 seg
B2m (I) and (II)	Blastinizado con partículas esféricas durante 2min
B5m (I)	Blastinizado con partículas esféricas durante 5 min
B15m (II)	Blastinizado con partículas esféricas durante 15 min
BP30s2060 (I)	Blastinizado con partículas esféricas durante 30 seg y pasivado químico 2060
BP2m2060 (I) y (II)	Blastinizado con partículas esféricas durante 2 min y pasivado químico 2060
BP5m2060 (I)	Blastinizado con partículas esféricas durante 5 min y pasivado químico 2060
BP15m2060 (II)	Blastinizado con partículas esféricas durante 15 min y pasivado químico 2060

BP2m2030 (II)	Blastinizado con partículas esféricas durante 2 min y pasivado químico 2030
BP2m4030 (II)	Blastinizado con partículas esféricas durante 2 min y pasivado químico 4030

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización Topográfica

La caracterización de la topografía superficial se realizó a través de los parámetros de amplitud Sq, Sa, Sz, Sku y Ssk los cuales proporcionan información geométrica de la superficie y los parámetros funcionales Sbi, Sci y Svi. Sa y Sq los cuales describen características estadísticas de altura de la superficie y son útiles para detectar las variaciones globales de alturas de la superficie. El parámetro Sa (Ra en el caso unidimensional) fue incluido en la descripción topográfica ya que el mismo es ampliamente utilizado en la descripción de rugosidad de superficies con tratamientos de blastinizado [3]. Sin embargo, es importante remarcar que el uso de este parámetro solo, no siempre permite la cuantificación completa de la rugosidad de la superficie. La Tabla 2 muestra los parámetros incluidos en el programa EZEImage y su significado.

Tabla 2. Parámetros de rugosidad utilizados frecuentemente en la caracterización superficial.

Parámetro	Descripción
Sigma	Raíz cuadrada de la desviación cuadrática media de la topografía de la superficie (alturas relativas al plano que contiene al eje de inclinación de la muestra)
Sq	Raíz cuadrada de la desviación cuadrática media de la topografía de la superficie
Ra	Desviación media aritmética de la topografía de la superficie (alturas relativas al plano que contiene al eje de inclinación de la muestra)
Ssk	Asimetría (Skewness) de la distribución de alturas de la topografía
Sku	Curtosis (Kurtosis) de la distribución de alturas de la topografía
Sz	Diez-puntos (Ten-point) de la topografía de la superficie (diferencia de altura entre el promedio de los 5 puntos de mayor altura y los cinco puntos de menor altura)
Sbi	Índice de contacto de la superficie
Sci	Índice de retención de líquido en el centro o núcleo
Svi	Índice de retención de líquido en el valle
D	Estimador de la Dimensión Fractal

Las Fig. 1a y 1b muestran las diferentes topografías que se obtuvieron en las etapas (I) y (II) para el mismo tiempo de blastinizado y tratamiento de pasivado químico. De la Fig. 2 puede observarse que el tratamiento realizado en las etapas (I) y (II) no generan las mismas características superficiales. La Fig. 2a) muestra que la rugosidad es mayor en la etapa (II) con respecto a la etapa (I) para el mismo tiempo de blastinizado y pasivado químico pero no indica la distribución topográfica de la superficie. Con el estimador de dimensión fractal D (Fig. 2b) es posible corroborar las diferencias entre la superficie obtenida porque este parámetro indica que las superficies presentan distintas irregularidades. El parámetro D muestra que el primero tiene una superficie más regular. Estos resultados permiten deducir que los parámetros utilizados en el proceso de blastinizado, como el ángulo de incidencia, forma y tamaño de partículas, etc., son diferentes en las dos etapas de proceso [5].

Para analizar el efecto del tiempo de blastinizado en los PR, en las Fig. 3a y 3b se muestran los mismos normalizados al valor de 30 seg. para la etapa (I) y de 2 min para la etapa (II). En el caso la etapa (I), se observan a 2 min valores máximos o mínimos en los parámetros. El aumento de San y Sqn luego de 30 seg. de blastinizado indica que en la superficie la diferencia de altura entre picos y valles aumenta mientras que la disminución de Skun implica que la distribución de picos es más uniforme. Por otro lado, los cambios generados a tiempos mayores a 2 min, es decir, 5 min, no son tan pronunciados aunque sí se observa una disminución en San y Sqn y un leve aumento de Skun. Este comportamiento también se da en la etapa (II) entre 2 min y 15 min y se debe al fenómeno conocido como sobre-blastinizado (*overblasting*) [5]. Con respecto a los parámetros funcionales, los resultados muestran que en la etapa (I) los parámetros Sbin y Scin fueron los más sensibles a las diferentes características superficiales mientras que en la etapa (II) son más sensibles los parámetros Svin y Scni. Se debe

tener en cuenta que la variación que presenta el parámetro Sci en las dos etapas está acompañado de una variación en otro parámetro funcional (Sbi o Svi) y el análisis de los dos parámetros combinados, es decir, Sci-Sbi o Sci-Svi, proporciona más información sobre la superficie que sólo Sci.

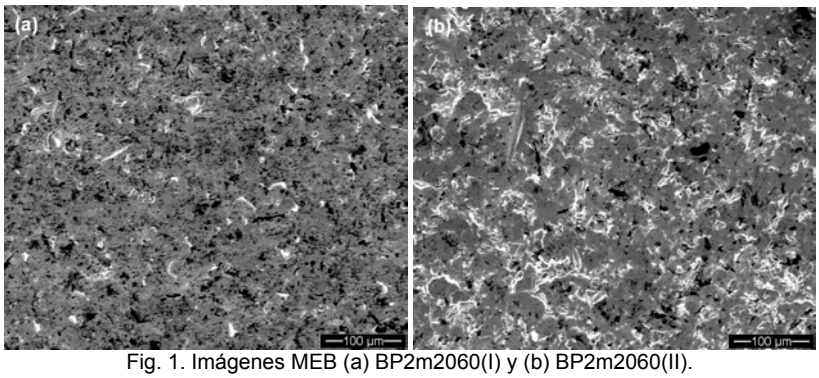


Fig. 1. Imágenes MEB (a) BP2m2060(I) y (b) BP2m2060(II).

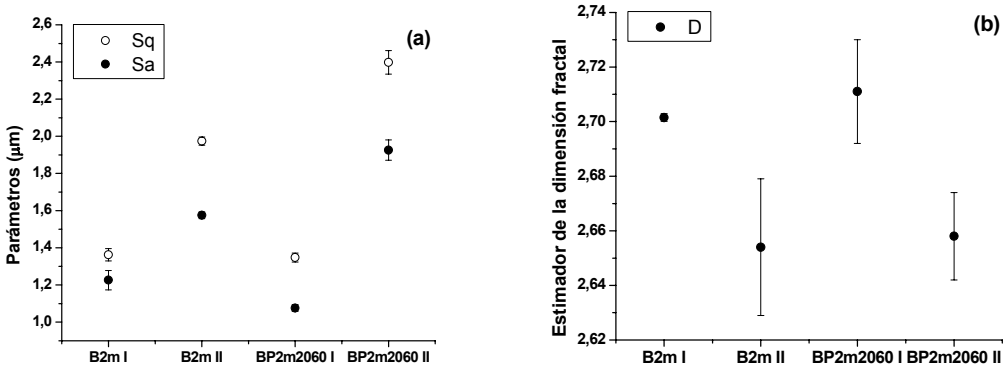


Fig. 2. (a) Parámetros Sq y Sa y (b) Estimador de la dimensión fractal D para B2min (I) y (II) y BP2m2060 (I) y (II).

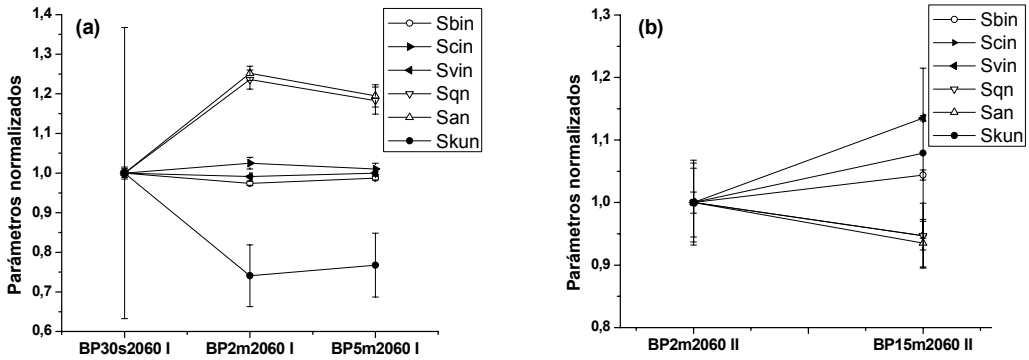


Fig. 3. (a) PR normalizados al valor a 30 seg. en función del tiempo de blastinizado con el mismo tratamiento de pasivado químico para las muestras realizadas en la etapa (I); (b) idem (a) pero realizadas en la etapa (II) y normalizados al valor a 2 min.

Caracterización mecánica

A partir del análisis de las secciones transversales de las muestras B30s(I) y B2m(I) por MEB (Fig. 4) se reveló una microestructura deformada en la sub-superficie y que se incrementa a medida que aumenta el tiempo de proceso. La dureza superficial aumenta con el tiempo de blastinizado dentro de cada etapa y es siempre mayor que PM (Tabla 3). La menor dureza observada en B2m(II) en comparación con B2m(I) se debería al uso de distintos parámetros de blastinizado en las dos etapas. Además, esto también explicaría que el valor de B5m(I) es mayor que B15m(II). En la Fig. 5 se muestran que los valores de dureza medidos a lo largo de las secciones transversales disminuyen gradualmente a medida que se incrementa la distancia a la superficie para los diferentes tiempos y etapas de blastinizado. B2m(I) tiene una mayor profundidad

de penetración que B30s(I) y B5m(I) (Fig. 5a) aunque debería ser menor o igual a B5m(I). En cambio, en la etapa (II) (Fig. 5b) la profundidad de penetración es mayor cuanto mayor es el tiempo de blastinizado. Por otro lado, B2m(I) presenta una mayor dureza cercana a la superficie y una mayor profundidad de penetración que B2m(II).

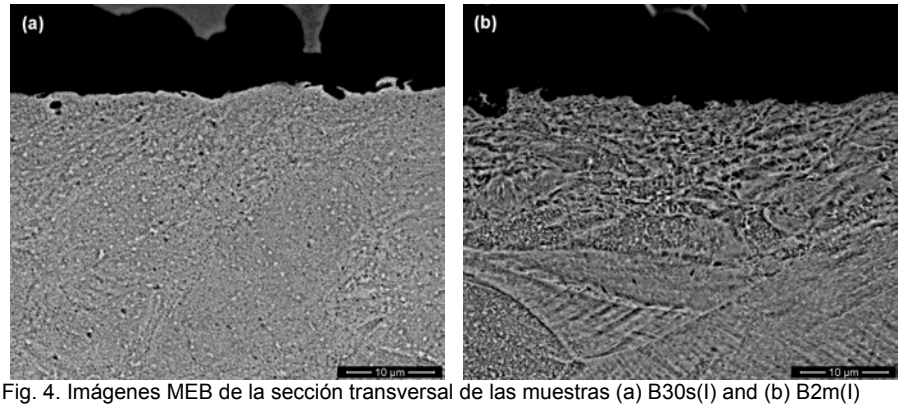


Fig. 4. Imágenes MEB de la sección transversal de las muestras (a) B30s(I) and (b) B2m(I)

Tabla 3- Valores de microdureza superficial para los distintos tiempos de blastinizado y etapas del proceso y para PM.

	PM	B30s (I)	B2m (I)	B5m (I)	B2m (II)	B15m (II)
Dureza (HV) ± DS	301 ± 12	461± 10	500± 11	539 ± 12	447 ± 11	530 ± 11

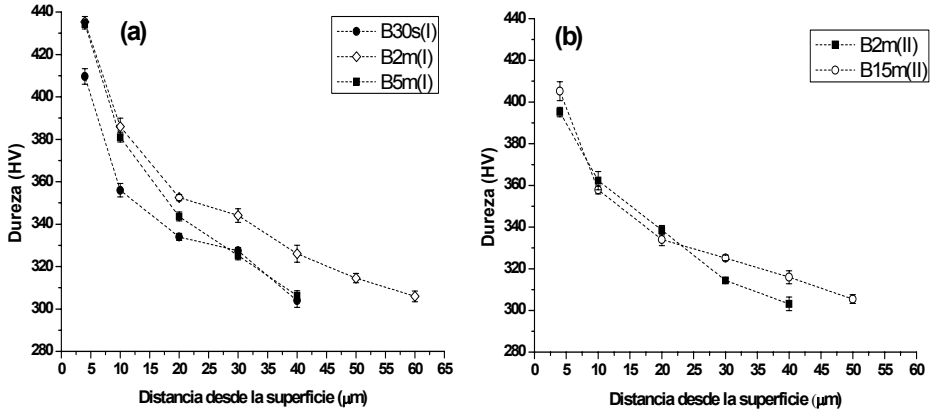


Fig. 5. Perfiles de microdureza en las muestras blastinizadas durante (a) 30 seg, 2 min y 5 min en la etapa (I) y (b) 2min y 15 min en la etapa (II).

Caracterización electroquímica

La Fig. 6 muestra típicas CP en las muestras blastinizadas y pasivadas. Para facilitar la comparación se muestran sólo los barridos anódicos aunque en cada medida utilizada para evaluar Ep se comprobó la presencia de un ciclo de histéresis. En el recuadro de la Fig. 6 se muestran las CP para las condiciones PM y PMP2060. Las muestras blastinizadas y pasivadas de la etapa (I) presentaron la siguiente secuencia de acuerdo a los Ep: BP2m2060(I) (0.80 ± 0.06 V_{ECS})>BP5m2060(I) (0.65 ± 0.02 V_{ECS})>BP30s2060(I) (0.62 ± 0.03 V_{ECS}). La condición BP2m2060(I) se comparó con BP2m2060(II) y no se encontró diferencia significativa entre el comportamiento frente a la corrosión por picado. La condición BP15m2060(II) (0.70 ± 0.06 V_{ECS}) alcanzó un Ep menor que BP2m2060(I,II) pero superior a B5m2060(I). Esto significa que no hay una clara tendencia en la variación de la resistencia a la corrosión según el tiempo de blastinizado entre las dos etapas. El resto de las condiciones de la etapa (II) fueron evaluadas mediante CP pero no se obtuvieron resultados concluyentes. La condición PM presentó un Ep de 0.55 ± 0.04 V_{ECS}, inferior a cualquiera de las muestras anteriores. Además, se observó que la resistencia a la corrosión por picado disminuye

con la aplicación del blastinizado aún con pasivado químico cuando se comparan con PMP2060.

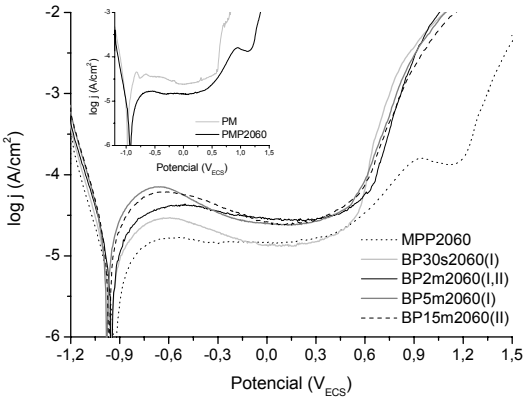


Fig. 6. CP de distintas condiciones superficiales. El recuadro muestra las CP de PMP2060 y PM.

CONCLUSIÓN

Como hemos destacado a lo largo de este trabajo, el blastinizado aumenta la rugosidad de los implantes y a su vez incrementa la dureza superficial y subsuperficial. Sin embargo, este proceso no es capaz de generar una superficie lo suficientemente pasiva y libre de impurezas. De acuerdo a la norma ASTM 86-12, es fundamental la aplicación de un tratamiento que incremente la resistencia a la corrosión del material como el pasivado químico. Estos dos tratamientos en conjunto generan propiedades superficiales deseadas en los implantes, tales como buena resistencia a la corrosión y al desgaste, preservando las propiedades del seno del biomaterial y reduciendo notablemente el precio del mismo. Del análisis de los resultados se puede observar que las variaciones en algunos parámetros dentro del mismo proceso pueden llevar a obtener características superficiales y propiedades mecánicas diferentes. No obstante es importante destacar que en la industria de los implantes es primordial obtener superficies reproducibles en diferentes lotes de fabricación. Variaciones en las características superficiales de un lote a otro pueden alterar el comportamiento del implante y las interacciones con el tejido vivo.
Es importante seleccionar un conjunto adecuado de parámetros de rugosidad en la caracterización de los tratamientos de superficies de biomateriales para correlacionar los parámetros de proceso con las superficies finales y verificar la reproducibilidad del mismo. Los parámetros de rugosidad como Sa o Sq (fácilmente medibles con un perfilómetro) y la dureza proporcionan métodos cuantitativos satisfactorios para supervisar el proceso de blastinizado en línea.

BIBLIOGRAFIA

[1] Ratner, B.D., Hoffman, A.S., 1996. Biomaterials science: An introduction to materials in medicine Schoen, F. and Lemons, J. Academic Press.
[2] Barranco, V. 2007. Electrochimica Acta 52, p. 4374.
[3] Multigner, M., 2010. Surface and Coatings Technology 205, p. 1830.
[4] Faller, M., 2005. Materials and Corrosion 56, p. 373.
[5] Poorna Chander, K, Materials and Design, 30 (2009) 2895-2902.
[6] Metals Handbook ASM International 1996, Vol. 5, 10 th Ed., ASM International Handbook Committee.
[7] Wennerberg, A, 1996. Biomaterials 17, p. 15.
[8] Ponz, E, 2006. Microscopy and Microanalysis 12, p. 170.

NUEVAS TÉCNICAS DE RELEVAMIENTO: EL PHOTO SCANNING.

Defranco, Gabriel H.; Fuertes, Laura L.; Gavino, Sergio J. L.;
Lopresti, Laura A.; Lara, Marianela; Barba, Salvatore.

Unidad de Investigación y Desarrollo – Grupo de Ingeniería Gráfica Aplicada (UID-GIGA)
Departamento de Mecánica – Facultad de Ingeniería
Gabriel Horacio Defranco – UID GIGA – Facultad de Ingeniería UNLP – Av. 1 y 47 La Plata
CP 1900 - ghdefran@ing.unlp.edu.ar

RESUMEN

El relevamiento por medios manuales empleando el dibujo de croquis, es una práctica habitual para el registro de piezas en el ámbito de la Ingeniería Mecánica y el Diseño Industrial. La técnica del llamado “croquis de avería” viene siendo utilizada desde muy antiguo y mantiene su vigencia, constituyen un paradigma consolidado. Sin embargo, actualmente se dispone de técnicas más modernas que permiten otro tipo de relevamiento para iguales objetivos. Ellas son la fotogrametría y el láser scanner.

La fotogrametría, ampliamente utilizada en aplicaciones territoriales y de arquitectura, en orden a la preservación del patrimonio, resulta ser, en una escala distinta, de utilidad en aplicaciones industriales. Es así, que con algunas fotografías adecuadamente tomadas y algunas dimensiones utilizadas como patrones, pueden obtenerse modelos digitales equivalentes a los croquis. Procesando el registro fotográfico digital con software específico, se puede arribar a una nube de puntos en tres dimensiones y arribando luego a un modelo 3D. El modelo obtenido, puede ser utilizado para el re-modelado de la pieza relevada o para ser materializado bajo el circuito productivo del CAD-CAM (CNC).

El presente trabajo tiene por propósito presentar los pasos iniciales dados por la Unidad de Investigación y Desarrollo- Grupo de Ingeniería Gráfica Aplicada (UID-GIGA), a partir de haber sido invitada a participar del Proyecto de Cooperación Internacional Interuniversitario Laboratorio *“Drawing and Structural Analysis”* del grupo de investigación dirigido por el Dr. Salvatore Barba de la Universidad de Salerno, Italia. Con el objeto de adquirir la técnica, las primeras experiencias se hicieron no sobre modelos mecánicos sino sobre una obra arquitectónica significativa, como es el portal de acceso de la Catedral de la Ciudad de La Plata utilizando técnica del *photo scanning* [1]. Ya en una segunda fase se plantea seguir con prácticas en fotogrametría convergente, técnica apropiada en Ingeniería Inversa [2]. La experiencia se ha realizado con el objeto de familiarizarse con la técnica de relevamiento, el instrumental y software específico para la reconstrucción digital y para evaluar la precisión de los modelos 3D obtenidos.

Palabras Claves
Fotogrametría, Ingeniería Inversa, Modelos 3D.

[1] Barba, Salvatore. (2008). *Tecniche digitali per il rilievo di contatto*. Fisciano, Salerno, Italia. Editorial Cues, Salerno, Italia.
[2] Schnakovszky, Ganea; Raveica, Herghelegiu. (2008). “Reverse engineering for automotive industry”, Annals of the Oradea University. Fascicle of Management and Technological Engineering, Volume VII (XVII). Rumania.

1. INTRODUCCION

La fotogrametría, según Guidi, Russo y Beraldin (2010), "… es la ciencia que permite obtener una medida precisa de la característica geométrica de un objeto… a través del empleo conjunto de fotografías capturadas desde distintas posiciones…" [1]. Los conceptos fundamentales en los cuales se basa están relacionados con la geometría descriptiva y más precisamente con la perspectiva inversa. [1]

Los alcances de esta técnica, junto con un sistema de información geográfica (SIG) y teledetección, van desde disciplinas que abordan el análisis del territorio, relevamiento arquitectónico, tanto sea para la conservación del patrimonio cultural como en el proceso de proyecto, hasta aplicaciones en agronomía y arqueología [2]

En el presente trabajo se utiliza una nueva metodología fotogramétrica basada en un algoritmo de análisis multifocal de la imagen. Esta técnica utiliza tres fotografías denominadas *tripletas* capturadas con el eje óptico paralelo entre sí en las tres tomas y esta redundancia de la información permite eliminar muchos de los problemas de oclusión y reduce los errores de *mismatching* o falso procesamiento de algunos puntos, dando la oportunidad de verificar la correspondencia que se obtuvo en un par de imágenes a través de la verificación con la tercera fotografía [3]. Esta técnica se encuentra dentro de la fotogrametría de objeto cercano o *Close Range* que se diferencia de la fotogrametría aérea por la mayor proximidad de la toma fotográfica y la considerable menor escala del objeto de estudio.

La experiencia relatada forma parte de un trabajo más extenso presentado en el TERCER CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERIA MECANICA (III CAIM 2012), realizado en la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN-FRBA).

2. APLICACIÓN DE TÉCNICA FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL SOBRE UN EDIFICIO HISTÓRICO: LA CATEDRAL DE LA PLATA

El objeto de estudio es el portal de ingreso de la Catedral de la Inmaculada Concepción de la ciudad de La Plata, Buenos Aires, Argentina. Este templo es de diseño Neogótico y está inspirado en las catedrales góticas de Amiens (Francia) y de Colonia (Alemania). Se encuentra ubicada en el Eje Cívico Platense que une al Palacio de Gobierno, la Legislatura, el Teatro Argentino y el Palacio Municipal. En el portal de ingreso se encuentran 13 de las 56 imágenes religiosas que están representadas en el frente.

Su importancia como primer elemento para estudiar radica por un lado, en que existe variada bibliografía con trabajos referidos al relevamiento de obras arquitectónicas de carácter singular [4, 5] con fines de registro y conservación patrimonial y por otro lado, la particularidad constructiva del portal relevado, tanto en lo pertinente a su material de base, el ladrillo el cual genera de por sí una textura visual significativa, como la disposición de las imágenes que se encuentran ubicadas en un plano oblicuo respecto del plano que contiene al portal.

2.1. Equipo utilizado.

Para el desarrollo de este caso se ha utilizado un equipo de Menci Software de Italia compuesto por una cámara digital réflex Nikon D100, un objetivo de 28 mm calibrado, un trípode profesional con una regla calibrada y dos software, el Zscan y el Z-Map[1].

[1] Este equipamiento es propiedad de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Salerno, Italia, donde fue desarrollado el algoritmo luego codificado por MENCI. Por acuerdos de colaboración entre el Departamento de Ingeniería Civil de dicha facultad y la UID GIGA de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata, el equipo estuvo en carácter de préstamo en este último grupo a los efectos de llevar a cabo experimentación como la que se relata en este trabajo.

El elemento que asegura una captura de eje paralelo es la regla calibrada o *Baseline*. La misma mide 900 mm de largo y sobre ella se desliza el cabezal sobre el que se fija la cámara fotográfica. El cabezal tiene puntos de traba o "estaciones" dispuestos simétricamente respecto del centro de la regleta que garantizan la equidistancia de cada posición de toma respecto de la anterior. Las posiciones o "estaciones" van desde 1, 0, 1 hasta 12, 0, 12 siendo esta posición la que posibilita un relevamiento de hasta 10-12 metros del objeto de estudio [6]. Además, se dispone de una tabla de datos, resultado de la calibración, donde se establece desde que puntos se deben tomar las fotografías considerando la distancia al objeto de estudio y la precisión que se puede o se quiere lograr.

El módulo Zscan permite pasar de cada píxel de las fotografías al punto con coordenadas X, Y y Z y valores de RGB. El Z-Map, en cambio, permite georeferenciar los resultados obtenidos del Zscan para obtener un solo modelo 3D.

Una vez establecido el objeto de estudio y considerada las condiciones de contorno del mismo se pauta la distancia de captura de tres fotografías denominada *tripleta*, de izquierda a derecha como se muestra en la Figura 1. Luego se completa con la cantidad de *tripletas* necesarias para incluir toda la información que se necesita relevar.



Figura 1 Esquema, en vista superior, con la posición de la cámara para la generación de tripletas.

2.2. Toma de muestras.

Considerando que se utiliza una óptica de 28 mm y teniendo en cuenta la altura del portal, la toma de fotografías fue realizada a una distancia de 6 metros aproximadamente de la puerta principal. Para ello se establecieron tres puntos alineados para la toma: dos laterales y uno central (A, B y C). En cada uno de ellos tres posiciones del eje óptico: horizontal, con una inclinación aproximada de 20º y una tercera posición a 45º. En cada posición de la cámara se tomaron tres fotografías. El resumen de la toma se puede observar en la Tabla 1 y en la Figura 2.

Tabla 1 Tripletas capturadas según el lugar de captura.

	Posiciones de la toma		
Angulo del eje óptico	***A (izq.)***	***B (central)***	***C (der.)***
0º	Tripleta 1	Tripleta 4	Tripleta 7
20º	Tripleta 2	Tripleta 5	Tripleta 8
45º	Tripleta 3	Tripleta 6	Tripleta 9
Total 27 fotografías con una resolución de 3008 x 2000 píxeles.			

.



Figura 2 Ejemplo de tripleta 1.

2.3. Procesamiento de muestras.

Las fotografías se procesan con la aplicación Zscan, Figura 3. El modo de tratamiento es por *tripletas*. Los pasos se detallan a continuación:

- Configurar la distancia utilizada para la captura de fotografías, término ya mencionado *Baseline*.
- Eliminar distorsiones propias de la cámara fotográfica a través de un algoritmo multifocal con el proceso de rectificación.
- Establecer la zona de interés y especificar los valores de las variables a tener en cuenta en el procesamiento:

  Step: es la unidad que determina cada cuántos píxeles genera un punto en tres dimensiones.

  Alpha: es la variable que define la dimensión máxima que puede tener el lado de cualquiera de los triángulos que componen la malla. El triángulo se forma al unirse los puntos 3D obtenidos mediante un proceso automático. Esta estipulada como diez veces la distancia entre puntos denominada *Ground Sample Distance (GSD)*. Este valor queda determinado al pautar el *Step*.

  Noise Reduction: se estipula de acuerdo a la característica superficial del objeto a relevar y se puede visualizar en la continuidad de un punto con otro. Puede tomar los valores de: *Very High*, *Media, Low* y valores intermedios.

  Una vez establecidos los parámetros se procesan las *tripletas* buscando características homóloga aprovechando los componentes cromáticos RGB. Para asegurar un mejor resultado debe tenerse una superposición aproximada del 60% entre cada toma.
- Visualización: la nube de puntos 3D coloreada, malla o malla con textura puede ser visualizada con Scanview, un complemento del Zscan.

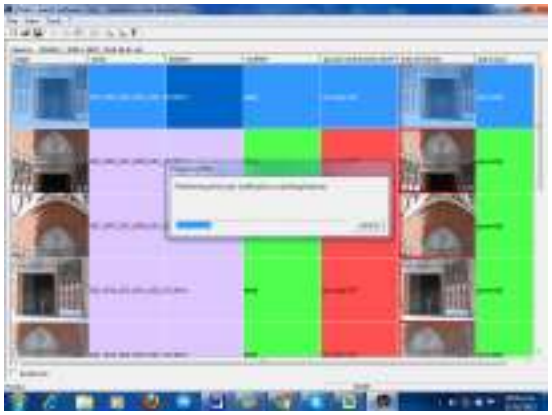


Figura 3 Tratamiento de las tripletas en Zscan de Menci Software.

La *Baseline* utilizada es de 900 mm. El *Step* es 7, valor que fue luego reducido a 4 para obtener mayor precisión del modelo final pero aumentando considerablemente los tiempos de procesamiento. Un *Step* de 7 por *tripleta* da como resultado 800.000 puntos en 3D y uno de 4 genera aproximadamente un millón y medio de puntos. Por tal motivo no se utiliza en el relevamiento un *Step* menor. El valor de *Alpha* se estipuló en 0.07, resultado de multiplicar un GSD de 0.007 m x 10 y seleccionando el valor de *Noise Reduction* para un primer resultado *Medio* y luego *High.* Hecho el procesamiento se obtienen 9 modelos 3D.

2.4. Procesamiento de modelos.

Los modelos de nube de puntos RGB obtenidos son insertados en la aplicación Z-Map para georeferenciarlos. Para ello es necesario colimar puntos homólogos de un modelo con otro. Durante este proceso se determina el error medio cuadrático para verificar la superposición de los modelos.

Este procedimiento se lleva a cabo considerando los ángulos de las tomas fotográficas, primero se georeferencian los modelos 1, 2 y 3 resultantes de las tripletas 3, 6 y 9; y así sucesivamente. Posteriormente se unen los tres modelos que se observan en la Figura 4, para la obtención de un único modelo final. Esto también se realiza colimando puntos homólogos. El modelo así obtenido, Figura 5, se puede visualizar como modelo de nube de puntos coloreados, modelo *mesh* y modelo *mesh* con textura o ser exportado a una aplicación CAD.

El error medio resultante se ubica dentro de los parámetros recomendados por el fabricante del software.

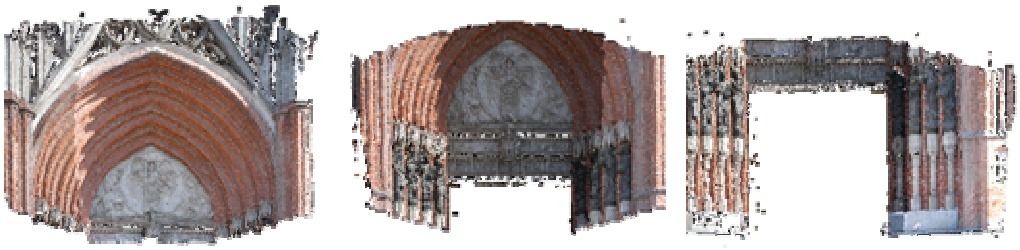


Figura 4 Modelos 3D resultado de, de izq. a der., tripletas 45º, tripletas 20º y tripletas 0º.

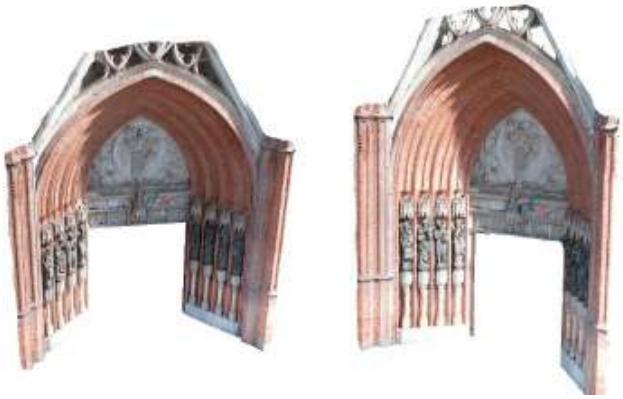


Figura 5 Modelo 3D final.

3. CONSIDERACIONES GENERALES DEL PROCEDIMIENTO Y DEL RESULTADO.

Para futuras experiencias, ya con piezas mecánicas, será conveniente tener en cuenta algunas consideraciones que tienen influencia en los resultados:

- En la toma fotográfica hay que evitar oclusiones y considerar que las partes donde llega poca luz, por ejemplo agujeros, no podrán ser reconstruidos en 3D.
- Todo el contorno del objeto puede ser relevado y los modelos parciales se ensamblan por software generando un modelo cerrado que es posible ser trabajado en una aplicación CAD.
- La calibración del equipo permite conocer con antelación los parámetros que luego se utilizan para el procesamiento. Se mejora el procedimiento y los resultados ajustando esas variables.
- La textura esta ligada a la resolución de las fotografías, textura que se aplica luego de la reconstrucción del modelo. El ruido de la superficie afecta la textura [7]. En esta técnica el punto 3D adopta el color de modo que si se ha utilizado un *Step* de 1 por cada píxel de la fotografía se obtiene un punto 3D con valor de RGB. El punto es la unidad minima. Condición optima de trabajo.

- La precisión obtenida en el relevamiento, considerando las dimensiones del portal relevado y la distancia de la toma fotográfica, es menor que del valor teórico dado por la empresa fabricante (valor dado 8.5 mm). Considerando que la distancia de la toma fotográfica para piezas mecánicas será de 300 mm la precisión teórica estaría en el orden de +/- 0.25 mm, valor de referencia para futuras experiencias.

4. CONCLUSIONES

Se ha presentado un caso de aplicación de la fotogrametría con finalidades de conservación del patrimonio. Se ha utilizado la técnica fotogramétrica basada en equipamiento específico y software *ad hoc*. Los resultados muestran que el método es capaz de dar solución al problema.

Se concluye que el método puede resultar de utilidad y puede ser aplicado al relevamiento de piezas mecánicas. Se plantea seguir con esta técnica en experiencias de esa característica e indagar en técnicas que no requieren el uso de equipo específico y software propietario.

5. REFERENCIAS

[1] Guidi, Gabriele; Russo, Michele; Beraldin, Jean-Angelo. (2010). "Acquisizione 3D e modellazione poligonale". Milano, Italia. Editorial McGraw-Hill. Italia.

[2] Lopresti, Laura; Defranco, Gabriel. (2007). "Croquizado Rápido Usando Técnicas Fotogramétricas Computarizadas". *II Congreso Internacional de Expresión Gráfica en Ingeniería y Arquitectura; ISBN: 978-950-33-0628-4.* Argentina.

[3] Menci, Luca; Nex, Francesco; Rinaudo, Fulvio. (2007). "Zscan Menci Software: un nuovo strumento per le elaborazioni fotogrammetriche multimmagine", *Conferenza Nazionale ASITA, Centro Congressi Lingotto.* Turín, Italia.

[4] Mora García, Raúl; Céspedes López, María; Cereceda, Miguel. (2009). "Aplicación de la fotogrametría en el levantamiento gráfico de la Iglesia de San José en Elche". *Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Universidad de Alicante.* Alicante. España.
<http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/11364/1/02_PROCEEDINGS_M2_02_0005.pdf>
[Consulta: abril 2012].

[5] Arias, Pedro; Caamaño, Carlos. (2004). "Fotogrametría digital de objeto cercano: una técnica alternativa para el conocimiento y conservación del patrimonio rural". *VII Congreso Internacional de Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación.* Lanzarote, España.
<http://webs.uvigo.es/grupotf1/research/Arias_Caamano_Lorenzo_Badaoui.pdf>
[Consulta: abril 2012].

[6] Barba, Salvatore. (2008). "Tecniche digitali per il rilievo di contatto". Fisciano, Salerno, Italia. Primera edición. Editorial Cues, Salerno, Italia.

[7] Nex, Franceso; Rinaudo, Fulvio. (2008). "Multi-image matching: an "old and new" photogrammetric answer to Lidar techniques". *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B5.* Beijing. China.

Agradecimientos.

A Marco Limongiello, estudiante de la Universidad de Salerno de Italia, quien durante su pasantía en esta UID realizó las tomas fotográficas.

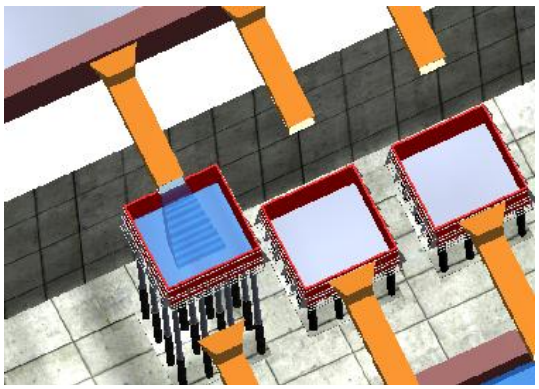
DESARROLLO DE UNA ANIMACIÓN PARA UN ANTEPROYECTO DE APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA MAREOMOTRIZ

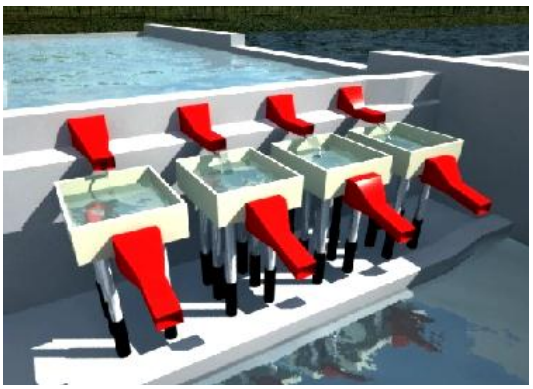
Defranco, Gabriel H.; Fuertes, Laura L.; Gavino, Sergio J. L.;
Lopresti, Laura A., Lara, Marianela. Colaboración: ayudante alumno Nestor Eyroa

Unidad de Investigación y Desarrollo – Grupo de Ingeniería Gráfica Aplicada (UID-GIGA)
Departamento de Mecánica – Facultad de Ingeniería
Gabriel Horacio Defranco – UID GIGA – Facultad de Ingeniería UNLP – Av. 1 y 47 La Plata CP 1900 - ghdefran@ing.unlp.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se da cuenta del desarrollo de una animación para la simulación del funcionamiento del proyecto de *Aprovechamiento de Energía Mareomotriz por Actuadores Lineales Oleo-Hidráulicos.* Las acciones que se describen a continuación fueron realizadas por la *Unidad de Investigación y Desarrollo Grupo de Ingeniería Gráfica Aplicada* (UID-GIGA) para la *Unidad de Investigación y Desarrollo Unidad de Estudios sobre conversión de la Energía* (UID-UESCE) en el marco de un convenio de asesoramiento entre esta última y un tercero. La UID-GIGA tuvo a cargo la modelización animada en 3 dimensiones de los componentes del sistema de actuadores realizada en un software de modelado tridimensional orientado al proyecto mecánico. Luego se realizó el ensamble de los mismos y la simulación del movimiento del sistema. Paralelamente, se resolvió una segunda animación con otra aplicación de creación de gráficos y modelos 3D con el objeto de comparar los resultados de cada una de las aplicaciones.





Palabras claves
asistencia – animación 3d – modelado tridimensional – energía mareomotriz

INTRODUCCIÓN

El dibujo de aplicación en la ingeniería es “el lenguaje del ingeniero y de la tecnología y como tal, se caracteriza por poseer sus propios caracteres y gramática” (Cardone, 2009). Para el Dr. Cardone, la particularidad de las representaciones de carácter técnico, radica en que son el instrumento que ayuda a definir y a comunicar lo que se está pensando, coincidiendo así con Bürdek (2002) cuando expresa que “en el proceso proyectual le está correspondiendo al dibujo un papel cada vez más importante, ya que posee dos funciones fundamentales: por una parte es un medio de representación (p.e. de los conceptos para la comunicación o la exposición), y por otra parte es el método para lograr un despliegue creativo”. Por otro lado, los nuevos lenguajes computacionales junto a las aplicaciones orientadas al modelado tridimensional han configurado un extenso espacio de investigación y desarrollo en los modos de integración de estos avances a los sistemas de representación en los proyectos de Ingeniería. Desde su aparición en la década del ’70, los programas CAD han reemplazado los tableros de dibujo para la realización de los planos, gracias a su precisión y alta reproducibilidad, propiciando que equipos de trabajo ya no deban estar en el mismo espacio físico para la elaboración de un proyecto por la posibilidad de intercambios de archivos. Hacia la década del ’90, aparece un nuevo paradigma dentro de estos programas, denominado paradigma paramétrico. Tal como se ha expresado en un trabajo presentado en congreso de la especialidad “el avance del modelado paramétrico tridimensional de sólidos, proporcionó como ventaja el desarrollo del diseño del objeto en forma tridimensional, a partir de características o primitivas 3D fundamentales, relacionadas entre sí mediante las operaciones de unión, diferencia e intersección, conocidas como booleanas. De esta manera, el usuario elabora bocetos en dos dimensiones con los aspectos más significativos de la forma final de la pieza, añadiendo a posteriori lo que se conoce como restricciones de tamaño o forma”, (Fuertes y otros, 2007).

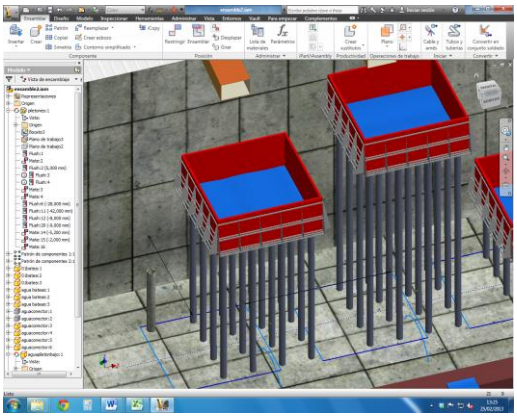
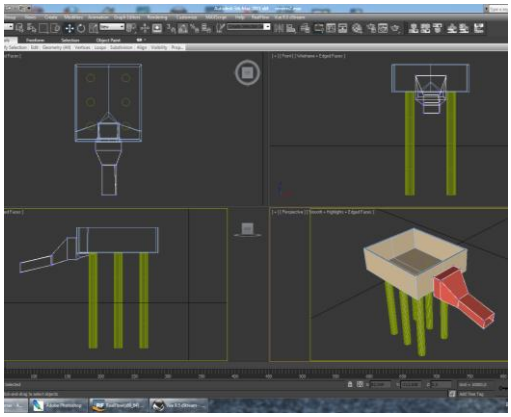
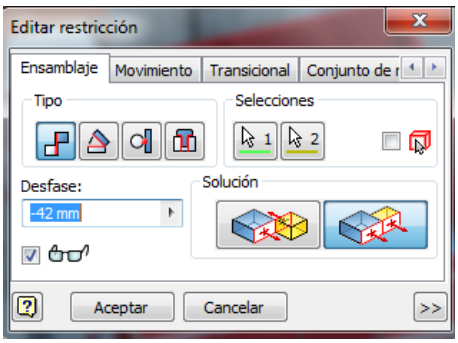
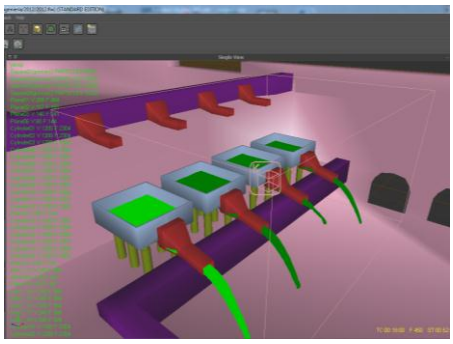
PLANTEO DEL PROBLEMA

El problema a resolver, no presentaba antecedentes en la UID. En primera instancia se recurrió al software habitualmente utilizado para animaciones de tipo mecánico, como las que aparecen en los mecanismos de máquinas. Si bien, fue posible resolver la complejidad del conjunto (respecto al modelado 3D y posterior animación) con resultados satisfactorios, quedaba la sensación de haber forzado el producto con una aplicación no totalmente adecuada. Por esta razón, se resolvió llevar a cabo un ensayo comparativo resolviendo el mismo caso con la combinación de otras aplicaciones que a priori ofrecían un resultado más contundente en la animación de fluidos. La UID-GIGA tuvo a cargo la modelización animada en 3 dimensiones de los componentes del sistema de actuadores realizada en un software de modelado tridimensional orientado al proyecto mecánico. Luego se realizó el ensamble de los mismos y la simulación del movimiento del sistema. Paralelamente, se resolvió una segunda animación con otra aplicación de creación de gráficos y modelos 3D con el objeto de comparar los resultados de cada una de las aplicaciones.

Las acciones que se describen a continuación fueron realizadas por la *Unidad de Investigación y Desarrollo Grupo de Ingeniería Gráfica Aplicada* (UID-GIGA) para la *Unidad de Investigación y Desarrollo Unidad de Estudios sobre conversión de la Energía* (UID-UESCE) en el marco de un convenio de asesoramiento entre esta última y un tercero.

DESARROLLO DEL TRABAJO

La solución propuesta fue desarrollada con dos técnicas diferentes. Para su mejor comprensión se presentan, a modo de tabla comparativa, las dos secuencias de trabajo:

1. Secuencia de trabajo con aplicación I	2. Secuencia de trabajo con aplicación II
A continuación se describe el procedimiento de modelado y posterior animación utilizando la aplicación *Autodesk Inventor*. En este caso, se resolvió todo el proceso con la misma aplicación.	En esta segunda secuencia, a diferencia de la anterior, se resolvió la animación con varias aplicaciones combinadas.
1.1 Modelado tridimensional El primer paso fue resolver el modelado tridimensional de cada componente en el módulo *Inventor part*. Se parte de un boceto en 2D al cual se da volumen a través de operaciones como extrusión, revolución, etc. 	**2.1. Modelado Tridimensional** En la primera etapa se utilizó el software *3Ds Max*, que es una aplicación de modelado, animación, y renderización en 3D. Posee variadas herramientas de modelado y edición de objetos. 
1.2 Establecimiento de parámetros de movimiento de cada una de las partes En esta etapa se establecen las restricciones de movimiento que los componentes tendrán. Los movimientos se irán resolviendo en función de parámetros de alineación, relaciones angulares, de inserción, etc. 	**2.2. Simulación del fluido** En esta etapa se resolvió la modelización y simulación dinámica de fluidos con la aplicación *RealFlow*. Es posible tanto combinar fluidos con cuerpos rígidos u objetos dúctiles, como generar salpicaduras, olas del mar, etc. 

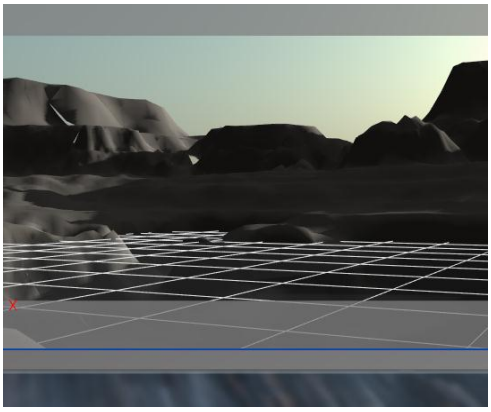
1.3 Configuración del movimiento del conjunto

El conjunto ha sido animado con el módulo *Inventor Studio*, que proporciona distintas herramientas para renderizaciones de piezas y ensamblajes. En este caso, este módulo facilitó la coordinación y combinación de los distintos movimientos de todo el conjunto.



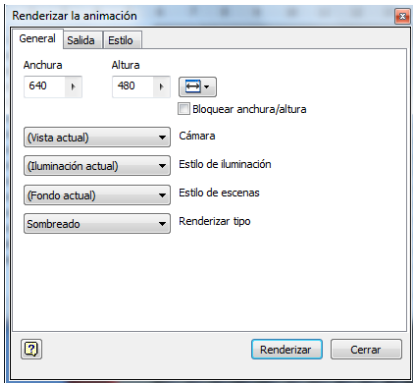
2.3. Configuración del Entorno

Para la configuración del entorno se trabajó con *Vue* que permite reproducir paisajes como playas, costas, valles, formaciones rocosas, montañas, bosques, etc. Además, se integra perfectamente con otros programas de diseño 3D (tales como *3Ds Max o Maya*).



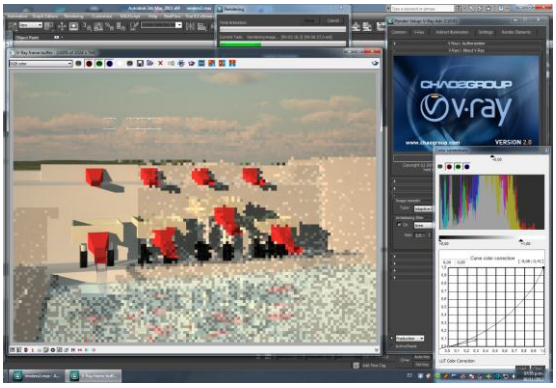
1.4 Animación final

Se procede a realizar la renderización del conjunto de animaciones. Los parámetros a definir (tamaño del video, iluminación, cámaras, etc.) incidirán en la calidad del producto final.



2.4. Animación final

En este caso, la animación final se renderizó con la aplicación *V-ray*, considerada uno de los motores de render más potentes. Permite trabajar con iluminación global, luces indirectas, entre otras fuentes de luz.



Respecto al producto final, a continuación se presentan imágenes del resultado de cada una de las secuencias de trabajo. En cada secuencia, la animación final representa adecuadamente las características del conjunto. Pero en la secuencia II, la posibilidad de representar el comportamiento de los fluidos, en este caso el agua de mar que se carga y descarga en cada batea, le agrega al producto final un realismo que la aplicación de la primera secuencia no permite.

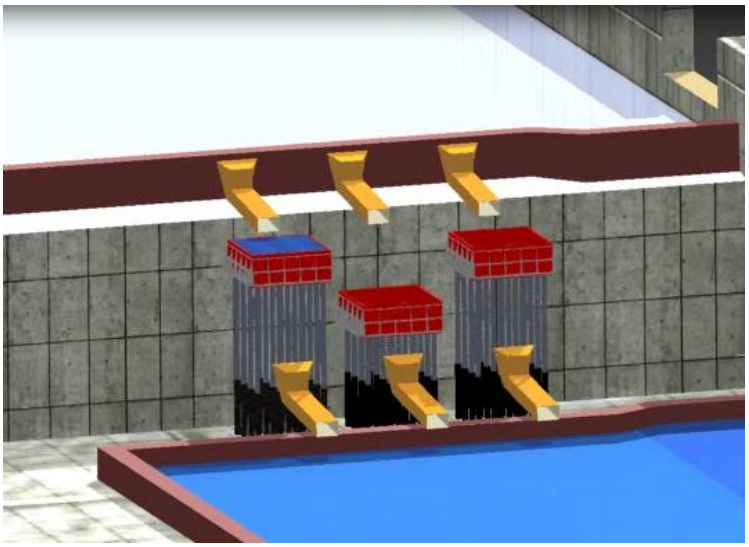


Imagen de la animación resuelta con la secuencia I

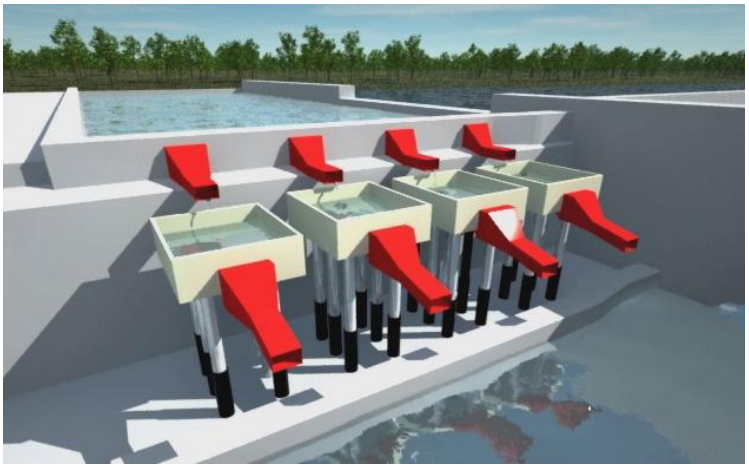


Imagen de la animación resuelta con la secuencia II

CONCLUSIONES

La UID GIGA tiene entre sus objetivos, en el eje investigación, la implementación de técnicas gráficas aplicadas al diseño y proyecto en ingeniería. El presente trabajo apareció bajo la forma de un servicio para otra UID de la Facultad, habiendo podido dar satisfacción al pedido. Al mismo tiempo, significó la posibilidad de hacer una experiencia comparativa entre un software habitualmente utilizado y otros que quedaron incorporados a partir de este trabajo.

La modalidad de apoya a otras UID queda formalmente ofrecida para futuros proyectos específicos que tengan necesidad de incluir representaciones gráficas de distinta naturaleza, tanto sean croquis de relevamiento, planos técnicos o animaciones como la que aquí se presenta. Y a un futuro que se espera sea próximo, poder también ofrecer otras técnicas de relevamiento y obtención de modelos tridimensionales con tecnologías avanzadas como las que se presentan en otro trabajo del GIGA en estas Jornadas.

BIBLIOGRAFÍA

Cardone, V. (2009), "La Representación Gráfica de Naturaleza Técnica", en Curso de Actualización de la Facultad de Ingeniería, UNLP, La Plata, mayo 2009.

Bürdek, B. (2002), “Diseño”, Edit. Gustavo Gili, Barcelona, 1º edición en español 1994.

Fuertes, L.; Lopresti, L.; Gavino, S.; Ristevich, A.; Defranco, G. (2007) "Actividad Experimental de Introducción del Dibujo Paramétrico en el Proceso de Diseño de un Objeto" en actas con referato (ponencia completa), II Congreso Internacional de Expresión Gráfica en Ingeniería y Arquitectura, ISBN: 978-950-33-0628-4 Córdoba, 7, 8 y 9 de noviembre de 2007.

Suárez, J.; Morán, S.; Rubio, R.; Gallego, R.; Martín, S. (2006) “Diseño e Ingeniería con Autodesk Inventor”. R. Pearson Educación S.A., Madrid.

PROYECTO DE UN AUTOBÚS URBANO ELÉCTRICO PARA EL TRANSPORTE DE PASAJEROS

Autores: (*) Sacco, Juan – Blanco, Alberto R. – Vucetich, Danilo A. – Pierre Castell Andrea V. - Matera, Román – Bellomo Sebastián.

Lugar de ejecución: UID-GETVA- Departamento de Mecánica-F.I – UNLP. Calle 116 y 48 – 4236692-int.164 – getva@ing.unlp.edu.ar

INTRODUCCIÓN

Se estimó que en los próximos años habrá más de 1.000 millones de vehículos en el mundo. Si todos estos vehículos fuesen equipados con motores de combustión interna convencionales, los niveles de contaminación, en las condiciones actuales, serán inaceptables para el planeta. Basado en esto, han surgido en todo el mundo legislaciones que promueven, hasta exigen, el uso de "vehículos de emisión cero" (VECs) o no contaminantes. La única tecnología disponible, probada, para producir VECs es la de **vehículos eléctricos (VEs)**. Debido a esto se estimó que en los próximos años habría en el mercado mundial millones de VEs. Actualmente, los vehículos eléctricos puros (VEPs) (los que no poseen generador a bordo) tienen grandes limitaciones: la baja densidad de energía de las baterías, alto costo y la imposibilidad de recarga rápida de las mismas, lo que limita la autonomía de los VEPs. Este problema ha dado lugar a varias alternativas de **Vehículos Eléctricos (VEs)**. El objetivo de nuestra propuesta fue desarrollar la tecnología y las partes necesarias para, integrar un **prototipo experimental de VE** para transporte urbano de pasajeros.

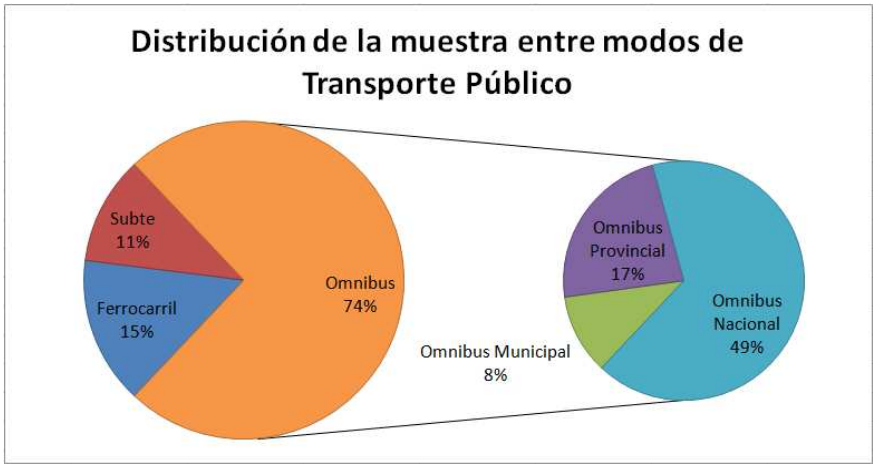
La Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA), definida a través del artículo 3º del Decreto Nº 656/94, constituye un complejo jurisdiccional compuesto por la Ciudad de Buenos Aires y 42 Partidos de la Provincia de Buenos Aires que la circundan. Con una población que supera los trece millones de habitantes, se destaca como una de las mayores áreas urbanas de América Latina, siendo el centro de la actividad administrativa, económica, industrial y social de la Argentina y concentrando más de la tercera parte de la población del país (37%).

El transporte público urbano de pasajeros en la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA)

Los vehículos de transporte automotor urbano de pasajeros que circulan por la RMBA, son en su totalidad ómnibus impulsados por motores diesel de Norma Euro III. En la Investigación del Transporte Urbano Público de Buenos Aires (INTRUPUBA), realizada por la Secretaría de Transporte de la Nación entre el año 2006 y 2007, se obtuvieron los siguientes resultados en lo que respecta a la cantidad relativa de viajes realizados por modos. Véase el siguiente gráfico:

Ómnibus Nacionales: Son aquellos que circulan dentro de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y aquellos que ingresan a ella desde la Provincia de Buenos Aires.
Ómnibus Provinciales: Son aquellos que circulan entre municipios del RMBA pero que no ingresan a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
Ómnibus Municipales: Son aquellos que circulan dentro de cada municipio.

Los vehículos de transporte automotor urbano de pasajeros que circulan por la Región Metropolitana de Buenos aires, son en su totalidad ómnibus impulsados por motores diesel de Norma Euro III.



DESARROLLO

La Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata a través de la UID-G.E.T.V.A., del Departamento de Mecánica; debió definir el desarrollo del proyecto propuesto teniendo en cuenta las siguientes premisas: a) Estudiar la posibilidad de proyectar un VE (Vehículo Eléctrico) para el transporte público de pasajeros, tomando como base el ECOBUS, actualmente operando, desarrollado por la UID-GETVA, como híbrido eléctrico (uso racional de la energía y disminución de la contaminación ambiental). b) Usar tecnología de punta, competitiva a nivel internacional. c) Emplear tecnología propia, adecuada a las necesidades y posibilidades locales. d) Ser dueña de la mayor parte posible del Know How necesario. e) Tener recursos humanos propios de excelencia.

Vehículos eléctricos

- El vehículo eléctrico es de “cero emisiones”.
- La energía eléctrica que consume puede ser generada a partir de recursos renovables.
- Hace un uso mas eficiente de la energía.
- El suministro de la energía eléctrica necesaria se obtiene a precios más ventajosos y más estables en el tiempo.

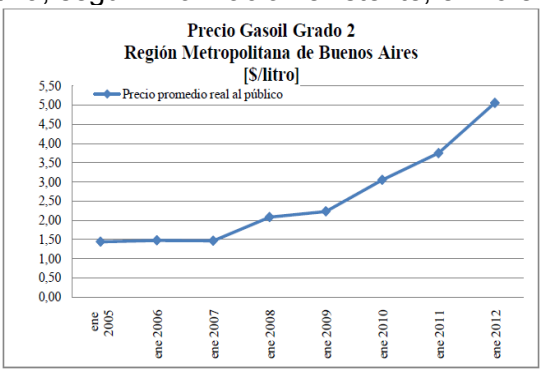
La energía eléctrica está caracterizada por tener precios cuya tasa de incremento en los costos es menor que la de los combustibles fósiles, ya que puede ser generada con usinas térmicas, eólicas, solares, hidráulicas, atómicas, etc.

Evolución del precio del gasoil.

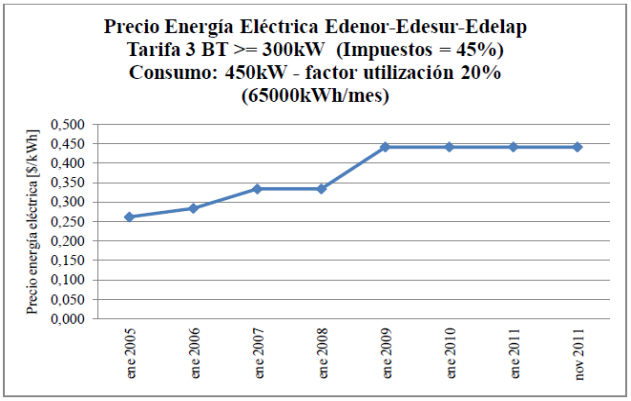
En Estados Unidos en los últimos 12 años:

- El precio del gasoil aumentó 190%,
- El precio del GNC aumentó 123%.
- El precio de la energía eléctrica aumentó 49%.

En la Argentina, según información existente, el incremento del precio del gasoil es el siguiente:



Aumentó un 250% en 7 años.



El precio de la energía eléctrica para grandes consumidores en la Región Metropolitana aumentó 67%.

Si analizamos el transporte urbano vemos que el vehículo de uso más intensivo y pesado es el que corresponde al ómnibus urbano:

- Las líneas urbanas tienen un recorrido completo por cada vuelta de 10 a 35 km en general.
- El ómnibus efectúa paradas programadas cada 200 ó 400m para bajar y subir pasajeros.
- El mismo recorrido se cumple todo el día en forma repetitiva.
- Al llegar el ómnibus a la terminal de cada línea, el vehículo para durante 10/15 minutos para cubrir las necesidades del conductor.
- La velocidad promedio varía de 14 km/h hasta 25 km/h en general, salvo casos particulares.

Por lo tanto, el uso del ómnibus es perfectamente sistematizable.

Construcción del ómnibus

- La construcción debe ser integral, autoportante de fibra de vidrio, orientado, de alta resistencia, reforzado en los puntos críticos con fibra de carbono, no inflamable. Vida útil esperada de 18 años.

  También podemos construirlo con materiales más livianos.
  En forma general, se puede afirmar que 50 kg de sobrepeso en el vehículo pueden suponer una pérdida de potencia de 100 W. Utilizar motor eléctrico / generador de última generación, de flujo axial, con imanes permanentes, muy livianos, y rendimiento del 95%. También los controladores eléctricos deben ser de última generación.

- Utilizar baterías de ión-litio de última generación que duran 20 años con 15.000 a 20.000 ciclos de carga y descarga completa, más liviana, con electrodos formados por nano-partículas de litio-óxido de titanio. La carga completa de la batería, de 0 a 100%, se realiza en sólo 8 a 10 minutos.

- La importancia de la recuperación de la energía cinética de frenado es muy grande en un ciclo urbano donde aproximadamente un 60% de la energía total se invierte en superar los efectos de inercia de la masa total del vehículo (peso del vehículo en orden de marcha más los pasajeros) y teóricamente durante la desaceleración se puede recuperar un porcentaje del orden del 94% si utilizamos los motores eléctricos / generadores y baterías de ión-litio de última generación como los ya mencionados.

- El ómnibus eléctrico debe ser equipado con el tamaño óptimo del sistema de almacenaje de energía eléctrica mediante baterías ajustado a las líneas urbanas, previendo un recorrido de 50 km.

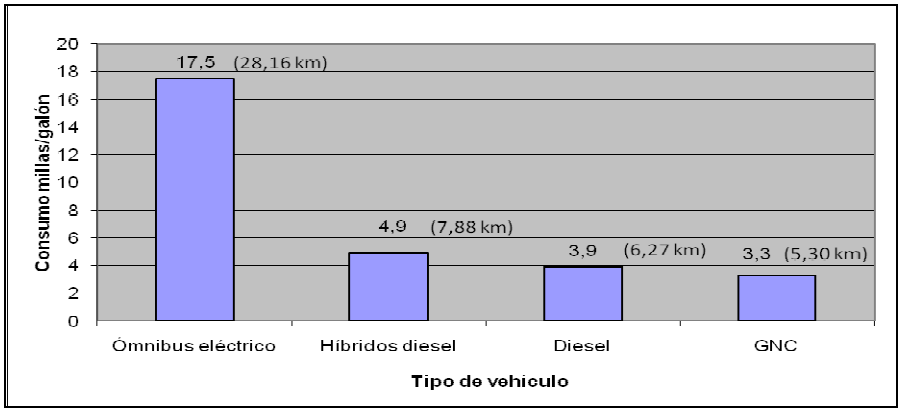
- Se elimina totalmente el motor de combustión interna y sus elementos periféricos, el combustible líquido o gaseoso, y las emisiones de gases de escape.

Veamos ensayos efectuados en Estados Unidos con un ómnibus eléctrico equipado con elementos de última generación, para 37 pasajeros sentados + 31 pasajeros parados (total 68 pasajeros) y una longitud total de 10,5 metros; comparado con los convencionales y un híbrido, donde se muestran los consumos de combustible en cada uno.

Consumo de gasoil en millas/galón equivalente

En Estados Unidos, Federal Transit Administration's exige sobre cada prototipo de ómnibus realizar y aprobar el "Altoona Testing Cycle" antes de poder iniciar la producción en serie. A continuación se muestran los datos obtenidos del Bus Testing Program, "Altoona Testing Cycle", operado por "Pensylvania Transportation Institute", dependiente de "Pensylvania State University" para su validación en el año 2009.

Tipo de vehículo	Consumo millas/galón	Equivalencias	Consumo litros/100 km
Ómnibus eléctrico	17,5	1 milla = 1,609 km	13,44
Híbridos diesel	4,9		48,04
Diesel	3,9	1 galón = 3,7854 litros	60,37
GNC	3,3		71,42



En el caso de nuestro proyecto, se contemplaría para la unidad, una operación similar a otras ya probadas.

La energía consumida de las baterías se recarga automáticamente al estacionar en el andén correspondiente en la terminal del recorrido durante los 10/15 minutos de descanso del conductor.

En realidad, se completan las baterías teniendo en cuenta la energía empleada en vencer las resistencias de rodadura, pendientes, fuerza del viento y parte de la energía cinética no recuperada.

Si el recorrido es mayor que 35 km se coloca un sistema de carga aérea en la parada en la que está detenido el ómnibus. Carga sus baterías en forma súper-rápida automáticamente.

Características principales de diseño

- Velocidad máxima: 60Km/h
- Autonomía: >30km
- Carrocería: Piso bajo ó low floor
- Eje delantero: Con dirección, para piso bajo, neumáticos simples
- Eje trasero: Con diferencial, neumáticos duales.
- Suspensión: Neumática

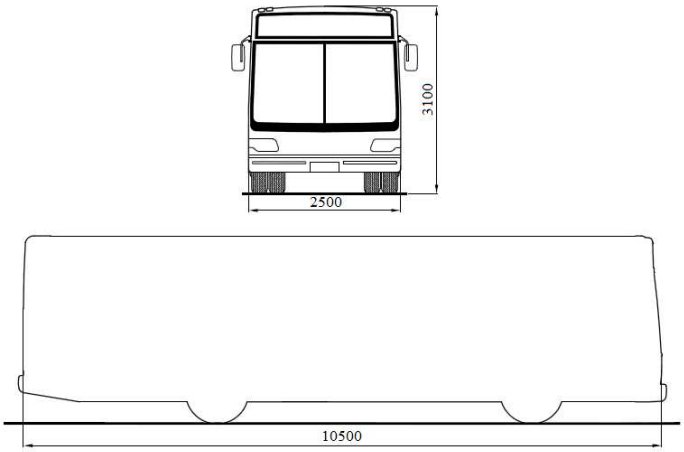
Costos de la energía de tracción en el neumático

Tipo	unidad	Costo unitario [$/unidad]	Energía unitaria [kWh/unidad]	Rendimiento aproximado	Precio de la energía en el neumático [$/kWh]
Ómnibus diesel	litro	5,06	10,08	0,20	2,51
Ómnibus eléctrico	kWh	0,45	1	0,80	0,56

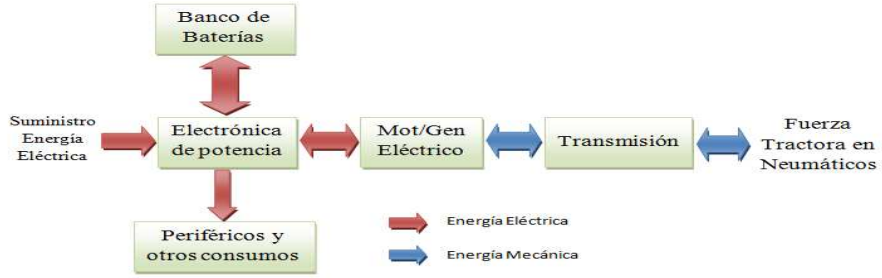
Considerando un rendimiento global del "combustible" al neumático:

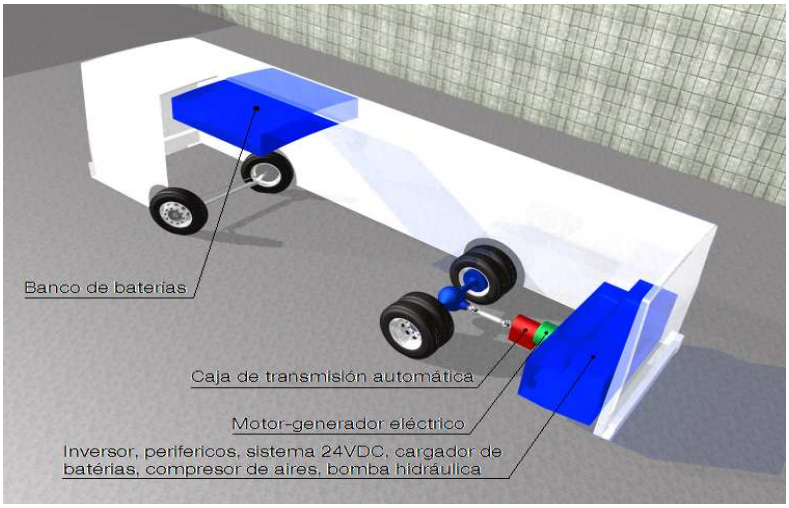
- **Ómnibus diesel: 20%**
- **Ómnibus eléctrico: 80%**

Dimensiones generales del ómnibus



Esquema general del sistema de propulsión electrico





Características adoptadas para el vehículo

- Peso total, tres variantes:
  - 1: 11400kg (20 pasajeros aprox.)
  - 2: 14900kg (70 pasajeros aprox.)
  - 3: 17325kg (máximo permitido según los ejes y suspensión)
- Coeficiente aerodinámico al avance: 0.88
- Área frontal: 7.1 m²
- Coeficiente de rodadura: 0.012

Requerimiento de energía para el transporte de un ómnibus urbano en ciclos de manejo

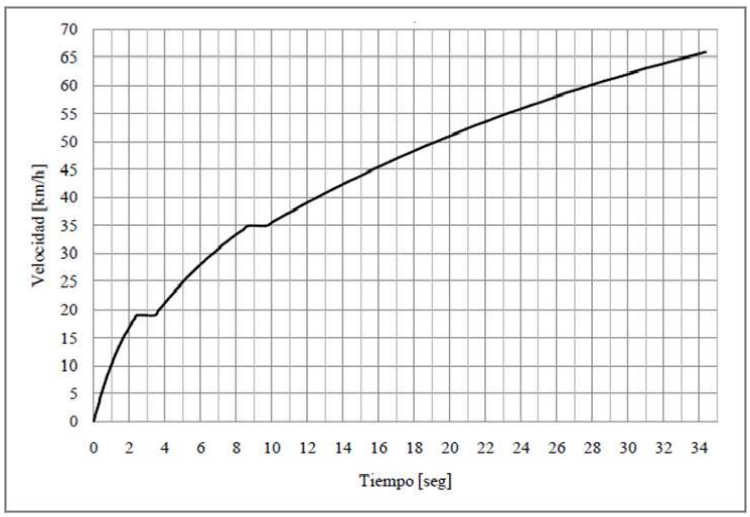
Fuerza impulsora:

- Fuerza de tracción en neumáticos

Fuerzas resistivas:

- Resistencia aerodinámica al avance
- Resistencia a la rodadura en neumáticos
- Fuerza de inercia durante la aceleración (Ec)

Aceleración del ómnibus de mayor peso (17325 kg)



Rendimiento Global

Indica la proporción de energía que se destina para la propulsión del vehículo en relación a la energía suministrada al mismo.

$$\text{Rendimiento global} = \frac{\text{Energía consumida en propulsión}}{\text{Energía total consumida}}$$

Ómnibus eléctrico

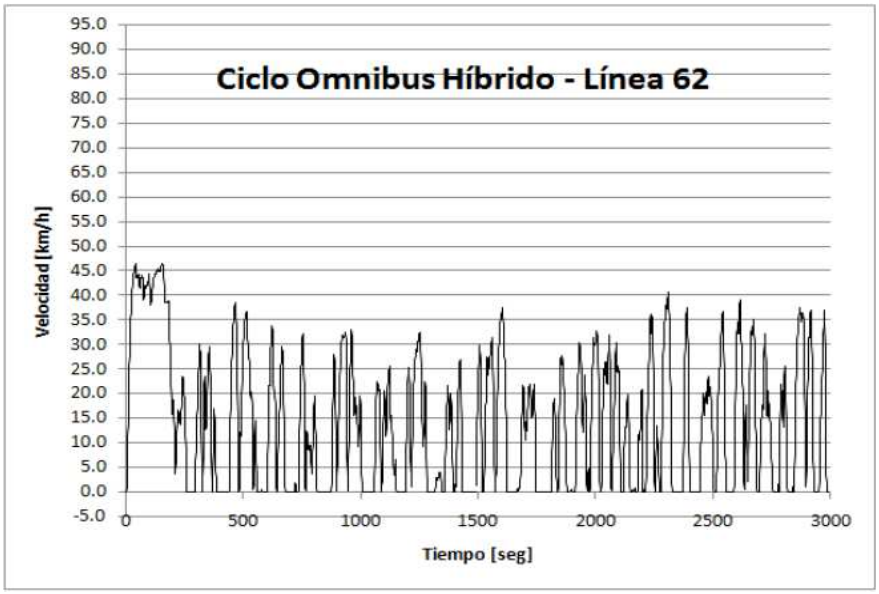
Se pretende:

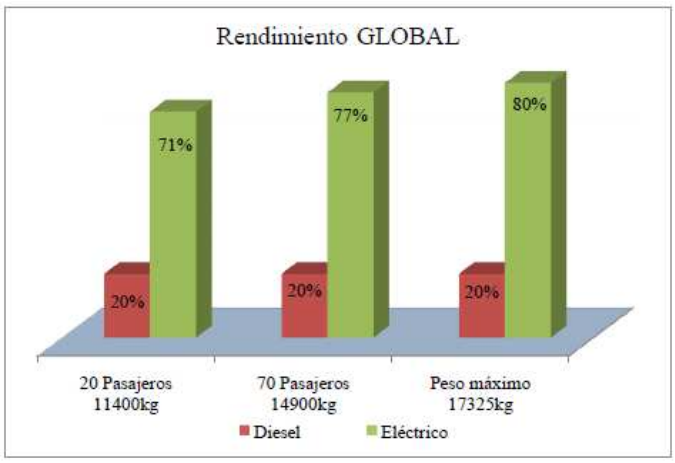
- Calcular el rendimiento global del sistema.
- Calcular el consumo equivalente de combustible

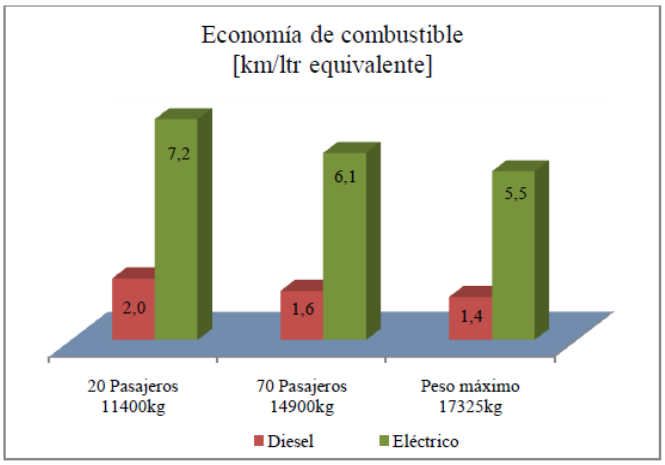
Consideraciones:

- Se calcularon los consumos de los sistemas periféricos y demás consumos del ómnibus.
- Se consideró el consumo de energía eléctrica en la entrada de la estación de recarga, desde la red

Características de los ciclos de manejo del ECOBUS –VHE-GETVA. FI. UNLP







Costos insumos energéticos

Ómnibus diesel

- Precio gasoil, enero 2012: 5,10 $/litro
- Consumo plena carga: 0,60 litros/km
- Costo de combustible: 3,06 $/km

Ómnibus eléctrico

- Precio energía eléctrica, enero 2012: 0,45 $/kWh
- Consumo plena carga: 1,85 kWh/km
- Costo de combustible: 0,83 $/km

CONCLUSIONES

Ómnibus de CERO EMISIONES

- No tiene gases de escape.
- Es más silencioso que el ómnibus con MACI.
- Se eliminan los cambios de aceite del MACI.

Eficiencia y costos en insumos

- Rendimiento global : 71%,vacío; 80%, plena carga.
- Ahorro de combustible en el eléctrico, superior al 450% respecto al ómnibus diesel convencional.
- 368 % menos de costos, en insumos energéticos, que el ómnibus diesel convencional por km recorrido.

Bibliografía

- Fundamentals of Vehicles Dynamics, Thomas D. Gillespie, -SAE-1992
- Teoría de los Vehículos Automóviles, Francisco Aparicio Izquierdo-2001
- El Medio Ambiente y el Automóvil, José María Lopez Martinez- CIE-DOSSAT-2007
- Electrónica de Potencia, Uhammad Rashid – Pearson – 2004
- Normas : SP-2247: Control and Optimization in Hybrid Powertrains – SAE 2009
- Normas : SP-2175: Design Optimization Methods and Applications – SAE 2008
- Normas : SP-2233: Load Simulation and Analysis in Auromotive Engineering – SAE 2009
- Normas : SP-2218: Simulation of Commercial Vehicles – SAE 2008
- Advanced Vehicle Technology, Heinz Heisler – SAE – 2002
- Normas: IEC 60034-8 – 2007 IEC 60034-1 – 2004 IEC 60034-2-1 – 2007

PROYECTO DE PLANTA MODULAR PARA DISTRIBUCIÓN DE GAS GLP PARA PEQUEÑOS BARRIOS

Autores: Blanco, Alberto R. – Pierre Castell Andrea V. – (*) Matera, Román – Moreda, Pablo – Aquino, Aurelio – Zubimendi, Alejandro – Alumnos: Entraigas, Axel O. – Magaldi, Facundo – Campodónico, Pedro – Molina, Pablo A. – Tedeschi, Nicolás V. – Maggi, Martín

Lugar de ejecución: UID-GETVA- Departamento de Mecánica-F.I – UNLP. Calle 116 y 48 – 4236692-int.164 –arblanco@ing.unlp.edu.ar

Resumen (abstract):

Este proyecto tiene por objetivo la determinación de la inversión necesaria para la realización de una Planta Modular para distribución de gas licuado de petróleo (GLP) o alguno de sus derivados.
El objetivo es poder brindar servicio de gas natural de red a un pequeño asentamiento urbano al cual no llegue el servicio habitual de gas de red.
Queda excluido de la evaluación económica, el desarrollo de la red domiciliaria, la cual quedará a cargo dentro del plan de viviendas asociadas.

Palabras Claves (keywords):

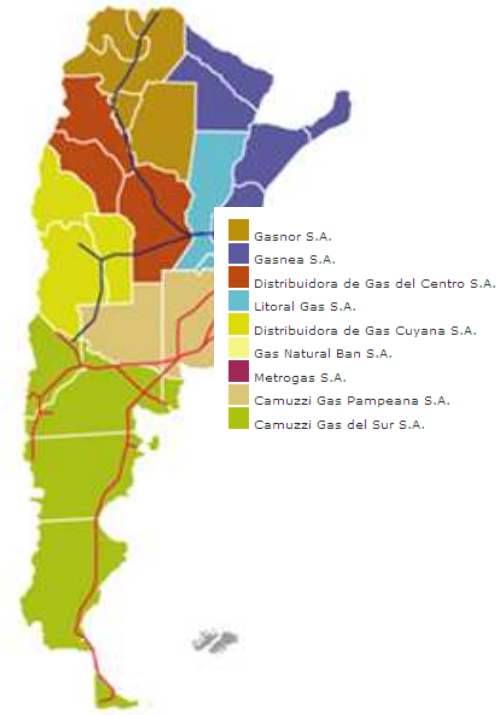
GLP: Gas licuado de Petróleo.
Planta Modular: Planta industrial que por su característica constructiva permite una subdivisión en módulos prefabricados.
Planta reutilizable: Por sus características constructivas, la planta puede ser desarmada y vuelta a montar en otra locación con el mínimo de tiempo y costo.
Asentamiento Urbano: llámese a cualquier asentamiento de hogares para viviendas de personas, radicados en un lugar determinado.

Introducción - Evaluación de la problemática

Estudios indican que los sectores más pobres son quienes utilizan las garrafas de GLP y se concentran en el norte de la Argentina.
Con respecto a la carencia de gas natural en hogares, estudios realizados estiman que dependiendo de la región analizada varían de un 99,7% para la zona del NEA, es decir, casi la totalidad de los hogares no poseen gas de red; a 2,2% para la zona de la Patagonia. De aquí se desprende que el NEA es la zona más afectada, si bien el Conurbano del GBA es el más densamente poblado.
En este sentido, ENARSA anunció en 2003 el llamado a licitación para la construcción del Gasoducto del Nordeste (GNEA); el mismo será abastecido a través del Gasoducto Juana Azurduy que transporta el gas entre los países de Bolivia y Argentina. La traza contempla la distribución del servicio de gas natural en las regiones de Salta, Formosa, Chaco, Corrientes, Misiones, Santa Fe y Entre Ríos que aún no están interconectadas a la red nacional. La Obra tiene un “Presupuesto” estimado de $ 10,94MM con un “Plazo de Ejecución” de tres años y medio. En la actualidad, este proyecto sigue en etapa de licitación.

Zona Geográfica	Porcentaje
Región Cuyo (Mendoza, San Luis, San Juan y La Rioja)	19,4%
NEA (Corrientes, Misiones, Chaco y Formosa),	99,7%
NOA (Santiago del Estero, Tucumán, Catamarca, Salta y Jujuy),	41,2%
Patagonia (La Pampa, Neuquén, Río Negro, Chubut, Santa Cruz y Tierra del Fuego)	2,2%
Centro (Buenos Aires, Santa Fe, Entre Ríos y Córdoba),	28,7%

Capital Federal y Conurbano	16,4%





Solución propuesta

Con el fin de presentar una alternativa que cumpla con el objetivo de revertir la problemática planteada es que se propone la determinación de la *inversión necesaria para el emplazamiento de Plantas Modulares de aprovisionamiento de GLP destinado a pequeñas urbanizaciones.*

El proyecto consiste en el desarrollo de una planta modular que pueda ser fácilmente montada y desmontada, a fin de poder ser reutilizada. Para ello se prevé que todas las instalaciones estén montadas sobre patines de acero, cuyas proporciones sean las adecuadas para su transporte por camión o ferrocarril.

La planta cuenta con instalaciones para despacho de gas por cañería, previa vinculación a la red de distribución domiciliaria, y adicionalmente prevé la inclusión de un pequeño establecimiento a realizar recargas de garrafas.

El proyecto apunta al desarrollo de ampliaciones y/o nuevos barrios de vivienda, como así también el mejoramiento de los servicios en barrios existentes en zonas ya urbanizadas. Además busca incentivar la radicación de hogares en locaciones más aisladas geográficamente.

Descripción de la Planta

Carga y Descarga del Producto

El proyecto plantea la posibilidad de realizar el trasvase de GLP desde el camión o tren proveedor hacia los tanques de almacenamiento. Una de las premisas consideradas es la de incluir el ferrocarril como posible fuente de abastecimiento, esto busca impulsar la actividad del sector, debido a que las tecnologías necesarias no difieren de las requeridas para transporte en camión. Esto brinda al proyecto mayor flexibilidad e incursiona en un medio de locomoción dejado de lado en la actualidad. En cuanto al sistema de recepción de GLP, el mismo consta de bombas y compresores, conducciones, mangueras y elementos

auxiliares y de protección (válvulas anti retornos, instrumentos de medición de presión, caudal y temperatura, válvulas de seguridad para alivio, etc.)

Almacenamiento

Cada uno de estos tanques de almacenamiento debe tener conectada una válvula anti-retorno, indicador de nivel de lectura directa y medida continua, manómetro de lectura directa, válvula de seguridad por exceso de presión, toma de fase gaseosa y líquida (con válvula de exceso de flujo y llave de corte manual), borne con pica de toma a tierra y drenaje en uno de los extremos inferiores. El proyecto estima como consumo máximo de GLP 55 m^3 por semana; se dispuso instalar cinco tanques de almacenamiento con una capacidad de 13 m^3 cada uno.

Vaporización del gas

Los vaporizadores son equipos que permiten pasar del gas licuado líquido que se encuentra en los tanques de almacenamiento a gas licuado en estado de gas, para luego ser reducido en presión para llegar al punto de consumo. En este proyecto se considera la utilización de un vaporizador de calentamiento indirecto gracias a confiabilidad, diseño compacto, alto rendimiento.

Regulación y medición de presión

La estación de regulación y medición tendrá por objeto asegurar una presión regulada de salida, de valor constante, independiente de las fluctuaciones de la presión de suministro y el caudal requerido por la instalación, dentro de los rangos o márgenes previstos del consumo. La presión de salida, por lo tanto, deberá ser la necesaria para que, una vez deducidas las pérdidas de carga del sistema, llegue a los puntos de consumo (expendio de garrafas y red de gas domiciliaria) con una presión suficiente.

Carga de garrafas

La carga de garrafas se realizará extrayendo una línea de derivación desde uno de los tanques de GLP. La operación se realizará de forma manual a través de un equipo destinado a tal fin. Los cilindros una vez cargados, serán almacenados para su venta.

Sector de Administración

El contenedor destinado al sector de administración cuenta con equipamiento de oficina, que permita las tareas administrativas y contables de reabastecimiento de insumos y venta de garrafas.

Sector supervisión y control

El contenedor destinado al sector de supervisión y control, poseerá un PC que servirá para la visualización de estados de operación y alarmas, así también una sala de reunión. Además, actuará de oficina técnica de Ingeniería, necesarias para las tareas de mantenimiento y tareas de rutinas de la planta. Se considera la necesidad de un contenedor adicional en donde se encuentren el PLC y CCM, también los tableros de iluminación perimetral y generales de la Planta.

Sector Talleres de mantenimiento

El contenedor destinado a mantenimiento actuará a la vez de pañol, pudiendo adicionarse otro modulo lateralmente. Se prevé contar con herramientas de trabajo diversas del tipo industrial para mantenimiento operativo de las instalaciones de proceso y del predio en general.

Sector Gamelas y sanitarios

El proyecto contempla adecuar un contenedor para uso sanitario, el mismo podrá estar subdividido para albergar en compartimientos separados , hombres y mujeres. En caso de que se requiera la permanencia de operarios las 24 hs del día, como sucede en zonas aisladas, se contempla la adición de duchas y vestidores. Se prevé la incorporación, según requerimientos de la región, de un contenedor destinado a dormitorios para dos operarios.

Servicios de agua industrial y sanitario

Para el abastecimiento de agua industrial, para limpieza de equipos y servicios sanitarios, se plantea la utilización de dos bombas de pozo (operativa y de spare) y tanque cisterna a nivel

de piso. Para las instalaciones de uso sanitario se prevé la utilización de una bomba de impulsión y un tanque en altura.

Servicio de Lucha contra Incendio

Con el fin de cumplir con las normativas vigentes respecto a la seguridad de plantas de proceso destinado al procesamiento de hidrocarburos gaseosos, se plantea el montaje de un tanque de agua para lucha contra incendio exclusivo, cuya alimentación estará vinculadas a las bombas de pozo profundo ya mencionadas.

Servicio de aire comprimido para Instrumentos

Se implementará una planta modular de generación de aire comprimido para instrumentos, el mismo contará un con compresor, unidades de secado de aire, regulación de presión, y almacenamiento capaz de almacenar aire a presión para realizar acciones de contingencia frente a una parada de planta.

Servicio de Electricidad e Iluminación

El servicio de electricidad, podrá ser suministrado por medio del sistema de red de media tensión, en caso de que exista, mediante la utilización de una estación de transformación.

Como alternativa, en el caso de Plantas se encuentren aisladas sin posibilidad de contar con energía eléctrica de una red existente, se prevé el montaje de un grupo de generación autónomo accionado con el mismo GLP, o con diesel.

El diseño del predio considera un sistema de iluminación perimetral exterior, compuesto por una torre central con dos reflectores de alta potencia por cuadrante. En el caso de áreas clasificadas, se considerará el montaje de artefactos antiexplosivos.

Servicios de disposición cloacal

Para poder adaptar la planta a cualquier situación y lugar, constituyendo un sistema autónomo, el sistema de disposición cloacal consta de una cámara séptica, cuya función es la descomposición de los residuos. Esta cámara séptica está construida con paredes de ladrillos, una capa de mezcla y otra de un material hidrófugo, que permite que no pase la humedad ni haya filtraciones. Los líquidos evacuados culminan en un lecho de percolado.

Cronograma de ejecución de proyecto y Obra

La etapa de Ingeniería de Detalle tendrá una duración de **4 (cuatro) meses**. La misma engloba el desarrollo de documentación técnica (diagramas de flujo de proceso, planos de lay out, movimiento de suelo, etc. por parte de las distintas especialidades de la Ingeniería como lo son el área de procesos, mecánica, civil, electricidad, instrumentación y control, etc.

La etapa de construcción de equipos prefabricados, patines y adecuación de contenedores será aproximadamente de **6 (seis) meses** dependiendo de la disponibilidad de equipamientos y materiales; mientras que la ubicación de prefabricados en la locación y el montaje y puesta en marcha del mismo se estima en **4 (cuatro)** meses.

Evaluación de la Inversión

La inversión requerida para la realización del proyecto se estima en **U$S 2.000.000**. Este monto engloba los costos de desarrollo de Ingeniería Constructiva, adquisición y montaje de equipamiento e instalaciones auxiliares.

Quedan excluidos de este estudio, los costos vinculados al tendido de la red y la adquisición del terreno.

Conclusiones

La problemática planteada muestra una clara necesidad de ampliación en el suministro de gas de red. En este sentido, el proyecto aquí desarrollado propone la realización de un proyecto que sea complementario al plan de ampliación de gasoductos propuesto por ENARSA.

Adicionalmente a lo anterior, este proyecto posee los siguientes aspectos positivos:

- Permite contar con servicio de gas de red en lugares inhóspitos.
- Permite contar con una alternativa provisoria en lugares por donde el sistema de gasoducto nacional aún no ha pasado. Proyecto GNEA, que abarca litoral de país.
- Permite reutilizar las instalaciones por su característica modular.

Normativa Nacional de aplicación general

- NAG 100 Normas Argentinas mínimas de seguridad para el transporte y distribución de gas natural y otros gases por cañerías. (GN-GL)
- NAG 148 Normas de condiciones de seguridad para la ubicación de estaciones de separación y medición, y estaciones reductoras de presión. (GN-GL)
- NAG 200 Disposiciones y normas mínimas para la ejecución de instalaciones domiciliarias de gas. (GN-GL)
- NAG 201 Disposiciones, Normas y Recomendaciones para uso de gas natural en instalaciones industriales
- ASME/ANSI B31.3 (para instalaciones secundarias dentro de plantas industriales)

Bibliografía

- Bellettini, Osvaldo César. Ingeniería económica; Tomo I. La Plata: Facultad de Ingeniería, 1988.
- Baca Urbina, Gabriel. Evaluación De Proyectos. 3a ed. Mexico: Mc Graw-Hill. Interamericana, 1995.
- Briceño Laso, Pedro. Administración Y Dirección De Proyectos. Un enfoque integrado. 2a ed.. Santiago de Chile. Mc Graw-Hill-Interamericana de Chile, 1995.
- Fontaine, Ernesto R. Evaluación social de proyectos. 12a ed. Mexico: Alfaomega, 1999. Robert S. Kaplan, Robin Cooper. Coste y efecto: Como usar el ABC, el ABM y el ABB para mejorar la gestión, los procesos y la rentabilidad. Barcelona: Gestión 2000, 1999.
- Machuca Dominguez, Antonio María Jos, Alvarez Gil, Miguel Angel Domínguez Machuca, Santiago García González, Antonio Ruiz Jiménez. Dirección De Operaciones: Aspectos estratégicos en la producción y los servicios. Madrid: Mc Graw-Hill, 1995. Monden, Yasuhiro.
- Munier. PERT y CPM y Técnicas relacionadas.
- Companys Pascual R., Albert Corominas Subias P. Planificación y rentabilidad de proyectos industriales. Barcelona. Marcombo 1988.

LOGÍSTICA Y DISTRIBUCIÓN DE LA "GARRAFA SOCIAL"

Autores: Blanco, Alberto R. – Pierre Castell Andrea V. – (*)Zubimendi, Alejandro - Matera, Román – Moreda, Pablo – Aquino, Aurelio – Alumnos: Gebauer Riffo, Erwin H. – Alonso, Raúl A. – Macchi, Juan P. – Priemer, Matías M. – Coccoz, Cerini S. – Orlando, Esteban A.

Lugar de ejecución: UID-GETVA- Departamento de Mecánica-F.I – UNLP. Calle 116 y 48 – 4236692-int.164 –arblanco@ing.unlp.edu.ar

1. Objetivo

El objetivo del proyecto es desarrollar la logística de distribución de garrafas a precios sociales, subsidiados por el Estado Nacional en el marco de la Ley de Emergencia Económica, y la creación por Ley 26020 del Fondo Fiduciario para atender las necesidades del GLP, como fuente de energía para aquellos hogares en condiciones de elegibilidad por situación de vulnerabilidad social.

Palabras Claves (keywords):

GLP: Gas licuado de Petróleo.
Garrafa social: Envase de GLP en volúmenes de 10 y 15kg a precio social regulado por el Estado.
Planta de llenado: Instalación industrial donde se recibe el GLP a granel y se realiza el rellenado de las garrafas.
Estudio demográfico: Estudio de distribución poblacional en condiciones de elegibilidad.
Evaluación social del proyecto: Evaluación de impacto socioeconómico donde se determinan las externalidades del proyecto y los beneficios en términos sociales.

2. Introducción

El gas es visto en la actualidad como una de las principales y más relevantes fuentes de energía, utilizadas por todo el planeta tanto para uso doméstico como para uso industrial o comercial. Gran parte de las cocinas familiares u hogareñas funcionan a gas, así como también algunos métodos de calefacción. De este modo, dicha fuente de energía atiende a dos necesidades que tienen que ver con la calidad de vida de las familias, por un lado la posibilidad de consumir alimentos cocidos, nutritivos y con alto valor energéticoy por otro la generación de ambientes cálidos que puedan hacer frente a bajas temperaturas durante los meses fríos. Además del gas existen formas alternativas de obtención de energía como son equipos eléctricos, la quema de leña, papeles, cartones, carbón.

3. Situación Actual

El principal inconveniente es que el tendido de Gas Natural no abarca la totalidad del país por lo que en muchos lugares se debe recurrir a algunos de los métodos antes citados para la obtención de calor, los cuales brindan una satisfacción inmediata.
Como se nombró anteriormente la forma más eficiente para calefaccionar es utilizar gas y al no existir suministro del mismo a través de la red aparece como alternativa el GLP (gas licuado de petróleo). El mismo se comercializa en garrafas, brindándole la posibilidad a las familias de utilizarlo para cocinar y calefaccionar el hogar.

El problema es que estas garrafas no son accesibles a todas las personas y principalmente a los sectores de bajos recursos debidos a varios motivos; falta de oferta, precio inadecuado y una inexistente planificación de sudistribución.
Existe actualmente un marco legal, principalmente establecido por la ley 26.020/2005 que tiene como función la regulación de la industria y comercialización de Gas Licuado de Petróleo y persigue entre sus objetivos “asegurar el suministro regular, confiable y económico de gas licuado depetróleo a sectores sociales residenciales de escasos recursos que no cuenten con servicio de gas natural”.
De acuerdo a esta ley, en su artículo 7, se fijan los siguientes objetivos para la regulación de la industria y comercialización de GLP, los cuales serán ejecutados y controlados por la Autoridad de aplicación:
• Promover la competitividad de la oferta y la demanda de GLP y alentar su expansión, particularmente en aquellos lugares donde resulte antieconómico el desarrollo de redes de distribución de gas natural.
• Garantizar el abastecimiento del mercado interno de gas licuado, como así también el acceso al producto a granel, por parte de los consumidores del mercado interno, a precios que no superen los de paridad de exportación, la cual deberá ser definida metodológicamente, mediante reglamentación de la autoridad de aplicación.
• Proteger adecuadamente los derechos de los consumidores, posibilitando la universalidad del servicio, adecuada información y publicidad y el acceso al mismo a precios justos y razonables, con especial énfasis en el abastecimiento a sectores residenciales de escasos recursos que no cuenten con servicios de gas natural por redes.
• Propender a que el precio del GLP al consumidor final sea el resultante de los costos reales económicos totales de la actividad en las distintas etapas, para que la prestación del servicio se realice con las debidas condiciones de calidad y seguridad, tendiendo a su evolución sostenible, desarrollo en el largo plazo y en niveles equivalentes a los que internacionalmente rigen en países con dotación similares de recursos y condiciones.
• Incentivar la eficiencia del sector y garantizar la seguridad en la totalidad de las etapas de la actividad.
• Propender a una mejor operación de la industria del GLP, garantizando la igualdad de oportunidades y el libre acceso de terceros al mercado.
• Propender a la diversificación del uso del GLP, en distintos ámbitos, como el transporte, la industria, entre otros.
Mediante el decreto N° 1539 con fecha 19 de septiem bre de 2008 se aprobó la Reglamentación de los artículos 44, 45 y 46 de esta ley y se creó el Programa Nacional de Consumo Residencial de Gas Licuado de PetróleoEnvasado; en el cual se establecen las condiciones para que las garrafas de Gas Licuado de Petróleo (GLP) puedan ser adquiridas por los usuarios residenciales a un precio diferencial.

4. Descripción del Sistema

Actores Intervinientes

- Secretaria de Energia de la Nación
- Productores de Gas
- Fraccionadores de GLP
- Distribuidores y subdistribuidores
- Banco de la Nación Argentina
- Provincias
- ENERGAS
- Usuarios subsidiados
- Usuarios total del país

Productos Subsidiados
- Garrafas de 10 kg
- Garrafas de 15 kg

5. Evaluación Social Programa Garrafa para Todos

Usuario Beneficiado

El objetivo del Programa es posibilitar la accesibilidad del gas licuado de petróleo -de ahora en más, (GLP)- a los usuarios residenciales dentro del territorio nacional, que no tengan acceso a la red de distribución de gas natural.
El mismo establece la venta de garrafas de 10 kg, a un precio de $16 la unidad-denominado "Precio Social"-.
Este Proyecto apunta específicamente a aquellos usuarios que tienen un nivel socioeconómico bajo, más precisamente a aquellos que se encuentran por debajo de la línea de pobreza e indigencia.

Cantidad de Usuarios

En primer lugar se realiza un relevamiento de la cantidad de hogares que no poseen gas de red. En archivo Excel adjunto se muestran los resultados obtenidos por el INDEC en el Censo realizado en el año 2010, para cada localidad.
De las estadísticas surge que existen más de 2 millones de personas desabastecidas de gas natural. Esta parte de la población debe recurrir al gas envasado para satisfacer sus necesidades de energía calórica domésticas, tales como cocinar, calefacción e higiene personal.
Para determinar la cantidad de Usuarios Objetivo de este proyecto, se utiliza la Encuesta Permanente de Hogares (EPH), también realizada por el INDEC. La EPH es un programa nacional que tiene por objeto relevar las características sociodemográficas y socioeconómicas de la población.
Se desprende de esta estadística que el número de Usuarios Objetivo asciende a aproximadamente 570.000 hogares, teniendo en cuenta todo el territorio nacional.
Si tomamos un hogar tipo habitado por 5 personas como referencia, se estima que se requieren 20 kg de GLP mensualmente para realizar tareas básicas (como cocinar e higiene personal). Esto arroja un consumoestimado total de 850.000 garrafas mensuales, a nivel país.

Distribución Geográfica

Tomando en cuenta los datos otorgados por INDEC y ENARGAS, el tendido de gas natural deja ciertas zonas del país desabastecidas de gas. Es por esto que aquellos hogares recurren al gas envasado como única alternativa.

Las principales zonas del país desabastecidas son:
Gran Buenos Aires: La Matanza, Moreno, Merlo, Ezeiza, Ituzaingó, Marcos Paz, Morón
Cuyo: Sur de Mendoza, Norte de San Juan
Noreste: Misiones, Corrientes, Formosa, Chaco, Norte de Santa Fé
Noroeste: Catamarca, Jujuy, La Rioja, Este de Salta, Santiago del Estero
Pampeana: Norte de Córdoba y Sur de San Luis

La mayor cantidad de Hogares necesitados se encuentra en la Provincia de Buenos Aires, por lo que el proyecto comenzará su análisis en los distritos más necesitados del conurbano bonaerense. Luego se deberá extender el análisis hacia las necesidades a nivel país.
La producción de la Planta será de 44.000 garrafas/mes. Por lo tanto:

44.000 garrafas = 19,35 % del total de la provincia
227390 garrafas

Con este proyecto se logrará mejorar la calidad de vida en al menos el 19 % de los habitantes de la Provincia de Buenos Aires.
Las localidades dentro de la provincia más necesitadas son La Matanza, Moreno y Merlo. Por esta razón la producción se repartirá en su totalidad entre estos distritos.

Costos Sociales de Inversión
La inversión en la Evaluación Social está constituida por todos los recursos utilizados en la ejecución del proyecto, valorados a Precios Sociales.

Ítem	Corrección Social
Terrenos	No se corrige.
Insumos Nacionales	Descontar IVA y otros impuestos.
Insumos Importados	Descontar arancel y aplicar factor de corrección de la divisa.
Máquinas y equipos Nacionales	Descontar IVA y otros impuestos
Máquinas y equipos importados	Descontar arancel y aplicar factor de corrección de la divisa.
Sueldos y salarios	Aplicar factor de corrección de la mano de obra

Para la mano de obra se utilizara un factor de corrección de 0.9; y el precio social se calcula como el precio privado multiplicado por este factor.
La inversión total valorada a precios sociales asciende a **$ 7.775.274.**
Beneficios Sociales Netos
Los beneficios sociales netos se componen de los siguientes ítems:
• Beneficios y costos sociales directos
• Beneficios y costos sociales indirectos
• Externalidades
Cálculo VAN y TIR Sociales
Una vez que se han calculado los beneficios sociales netos y la inversiónsocial, se deberá calcular el indicador del valor actual neto.

$$VAN\ social = -IS + \sum_{t=1}^{n} \frac{BSN_t}{(1+r^s)^t}$$

donde,
IS: inversión social.
BSN: beneficios sociales netos
rs: tasa de descuento social

La tasa de descuento social que se utiliza para la Argentina es del 12% según el CEPAL.
Se considerará un período de 5 años para analizar este cálculo.

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión Social	-$ 7.775.274					
Beneficio Directo		$ 7.392.000	$ 7.392.000	$ 7.392.000	$ 7.392.000	$ 7.392.000
Beneficio Indirecto		$ 2.665.135	$ 2.665.135	$ 2.665.135	$ 2.665.135	$ 2.665.135
Costos Directos		-$ 6.431.361	-$ 6.431.361	-$ 6.431.361	-$ 6.431.361	-$ 6.431.361
Costos Indirectos		-$ 45.000	-$ 45.000	-$ 45.000	-$ 45.000	-$ 45.000
Tasa social desc. 12%	-$ 7.775.274	$ 3.580.774	$ 3.580.774	$ 3.580.774	$ 3.580.774	$ 3.580.774

VAN social	$ 5.132.614,90
TIR social	36%

6. Logística de Entrega

Tarjeta Inteligente Garrafa Social (TIGS)

La TARJETA INTELIGENTE GARRAFA SOCIAL será una tarjeta personalizada, única e intransferible, la cual contendrá la información mínima necesaria para controlar el destino de las garrafas. Los datos del solicitante requeridos para la obtención de la misma serán: Nombre, DNI, Dirección, Teléfono, Nro. de integrantes de la vivienda, nivel de ingreso, jefa/jefe dehogar, combustible principal utilizado para cocinar.

Esta tarjeta le permitirá al usuario retirar un número limitado de garrafas durante un determinado tiempo (2 unidades por mes por tarjeta) .También será recargable, pudiendo realizarse dicha operación en cualquier centro de recarga SUBE, con la salvedad que al ser consumida su carga disponible, se bloquea hasta el mes siguiente, lo que a su vez facilita la gestión en caso de hurto o extravío, ya que se tiene un período considerablemente prolongado para realizar la denuncia. Para tal trámite será necesario únicamente acreditar el DNI del titular.

Al final del mes, la tarjeta se vuelve a activar para poder acceder a otras dos garrafas. Para intensificar aún más el control, al momento de la distribución de garrafas, se establecerá como condición obligatoria que el solicitante tenga, además de la tarjeta, su DNI para constatar que es él mismo el titular de la tarjeta y que cumple con los requisitos establecidos para su uso. Las tarjetas seguirán una modalidad similar a la utilizada en la tarjeta de trasporte SUBE; podrán ser pedidas de forma online o personal completando un formulario especial a estos fines, y su distribución se realizará en los centros autorizados por el gobierno.

La distribución de las garrafas se realizará en puntos clave donde la gente se acerque con naturalidad o que sean transitados. Pueden ser Centros culturales,

Clubes de Barrio, Sociedades de Fomento, Hospitales, Salas de Emergencia, Plazas. A efectos de garantizar un mejor servicio y un contacto más directo y fluido conlos posibles beneficiarios, se ha pensado en la posibilidad de instalar una oficina de atención por localidad.

Por otro lado, acompañando a los camiones de distribución se ofrecerá un servicio de atención a consultas, reclamos y gestión de trámites en una oficina ambulante. También se creará una línea telefónica gratuita para atender otras consultas.

Control de Cilindros

El objetivo de éste sistema es establecer un mecanismo de control sobre los envases que son procesados en nuestra planta fraccionadora. La realidad, es que dichas garrafas pueden sufrir roturas o extravíos durante su utilización, el cual puede deberse al mal uso o al hecho de que muchas veces las garrafas son revendidas. Por tal motivo, proponemos utilizar un sistema de registro mediante código de barras, una herramienta simple que optimiza el tiempo y exactitud en el registro durante las operaciones de recepción y despacho, y agiliza la gestión del

inventario. De éste modo, en el instante inicial cuando la garrafa ingresa vacía a nuestro predio, y es descargada en zona de almacenamiento, se le imprime un código de registro.
Para dar comienzo a la actividad productiva se debe realizar una inversión inicial en envases vacíos por $ 4.400.000 que corresponde a 44.000 unidades. Luego de ser procesadas en nuestra planta, las garrafas saldrán en camiones a los distintos centros de venta y almacén. Al momento del intercambio con los usuarios beneficiarios, se asignará una garrafa con su correspondiente código de barras que quedará registrado en la información de la TIGS. De este modo, sabremos qué garrafas fueron a qué destinos, en qué momento y precisamente a qué familia.
Esperamos que esta metodología impacte positivamente en los usuarios y los haga controlar y cuidar de los envases, y como consecuencia disminuya las reparaciones y el desecho de los mismos al momento de su utilización. Otro aspecto positivo del sistema es que nos ayudará a establecer patrones de consumo, lo que permitirá realizar futuros cambios en nuestras operaciones.

7. Conclusión

Teniendo en cuenta el sistema implementado TIGS y el código de barras impreso en cada envase, el control sobre los envases resulta más eficiente. A su vez, el usuario asume mayor responsabilidad en el cuidado de los envases,lo que se traduce en una menor necesidad de realizar tareas de mantenimientodentro de la planta.
Por otro lado, el ahorro que le propicia a un individuo pagar $ 16 en lugar de $ 30, en promedio, la garrafa, genera un mayor capital disponible para ser utilizado en otros bienes. Esto también se ve reflejado del lado del Estado, generando un ahorro en materia de salud y educación, mejoras en las prestaciones de la vivienda y la contribución a mejorar las condiciones de empleo. Por último y no menos importante, el VAN y TIR sociales arrojan resultados positivos para lapuesta en marcha del proyecto.

8. Bibliografía

- Censo 2011
- Evaluación Social de Proyectos – Fontaine, Ernesto R.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC)
- Programa de Investigación y Difusión – La educación Argentina enNúmeros - Fundación para la Igualdad de Oportunidades Educativas 2011.
- Indicadores Básicos 2012 – Ministerio de Salud - Presidencia de la Nación.
- Estadísticas Vitales – Información Básica 2011 - Secretaría dePolíticas, Regulación e Institutos – Dirección de Estadísticas e Informes de Salud.
- Evaluación Social de Inversiones Públicas – Contreras, Eduardo

ANALISIS DE ESTRUCTURAS CROSS ROPE MEDIANTE EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

Echarri, Tomás[1], Lopardo, Edgardo[2], De La Croix, Brian[3], Saralegui, Gustavo[4]

UNLP, Facultad de Ingeniería UID-DISIM
Departamento de Mecánica-Calle 48 y 116 La Plata (1900)
[1] *tomas.echarri@ing.unlp.edu.ar*
[2] *edgardo.lopardo@ing.unlp.edu.ar*
[3] *briandelacroix@hotmail.com*
[4] *gsarale@ing.unlp.edu.ar*

RESUMEN.

Las torres de suspensión tipo *Cross Rope* (*CR*) son utilizadas en las líneas de alta (LAT 220kV) y extra alta tensión (LEAT 500kV) del Sistema Interconectado Nacional (SIN). La torre *CR* es una estructura formada por dos mástiles reticulados cada uno vinculado al suelo por dos riendas. El equilibrio en operación se establece por medio del cable *Cross Rope* Principal (CRP) que vincula el extremo de ambos mástiles, sobre el cual se suspenden las tres cadenas de aisladores y los conductores respectivos. El equilibrio en la erección de los mástiles se establece por medio del cable *Cross Rope* Auxiliar (CRA), de menor longitud y sección que el cable CRP, que vincula el extremo superior de los mástiles y que además es utilizado en tareas de mantenimiento de la línea.
En el presente trabajo se simula el comportamiento estructural de la torre *CR* utilizada en la LAT 220kV de la interconexión Pico truncado-Esperanza-Rio Turbio-Rio Gallegos del SIN. Para tal fin se realiza un análisis estático geométricamente no lineal, mediante un modelo de elementos finitos espacialmente tridimensional que consta de elementos tipo viga cuadráticos y elementos tipo barra lineales solo tracción, utilizados para modelar el comportamiento de perfiles y cables respectivamente. Los resultados del análisis son utilizados para la verificación de la estructura según las recomendaciones en la literatura específica.

Palabras Claves: Cross rope, guyed structures, estructuras arriostradas.

1. INTRODUCCIÓN

La configuración de una estructura de transmisión eléctrica es función del voltaje de la línea, los requerimientos de distancias eléctricas, de distancia a tierra, limites en los campos electromagnéticos, requerimientos de aislación, número y configuración de circuitos eléctricos, disposición de los conductores en las fases y requerimientos de emplazamiento e impacto ambiental [1].
Las estructuras de transmisión pueden ser de suspensión, de retención o terminales. En las estructuras de suspensión los conductores están suspendidos por los aisladores, no existiendo carga longitudinal (dirección de la línea) como consecuencia del desequilibrio en la tracción de los conductores mientras no se produzca la falla estructural en estos, la caída de una estructura adyacente o se establezca una carga de hielo desbalanceada. Las estructuras de transmisión arriostradas poseen menor masa relativa que las auto soportadas, erección simple, la posibilidad de pre ensamblado y el diseño de las fundaciones se ve simplificado [1].
La torre de suspensión *Cross Rope* es una estructura formada por dos mástiles reticulados cada uno vinculado al terreno por dos riendas. El equilibrio en operación se establece por medio de cables que vinculan el extremo de ambos mástiles, sobre el cual se suspenden tres cadenas de aisladores y los conductores respectivos (Figura 1). El equilibrio durante la erección de los mástiles se establece por medio de un cable adicional, que vincula el extremo superior de los mástiles y que además es utilizado en tareas de mantenimiento de la línea.

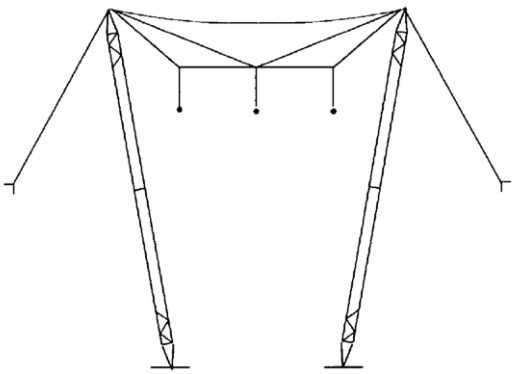


Figura 1 *Cross Rope* [1].

1.1. Torre CR2.

Las torres de suspensión tipo Cross Rope (CR) son utilizadas en las líneas de alta (LAT 220kV) y extra alta tensión (LEAT 500kV) del Sistema Interconectado Nacional (SIN). La torre CR2 es una estructura formada por dos mástiles reticulados cada uno vinculado al suelo por dos riendas (R). El equilibrio en operación se establece por medio del cable Cross Rope Principal (CRP) que vincula el extremo de ambos mástiles, sobre el cual se suspenden tres cadenas de aisladores y los conductores respectivos. El equilibrio durante la erección de los mástiles se establece por medio del cable Cross Rope Auxiliar (CRA), de menor longitud y sección que el cable CRP, que vincula el extremo superior de los mástiles y que además es utilizado en tareas de mantenimiento de la línea. Adicionalmente en los extremos de los mástiles se soportan los cables de guardia/OPGW (optical ground wire) cuya finalidad es la protección eléctrica de los conductores y transmitir información operativa de la red eléctrica.

2. MODELADO

Para simular el comportamiento de la estructura CR-27.5 se utilizo un modelo tridimensional de elementos finitos basado en elementos estructurales unidimensionales. Las fuerzas colineales con el eje geométrico de los elementos obtenidas de dicho análisis, son utilizadas para la verificación de la estructura según las recomendaciones en las referencias [1] y[2]. El modelo físico-matemático utilizado consta de elementos tipo viga cuadráticos basados en la formulación de *Timoshenko* (BEAM189) y elementos tipo barra lineales solo tracción (LINK10) (ver [3]), utilizados para aproximar el comportamiento de perfiles y cables respectivamente.

2.1. Análisis estático.

Se realizo el análisis estructural estático geométricamente no lineal utilizando el modelo de elementos finitos descripto bajo los casos de carga siguientes:

Caso 1. Viento máximo transversal.

Carga vertical debido al peso de conductores en ambos semivanos, cadenas de aisladores y cables guardia. Peso propio de la estructura. Viento máximo transversal de 180 *km/h* sobre los conductores y cables de guardia y de 200 *km/h* sobre la estructura, grapería y aisladores. Se verificará la estructura tomando la carga vertical reducida al 75%.

Caso 2. Viento máximo angular.

Carga vertical debido al peso de conductores en ambos semivanos, cadenas de aisladores y cables guardia. Peso propio de la estructura. Viento máximo angular de 180 *km/h* sobre los conductores y cables de guardia y de 200 *km/h* sobre la estructura, grapería y aisladores, con ángulos de incidencia de 60º y 45º respecto del eje de la línea. Se verificará la estructura tomando la carga vertical reducida al 75%.

Caso 3. Hielo extremo.

Carga vertical debido al peso de conductores en ambos semivanos, cadenas de aisladores y cables guardia. Peso propio de la estructura. Considerando 25mm de hielo (densidad 900 kg/m^3) sobre conductores, cadenas de aisladores y cables guardia.

2.1.1. Cargas.

Las cargas gravitatorias y eólicas transferidas a la estructura por los conductores/accesorios y cables de guardia/OPGW se consideraron como fuerzas aplicadas en los nodos del modelo de elementos finitos representativos de los anclajes respectivos.

Las cargas eólicas sobre la estructura del mástil como consecuencia del arrastre aerodinámico se consideraron como fuerzas aplicadas en la totalidad de los nodos del modelo según la ley:

$$f_e = k\left(\frac{y}{10}\right)^{\frac{2}{7}} [daNm^{-1}] \qquad (1)$$

Donde el coeficiente *k* se calcula según lo estipulado por la referencia [4], representa la fuerza por unidad de longitud a 10m de altura y es función tanto de la velocidad del viento como de las características geométricas del mástil.

2.1.2. Pretensión.

En determinadas condiciones de carga la estructura *CR* puede estar en equilibrio, al menos, con una rienda prácticamente sin tracción. La pretensión efectuada sobre la estructura tiene la finalidad de eliminar la inelasticidad en la respuesta de esta a las condiciones de carga.
En el análisis, la determinación de la pretensión en una estructura arriostrada con comportamiento no lineal como la *CR* se realiza en forma iterativa, identificando el estado de carga que produce la perdida de tracción sobre las riendas y modificando (disminuyendo) la longitud inicial de los cables (R y CRA) hasta que se recupere el estado de tracción mientras se verifica la distancia entre mástiles requerida.

4. CONCLUSIONES

Utilizando la metodología mencionada se realizó el análisis estático de la estructura CR2. A partir de los resultados del cálculo se verificó la estructura tomando en cuenta las recomendaciones de la norma ASCE 10-97.
Se concluye que la estructura CR-27.5 verifica los requerimientos de estabilidad y/o resistencia con los coeficientes de seguridad (M) exigidos respecto a los límites de daño o falla, según corresponda. En particular:
El mástil M-27.5 como continuo unidimensional verifica los requerimientos de estabilidad elástica e inelástica bajo las hipótesis de carga consideradas, ergo verifican los mástiles M-26/M-24.5.
Todos los elementos estructurales comprimidos verifican los requerimientos de resistencia y/o estabilidad bajo las hipótesis carga consideradas.
Todos los elementos estructurales traccionados verifican los requerimientos de resistencia bajo las hipótesis de carga consideradas.
Todos los elementos estructurales componentes de las uniones verifican los requerimientos de resistencia por aplastamiento bajo las hipótesis carga consideradas.
Todos los bulones componentes de las uniones verifican los requerimientos de resistencia por corte bajo las hipótesis carga consideradas.

4.1. Respecto al diseño.

Respecto al requerimiento de distancia mínima entre el conductor y la estructura, el caso de carga crítico asociado es viento máximo transversal con cargas verticales reducidas (Caso 1) para un vano gravante de 480m. La disminución de la longitud del cable CR incrementa las distancias eléctricas con el consecuente incremento de la tracción.
Respecto al requerimiento de distancia mínima entre el conductor y el terreno, el caso de carga crítico asociado es hielo extremo (Caso 3) con vano gravante de 600m, bajo el supuesto que la línea de transmisión se encuentra en operación bajo esta condición. En el presente trabajo la restricción dada por la distancia eléctrica entre conductores y estructura prevalece en la determinación de la longitud del cable CRP.
En el cable cross rope principal (CRP) el caso de carga crítico en términos de falla estructural es bajo la condición de hielo extremo (Caso 3) con vano gravante de 600m. La relación entre la fuerza actual y la de rotura del cable es f/fr=0.64, siendo 0.65 recomendado en referencia [1] para garantizar que los alambres constituyentes del cable permanecen en el rango elástico. En estas situaciones es recomendable, a fin de prevenir el comportamiento inelástico no contemplado, solicitar pruebas específicas al conjunto cable-accesorios de fijación. Alternativamente para reducir la tracción sobre el cable puede utilizarse la configuración constructiva mostrada en la Figura 1.

En las riendas (R) el caso de carga crítico en términos de falla estructural es bajo la condición de hielo extremo con vano gravante de 600m. En esta situación la relación entre la fuerza actual y la de rotura del cable es f/fr=0.55.
Respecto al cable cross rope auxiliar (CRA) intuitivamente podría sugerirse que el caso de carga de crítico en términos de falla estructural es sin fases suspendidas. En esta condición la fuerza sobre el elemento depende de la pretensión asignada a la estructura. En los casos analizados f/fr<0.5.
La pretensión de la estructura está determinada por la condición viento oblicuo (Caso 2), en esta condición la tracción en la rienda asociada R1 alcanza valores próximos a cero.

4.2. Respecto al modelado.
Ante la utilización de elementos barra (solo tracción) en lugar de elementos cable (ver, por ejemplo, [5]), en general es recomendable un análisis de convergencia de la solución para determinar el número mínimo de elementos que debe utilizarse para modelar cables en forma aceptable.
Adicionalmente se recomienda investigar el comportamiento dinámico de estructuras de transmisión arriostradas [6] con la finalidad de evaluar la respuesta de la estructura a un estado de cargas variables en el tiempo (cargas eólicas transitorias). Si bien este tipo de análisis que no es recomendado por la literatura especifica (ver referencias [1] y[4]), es de interés analizar situaciones que pueden ser ocasionadas por las condiciones climáticas particulares de las zonas de emplazamiento y diferentes a las presentes en las regiones de las cuales son originarias las recomendaciones.

5. REFERENCIAS.

[1] ASCE, "Manuals and Reports on Engineering Practice no. 91: Design of Guyed Electrical Transmission Structures," American Society of Civil Engineers; Committee on Electrical Transmission Structures; Subcommittee on Guyed Transmission Structures, 1997.

[2] ASCE, "ASCE 10-97: Design of Latticed Steel Transmission Structures," American Society of Civil Engineers; Committee on Electrical Transmission Structures, 1997.

[3] ANSYS, «Release 10.0 Documentation for ANSYS,» SAS IP, Inc, 2005.

[4] ASCE, "Manuals and Reports on Engineering Practice no. 74: Guidelines for Electrical Transmission Line Structural Loading," American Society of Civil Engineers; Committee on Electrical Transmission Structures; Task Committee on Structural Loadings, 1991.

[5] S. Timoshenko, Resistencia de Materiales: Tomo II, Espasa-Calpe, 1957.

[6] K. Bathe, Finite Element Procedures, Pentice Hall, 1996.

[7] S. Ozono, J. Maeda and M. Makino, "Characteristics of in-plane free vibration of transmission line systems," *Engineering Structures,* vol. 10, no. 4, p. 272–280, 1988.

[8] M. I. R. de Oliveira, "Structural Analysis of Guyed Steel Telecommunication Towers for Radio Antennas," *J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng.,* vol. XXIX, no. 2, pp. 185-195, 2007.

UN ELEMENTO FINITO VIGA APTO PARA MODELAR SOLIDOS HETEROGENEOS CON ANISOTROPÍA GENERAL.

Echarri, Tomás[1], Lopardo, Edgardo[2], Saralegui, Gustavo[3]

UNLP, Facultad de Ingeniería UID-DISIM.
[1]tomas.echarri@ing.unlp.edu.ar
[2] edgardo.lopardo@ing.unlp.edu.ar
[3] gsarale@ing.unlp.edu.ar

RESUMEN.

El modelado tridimensional mediante el método de los elementos finitos (MEF) de cuerpos esbeltos constituidos por sólidos heterogéneos con anisotropía general, puede resultar con un número innecesariamente alto de grados de libertad (GDL) para los requerimientos de aproximación.
En problemas elastodinámicos que involucran sólidos anisótropos esbeltos, en general no homogéneos, el campo de desplazamientos no puede ser restringido *a priori* pues su carácter predominante varía con las propiedades de la materia constituyente. Por esta razón, la generalización de las teorías eficaces bajo isotropía, en general, no entrega resultados satisfactorios. Adicionalmente, las teorías *had hoc* tienen limitada su aplicación a determinadas configuraciones geométricas y/o constitutivas.
En el presente trabajo se desarrolla una metodología que permite obtener para un cuerpo cilíndrico compuesto, en general, por fases sólidas con anisotropía constitutiva un funcional energético unidimensional del cual se derivan, a partir del principio de *Hamilton*, las ecuaciones de movimiento sin realizar conjeturas sobre el campo de desplazamientos. Utilizando este funcional se formula e implementa un elemento finito viga con capacidad para modelar problemas elastodinámicos en sólidos anisótropos esbeltos y se estudia el comportamiento del elemento desarrollado frente a problemas con soluciones analíticas, numéricas y resultados experimentales.

Palabras Claves: finite-element, anisotropic-beam, variational-asymptotic-method, warping-functions.

1. INTRODUCCIÓN

Las teorías aproximadas pueden separarse en dos grupos: las que establecen a priori la cinemática de la viga, y aquellas no realizan conjeturas sobre la totalidad del campo de desplazamiento. Los trabajos pertenecientes al primer grupo son frecuentes en la literatura y referidos a problemas particulares. En el segundo grupo se encuentran formulaciones generales, comúnmente basadas en el MEF, a partir de las cuales se han desarrollado programas con escasa difusión o utilizados como herramientas de investigación.

El trabajo de Giavotto & Cía. [1] (1983) puede considerarse precursor en el enfoque general del problema elastoestático asociado a sólidos esbeltos con anisotropía constitutiva. Los autores presentan una teoría en vigas anisótropas basada en el MEF utilizando el principio de los trabajos virtuales. Este proceso conduce a un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias de segundo orden con la coordenada en la dirección de la generatriz del sólido como variable independiente, cuyas soluciones son polinómicas o con decaimiento exponencial. Las primeras son llamadas soluciones centrales por Giavotto y de ellas se deriva la flexibilidad diferencial del sólido elástico asociada a las resultantes de la distribución de fuerzas en los extremos. Las soluciones exponenciales corresponden al problema de difusión de esfuerzos para una distribución auto-equilibrada. Imponiendo la aplicación de fuerzas solo en las secciones extremas de la viga y derivando sucesivamente la ecuación diferencial asociada al problema variacional, se obtiene la expresión de la flexibilidad diferencial de la viga mediante operaciones algebraicas. La energía de deformación diferencial queda expresada en función de nuevas deformaciones unidimensionales (deformaciones naturales de la viga), que son equivalentes a las cinemáticas solo en el caso isótropo. El enfoque de Giavotto adicionalmente ha sido implementado por Bauchau, el programa desarrollado (NABSA) es apto para modelar vigas prismáticas con anisotropía constitutiva.

Según expone Hodges [2] (1990), Berdichevsky (1981) fue el primero en demostrar, considerando el orden de magnitud de las cantidades variacionales, que el análisis no lineal en vigas puede ser dividido en dos problemas desacoplados: uno bidimensional lineal a nivel de la sección y el problema global no lineal unidimensional.

Kosmatka & Ie [3] (1991) presentan en el marco de la elastodinámica una formulación geométricamente no lineal para vigas anisótropas homogéneas, en la cual se aproxima el campo de desplazamientos imponiendo funciones incógnitas comandadas por las resultantes de esfuerzo a nivel de la sección. Estas son obtenidas a partir de la resolución del problema de valor de frontera asociado a la aplicación de resultantes de esfuerzo unitarias. Finalmente formulan un elemento de 24 GDL externos basado en desplazamientos a partir de las condiciones de equilibrio estático, las funciones de forma son polinomios de *Hermite* para las 6 variables de campo y se introduce un GDL interno en los desplazamientos transversales para impedir el bloqueo por cortante. Presenta resultados cualitativos en esfuerzos para una viga de sección elíptica empotrada sometida a una fuerza transversal, y cuantitativos en el análisis modal de la misma viga libre de restricciones.

Živković & Cía. [4] (2001) desarrollan un elemento viga no lineal basado en desplazamientos, llamado por los autores súper elemento, apto para modelar torsión y curvatura naturales. Resuelven el problema a nivel de la sección utilizando el enfoque de Giavotto mencionado anteriormente, sin resolver el inconveniente de las nuevas deformaciones naturales de la viga, razón por la cual se limita el potencial del elemento a vigas con isotropía constitutiva.

Según expone Hodges [5] (2002) el enfoque de Giavotto se encuentra en desventaja respecto del método variacional asintótico (VAM) de Berdichevsky, este pronunciamiento se fundamenta en la simplicidad con la que el VAM puede manipular problemas no lineales. Este autor y colaboradores han utilizado dicho método para obtener distintas formulaciones en vigas. A partir del VAM, Yu & Cía. desarrollaron el programa de análisis seccional VABS.

Yu, Hodges & Cía.[6] (2002) presentan en el marco de la elastoestática una formulación no lineal para vigas con torsión y curvatura naturales que se deriva del VAM, a partir del cual es desacoplado el problema elástico tridimensional. El problema a nivel de la sección se resuelve en forma aproximada a partir de la minimización de la energía de deformación.

Finalmente obtienen la matriz de rigidez diferencial asociada a las deformaciones naturales típicas de la teoría en vigas de Timoshenko (TVT).

2. APLICACIONES.

2.1. Análisis modal.

Considérese una sección transversal definida por las matrices diferenciales $\{\text{Æ}, \text{I}\}$ en un problema unidimensional de n GDL, con r condiciones cinemáticas y $n-r$ naturales. Realizado el ensamblaje elemental sobre el dominio de la viga utilizando elementos definidos por las Ecuaciones y, el problema queda definido por el sistema de EDO con coeficientes constantes:

$$\underline{\mathbf{K}}_q\underline{\mathbf{u}}_q+\underline{\mathbf{M}}_q\ddot{\underline{\mathbf{u}}}_q=\underline{\mathbf{f}}_q \tag{1}$$

Donde:

$$\underline{\mathbf{K}}_q=\left[\begin{array}{c|c}\mathbf{K}_q & \mathbf{R}_q^{\mathrm{T}}\\ \hline \mathbf{R}_q & \mathbf{0}_n\end{array}\right];\ \underline{\mathbf{M}}_q=\left[\begin{array}{c|c}\mathbf{M}_q & \mathbf{0}\\ \hline \mathbf{0} & \mathbf{0}_n\end{array}\right];\ \underline{\mathbf{f}}_q=\left\{\begin{array}{c}\bar{\mathbf{f}}_q\\ \hline \mathbf{q}_p\end{array}\right\};\ \underline{\mathbf{u}}=\left\{\begin{array}{c}\mathbf{u}_q\\ \hline \boldsymbol{\lambda}_q\end{array}\right\} \tag{2}$$

$$\underline{\mathbf{K}}_q=\sum_{(e)=1}^{nel_{1D}}\mathbf{A}^{(e)}\underline{\mathbf{K}}_q^{(e)}\mathbf{A}^{(e)\mathrm{T}};\ \underline{\mathbf{M}}_q=\sum_{(e)=1}^{nel_{1D}}\mathbf{A}^{(e)}\underline{\mathbf{M}}_q^{(e)}\mathbf{A}^{(e)\mathrm{T}};\ \underline{\mathbf{f}}_q=\sum_{(e)=1}^{nel_{1D}}\mathbf{A}^{(e)}\underline{\mathbf{f}}_q^{(e)} \tag{3}$$

En las expresiones en Ecuación (3) , $\mathbf{A}^{(e)}$ simboliza el ensamblaje elemental de modo que las $\mathbf{f}_A$ y $\mathbf{f}_\lambda$ sean eliminadas. El problema elastodinámico tridimensional se ha reducido al sistema de EDO en Ecuación (1). Este puede integrarse directamente mediante métodos numéricos [9].

En el AMT se propone la solución armónica en el problema de vibración libre ($\bar{\mathbf{f}}_q=\mathbf{0}$):

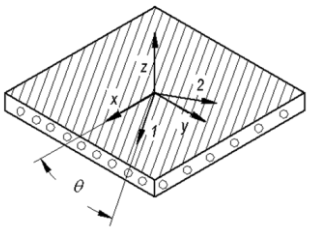
$$\underline{\mathbf{u}}_q=\boldsymbol{\psi}e^{i\sqrt{\lambda}t}\rightarrow\underline{\mathbf{K}}_q\boldsymbol{\psi}=\lambda\underline{\mathbf{M}}_q\boldsymbol{\psi} \tag{4}$$

Donde $\sqrt{\lambda}=\omega$ es la frecuencia natural (circular) de vibración y la solución del PVP en Ecuación (4) entrega los m (con $m=n+r$ si se utilizan ecuaciones de restricción) pares propios $\{\lambda_i, \boldsymbol{\psi}_i\}$.

2.2. Contraste con resultados experimentales.

Considérese un sólido elástico de longitud *lx*=190mm, con sección transversal rectangular de dimensiones {*lz*=3.175mm, *ly*=12.7mm} sobre las direcciones {*z*, *y*} Dicho cuerpo está constituido por el material descrito en la Tabla 1 , cuya dirección principal de anisotropía forma un ángulo θ=30° con la dirección *x* en el sistema de referencia.

Tabla 1 *Propiedades elásticas.*

Orientación	Propiedad	Magnitud[Pa]
	c_{11}^{-1}	129.1×10^9
	$c_{22}^{-1}=c_{33}^{-1}$	9.408×10^9
	c_{44}^{-1}	2.541×10^9
	c_{55}^{-1}	4.304×10^9
	c_{66}^{-1}	5.157×10^9
	$c_{23}c_{22}^{-1}=c_{13}c_{11}^{-1}=c_{12}c_{11}^{-1}$	-0.3
	ρ	1551

El modelo discreto bidimensional posee 1024 elementos y 1663 GDL, las matrices de rigidez e inercia diferencial son respectivamente:

$$\text{Æ} = \begin{bmatrix} 867387 & 0 & 0 & 0 \\ & 1.46626 & -0.931983 & 0 \\ & & 1.32712 & 0 \\ sim & & & 11.6715 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{I} = \text{diag}(6254020, 6254020, 6254020, 89.31, 5.25, 84.06)10^{-6} \quad (6)$$

Considerando restringido el desplazamiento en una de las secciones extremas del sólido, se obtienen las 8 primeras frecuencias naturales utilizando 10 elementos unidimensionales.

2.3. Análisis estático.

En este caso la Ecuación(1) se reduce al sistema de ecuaciones algebraicas siguiente:

$$\underline{\mathbf{K}}_q \underline{\mathbf{u}}_q = \underline{\mathbf{f}}_q \rightarrow \underline{\mathbf{u}}_q = \underline{\mathbf{K}}_q^{-1} \underline{\mathbf{f}}_q \quad (7)$$

La Ecuación entrega la solución nodal $\mathbf{u}_q$ y las fuerzas de restricción $-\boldsymbol{\lambda}_q$.

Obtenida la solución nodal $\mathbf{u}_q$, de Ecuación(1) o Ecuación (7), y utilizando la Ecuación para obtener la matriz de deformaciones naturales $\chi^{(e)}(\xi)$, el campo de esfuerzos se recupera a partir de la Ecuación imponiendo $\partial_x \boldsymbol{\chi}_1 = \mathbf{0}_{4\times 1}$. En la formulación propuesta se obtiene la expresión:

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{S}^{(i)}(\mathbf{G}_x \boldsymbol{\Phi}_0^{(j)} + \mathbf{G}_\varphi \bar{\mathbf{B}}_\varphi^{(j)} \mathbf{U}_1^{(j)}) \mathbf{T}_f^T \mathbf{B}_q^{(k)}(\xi) \mathbf{u}_q^{(k)} \quad (8)$$

Donde el pseudo-vector de esfuerzo en Ecuación (8) corresponde al elemento unidimensional *k* y bidimensional *j*, este ultimo definido en el dominio de la fase *i*. La inclusión de la matriz $\mathbf{T}_f$ corresponde a la transformación de las deformaciones naturales asociadas a la matriz de rigidez diferencial definida en un sistema de referencia con origen en el centro tangencial. En el caso de que el CC haya sido obtenido en un sistema de referencia cuyo origen coincide con el centro tangencial, se tiene $\mathbf{T}_f \equiv \mathbf{1}_4$.

3. CONCLUSIONES.

Se desarrollo una metodología que permite obtener para un sólido cilíndrico compuesto en general, por fases con anisotropía constitutiva, un funcional energético unidimensional del cual se derivan, a partir del principio de Hamilton, las ecuaciones de movimiento sin establecer a priori el campo de desplazamientos en el sólido. A partir de este funcional fue formulado e implementado un elemento finito viga con capacidad para modelar problemas elastodinámicos en sólidos anisótropos esbeltos.

En el elemento viga formulado, se asume que el campo de desplazamiento complementario al roto-traslacional es constante sobre la directriz, o en forma equivalente que las deformaciones naturales de primer orden son uniformes. Entonces la formulación unidimensional será efectiva en general, esto es sin verificar la hipótesis mencionada, mientras los términos no considerados en la expresión de la energía de deformación, sean despreciables dentro de los requerimientos de aproximación en la solución del problema.

Se ha demostrado que mediante la recuperación del estado tridimensional de esfuerzos, el elemento unidimensional permite la evaluación esfuerzos con un nivel de detalle solo observable en el modelado sólido (MEF), cuya discretizacion a nivel de la sección transversal sea equivalente a la del modelo discreto bidimensional utilizado para obtener la rigidez diferencial. Se deduce que, si el comportamiento global de un sólido es predicho en forma aceptable por el elemento unidimensional, su desempeño será comparable con el modelado mediante elementos sólidos (MEF).

El número de GDL del problema resultante con elemento formulado se reduce notablemente respecto de elementos finitos de mayor jerarquía, esta ventaja se ve disminuida conforme lo hace la diferencia entre el orden de magnitud en las dimensiones (vigas no esbeltas) o se establece una dimensión intermedia (vigas de paredes delgadas). En los casos presentados,

el problema a resolver con elementos estructurales o sólidos, en el mejor de los casos, duplica el número de GDL del problema resultante a partir del elemento unidimensional. Aun en problemas simples, existen situaciones en las que utilizar el modelado sólido (MEF) requiere un número demasiado elevado de GDL para alcanzar el nivel de aproximación obtenido con el elemento unidimensional.

Las pruebas de verificación en problemas elastodinámicos indican una aproximación aceptable a la obtenida con elementos finitos de mayor jerarquía. La correlación con el modelado sólido (MEF) en problemas de vibración libre (AMT) bajo diversas configuraciones del material, es buena en general.

La correlación con resultados publicados en la literatura obtenidos con formulaciones apropiadas en problemas específicos (teorías ad hoc) es buena La aproximación a los resultados experimentales (AME) presentados es aceptable. Sin embargo debe tenerse en cuenta que su validez como herramienta de verificación requiere la determinación fehaciente de las propiedades elásticas del material y correcta implementación de las condiciones de borde.

5. REFERENCIAS.

[1] V. Giavotto, M. Borri, P. Mantegazza, G. Ghiringhelli, V. Carmaschi, G. Maffioli y F. Mussi, «Anisotropic Theory and Applications,» *Computers & Structures,* vol. 16, nº 1-4, pp. 403-413, 1983.

[2] D. Hodges, A. Atdgan and B. Lee, "Modeling of Composite Beams and Plates for Static and Dynamic Analisys," Interim Semi-Annual Report NASA Grant NAG-l-1094, 17 January- 16 July 1990.

[3] J.B.Kosmatka, «The Use of Cross-Section Warping Functions in Composite Rotor Blade Analysis,» Final Report Nasa-Cr-191772, 1992.

[4] M. Živković, M. Kojić, R. Slavković y N. Grujović, «A General Beam Finite Element with Deformable Cross-Section,» *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering,* nº 190 , pp. 2651-2680, 2001.

[5] W. Yu, D. Hodges, V. Volovoi y C. Cesnik, «On Timoshenko-Like Modeling of Initially Curved and Twisted Composite Beams,» *International Journal Of Solids And Structures,* nº 39 , p. 5101–5121, 2002.

[6] W. Yu, V. Volovoi, D. Hodges y X. Hong, «Validation of The Variational Asymptotic Beam Sectional Analysis (VABS),» *AIAA Journal,* vol. 40, nº 10, 2002.

[7] C. Lanczos, The Variational Principles of Mechanics, Toronto: University of Toronto Press, 1949.

[8] L. Meirovitch, Methods of Analytical Dynamics, Mc. Graw-Hill, 1970.

[9] K. Bathe, Finite Element Procedures, Pentice Hall, 1996.

[10] M. Mitra, S. Gopalakrishnan y M. Seetharama Bhat, «A New Super Convergent Thin Walled Composite Beam Element for Analysis of Box Beam Structures,» *International Journal Of Solids And Structures,* nº 41, p. 1491–1518, 2004.

[11] ANSYS, «Release 10.0 Documentation for ANSYS,» SAS IP, Inc, 2005.

[12] T. Echarri Fernández, «Análisis Teórico-Experimental del Comportamiento Dinámico de Una Viga en Voladizo de Material Compuesto Laminado Reforzado con Fibras,» Tesis Magistral PUCP, Lima, Perú, 2009.

[13] S. Lekhnitskii, Teory of Elasticity of an Anisotropic Body, Mir Publishers, 1981.

[14] S. Timoshenko y J. Goodier, Theory of Elasticity, McGraw-Hill, 1951.

Nanomateriales compuestos de polímeros biodegradables.

Luis D. Junciel,[a-b] Ana E. Bianchi,[a-b] Gustavo A. Echeverría,[a-b] Iris L. Torriani,[c] Patricia Eisenber,[d,e] Adrián Botana,[d,e] Mariana Mollo,[e] Rosa M. Torres Sanchez[f] y Graciela Punte[a]

[a] LANADI e IFLP (CCT-La Plata.) Dep. Física. Fac. Ciencias Exactas, UNLP. 115 y 49, La Plata. Argentina.
[b] Fac. de Ingeniería, UNLP. La Plata. Argentina
[b] Instituto de Física, Universidade Estadual de Campinas, SP, Brazil, and LNLS, Campinas, SP, Brazil.
[d] INTI Plásticos, San Martín, BA, Argentina; e 3iA, UNSAM, BA, Argentina
[f] CETMIC (CCT-La Plata). M.B. Gonnet, BA, Argentina.

Dirección postal: IFLP 49 y 115 (1900) La Plata, e-mail: junciel@fisica.unlp.edu.ar

Palabras claves: polímeros reforzados, nanomateriales compuestos, SAXS, dieléctricos.

Resumen

Películas de materiales compuestos basados en el polímero diodegradable policaprolactona y 5% en peso de organoarcillas fueron preparadas por mezcla de fundentes. Las organoarcillas se obtuvieron por modificación de bentonita patagónica mediante intercambio catiónico con distintas proporciones de bromuro de hexadeciltrimetilamonio (HD) y octadeciltrimetilamonio (OD). Las respuestas SAXS y WAXS de todas las películas muestran expansión de las organoarcillas indicando ingreso del polímero en las galerías. Las medidas dieléctricas mostraron un incremento en la constante dieléctrica y en la pérdida dieléctrica a baja frecuencia.

Introducción

El significativo daño en el ecosistema terrestre debido a la difícil degradación de los residuos plásticos, ha impulsado el desarrollo de materiales poliméricos biodegradables (PB). Durante las dos últimas décadas se ha intensificado el estudio de silicatos intercaladas en PBs como medio para conseguir lo que ha dado en llamarse *materiales compuestos* (MC). Estos presentan propiedades más adecuadas para aplicaciones en distintos campos por sus características mecánicas, ignífugas, dieléctricas o de permeabilidad a distintos gases.

Tres tipos de materiales compuestos pueden obtenerse de la intercalación entre silicatos estratificados y polímeros: microcompuestos, compuestos intercalados y compuestos exfoliadas. Los dos últimos tipos constituyen los denominados *nanomateriales compuestos* (nMCs). Ambas estructuras coexisten en los nMC poliméricos, y se cree que sus propiedades están relacionadas con la alta relación de aspecto de la estructura exfoliada [1].

Sólo con inclusión de pequeñas cantidades (< 5vol%) de nanopartículas de minerales naturales de fácil disponibilidad, como las arcillas, permite mejorar las propiedades del PB (estabilidad térmica, comportamiento ignífugo, difusión de gases, etc.).

La policaprolactona (PCL) es un PB de bajo costo, obtenible a partir de síntesis y con propiedades reproducibles. Tiene un punto de fusión bajo y es dúctil a temperatura ambiente. La mezcla física de PCL con arcillas para producir nMCs parece constituir una alternativa apropiada para desarrollar nuevos materiales no contaminantes adecuados para diferentes tecnologías.

En el presente trabajo, se produjeron películas de PCL y PCL reforzado con 5% en peso de organoarcillas obtenidas por la intercalación de hexadeciltrimetilamonio y octadecilmetrilamonio, cationes que tienen diferente capacidad de intercambio (CEC), en una bentonita patagónica.

Con el fin de analizar la microestructura de las películas reforzadas producidas se utilizaron diferentes técnicas: calorimetría diferencial (DSC) y difracción de rayos X a alto ángulo (WAXS) y dispersión de rayos x a bajo ángulo (SAXS). El estudio de la variación con la frecuencia de las propiedades dieléctricas de las películas sintetizadas se efectuó a partir de resultados de espectroscopia de impedancia. En lo que sigue se presentan y discuten todos los resultados obtenidos.

Experimental

Para la síntesis de las películas del polímero y del polímero reforzado se emplearon: policaprolactona (PCL, FB 100, Solvay Chemical), bentonita patagónica (provista por Castiglioni Pes & Cia) que está constituida, predominantemente, por montmorillonita de Na (MMT), de fórmula estructural: $[(Si_{3.89}\ Al_{0.11})\ (Al_{1.43}\ Fe_{0.26}\ Mg_{0.30})]\ M^{+}_{0.41}$,capacidad de intercambio catiónico (CEC): 174 meq/100g [2] y bromuro de octadeciltrimetilamonio (OD) y de hexadeciltrimetilamonio (HD). Para la obtención de las organoarcillas, a partir de MMT y las sales orgánicas, se dispersaron 20grs de MMT en un litro de H_2O desionizada y se agregaron las sales orgánicas en distintas proporciones, 1 y 2 CEC**,** obteniéndose las organoarcillas: OD1 - OD2 y HD1 - HD2, respectivamente. Los productos fueron mezclados 5 horas a 60 °C y lavados por centrifugación para remover el Br ($AgNO_3$). Finalmente fueron secados a 80 °C.

Las películas de PCL reforzado con un 5% de organoarcilla en peso fueron sinterizadas por fusión en una cámara mixta Brabender Plasticorder a 100 °C y 90rpm durante 10 minutos.

El comportamiento térmico de las películas fue investigado usando calorimetría diferencial (DSC) empleando un calorímetro Mettler 822e/500/1473. La curva de calentamiento y enfriamiento fue de 10 °C/min, trabajando en una atmósfera de N_2. Los aspectos estructurales y morfológicos de las mismas fueron analizados utilizando las técnicas de WAXS y SAXS. Las intensidades de difracción y dispersión fueron obtenidas en la línea D02A SAXS, de la fuente de luz sincrotrónica LNLS, en Campinas Brasil. La distancia detector muestra utilizada fue de 505,47mm y el rango de detección. Las propiedades dieléctricas a temperatura ambiente (t.a.) en función de la frecuencia se determinaron a partir de resultados de espectroscopia de impedancia (IE) obtenidos en el rango de frecuencia 1MHz – 0,1Hz mediante el empleo de un Solartron 1260. Para explorar la influencia de la variación de la temperatura (T) en el comportamiento dieléctrico de las muestras de menor impedancia (el resto supera el rango confiable de ambos equipos) se empleó un Agilent 4284 que permitió un barrido en el rango de frecuencias 1MHz - 20Hz en la región t.a. < T ≤ 56 ºC. En ambos instrumentos las condiciones de medida fueron: AC: 100 mV y DC: 0; 20 ptos. / dec. y tiempos de integración por punto que aseguren un error en la medida menor o igual a 1%.

Resultados y discusión

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos en los estudios de calorimetría diferencial. A partir de ellos se ha determinado el porcentaje de cristalinidad de los nMCs. Se observa que dicho porcentaje disminuye al pasar de 1CEC a 2CEC, independientemente de la sal orgánica empleada para la obtención de la organoarcilla.

Muestra	Primer curva de calentamiento		Curva de enfriamiento	Segunda curva de calentamiento	
	Tfl(°C)	**% crist.**	**Tc (°C)**	**Tfll (°C)**	**% crist.**
PCLHD1	67	61	39	59	46
PCLHD2	65	56	40	57	45
PCLOD1	67	59	40	59	45
PCLOD2	67	55	39	60	44

Tabla 1. Resultados de calorimetría diferencial para las muestras estudiadas.

El porcentaje de cristalinidad se calculó a partir de la ecuación:

$$Xcr\ (\%) = [\ \Delta Hf\ /\ (w_{PCL}\ \Delta H_{100})]\ x\ 100$$

donde ΔHf es el valor experimental de la variación de la entalpía durante la fusión, w_{PCL} es el peso del PCL y ΔH_{100} es la variación de la entalpía durante la fusión de PCL puro, cuyo valor es 139,5 J/g [3].

Las organomontmorillonitas obtenidas por modificación de la bentonita patagónica, a diferencia de la organomontmorillonita comercial, cloisite® 30B [4], no dan lugar a un cambio notable en la temperatura de fusión, Tfl = 66 °C, pero si disminuyen la temperatura de cristalización, Tc = 43 °C para el PCL puro [4].

En la Figura 1 se pueden observar las curvas de WAXS y SAXS, para la película de policaprolactona, las diferentes arcillas funcionalizadas [5] y las películas de los *materiales compuestos sintetizados*.

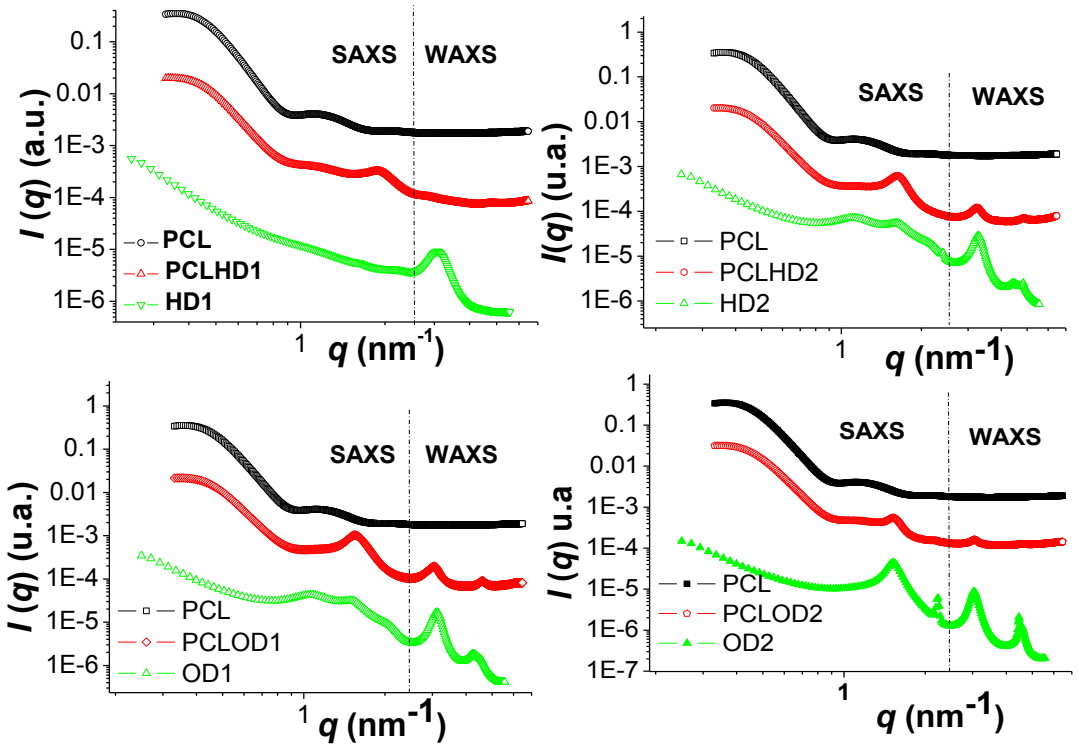


Figura 1. Curvas WAXS y SAXS para todas las muestras estudiadas.

La comparación de las respuestas SAXS y WAXS de las organoarcillas, de películas de polímero y del correspondiente *MC* sintetizado indican que las muestras PCLHD2 y PCLOD1 mantienen las reflexiones de la arcilla precursora en la región de WAXS y aumentan la proporción de arcillas expandidas en la región de SAXS, d_{001}= 4,08 y 3,93nm,

como puede apreciarse a partir de los importantes líneas de Bragg que pueden observarse. En la Figura 1. Por su parte las películas PCLHD1 y PCLOD2 muestran líneas de Bragg (001) menos intensas y de mayor ancho en ambas zonas (WAXS y SAXS). En la zona de SAXS pudieron detectarse algunas líneas de difracción de Bragg en 5,37 y 3,32 nm y 5,32 y 4,13 nm para PCLHD1 y PCLOD2, respectivamente. La microestructura de la película del MC PCLHD1 es muy similar a la informada para la película de nMC PCL/Cloisite®30B [4]. Esta última presenta reducción en la permeabilidad al oxígeno y mejora en sus propiedades ignífugas, si bien las características térmicas de ambas películas difieren entre sí.

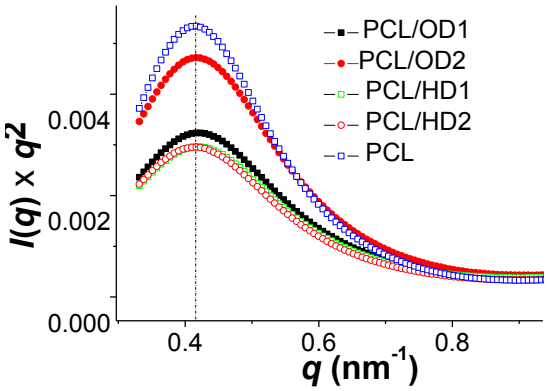


Figura 2. $I(q)$ x q^2 vs q para todas las muestras.

El análisis de las curvas $I(q)$ x q^2 vs. q, Figura 2, nos permite determinar el período largo del polímero (L) a partir del primer máximo a bajos ángulos. Si llamamos Lm al espesor promedio de las laminillas (zona cristalina), podremos calcularlo a partir de la ecuación:

$$Lm = Xc \times L$$

donde X_C es el porcentaje de cristalinidad del polímero reforzado obtenido a partir de los resultados de DSC [6]. Los valores L y Lm se resumen en la Tabla 2. A partir de estos valores en un modelo de dos capas, puede determinarse el espesor de la zona amorfa, La = L - Lm.

Muestra	***L* (nm)**	***Lm* (nm)**
PCLHD1	14.6	8.91
PCLHD2	14.9	8.34
PCLOD1	14.6	8.61
PCLOD2	14.95	8.22

Tabla 2. Espesores del período largo y de la laminilla para todos los MC.

El aumento del espaciado basal en las películas de los MC con respecto a las organoarcillas, permite concluir que en todas las películas producidas el polímero se ha difundido en las galerías de las organoarcillas, disminuyendo el grado de coherencia en el apilamiento. A partir del presente estudio no puede asegurarse la existencia de intercalación o exfoliación excepto en los MC PCLHD1 y PCLOD2. Las diferencias en la longitud de coherencia estructural observada al comparar las películas de PCLHD1 y PCLOD2 con las de PCLHD2 y PCLOD1 no parecen estar relacionadas con la distribución de espaciados entre capas en las organoarcillas (ver Figura 1). Estas diferencias podrían estar vinculadas a la variación observada en el potencial zeta, Zp, de las organoarcillas [5], dado que su

cuidadoso estudio mostró que PCLHD1 y PCLOD2 son las muestras que presentan los valores más elevados del Zp (30 < Zp < 50 mV en el rango de pH 3 ≤ pH ≤ 8,5 Ph). [5]

Las Figuras 3 y 4 muestran la variación de la constante dieléctrica y de la pérdida dieléctrica en función de la frecuencia para el PCL y los distintos MC. La Figura 3 muestra que los MC poseen una constante dieléctrica mayor que el PCL, para bajas frecuencias (<17Hz) mostrando un comportamiento opuesto para altas frecuencias (>1750Hz). La constante dieléctrica aumenta con el incremento de 1CEC a 2CEC en los MC provenientes de OD para bajas frecuencias, presentando un comportamiento opuesto para los MC provenientes de HD. La pérdida dieléctrica se incrementa con la presencia de arcillas siendo notablemente mayor para PCLHD2, para este caso el incremento respecto de PLC, a bajas frecuencias es de un orden de magnitud.

El comportamiento de la constante dieléctrica en función de la frecuencia para distintas temperaturas: t.a, 27, 38 y 54 ºC, es similar para PCLHD con 1 y 2 CEC, ver Figura 5, Figura 6, Figura 7 y Figura 8.

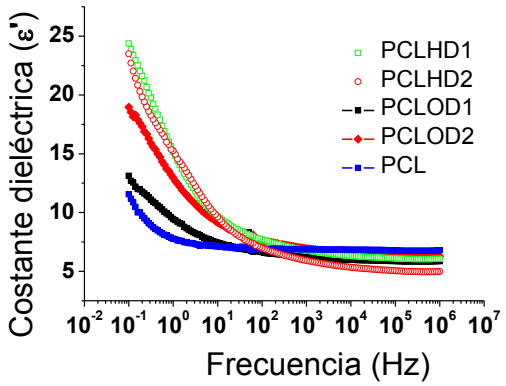


Figura 3. Constante dieléctrica.

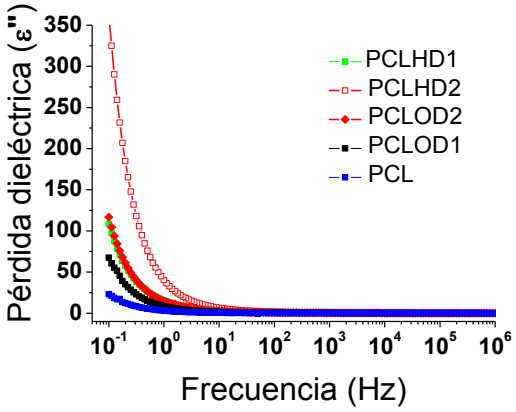


Figura 4. Pérdida dieléctrica .

Si bien la constante dieléctrica y la pérdida dieléctrica de PCLHD1 y PCLHD2 se incrementan cuando aumenta la temperatura, se observa un comportamiento diferente para 1 CEC y 2 CEC. Un comportamiento similar pero en orden inverso se observa en las curvas (no mostradas) correspondientes a PCLOD1 y PCLOD2.

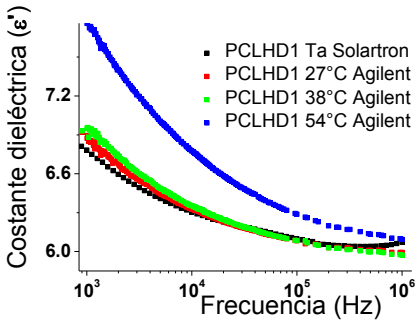


Figura 5. (ε') para PCLHD1.

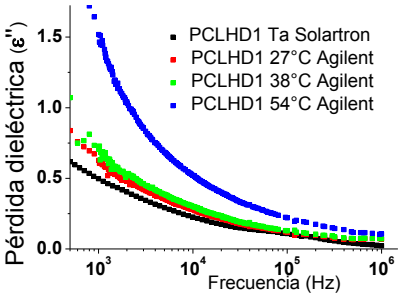


Figura 6. (ε") para PCLHD1.

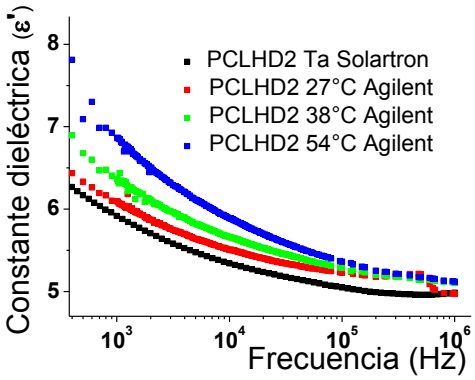


Figura 7. (ε') para PCLHD2.

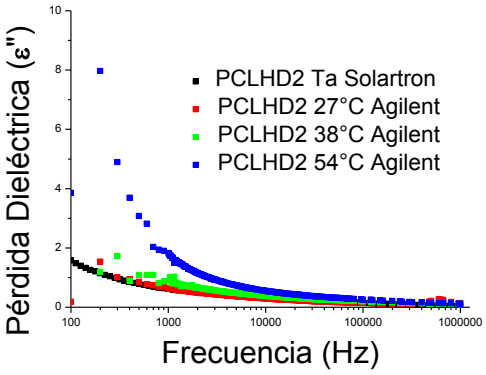


Figura 8. (ε") para PCLHD2.

La diferencia observada en la variación de Zp al aumentar el intercambio catiónico de 1 a 2 CEC en las organoarcillas [5] podría ser la causa de la variación en el comportamiento dieléctrico de las películas estudiadas, dado que Zp disminuye al pasar de 1 a 2 CEC en las organoarcillas funcionarizadas con HD y aumenta al pasar de 1 a 2 CEC en las funcionarizadas con OD

Conclusiones

Los resultados presentados muestran la difusión del polímero en las galerías de las organoarcillas, disminuyendo el grado de coherencia en el apilamiento e indican la posibilidad de intercalación o exfoliación en las películas PCLHD1 y PCLOD2, que podría relacionarse con el elevado valor del potencial Z en las organoarcillas precursoras HD1 y OD2. La disminución del potencial Z al pasar de 1 a 2 CEC en las organoarcillas funcionarizadas con HD y el aumento en las funcionarizadas con OD explicaría las diferencias observadas en la variación de ε' y ε" con la temperatura en las películas

Bibliografía

1. H. Yamada, X-G Zheng, Y. Ojima, M. Kawaminami Phys. Rev. B 69, 104104 (2004).
2. A.P. Magnoli et al., Appl. Clay Sci. 40, 63 (2008).
3. B. Lepoittevin et al. Polymer 43, 4017 (2002).
4. A.E. Bianchi *et al.* "ODTMA and HDTMA organomontmorillonites characterization: new insight by WAXS, SAXS and surface charge". Aceptado para su publicación en Appl. Clay Sci.
5. Botana *et al.* "Effect of montmorillonite organic modification on polycaprolactone composites properties". Enviado para su publicación en Appl. Clay Sci.
6. H. Zhou, G. L.Wilkwes. Polymer 23, 5735 (1997)
7. T. Umasankar Patro, M.V. Mhalgi, D.V. Khakhar¸ A. Misra. Polymer 49 3486 (2008).

Capacitar con contención, para la inclusión
Una experiencia enriquecedora

Ing. Alvarez Cecilia, Lic. Iparraguirre Mercedes, Ing. Hirsch Ernesto, Ing. Tovio Daniel, Mg. Bonicatto María

UNLP – Facultad de Ingeniería – datovio@ing.unlp.edu.ar

capacitar – inclusión – interdisciplina – cooperativismo – trabajo

INTRODUCCIÓN

El programa Ingreso Social con Trabajo reconoce entre sus objetivos primordiales: *la creación de oportunidades laborales para la inclusión y el mejoramiento de la calidad de vida de las personas y barrios más vulnerables mediante el entrenamiento para el trabajo y el fortalecimiento del trabajo asociativo*. Esos objetivos son sintetizados en tres pilares: inclusión social a través del trabajo; capacitación desde una perspectiva integral y promoción de la organización cooperativa.

Para llevar adelante el programa, el Ministerio de Desarrollo Social de la Nación establece acuerdos con organizaciones gubernamentales de distinto orden (municipios, ministerios, provincias) que funcionen como unidades de ejecución de las acciones y tengan a su cargo la responsabilidad del acompañamiento de los procesos para el logro de los objetivos propuestos.

En este sentido se pensó desde el diseño del programa a las universidades en el rol de monitoreo de gestión y/o auditoria de carácter técnico administrativo contable, así como para verificar el avance de obras con capacitación institucional e informar sobre metas esperadas.

Sin embargo la UNLP fue la primera universidad en el país que se constituyó como unidad ejecutora y asumió la responsabilidad del acompañamiento descripto en los párrafos anteriores.

La asunción de dicha responsabilidad estuvo relacionada con una decisión estratégica que fue consolidándose en los dos años de experiencia: el aporte de las universidades a los procesos de implementación de políticas públicas.

Tomando el estado de la cuestión sobre estos temas, se entiende que el proceso de producción de políticas se puede dividir para comprenderlo analíticamente en diferentes fases: identificación de un problema, formulación de una acción, toma de decisión, implementación y evaluación de los resultados.

La experiencia de la Universidad de La Plata como unidad ejecutora del Programa Ingreso Social con Trabajo pretende proponer y experimentar alternativas a un grave problema que los procesos de política pública plantean y al que las universidades públicas responden de manera diversa: los procesos de implementación de políticas como espacios de potencial fracaso de la mayoría de los diseños. Justamente porque es allí donde se enfrentan las hipótesis de cómo abordar un determinado conjunto de problemas con la realidad. El punto es que los procesos de gestión de una política pública no tienen en general incorporada a la implementación la noción de ajuste sobre las hipótesis de acción iniciales. Las fases de diseño, implementación y evaluación se encuentran aún en la actualidad teñidos de modelos tecnocráticos de planificación que las entienden como compartimentos estancos que no se retroalimentan. La universidad pública puede hacer un aporte estratégico para abordar este problema que atraviesa a la sociedad argentina y avanzar en un debate hacia el interior que

no se encuentra saldado: el sentido de la producción del conocimiento de las universidades argentinas.

La investigación básica y aplicada se encuentra en este momento interpelada por una sociedad que demanda aportes de la Universidad al desarrollo de conocimiento que promueva el bienestar de la ciudadanía. En este sentido se incrementan día a día los aportes de las investigaciones llevadas adelante por los diferentes centros, laboratorios y unidades. Docentes, graduados y estudiantes de universidades públicas participan activamente de dispositivos de enseñanza, extensión e investigación que se encuentran fuertemente vinculados a lugares en los cuales las políticas públicas cobran vida. Aulas, gabinetes, espacios de cogobierno, son escenarios permanentes de análisis sistemáticos, debates, toma de posiciones sobre las formas en que el Estado aborda las cuestiones socialmente problematizadas en los diferentes momentos de la historia de nuestro país. En este sentido, las prácticas extensionistas son un espacio privilegiado para problematizar la relación entre universidad y políticas públicas, ya que se constituyen en una relación de retroalimentación permanente con la comunidad y permite comprender que estas son un campo de problematización permanente que genera valiosos insumos para la discusión teórica, metodológica y política que tienen que ser abordados desde los espacios gubernamentales, académicos, de la sociedad civil y los movimientos sociales.

Lo anteriormente planteado nos permite entender la importancia de la participación de la universidad pública en la implementación de políticas públicas.

CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN

El programa se caracteriza por la valorización del trabajo interdisciplinario y por sobre todo por la participación activa de cooperativistas.

Los cooperativistas que participan del módulo de herrería representan una población de 65 trabajadores cooperativista, 35 mujeres y 30 hombres. Se encuentran divididos en tres cooperativas que se han conformado teniendo en cuenta sus grupos de afinidad, la trayectoria de militancia social de la que vienen y las expectativas que fueron compartiendo sobre el programa y el futuro como cooperativa una vez que la experiencia concluya.

Las edades de los participantes varían de 18 años a 65 años. La distribución de población por edades se presenta en la Tabla N°1.

Rango de edad	18 a 25	26 a 41	42 a 57	58 a 65
Cantidad	15	31	17	2

Tabla N°1

Analizando la formación de los mismos se observa que un porcentaje importante poseen estudios primarios completos según se observa en Tabla N°2 y Gráfico N°1.

Estudios primarios	Cooperativistas	
	N°	%
completo	41	63%
incompleto	9	14%
sin estudios	15	23%

Tabla N°2

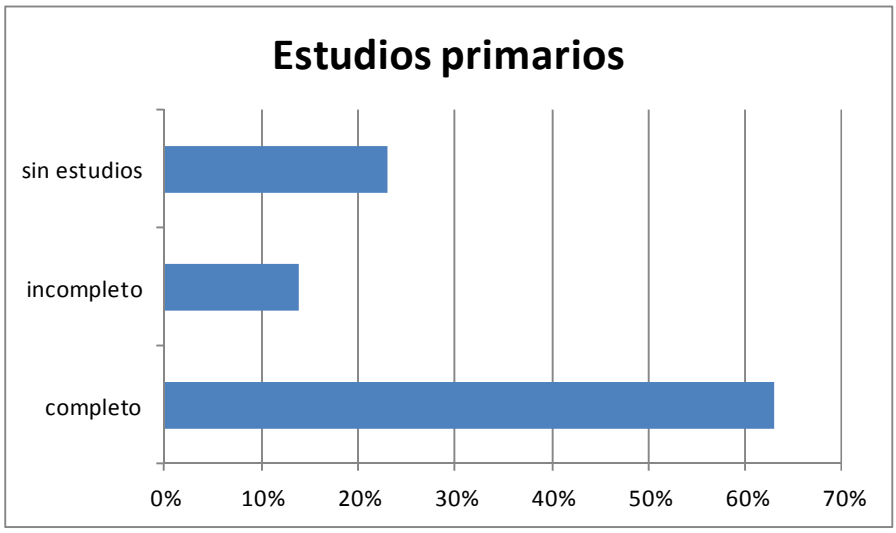


Gráfico N°1

En Grafico N°2 se observa el porcentaje de cooperativistas con estudios secundarios. De ese 63% de cooperativistas que han terminado sus estudios primarios, solamente el 17% terminaron sus estudios secundarios, representando un 11% del total de trabajadores cooperativistas.

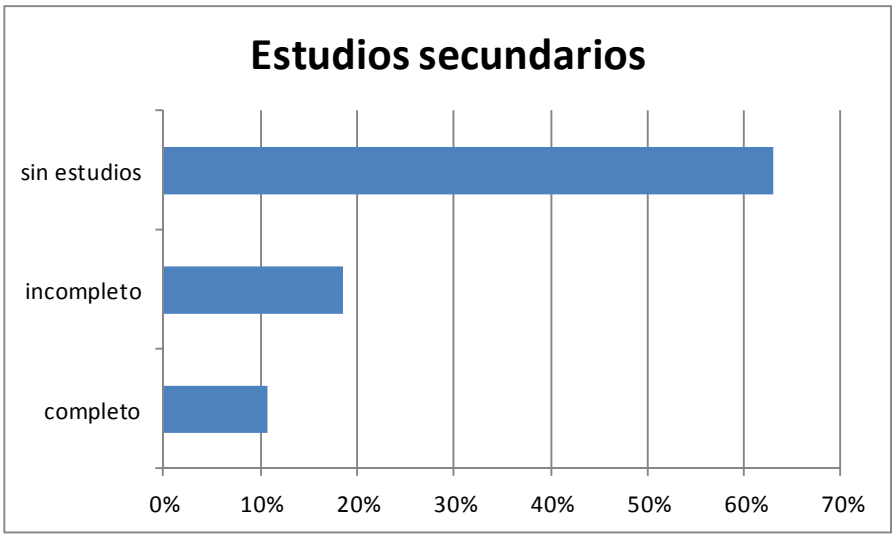


Gráfico N°2

La experiencia que presentan los distintos grupos en el trabajo en oficio es escasa, los jóvenes no han tenido experiencia en este tipo de trabajo a excepción de changas no calificadas, las mujeres en la mayoría de los casos proviene de realizar tareas domésticas en su domicilio o para terceras personas y en los hombres adultos existen situaciones diversas que marcan diferentes trayectorias laborales vinculadas al sector de la construcción y otras ramas de actividad de los que han sido desplazados o no lograron incluirse.

Como lo planteamos en la presentación de esta sección otro elemento fundamental en el desarrollo del programa fue la aplicación de un trabajo interdisciplinario.

La conformación del equipo interdisciplinario e interinstitucional se ha definido a partir del convencimiento de que el abordaje a la problemática de la empleabilidad a de sectores con derechos vulnerados a través de una política social, requiere de diferentes saberes que, en conjunto en forma complementaria puedan diseñar esquemas de capacitación y acompañamiento adecuados a las demandas y características de los sujetos destinatarios de la política pública mencionada.

DESARROLLO DEL PROGRAMA EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA

La participación de la Facultad de Ingeniería se llevó a cabo mediante la participación de docentes de varias especialidades convencidas que era posible alcanzar objetivos concretos en forma conjunta con la Facultad de Trabajo Social. Esos objetivos se transcriben más abajo, y son los presentados al comienzo ante el Consejo Directivo de la Facultad, el que lo consideró de interés para la misma, y aprobó la propuesta

El Plan de Trabajo presentado en el comienzo del Programa constaba de los siguientes objetivos.

a- Capacitación de los cooperativistas en oficios, en este caso en particular, soldadura en metales y otras actividades contenidas dentro de lo que es la herrería.

b- Desarrollo de actitudes para el trabajo en equipo, en forma digna, organizada, y contemplando todo lo que haga a normativas técnicas y laborales.

c- A través de la práctica coadyuvar en tener sentido de la responsabilidad que le cabe a cada trabajador, respetando por sobre todas las cosas las dinámicas propias de sectores como con los que se va a trabajar

d- Desarrollo de una obra en particular, en este caso en enrejado del cerco perimetral del campus en lo que concierne a la Facultad de Ingeniería, el cual se particulariza más adelante.

Los trabajadores sociales acompañan a las cooperativas en dos aspectos principales:

a- el fortalecimiento de aspectos organizativos y grupales (conformación de grupos a partir del trabajo con roles, responsabilidades y pertenencias que fortalezcan el proceso de cada cooperativa, modos de participación en la toma de decisiones, establecimiento de acuerdos colectivos, establecimiento) y respeto de encuadres de tarea y roles asignados para el futuro desempeño como cooperativas autónomas

b- y el acompañamiento en variables que hacen a la optimización de las condiciones de capacitación en obra (conocimiento, uso de los derechos y obligaciones que tienen por ser integrantes del programa: seguridad social, sistema de presentismo, seguros, protección e identificación en los espacios, etc)

Es de destacar que los mismos apuntaban puntualmente a la formación de carácter amplio, rescatando a la persona, brindándole herramientas para dignificar su tarea y por sobre todas cosas apuntar a sentar bases y fortificar lo que es el espíritu de grupo y los logros de conjunto.

Nunca fue un objetivo prioritario la construcción del enrejado perimetral, siempre consideramos que la producción del mismo sería a través del logro de los objetivos anteriores, no concebíamos lo segundo sin lo primero.

Fue un desafío enorme, tanto enfocado a las personas a capacitar, como para demostrar, a través de los hechos, que una institución de altos estudios como nuestra Facultad, fuese

capaz de llegar a estas personas, abrir sus puertas, que se sintieran como un integrante más de la comunidad, y a partir de allí comenzar con la tarea específica

Durante el año 2009, la Facultad avanzó en la legislación acerca de brindar la posibilidad de realizar la materia denominada PPS (Práctica Profesional Supervisada), e inclusive, y siempre que cumpliera con las exigencias académicas llevar adelante el Trabajo Final.

Seguramente no es el primer caso en nuestra Facultad, pero con este programa avanzamos en todos los frentes antes descriptos, es decir, los alumnos algunos pudieron realizar sus PPS, otros realizar el Trabajo Final, demostrando el rol del ingeniero en procesos productivos alternativos, no sólo desde la teoría, sino que refrendado desde la práctica, aún en muchos casos redefiniendo saberes y corroborando otros. Lo que sin lugar a dudas significo un importante esfuerzo por parte de los alumnos, los cuales en todo momento recibieron el apoyo de los docentes participantes.

Estas experiencias nos permiten afirmar que, el trabajo con la comunidad genera espacios de recreación de posibilidades de avance académico de nuestros alumnos.

RESULTADOS

Para evaluar la experiencia desarrollada se consideraron distintos aspectos que hacen al desarrollo del programa en primer lugar de análisis le corresponde a los cooperativistas. Con el resultado obtenido se evaluó el desarrollo de los alumnos y los profesionales participantes obteniendo el siguiente análisis.

Con respecto a los cooperativistas:

a- Lograron avanzar sobre aspectos que hacen al desarrollo del trabajo en conjunto, es decir, consulta con los encargados ante dudas, consulta con sus compañeros, en definitiva creemos se ha avanzado enormemente en cuanto a interpretar que sólo el trabajo con la participación en conjunto nos asegura buenos resultados.
b- Tomaron real dimensión de lo que significa la organización interna del trabajo, el concepto de etapas, el control de la calidad por etapas.
c- Lograron la concientización y respeto al trabajo seguro a partir del uso de los elementos de protección personal.

Con respecto a los alumnos participantes:

a- Se logró conformar un nutrido grupo de alumnos que entendieron no sólo las tareas que les incumbían específicamente, sino que comprendieron la importancia del rol del Ingeniero como actor social, la importancia de sus decisiones, y por sobre todas las cosas comprendieron la potencialidad que se genera cuando se interactúa con otras profesiones
b- Seis alumnos de distintas especialidades cumplieron con su Práctica Profesional Supervisada
c- Un alumno de Ing. Mecánica prácticamente terminando su Trabajo Final.

Con respecto a los profesionales de la Facultad de Ingeniería

a- Se lograron avances más que sustantivos en cuanto a comprensión, interpretación, y ejecución de la interdisciplinariedad, con las distintas profesiones participantes.
b- Respeto a la división de actividades, y fundamentalmente compromiso sin fronteras con el trabajo realizado.

Esto no finaliza aquí, dados los resultados obtenidos en esta primera etapa de implementación se decidió encarar una segunda destinada a incluir labores de albañilería.

Esta motivación surge tanto de la posibilidad de aportar a la colocación de las rejas elaboradas en el módulo de herrería como de ampliar la oferta de aprendizaje a otras áreas de conocimiento que incumben a esta facultad de Ingeniería.

CONCLUSIÓN

El involucramiento de la Universidad en la ejecución de un programa social implica justamente un intento de participación en la construcción y abordaje de las problemáticas sociales.

La concepción del fortalecimiento de la inclusión social, a partir de programas que ponen el acento en las condiciones de empleabilidad y de reproducción de la de vida de los sujetos involucrados, requiere necesariamente de intervenciones atentas a la complejidad, que intenten construir enfoques integrales a problemáticas de estas características.

La ejecución de una obra de infraestructura, de mantenimiento se constituye en el espacio disparador para el trabajo conjunto de dimensiones que hacen a lo social, al trabajo con personas con experiencias, saberes, trayectorias, condiciones de vida disimiles y similares. Lo social se torna entonces como un objeto no susceptible al abordaje de la especificidad de una disciplina, sino que resulta imprescindible el trabajo conjunto de los distintos enfoques disciplinarios para generar condiciones y sostener los puntos nodales que se plantean como objetivos a tales fines.

En este sentido el Área Social acompaña de manera transversal a las áreas técnicas en lo que hace a la definición de contenidos y convocatorias, la conformación de cooperativas en tanto nueva forma de trabajo asociativo, la asignación de beneficios como obras sociales y monotributo social para su uso efectivo; la organización y división del trabajo; la articulación con las demás áreas (demás componentes de la unidad ejecutora, dependencias de la UNLP y del Estado) y la realización de intervenciones y derivaciones particulares en caso de ser requeridas. Todos estos aspectos interaccionan en el cotidiano de los espacios de capacitación constituyéndose los mismos en condiciones de posibilidad de la calidad de la misma.

Sustenta mucho mas lo citado en la conclusión anterior, mencionar que sólo la articulación de este tipo de programas puede llegar a resultados concretos, y a su vez, aportar para el mejoramiento de los mismos, cuando las instituciones participantes aportan convencimiento y acción en el mismo sentido, para nuestro trabajo nos referimos a Políticas Sociales (institucional de la UNLP), Facultades, y en el caso particular de Ingeniería, Secretaría de Extensión.

BIBLIOGRAFIA

- Los medios de enseñanza: Conceptualización y Tipología - Área Moreira, M.. Documento inédito elaborado para la asignatura de Tecnología Educativa. Universidad La Laguna, España, 1990.
- Principios de Ingeniería de Manufactura - S. Black - V. Chiles - A. Lissaman - S. Martin.- Ed.Arnold.1996.
- Procesos de manufactura y materiales para ingenieros - L. E. Doyle. Ed.Prentice-Hall.1969.
- Ley 19587 – Ley 24557 y sus decretos reglamentario.

TECNOLOGÍAS INNOVADORAS PARA POTENCIAR LA ACCIÓN DE LOS ANTIBIÓTICOS SOBRE LAS BACTERIAS ADHERIDAS A SUPERFICIES

Miñán Alejandro [a]; Díaz, Carolina[a], Schilardi Patricia L[a].; Fernández Lorenzo, Mónica A. [ab]
[a] Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA), Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata – CCT La Plata, CONICET, Casilla de Correo 16, Sucursal 4, 1900 La Plata, Argentina. E-mail: mmele@inifta.unlp.edu.ar
[b] Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata,1900 La Plata, Argentina.
fernandezlorenzom@hotmail.com

Palabras clave: *Biofilm, Superficies submicroestructuradas, Antibióticos, Staphylococcus aureus, Pseudomonas fluorescens*

1. INTRODUCIÓN

Una de las principales causas de falla de los dispositivos y materiales implantables (catéteres, válvulas cardíacas artificiales, sondas urinarias, lentes de contacto, prótesis ortopédicas) es la formación de biofilms sobre sus superficies. Dichos biofilms generan infecciones excepcionalmente difíciles de combatir mediante el empleo de antibióticos [Donlan, R. M., 2002]. Los biofilms también originan pérdidas en la industria ligadas a incremento de la corrosión, aumento de la energía necesaria para bombeo, disminución de la eficiencia en sistemas de enfriamiento, taponamientos de filtros, y son focos de propagación de infecciones en áreas hospitalarias.

Los biofilms bacterianos están constituidos por comunidades de bacterias unidas entre si y adheridas irreversiblemente a un sustrato mediante una matriz de sustancias poliméricas extracelulares que ellos mismos han producido, y exhiben comportamientos diferentes respecto a las bacterias en suspensión [Donlan, Rodney M. and Costerton, 2002]. La formación de biofilms proporciona a la bacteria una estrategia de sobrevivencia, protegiéndola de la acción de los agentes agresivos [Costerton *et al.*, 1999].

Estudios previos realizados en nuestro laboratorio [Diaz, C. *et al.*, 2007; Diaz, C. *et al.*, 2009; Diaz, C. *et al.*, 2010] demostraron que en la etapa de adhesión al sustrato, los microorganismos responden de manera similar a la misma topografía de las superficies, aún cuando las mismas sean químicamente muy diferentes. En estos trabajos también se pudo comprobar que cuando la dimensión característica del patrón de la superficie coincide con el diámetro bacteriano, estos microorganismos quedan atrapados en dichos patrones y se acentúa su aislamiento. En el presente estudio se parte de la hipótesis de que la acción de los antibióticos sobre células sésiles puede intensificarse si se impide o dificulta la adhesión bacteriana y la formación de agregados bacterianos. Sobre la base de las observaciones anteriores puede especularse que la combinación adecuada de sustratos con patrones submicroestructurados y el tratamiento antibiótico podría actuar sinérgicamente como una estrategia eficaz para erradicar los biofilms tempranos de microorganismos de relevancia clínica. Para probar esta hipótesis, se emplearon como microorganismos modelos *Pseudomonas fluorescens* (Gram negativo, móvil mediante flagelos) y *Staphyloccocus aureus* (Gram positivo, no móvil). Asimismo se evalúa el efecto del sustrato en la adhesión y colonización de superficies por bacterias con y sin movilidad.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Sustratos

Como sustratos se utilizaron superficies de oro. Las superficies microestructuradas (SME) se prepararon a partir de la técnica de moldeo y replicación asistidos por monocapas

autoensambladas. El patrón superficial consiste en canales de 550 nm de ancho y 120 nm de profundidad separados por crestas de 750 nm de ancho [Diaz, C. *et al.*, 2007; Diaz, C. *et al.*, 2009; Diaz, C. *et al.*, 2010]. Como control, se utilizaron sustratos que presentan en su superficie granos orientados al azar de 50 - 100 nm (NE) (Arrandee ®, Alemania).

Cultivos bacterianos y formación de biofilms

En este trabajo se emplearon dos microorganismos uno de importancia clínica, una cepa de referencia *S. aureus* ATCC 25923 y un aislado de regiones industriales *P. fluorescens*. Los microorganismos se cultivaron en caldo nutritivo (Merck, Darmstadt, Alemania) a 28 °C con agitación (250 rpm) durante 18 h. Los experimentos de adhesión bacteriana sobre sustratos SME y NE se realizaron utilizando el procedimiento descrito en la literatura [Diaz, C *et al.*, 2012]. Luego de la incubación, cada suspensión bacteriana se ajustó a 10^8 unidades formadoras de colonias (UFC/ml) en medio de cultivo fresco, y se utilizaron inmediatamente para la inoculación de los sustratos (NE, SME, 0,25 cm2). Para el ensayo de adhesión bacteriana, los sustratos se colocaron en placas de cultivo de 24 pocillos y se depositó sobre cada uno 20 µl de suspensión bacteriana, incubándose durante 2 ha 37 °C. A continuación, los sustratos con biofilms se lavaron suavemente con agua destilada estéril con el fin de eliminar aquellas células que no se encontraban fuertemente adheridas a la superficie.

El número de bacterias adheridas a la superficie de los sustratos se determinó a través de su cuantificación por el método de dilución seriada como se describe a continuación. En primer lugar, los sustratos SME y NE se colocaron individualmente en tubos de vidrio que contenían 2 ml de solución buffer fosfato estéril (PBS) 10 mM, pH 7 y las bacterias irreversiblemente adheridas se separaron por acción de un baño ultrasónico durante 15 min. Posteriormente, se determinó el número de bacterias en la suspensión mediante dilución seriada y recuento en placa en agar nutritivo. En todos los casos se realizaron 3 ensayos independientes con su respectivo duplicado.

Tratamiento antibiótico

Los ensayos de susceptibilidad a estreptomicina (STP) se realizaron primeramente en cultivos planctónicos. La concentración inhibitoria mínima (CIM) de STP para ambos microorganismos se determinó por el método de microtitulación según las directrices del CLSI [CLSI, 2009], pero reemplazando el caldo Müller-Hinton por caldo nutritivo. La concentración bactericida mínima (CBM) se determinó por el método de recuento en placa [French, 2006]. Para testear el efecto combinado del tratamiento antibiótico sobre bacterias adheridas a ambos sustratos (NE y SME), éstos se colocaron en placas de cultivo de 24 pocillos, después de añadirles 20 µL de cultivo, y se incubaron a 37 ºC durante 2 h, tal como se ha descrito anteriormente. Los biofilms formados sobre los sustratos se lavaron suavemente dos veces con PBS y después se incubaron con 2 ml de caldo nutritivo conteniendo STP en concentraciones entre 1 a 4 mg/L. Después de 18 h de incubación a 37 °C, las soluciones con STP se retiraron y los biofilms se lavaron dos veces con solución de PBS estéril. A continuación, los sustratos con biofilms se colocaron individualmente en tubos de vidrio que contenían 2 ml de buffer PBS y se llevaron a lavador ultrasónico. Alícuotas de la solución resultante se sembraron, después de realizar diluciones apropiadas, sobre placas de agar nutritivo. Finalmente, se enumeran las colonias y se determinaron las UFC a las 24 h de crecimiento. El mismo procedimiento se empleó para obtener el número de células viables unidas a cada sustrato antes de la exposición a STP. Estos valores se utilizaron como valores de control a los que se refirieron los valores de células viables después del tratamiento con el agente antimicrobiano. Todos los ensayos descritos se realizaron por duplicado y a partir de al menos tres cultivos independientes.

Ensayos de viabilidad

Con el fin de evaluar la colonización inicial y, al mismo tiempo, la proporción de microorganismos viables y muertos adheridos a los sustratos (antes y después del tratamiento con STP), se empleó el kit de viabilidad LIVE/DEAD® BacLight (Invitrogen). La solución LIVE/DEAD se preparó mezclando 30 µl del componente A (SYTO 9) y 30 µl del componente B (yoduro de propidio) y diluyendo la mezcla en una proporción 1/200 en agua destilada. A continuación 6 µl del colorante se vertió sobre cada sustrato y se mantuvo en la oscuridad durante 15 min a temperatura ambiente. Luego, los sustratos se enjuagaron con solución estéril de NaCl (0,9% p/v). Las bacterias fluorescentes se visualizaron por epifluorescencia con un microscopio Olympus BX-5. Los filtros utilizados fueron U-MWG2 (excitación 510-550 nm y 590 nm de emisión) y U-MWB2 (excitación y emisión 460-490 520).

Análisis estadístico

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar las diferencias entre los grupos. Se consideró un valor de $p < 0,05$ como estadísticamente significativo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Numerosos estudios sobre biofilms microbianos han reportado que la densa estructura de los agregados bacterianos presentes en los biofilms es una de las principales causas de la resistencia a la terapia antibiótica [Butler *et al.*, 2010]. Por esta razón, en el presente trabajo se propuso una estrategia dirigida a impedir la agregación bacteriana empleando sustratos SME con el objeto de aumentar la susceptibilidad de células sésiles al tratamiento antimicrobiano. Para ello, en primer lugar se compararon y estudiaron las características de biofilms tempranos de bacterias no móviles (*S. aureus*) y móviles (*P. fluorescens*) formados sobre sustratos SME y NE. Posteriormente, se evaluó el efecto de las superficies SME y el tratamiento con STP como factores individuales sobre biofilms de *S. aureus* y *P. fluorescens*, así como el tratamiento combinado (SME + STP) con el fin de encontrar un posible efecto aditivo/sinérgico que permita la reducción y/o erradicación bacteriana.

Efecto de la submicroestructura (SME) en la adhesión como único factor

Las superficies de oro SME que presenta un arreglo ordenado de canales en el rango de nano/micro escala afectan la formación de agregados de *P. fluorescens*, alterando su adhesión y movilidad [Diaz, C. *et al.*, 2007]. Por esta razón, el primer paso del presente estudio consistió en evaluar el efecto de la SME submicroestructura de oro en las etapas iniciales de la organización de *S. aureus*, comparando los resultados con los obtenidos para la superficie nanoestructurada (Fig. 1). A través del análisis cuantitativo se encontró que el número de bacterias de *S. aureus* adheridas al sustrato SME después de 2 h de colonización se redujo significativamente (más de 4 veces) en comparación con el sustrato NS ($p < 0,05$). Este resultado es coincidente con los hallados en biofilms tempranos de *P. fluorescens* cuya densidad celular decreció en la superficie SME al menos 6 veces. Con el fin de caracterizar la organización celular en ambos sustratos, se tomaron imágenes mediante microscopia de epifluorescencia y AFM (Tabla 1). Empleando el kit de viabilidad LIVE/DEAD Baclight® se pudo confirmar que la densidad de las bacterias de *S. aureus* y *P. fluorescens* era mayor en la superficie NE. Asimismo, el análisis de las imágenes de AFM reveló que la mayor parte de las bacterias adheridas a dicho sustrato forman patrones abiertos y ramificados. En cambio en el sustrato SME, en ambos microorganismos, se pudo apreciar una menor densidad de células, las cuales se encontraban principalmente aisladas y distribuidas al azar (efecto SME).

Efecto del tratamiento antibiótico (STP)

Primeramente se determinó el efecto de STP sobre células planctónicas. Los valores de CIM y CBM encontrados para *S. aureus* fueron 2 y 4 mg/L y en *P. fluorescens* 4 y 8 mg/L respectivamente. En función de los resultados de CIM se estableció el rango de concentraciones de antibiótico a ensayar (1 a 4 mg/L) sobre cultivos sésiles de *S. aureus* y *P. fluorescens*. A continuación, se analizó la actividad antimicrobiana de STP en la población sésil (biofilms de 2 h) formada en los sustratos SME y NE para ambos microorganismos. La Fig. 2. muestra el efecto bactericida de STP sobre biofilms (2 h) de *S. aureus* y *P. fluorescens* sobre el sustrato NE (efecto STP).

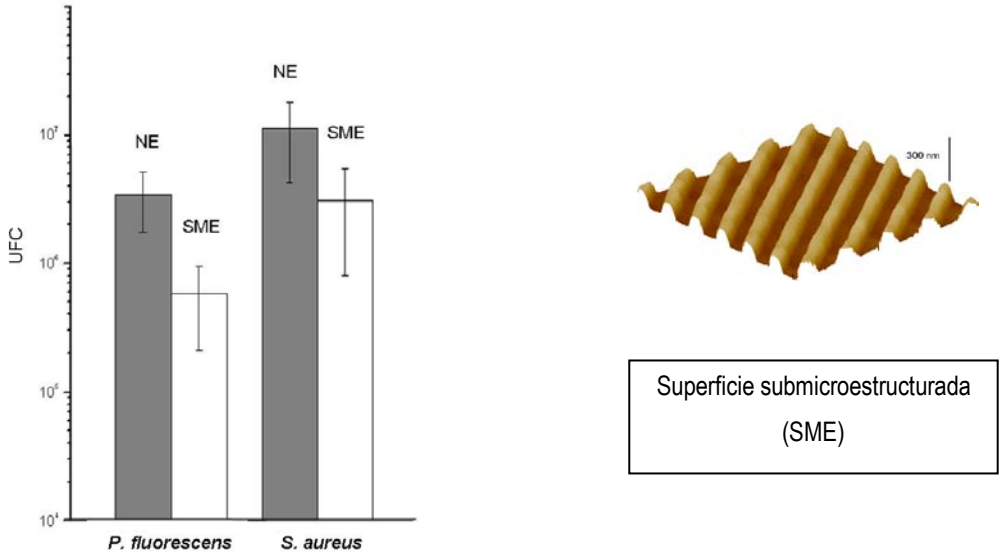
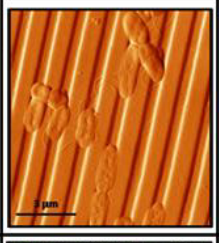
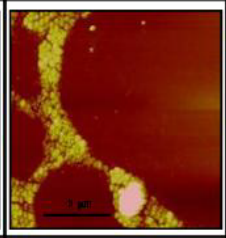
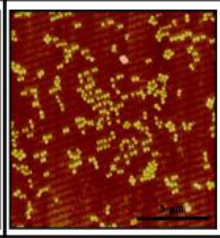
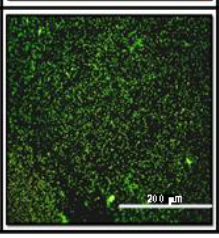
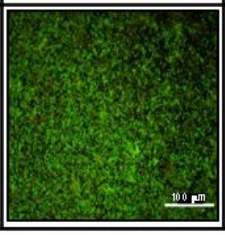
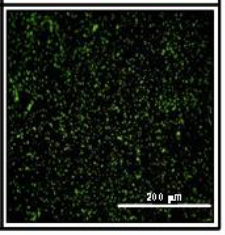


Fig. 1. Número de bacterias adheridas a las superficies NE y SME (área: 0.25 cm^2) luego de 2 h de colonización. UFC: unidades formadoras de colonias. A la derecha se muestra la imagen AFM de la superficie SME

Tabla 1. Biofilms bacterianos sobre sustratos NE y SME

	P. fluorescens		*S. aureus*	
Sustrato	NE	SME	NE	SME
AFM				
LIVE/DEAD				

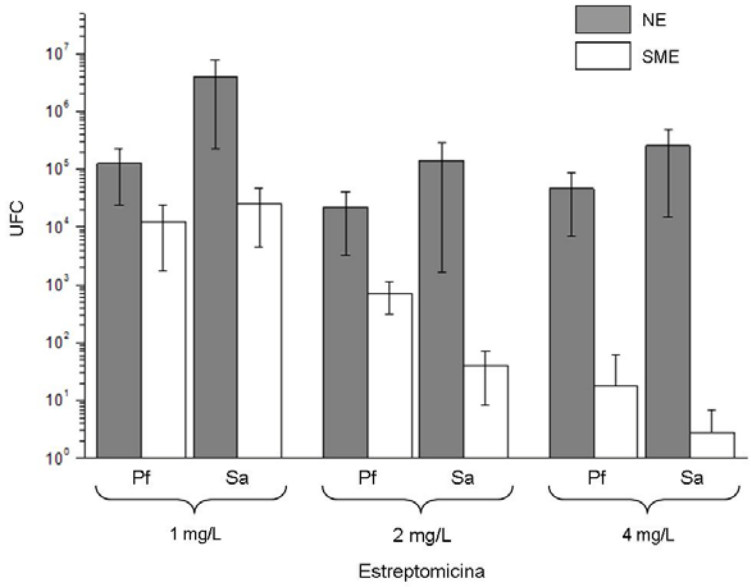


Fig. 2. Número de bacterias viables posterior al tratamiento antibiótico sobre los sustratos NE y SME. Pf: *P. fluorescens*; Sa: *S. aureus*. UFC: unidades formadoras de colonias.

Efecto combinado: Adhesión sobre SME y tratamiento con antibiótico

Es interesante notar que, en ambos microorganismos, el número de células viables adheridas al sustrato NE no difiere significativamente ($p > 0,05$) en todo el rango concentraciones del antibiótico testeado. Asimismo el número de células viables adheridas al sustrato NE, tanto en *S. aureus* como en *P. fluorescens*, disminuyó un máximo de 2 ordenes respecto al control (biofilm formado sobre NE y sin tratamiento con STP). A diferencia de los resultados obtenidos luego del tratamiento antibiótico sobre el sustrato NE (efecto STP), los biofilms de *S. aureus* y *P. fluorescens* formados sobre la superficie SME mostraron una reducción significativa en el número de células sésiles luego del tratamiento antimicrobiano (SME+STP) (Fig. 2). Estos resultados confirman que la estrategia propuesta (SME+STP) fue eficaz para potenciar la actividad bactericida de STP en ambos microorganismos. Observaciones por microscopia AFM y epifluorescencia concuerdan con los resultados de cuantificación de células viables. Cuando las células sésiles fueron expuestas a STP, las imágenes de epifluorescencia mostraron una mayor densidad bacteriana sobre el sustrato NE (efecto STP) comparada con la encontrada en el SME (SME+STP), el cual presentó un mayor número de células muertas. Es importante mencionar que en el sustrato NE se observaron microcolonias compactas de *P. fluorescens* y grandes agregados ramificados de *S. aureus*, con gran número de células viables. Sin embargo, en ambos microorganismos, este tipo de cúmulos o estructuras no fueron frecuentes? sobre el sustrato SME, sobre el cual se exhibió el mayor efecto bactericida para el tratamiento combinado (SME+STP, 4 mg/L) contra ambas especies adheridas a la superficie SME (Fig. 2). Los resultados de la Fig. 2 muestran un efecto bactericida sinérgico cuando se combina adhesión sobre SME con agregado de antibióticos.

Rol de los agregados bacterianos en la resistencia bacteriana a los antibióticos

Una posible justificación a la acción bactericida sinérgica sobre células sésiles adheridas a las superficies SME, podría asociarse a la topografía de esta superficie

submicroestructurada. En el caso de microorganismos móviles (*P. fluorescens*) los canales presentes en el sustrato SME dificultan la movilidad conjunta de los mismos, conocida como *swarming*, ya que las bacterias quedan "atrapadas" en los canales y el proceso de colonización de la superficie se ve dificultado [Diaz, C. *et al.*, 2009]. Tanto en el caso de microorganismos móviles como no móviles (*S. aureus*), la disposición en canales incrementa la separación de las células que quedan "encerradas" en los canales. Como consecuencia de ese aislamiento se dificulta la comunicación química entre ellas, así como la formación de agregados. De esta manera la resistencia asociada a la menor superficie celular expuesta al antibiótico y a la protección de la matriz polimérica extracelular propias de una colonia no llegan a lograrse. Como consecuencia, las bacterias adheridas a la superficie SME son más susceptibles al tratamiento antibiótico, aumentando así la efectividad biocida del mismo. En este sentido, este trabajo es único en estudiar y comparar el efecto bactericida de STP contra células sésiles de *S. aureus* y *P. fluorescens* cuando las bacterias crecen en forma aislada o formando agregados sobre superficies de oro que no se encuentran químicamente modificadas.

4. CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio mostraron que desde las primeras etapas de la formación del biofilm, la agregación bacteriana se convierte en un factor importante que conduce al aumento de la resistencia a los antibióticos. Asimismo, estos resultados destacan las prometedoras propiedades de las superficies SME que son capaces de inhibir la formación de biofilms estructurados y exacerbar la actividad antimicrobiana de antibióticos y biocidas. Este enfoque podría ayudar a mejorar la efectividad del tratamiento bactericida en entornos relacionados con la salud pública (paredes y camas de hospitales y lugares sanitarios, instrumentos quirúrgicos, sistemas de agua potable, etc.) e industriales (tuberías, filtros, tubos, válvulas, tanques de almacenamiento, plantas de desalinización, torres de enfriamiento, cascos de barcos, etc.). Asimismo desde el punto de vista fundamental se demostró el importante rol de los agregados 2D de *S. aureus* y *P. fluorescens* en el incremento de la resistencia a los agentes antimicrobianos.

AGRADECIMENTOS

Los autores agradecen a la UNLP (proyectos I163 y X531), al CONICET, ANPCyT (PICT 2010-1779 y PPL 2011 0003).

REFERENCIAS

Costerton, J. W., P. S. Stewart, et al. (1999). "Bacterial Biofilms: A Common Cause of Persistent Infections." Science 284(5418): 1318-1322.

Diaz, C., P. L. Schilardi, et al. (2007). "Nano/microscale order affects the early stages of biofilm formation on metal surfaces." Langmuir 23(22): 11206-11210.

Diaz, C., P. L. Schilardi, et al. (2009). "Submicron trenches reduce the Pseudomonas fluorescens colonization rate on solid surfaces." ACS Appl Mater Interfaces 1(1): 136-143.

Diaz, C., R. C. Salvarezza, et al. (2010). "Organization of Pseudomonas fluorescens on chemically different nano/microstructured surfaces." ACS Appl Mater Interfaces 2(9): 2530-2539.

Diaz, C., A. Miñán, et al. (2012). "Synergistic antimicrobial effect against early biofilm formation: micropatterned surface plus antibiotic treatment." Int J Antimicrob Agents, in press.

Donlan, R. M. (2002). "Biofilms: microbial life on surfaces." Emerg Infect Dis 8(9): 881-890.

Donlan, R. M. and J. W. Costerton (2002). "Biofilms: Survival Mechanisms of Clinically Relevant Microorganisms." Clin. Microbiol. Rev. 15(2): 167-193.



Producción

LOS ESTILOS DE APRENDIZAJES Y SU RELACIÓN CON EL DISEÑO CURRICULAR BASADO EN COMPETENCIAS, UN ESTUDIO DE CASO INGENIERÍA SOCIAL FI - UNLP

Autores: Enrique Carrizo – Cintia Cervino
Lugar de Ejecución del Trabajo: UID: Gestión y Desarrollo de los Sistemas Socitécnicos Complejos. Departamento Ingeniería de la Producción FI – UNLP. Calle 1 y 47 Edificio central,
produccionydesarrollo@ing.unlp.edu.ar; ecarrizo@ing.unlp.edu.ar
Palabras clave: Estilos de aprendizajes – Diseño curricular- Competencias – Modelo 4 Mat

Introducción

El nuevo papel del docente bajo un esquema de construcción del conocimiento colaborativo, lo posiciona como un mediador y facilitador de la interfaz del proceso de estudio – aprendizaje, el cual le permite visualizar de manera privilegiada los diferentes estilos que los estudiantes poseen asociado a ese proceso. El modelo de David Kolb permite establecer a priori y con bastante aproximación que estilos son representativos de la cohorte en estudio, para luego observar que diseños metodológicos y estrategias didácticas se adaptan mejor con esos estilos, propios y grupales. La puesta en marcha de la experiencia a través de la asignatura Ingeniería Social de la FI UNLP posibilito tal observación y por derivación analizar cuáles podrían ser entonces las estratégicas didácticas desde la perspectiva del diseño curricular basado en competencias que mejor interpreten los estilos evidenciados conjuntamente con los saberes previos del estudiante en particular y de la cohorte en general.

Se utilizo una encuesta en base al test que diseñara David Kolb en 1981, con preguntas de respuesta cerrada. Sus campos permiten recoger información pertinente a la forma en que los estudiantes realizan sus actividades de estudio aprendizaje según grado de preferencia y estilos personales.
El análisis de los datos recogidos en el operativo estadístico posibilita disponer de cierta información, la cual resulta oportuna para los diseños metodológicos de estudio aprendizaje basados en competencias.

Parte experimental

La encuesta focaliza sobre las cuestiones asociadas a la mayor o menor afinidad al momento de aprender que experimenta el estudiante si se tratase de una experiencia directa y concreta, o bien de una experiencia abstracta, la que resulta cuando se lee acerca de algo o cuando alguien lo cuenta. Pero las experiencias que se pueden tener ya sean concretas o abstractas, se transforman en conocimiento cuando se las elabora reflexionando y pensando sobre ellas, y también experimentando de forma activa con la información recibida.
Las preguntas coadyuvan a determinar en la práctica, que tipo de estilos de aprendizaje presentan los estudiantes de ingeniería, diferenciándolos como de tipo acomodador, divergente, asimilador y convergente. A partir de esto identificar la fase preferencial de trabajo individual lo que dará una idea aproximada del grado de dificultad que presentaría un mismo contenido según se presente y como se trabaje en el aula.
El método de investigación seleccionado es la encuesta, esta ha sido realizada a todos los estudiantes de la asignatura durante las cohortes 2011 y 2012 en ambos cuatrimestres respectivamente. El universo de trabajo seleccionado resulta una muestra no probabilística por conveniencia, casual o accidental pues si bien se trabaja con toda la población de estudiantes de la asignatura estos no han sido seleccionados por el equipo de investigación a los propósitos prefijados, sino que ellos han seleccionado dicha asignatura como su electiva humanística. No obstante esta condición de borde se puede observar la consistencia de resultados entre cohortes en estudio.

La toma de datos se efectivizo entre los meses de abril y de septiembre de cada año, a través de la muestra de estudiantes que tomaron el curso electivo de la asignatura. En este sentido, se realizaron y procesaron 140 encuestas. Como ejemplo se puede mencionar que las pregunta se refieren al modo en que el estudiante se comporta o actúa ante un problema que deba darse una solución u obtener un resultado urgente, o al encontrarse con una realidad nueva, y ante los cambios de esta. Otros aspectos observables se asocian con la importancia relativa que en un proceso el estudiante le da a la experiencia, la observación, la conceptualización y/o la experimentación.

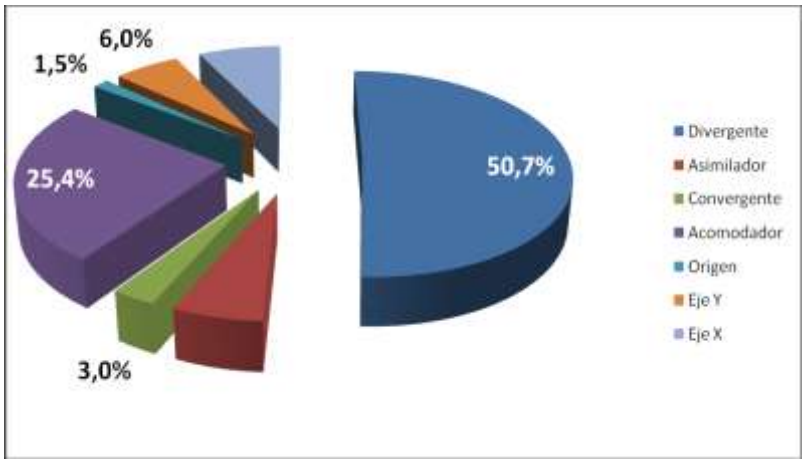
El trabajo de campo, la recolección de datos, se realizó a través de un cuestionario con 9 filas horizontales designadas con las letras A hasta la I, cada una de estas dilas representa un conjunto de cuatro situaciones de aprendizaje. El procedimiento consiste en asignar un puntaje de acurdo al orden de prioridad según sea la preferencia del estudiante, calificando a las mismas con 4 para la mayor preferencia y luego 3, 2 y 1 a las restantes situaciones expuestas en virtud de la efectividad que le representan al propio estudiante la forma de aprender. El formulario se invalida si se repite un valor en la misma fila.

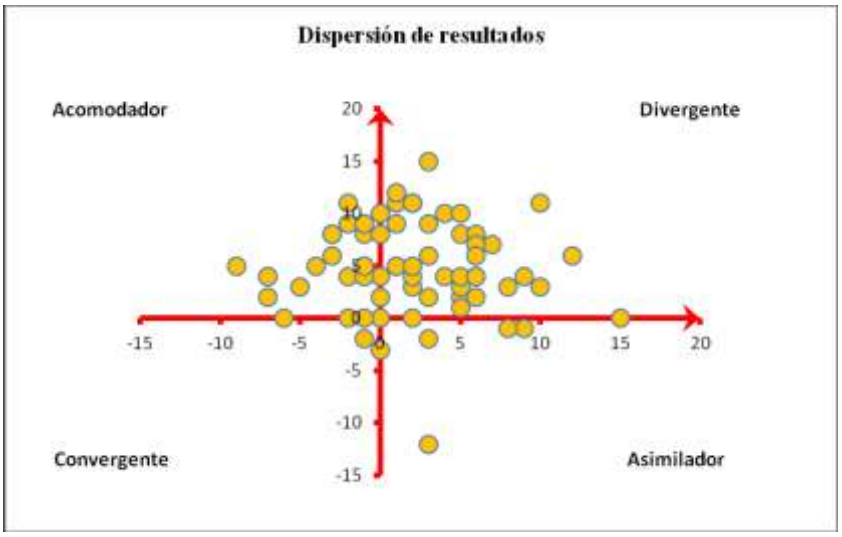
A	DISCRIMINANDO. Distinguiendo una cosa de otra.		ENSAYANDO. Para mejor uso posterior.		COMPROMETIÉNDO-ME. Involucrándome.		PRACTICANDO. Poniendo en práctica lo aprendido.	
B	RECEPTIVAMENTE. Me fijo principalmente en lo que recibo.		APROPIADAMENTE. Acomodándome al objetivo que tengo.		ANALÍTICAMENTE. Descomponiendo el todo en sus partes.		APLICADAMENTE. A partir de la utilidad	
C	SINTIENDO. Experimentando sensaciones.		OBSERVANDO Examinando atentamente.		PENSANDO. Examinando con cuidado para hacerme una idea.		HACIENDO. Realizando actividades.	
D	ACEPTANDO. Aprobando, dando por correcto.		CORRIENDO RIESGOS. Exponiéndome a fallar.		CUIDADOSAMENTE. Examinando el valor de los contenidos.		EVALUANDO. Fijándome si las ideas son ciertas o correctas.	
E	INTUITIVAMENTE. Teniendo percepciones tal como si las viviera.		PRODUCTIVAMENTE. Con resultados a la vista.		LÓGICAMENTE. Descubriendo de modo lógico.		INTERROGANDO. Preguntando a quien sabe más.	
F	EN FORMA ABSTRACTA. Separando lo esencial de las cualidades.		OBSERVANDO. Examinando atentamente los detalles.		CONCRETAMENTE. Dedicándome a lo esencial o a lo importante.		ACTIVAMENTE. Realizando, trabajando, manipulando todo.	
G	ORIENTÁNDOME AL PRESENTE. Lo aprendido me servirá ahora.		REFLEXIVAMENTE. Considerando detenidamente.		ORIENTÁNDOME AL FUTURO. Lo aprendido me servirá después.		PRAGMÁTICAMENTE. Buscando efectos o usos prácticos.	
H	VIVIENDO LAS SITUACIONES.		OBSERVANDO.		CONCEPTUALIZANDO. Definiendo las cosas.		DISEÑANDO FORMAS DE PROBAR LAS IDEAS.	
I	AFECTIVAMENTE. Siendo estimulado por las emociones.		RESERVADAMENTE. Con cautela y sin manifestación externa.		RACIONALMENTE. Discerniendo con la razón lo verdadero de lo falso.		RESPONSABLEMENTE. Obligándome a responder concretamente.	

Resultados y discusión

Los resultados arrojan que un 50,7% de los encuestados poseen un estilo de aprendizaje categorizado como divergente, para el cual su punto fuerte es la imaginación. Confronta situaciones desde múltiples perspectivas, son emotivos y les interesa la relación personal con amplitud cultural.
En segundo término con el 25,4% se encuentra el estilo acomodador, este particularmente se caracteriza por la ejecución y la experimentación, son de arriesgar y se adapta a las circunstancias inmediatas. Si las teorías o programas no concuerdan con la realidad los deja de lado. Prefieren el trato personal pero son impacientes y por ello presionan.
Continua el estilo asimilador con el 6 %, este se basa en la creación de modelos teóricos, utiliza el razonamiento inductivo e integra las observaciones dispersas, suele estar más interesado en abstracciones que en las personas.
Por último se encuentra el estilo convergente con el 3 %, su fuerte es la aplicación práctica de las ideas, sobresale en situaciones en que se buscan respuestas correctas. Se focaliza a través del razonamiento hipotético deductivo. Es poco emotivo y por ello prefiere tratar con cosas u objetos. Sus intereses son técnicos, muy concretos.
Como caso particular se tiene aquellos resultados que no poseen una categorización dentro de las mencionadas ya que su ubican sobre los ejes de coordenadas y por ello no pertenecen a ningún estilo en particular, esto implica el 6 % se ubique sobre el eje de las ordenadas y el 7,5 % para el eje de abscisas.

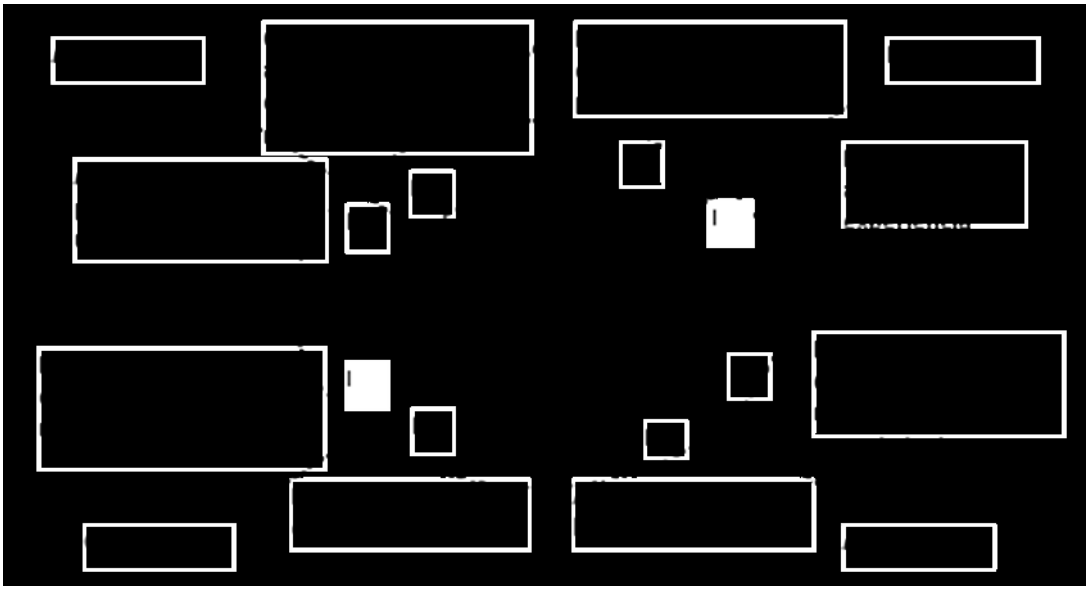
En los gráficos mostrados a continuación se puede observar la distribución porcentual y la dispersión de los resultados obtenidos





De lo anterior se puede inferir que el 76,1 % de los encuestados se identifican con dos estilos preferenciales, de este porcentaje el 50,7 % corresponde al estilo divergente, lo que conlleva a pensar en estudiantes del tipo imaginativo, y el 25,4 % restante al estilo acomodador, conformado por estudiantes activos. Pero lo anterior se da con bastante dispersión dentro de los dos cuadrantes, lo que hace suponer que incluso dentro de estos dos estilos se requerirán estrategias metodológicas diferenciales. Es decir que no basta con detectar la tendencia hacia estilos de aprendizajes, sino que además estos deben ser visualizados a partir de la posición relativa respecto al origen de coordenadas. Se podría establecer así una serie de anillos concéntricos que delimitarían los diseños estratégicos a la vez que indicarían los cambios con el incremento del radio. Este límite no posee un valor definido, no obstante en el círculo de menor radio con un entorno próximo al centro de coordenadas puede considerarse con bastante aproximación que el estudiante posee la flexibilidad y la capacidad de adaptación a cualquiera de los cuatro estilos de aprendizajes. En la medida que nos alejamos del origen de coordenadas los estilos toman relevancia uno respecto del otro en función del cuadrante en el que se esté ubicado.

En relación al modelo 4 MAT de Bernice Mckarthy se puede establecer las relaciones entre los estilos de aprendizajes y la esfericidad cerebral integrando las características de ambos hemisferios cerebrales y los estilos personales visualizados para esta cohorte en estudio. Cada sector posee características particulares en relación al hemisferio pertinente lo que de manera integral constituye ocho pasos desde el inicio hasta el cierre de la sesión de estudio aprendizaje. De esta manera el portafolio del docente se constituye en un herramental básico para el desarrollo y la calidad del proceso de estudio aprendizaje.



Si se considera el desarrollo de la docencia desde el pensamiento complejo, esto posibilita avanzar en las siguientes estrategias:

- Relatos de experiencia de vida de cada uno de los docentes a modo de sensibilización estudiantil con el área temática en cuestión.
- La contextualización de la realidad a través de situaciones concretas de aplicación de las competencias acordadas en ámbitos de desempeño real.

- Realización de prácticas orientadas en el concepto del aula - laboratorio - taller a través de equipos de trabajo estudiantil bajo la metodología de aprendizaje basado en problemas.
- La investigación en equipo, definiendo roles, responsabilidades objetivos y alcances, y su mecanismo de asignación – duración.
- La socialización del conocimiento y la información en base a la gestión del mismo.
- Diseño de estrategias didácticas basadas en competencias transversales entre asignaturas de dictado simultaneo o progresivo en el plan de formación del Ingeniero

Conclusiones

La visualización previa de los diferentes estilos de aprendizajes que poseen los estudiantes de Ingeniería observados por este estudio de caso a través de la asignatura Ingeniería Social, abre el interrogante acerca de cuáles serían las estrategias más efectivas que podrían implementarse a fin de canalizar las inquietudes de la mayor población estudiantil. Las que se encuentran conformadas por diversas cohortes que componen una cursada.

El diseño basado en competencia presenta una alternativa por demás conveniente para el desarrollo de los proyectos de formación en la carrera de ingeniería, si se lo acompaña con la articulación transversal entre asignaturas esto puede resultar innovador y por ende ser una pieza clave para el desarrollo cognitivo de estudiantes y docentes, por cuanto se puede abordar aspectos diversos de manera simultánea y sobre el mismo hecho u objeto de estudio. Si al hacerlo se conjugan los diferentes estilos de aprendizaje que la cohorte posee se obtiene una maximización de rendimientos visto esto como utilización plena del tiempo de clases con participación activa del estudiante, lluvia de ideas, debates y juego de roles, puesto que se tracciona sobre los estilos propios, personales y colectivos. Se realza el papel del estudiante en el aula a la vez que el docente acompaña, guía y facilita.

Finalmente el traspaso de este conocimiento adquirido a las próximas asignaturas de la carrera posibilitará desarrollar estrategias que mejor se ajusten a los estilos visualizados tomando como feedback los outputs dejados por las asignaturas anteriores mientras se reajustan a la vez los estilos de aprendizaje ya sea por merma o por el incremento del número de estudiantes que componen esa cohorte.

Bibliografía

Carrizo, Enrique. (2012). *Los estilos de aprendizajes y su relación con el diseño curricular basado en competencias: Ingeniería Industrial de la UNAJ.* V Simposio de Ingeniería Industrial Actualidad y Nuevas Tendencias. Valencia. Venezuela.

Carrizo, Enrique. Cervino, Cintia. (2012). *Competencias Emprendedoras en el diseño curricular de la carrera Ingeniería Industrial de la UNAJ.* CADI – CAEDI. Mar del Plata. Argentina.

Kolb, D. (1984). *Experiencial Learning. Experience as the source of learning and development.* Prentice Hall, Englewood Cliffs.

Garabieta, L. (2001). *Pensamiento Creativo, Aprendizaje y Cambio*. Buenos Aires. Ed. Universidad de Belgrano

McKarthy, B. (1987). *The 4 Mat System*. ISBN 10:0960899200

Sobrevila, M. (2008). *Didáctica para la ingeniería y la educación técnica*. Buenos Aires. Ed. Alsina.

Tomasello, M. Krugger, A.C., Ratner, H. (1993). Cultural learning. *En Behavioural and Brain Sciences*, Vol. 16, Nº 3, pp. 495 – 557.

Lininger, C y Warwick, D., (1984). Diseño del Cuestionario, en: La encuesta por muestreo: teoría y práctica. Editorial Cecsa, Mexico.

APROVECHAMIENTO DE BIOMASA A PRODUCTOS DE ALTO VALOR AGREGADO: OBTENCIÓN DE BIOPROPILENGLICOL A PARTIR DE GLICEROL

M. Laura Barbelli[2], Francisco Pompeo[2], Gerardo F. Santori[1], Nora N. Nichio[1]

[1]TECPRO, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, 1 esq 47, 1900 La Plata, Argentina.

[2]PIDCAT, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, 1 esq 47, 1900 La Plata, Argentina. * e-mail: nnichio@quimica.unlp.edu.ar

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han dictado a nivel nacional una serie de leyes y normativas tendientes a lograr el afianzamiento y crecimiento de los biocombustibles por aprovechamiento de biomasa. Este marco legal ha dado un muy fuerte impulso a la producción de biodiesel y bioetanol en Argentina. Nuestro país es uno de los principales productores mundiales de biodiesel. En solo cuatro años, la producción de biodiesel a nivel local ha mostrado un vigoroso incremento de 240%, ya que aumentó desde las 712 mil toneladas en 2008 a 2,40 millones de toneladas en 2011. Con la producción de biodiesel se ha generado un exceso de glicerol en el mercado debido a que es el principal subproducto del proceso y representa una oportunidad para el desarrollo de nuevas aplicaciones. La conversión de glicerol en biopropilenglicol (PG) surge como una solución potencial al problema. La demanda actual de PG es de alrededor del doble de la de glicerol, ya que se lo utiliza en numerosas aplicaciones: resinas de poliéster, fluidos anticongelantes, productos farmacéuticos, alimentos, cosméticos, detergentes líquidos, humectantes de tabaco, fragancias, pinturas y alimentos para animales. Además el PG puede ser también comercializado como una alternativa del etilenglicol en el mercado de anticongelantes, que es casi tres veces mayor.

La conversión de glicerol a biopropilenglicol ha sido reportada utilizando varios catalizadores a base de metales de transición, tales como Ru, Pt, Cu, Ni, [1-11], y sistemas bimetálicos de Pt-Ru, Au-Ru y Ru-Re [12, 13]. La actividad y la selectividad en los catalizadores Pt-Ru y Au-Ru fue similar al catalizador monometalico de Ru. En el caso del catalizador Ru-Re se encontró un efecto promotor del Re sobre la actividad del catalizador, si bien la selectividad fue similar al catalizador monometalico.

En el presente trabajo se estudió el desarrollo de catalizadores y estudio de la reacción de hidrogenolisis de glicerol. Se prepararon catalizadores de Pt y PtSn soportados sobre SiO_2. Se analiza el efecto de la presión inicial de H_2, así como también la influencia en la relación Sn/Pt.

EXPERIMENTAL

El catalizador monometálico Pt/SiO_2 (1% en peso de Pt) se preparó por intercambio catiónico, a partir de una solución de $[Pt(NH_3)_4]^{++}$. El método utilizado para fijar el Sn sobre el Pt soportado consiste en la reacción entre el catalizador monometálico y el $SnBu_4$ en presencia de H_2 entre 90 y 120ºC. Los sistemas bimetálicos $PtSn/SiO_2$, se obtuvieron por activación en H_2 a 500ºC durante 2 h [14]. La reacción entre el $SnBu_4$ y el catalizador monometálico Pt/SiO_2 fue seguida cromatográficamente, midiendo la variación de la concentración del precursor organometálico en la solución de impregnación. Al final de la etapa de fijación del Sn se determina la cantidad total de butanos desprendidos. Los catalizadores así obtenidos se

designan $PtSn_{0,2}$ (Sn/Pt = 0,2 con 0,12 % en peso de Sn), $PtSn_{0,4}$ (Sn/Pt = 0,4 con 0,24 % en peso de Sn) y $PtSn_{0,7}$ (Sn/Pt = 0,7 con 0,42 % en peso de Sn).

Los diferentes sistemas catalíticos fueron caracterizados por composición química, TPR, quimisorción de H_2 y CO por el método volumétrico, distribución de tamaños de partículas metálicas por TEM y XPS.

El equipo experimental utilizado para los ensayos de la reacción de hidrogenólisis de glicerol consiste de un reactor tipo Batch de acero inoxidable de 100 ml de capacidad. Se estudió la reacción en condiciones de 200 ºC de temperatura y 4 bar de presión inicial. Los catalizadores fueron reducidos a 500 °C durante 1 hora en flujo de H_2 puro (30 cm^3min^{-1}) previo a la reacción. Para el análisis y cuantificación de productos gaseosos se utilizó un cromatógrafo Shimadzu GC-8A equipado con un detector de conductividad térmica (TCD), con una columna Hayesep D 100-120. Las muestras líquidas se analizaron mediante cromatografía gaseosa con detectores FID y MS (cromatógrafo Shimadzu GCMS-QP5050A), utilizando una columna capilar HP PONA 50m.

La actividad catalítica se expresa como conversión a productos líquidos X^L y conversión total X^T, definido como:$X^T = X^G + X^L$

$$X^G = \frac{N_{CO} + N_{CO_2} + N_{CH_4}}{3 \times N_g{}^o}$$, Donde X^G = conversión a gas, $N_g{}^o$ = moles de glicerol.

$$X^L = \frac{(1 - X^G) \times (1 - x_g) \times N_g^o}{N_g^o}$$, Donde x_g = porcentaje molar del glicerol en fase líquida, $N_g{}^o$= moles iniciales de glicerol

La selectividad a los diferentes productos de reacción fue calculada como los moles de cada producto divididos los moles totales de productos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respecto de la preparación de los catalizadores ya ha sido descripta en trabajos previos [14]. Cuando la reacción entre el Pt y $SnBu_4$ es realizada a 90ºC, hay una remoción completa de grupos BuH para una relación Sn/Pt = 0,2; mientras que para una relación Sn/Pt = 0,4 la cantidad de BuH por $SnBu_4$ reaccionado es 2,2 conduciendo a una fase organobimetálica con una estequiometria global $Pt(SnBu_{1,8})_{0,4}/SiO_2$. Cuando la reacción se realiza a 120 ºC (Sn/Pt = 0,7) la fase organobimetálica soportada obtenida tiene una estequiometría global $Pt(SnBu_{1,6})_{0,7}/SiO_2$. Se determino que la descomposición de estas fases ocurre entre 120 y 220ºC, con un máximo en 170ºC. Es evidente el efecto de la interacción entre platino y estaño sobre la temperatura de descomposición del $SnBu_4$, ya que esta sustancia en estado puro sólo se descompone térmicamente por encima de 300 °C. Esta experiencia permitió verificar que todos los grupos butilo son eliminados al final de la etapa de activación.

Tabla I: Caracterización de los catalizadores por Quimisorción de hidrógeno y CO, TEM y TPR

Catalizador	H/Pt	CO/Pt	d_{TEM} (nm)
Pt	0,64	0,56	2,4
$PtSn_{0,2}$	0,27	0,29	2,7
$PtSn_{0,7}$	0,20	0,25	2,9

En la Figura 1 se muestran los histogramas de distribución de tamaños de partícula de los catalizadores Pt y $PtSn_{0,7}$. De estos histogramas surge claramente que la distribución de tamaños de partículas es estrecha, observándose que en el sistema bimetálico dicha distribución sigue la del Pt, con un leve incremento en el tamaño medio de partícula, compatible con la adición selectiva de Sn sobre Pt.

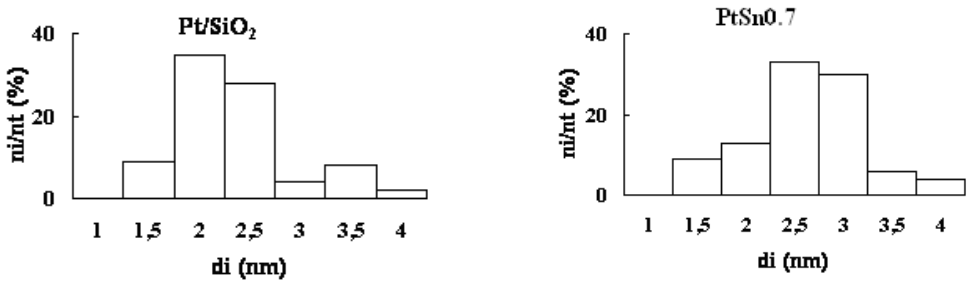


Figura 1: Histogramas de distribución de partículas para los catalizadores de Pt y $PtSn_{0,7}$

En la Tabla I también se puede ver que la adición de estaño, aún en el caso del agregado de pequeñas cantidades, provoca una fuerte disminución en el valor de H_2 quimisorbido; por ejemplo para Sn/Pt = 0,2, se observa que la cantidad total de hidrógeno quimisorbido cae de 0,64 H/Pt para Pt a 0,27 H/Pt para $PtSn_{0,2}$. Para Sn/Pt = 0,7 este valor disminuye, aunque de manera menos marcada, mostrando una tendencia a estabilizarse alrededor de H/Pt ~ 0,20. Los valores correspondientes a la quimisorción de monóxido de carbono sobre Pt y PtSn se muestran en la Tabla I. Se observa que la tendencia es similar a la que muestra la quimisorción de hidrógeno. El valor de CO/Pt pasa de 0,56 a 0,25 al modificar el catalizador monometálico por agregado de Sn en una relación atómica Sn/Pt = 0,7.

La fuerte disminución en la cantidad de hidrógeno y monóxido de carbono adsorbida a saturación podría deberse a una caída en la dispersión por sinterizado de la fase metálica. Sin embargo, los resultados TEM mostraron claramente que por el agregado de Sn es muy leve el aumento en el tamaño medio de partículas, del orden de 10-20%. Esto descarta la existencia de fenómenos de sinterizado que justifiquen la pérdida de capacidad quimisortiva. La causa de este fenómeno se debe seguramente a modificaciones de naturaleza electrónica y geométrica simultáneas que provocan un descenso de la energía de adsorción y pérdida de sitios adyacentes, lo que influye en la quimisorción de la molécula de H_2 y CO [15-16].

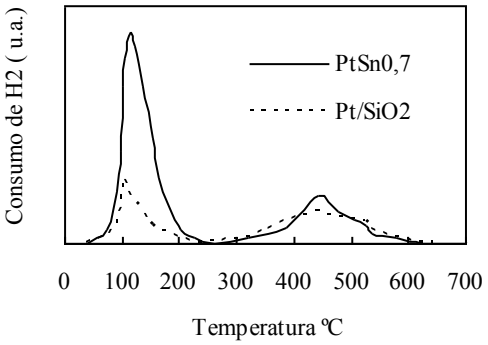


Figura 2: Ensayos TPR.

En la Figura 2 se presentan los diagramas correspondientes a los ensayos TPR para los catalizadores Pt y $PtSn_{0,7}$.

El diagrama presenta dos picos de consumo de hidrógeno, concordando con lo que se encuentra en la literatura [17]. La cantidad determinada de hidrógeno consumido corresponde a una reducción completa del platino. Para $PtSn_{0,7}$ se observa un incremento en el consumo de hidrógeno correspondiente al pico de baja temperatura, lo que indicaría que la reducción de óxidos de estaño está ocurriendo a temperaturas bastante inferiores a la reducción del SnO_2 (T reducción > 630 ºC) [18].

En lo que respecta a los análisis XPS, los valores de las energías de enlace (BE) de los niveles Pt $4f_{7/2}$ y Sn $3d_{5/2}$ para los catalizadores son reportados en la Tabla II, referenciados a la energía de enlace del C1s de 284,6 eV. Se determinó que el platino se encuentra completamente reducido en todos los catalizadores luego del tratamiento en hidrógeno a 500ºC. Como puede verse en la Tabla II, el estaño hace que la energía de enlace del nivel $4f_{7/2}$ del Pt tome un valor algo menor que el correspondiente al Pt en el catalizador monometálico. Este hecho puede atribuirse a una modificación electrónica del platino, que ve aumentada su densidad electrónica en presencia de estaño, lo que está de acuerdo con estudios EXAFS [14].

Tabla II: Energías de enlace BE (eV) y relaciones Sn/Pt global,

Sn(II,IV)/Pt y Sn(0)/Pt para sistemas PtSn a partir de datos XPS.

Catalizador	Energías de Enlace (eV)			Sn/Pt	Sn(II,IV)/Pt	Sn(0)/Pt
	Pt $4f_{7/2}$	Sn (0) $3d_{5/2}$	Sn (II, IV) $3d_{5/2}$			
Pt/SiO_2	71,6	---	---	0	---	---
$PtSn_{0,2}$	71,1	484,4	486,5	0,2	0,07	0,17
$PtSn_{0,4}$	71,1	484,4	486,5	0,4	0,13	0,27
$PtSn_{0,7}$	70,6	484,6	487,1	0,7	0,25	0,45

En todas las muestras de PtSn se ha detectado la presencia de Sn(II,IV) y Sn(0), con señales que se encuentran alrededor de 486,5 y 484,5 eV, respectivamente. Para las muestras analizadas se obtuvo la contribución de cada una de esas especies por deconvolución de los espectros, como se indica en la Tabla II. La cantidad de Sn(II,IV) y Sn(0) aumenta cuando la relación Sn/Pt se incrementa desde 0,20 hasta 0,70.

La presencia de estaño iónico en los catalizadores bimetálicos puede explicarse en términos de la migración de átomos de estaño a especies iónicas a la interfase metal-soporte.

Hidrogenólisis del glicerol

En la tabla III se muestran los resultados de la hidrogenólisis del glicerol sobre los diferentes catalizadores estudiados. Como se puede ver el catalizador Pt resultó muy poco activo, entre 1 y 2 % de conversión de glicerol, en los ensayos con y sin H_2 inicial, a 4 bar de presión y 200°C.

En la fase gas se obtuvieron como compuestos principales H_2 y CO_2, mientras que en la fase liquida se identificaron los siguientes productos de reacción: metanol, etanol, etilenglicol, acetol, 1-propanol y propilenglicol.

La selectividad a propilenglicol mejora ligeramente en el ensayo realizado con Pt y presión inicial de H_2, alcanzando un valor de 56%.

Tabla III: Hidrogenólisis del glicerol

	Pt	Pt	$PtSn_{0,2}$	$PtSn_{0,2}$	$PtSn_{0,4}$	$PtSn_{0,7}$
	PN_2= 4bar	PH_2= 4 bar	PN_2= 4 bar	PH_2= 4 bar	PH_2= 4 bar	PH_2= 4 bar
X_T (%)	2	1,1	56	17	16	37
X_L (%)	1	0,6	54	16	15	35
Selectividad a Productos Líquidos (%)						
metanol	6	12	2	1	---	1
etanol	11	10	2	2	1	1
1-propanol	1	---	2	2	1	1
acetol	32	23	25	3	16	13
etilenglicol	---	---	11	8	4	4
propilenglicol	50	56	59	83	78	80

Condiciones: 4 bar inicial, T: 200 ºC, t: 2 h, sol: 12 ml 10 % p/p, 300 mg de cat.

Los catalizadores bimetálicos PtSn mostraron un marcado aumento de la actividad y de la selectividad a propilenglicol. Con el catalizador $PtSn_{0,2}$ se obtuvo una conversión a productos líquidos del 54% con una selectividad a propilenglicol del 59% en el ensayo sin presión inicial de H_2. La presencia inicial de H_2 muestra un marcado efecto sobre la conversión y selectividad. La presión inicial de hidrogeno favorece la selectividad a propilenglicol (83%) debido a la mayor disponibilidad de H_2 para hidrogenar el acetol.

En la tabla III también se muestran los resultados del catalizador $PtSn_{0,7}$. Puede verse que la conversión a productos líquidos resultó del 35% a dos horas de reacción y la selectividad a propilenglicol se mantiene en un 80%. Este aumento de contenido de Sn, de 0,24% a 0,42%, provoca un aumento de conversión con alta selectividad a propilenglicol.

Las reacciones que pueden estar presentes involucran deshidrogenaciones iniciales, rupturas de enlaces C-C y de enlaces C-O. El principal intermediario de reacción podría ser el acetol que proviene de una primera etapa de deshidrogenación y posterior ruptura C-O. El acetol en presencia de H_2 puede hidrogenarse para dar propilenglicol. Los alcoholes como metanol, etanol y etilenglicol se producirían debido a reacciones de deshidrogenación seguidas por rupturas C-C.

De acuerdo a nuestros resultados los catalizadores modificados con Sn promueven las reacciones de ruptura C-O favoreciendo la producción de acetol. Los resultados de caracterización de los catalizadores bimetálicos PtSn indicaron que una parte del Sn se encuentra aleado al Pt pero también existe una parte de Sn iónico seguramente en la interfase metal-soporte. Este último, Sn en la interface, favorecería la adsorción del glicerol en el enlace C-OH y su posterior ruptura. Con el aumento del contenido de Sn iónico aumenta la contribución de estas reacciones.

CONCLUSIONES

En este trabajo se estudió la hidrogenólisis del glicerol con catalizadores de $PtSn/SiO_2$ preparados a partir de las técnicas de preparación controladas (QOMS/M). Esto permitió el agregado selectivo del Sn sobre el Pt, confirmado por TEM, quimisorción de hidrógeno y CO, TPR y XPS.

Hasta aquí, los resultados de PtSn mostraron un marcado aumento de la actividad y selectividad a propilenglicol respecto del Pt. La presión inicial de hidrogeno favorece la

selectividad a propilenglicol debido a la mayor disponibilidad de H_2 para hidrogenar el acetol, pero inhibe la etapa inicial de deshidrogenación.

Por análisis XPS en las muestras de PtSn se ha detectado la presencia de Sn metálico y Sn iónico obtenido por migración a la interfase metal-soporte. Estas especies Sn^{+n} que actuarían como ácidos de Lewis facilitarían la adsorción del C-OH y posterior ruptura C-O favoreciendo la producción de propilenglicol.

Se encuentra en etapa de estudio el efecto de diferentes presiones parciales de H_2 en el inicio de la reacción, así como relaciones Sn/Pt mayores a 0,7.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el financiamiento recibido por ANPCyT PICT Nº1962, Proyecto PRH 200-7, Proyecto I-134 UNLP y al CONICET PIP Nº542

REFERENCIAS

[1] J. Wang, S. Shen, B. Li, H. Lin, Y. Yuan, Chem. Lett. 38 (6) (2009) 572–573.
[2] M.A. Dasari, P.-P. Kiatsimkul, W.R. Sutterlin, G.J. Suppes, Appl. Catal. A: Gen. 281 (2005) 225–231.
[3] L. Huang, Y.-L. Zhu, H.-Y. Zheng, Y.-W. Li, Z.-Y. Zeng, J. Chem. Technol. Biotechnol. 83 (2008) 1670–1675.
[4] T. Miyazawa, S. Koso, K. Kunimori, K. Tomishige, Appl. Catal. A: Gen. 329 (2007) 30–35.
[5] E. D'Hondt, S.V.d. Vyver, B.F. Sels, P.A. Jacobs, Chem. Commun. (2008) 6011–6012.
[6] A. Alhanash, E.F. Kozhevnikova, I.V. Kozhevnikov, Catal. Lett. 120 (2008) 307–311.
[7] E.P. Maris, R.J. Davis, J. Catal. 249 (2007) 328–337.
[8] Debdut Roy, Bala Subramaniam, Raghunath V. Chaudhari; Catalysis Today (2010), 156, 31–37
[9] Arely Torres, Debdut Roy, Bala Subramaniam, and Raghunath V. Chaudhari; Ind. Eng. Chem. Res. (2010), 49, 10826–10835
[10] S. Sato, M. Akiyama, K. Inui, M. Yokota, Chem. Lett. 38 (6) (2009) 560–561.
[11] A. Perosa, P. Tundo, Ind. Eng. Chem. Res. 44 (2005) 8535–8537.
[12] E.P. Maris, W.C. Ketchie, M. Murayama, R.J. Davis, J. Catal. 251 (2007) 281–294.
[13] L. Ma, D. He, Top. Catal. 52 (2009) 834–844
[14] G. Santori, Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata, (2000).
[15] Passos F., Schmal M., Vannice M.A., J.Catal., 160, 106 (1996).
[16] Cortright R. D., Dumesic J. A., Appl. Catal., A, 129, 101 (1995).
[17] Merlen E., Beccat P., Bertolini J.C., Delichere P., Zanier N., Didillon B., J.Catal., 159, 178 (1996).
[18] Hughes V., Mc Nicol B., J. C. S. Farad. Trans. I., 75, 2165 (1979).

INFRAESTRUCTURA DE LA PRODUCCIÓN: CONSUMO DE ENERGÍA EN INDUSTRIAS DE LA REGIÓN DE LA PLATA BERISSO Y ENSENADA.

Couselo Romina, Pendón Manuela, Williams Eduardo
romina.couselo@ing.unlp.edu.ar

Cátedra de Formulación y Evaluación de Proyectos. Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de La Plata. Calle 1 y 47 La Plata.CP1900 Pcia de Buenos Aires. Argentina

1. La importancia de la energía eléctrica en el sector industrial

La energía eléctrica es el energético más utilizado en el mundo. La electricidad es el pilar del desarrollo industrial de todos los países, parte importante del desarrollo social, y elemento esencial para el desarrollo tecnológico.
La producción de electricidad se ha convertido en requisito indispensable del proceso de industrialización, y esto se debe a que la energía eléctrica posee una serie de características que resultan de gran utilidad:

- Es muy regular: Su tensión es siempre la misma y se dispone de ella en cualquier momento que desee.
- Es fácil de transportar: Se puede hacer llegar en un tiempo mínimo a cualquier punto sin pérdidas apreciables, siempre que el transporte se realice a alta tensión.
- Es fácil de transformar en otros tipos de energía: (mecánica, calorífica, química, etc.)

La utilización de la electricidad, además de transformar algunos sectores, como los del transporte y comunicaciones, resulta indispensable en la moderna tecnología de las industrias química y metalúrgica, por ejemplo, y el consumo de energía eléctrica aumenta de forma considerable a medida que se eleva el nivel de vida medio de la población

2. Objetivos de la investigación

- Conocer el mercado de consumo energético para las industrias de la región de La Plata, Berisso y Ensenada.
- Destacar la importancia de la energía en el sector industrial.
- Obtener información del PBG de la región bajo estudio.
- Relacionar las variables para obtener conclusiones dentro del sector industrial.

3. Alcance de la investigación

Breve informe de las características del sector secundario de la región. Consumo energía de las grandes empresas del sector secundario de La Plata, Berisso y Ensenada y su comparación con el PBG para determinar el grado de relación entre ambas variables y obtener conclusiones al respecto. Año 2010
La Investigación se realizó en la región comprendida por los partidos de La Plata, Berisso, y Ensenada, con información secundaria y utilizando herramientas estadísticas.

4. Marco teórico de referencia

4.1 Sector secundario

En el sector secundario se realiza la actividad económica que tiene como fin la producción de bienes y servicios necesarios para la sociedad mediante la transformación industrial de la materia prima. En la actualidad los países más desarrollados consideran a la industria como la infraestructura que garantiza el progreso económico, científico y tecnológico.

4.2 Producto Bruto Geográfico

El Producto Bruto Geográfico (PBG) de una jurisdicción determinada refleja la actividad económica de las unidades productivas residentes en esa jurisdicción, siendo igual a la suma de los valores agregados por dichas unidades productivas. Desde el punto de vista

contable, el PBG es la agregación de los saldos de la cuenta de producción de las distintas ramas de actividad.
El Producto Bruto Interno (PBI) representa el valor de los bienes y servicios finales producidos en un país en un período de tiempo determinado. El Producto Bruto Geográfico (PBG) es el equivalente provincial de ese indicador macroeconómico.

4.3 Mercado Eléctrico.
4.3.1Estructura del sector eléctrico
El Negocio eléctrico está fragmentado por actividades: generación, transmisión, distribución, con la participación de comercializadores.

4.3.2 Funcionamiento del Mercado
En la organización del MEM funcionan dos mercados y un sistema de estabilización de precios para Distribuidores:
- Mercado a Término
- Mercado Spot
- Sistema de Estabilización de precios

El sistema contiene mecanismos de compensación entre los resultados del Mercado Estacional Estabilizado, en el cual paga el distribuidor y los del Mercado Spot que cobra el Generador.

4.3.3 Sistema Tarifario
El Sistema Tarifario que rige en la actualidad fue establecido mediante resolución 137/92 de la Secretaría de Energía

5. Metodología de la investigación
Se obtuvo información secundaria cuantitativa y cualitativa. Se lograron datos de la empresa de energía de la región – EDELAP –, de las Municipalidades de La Plata, Berisso y Ensenada –sector Producción –, y Cámaras Empresarias.
Se trabajó con datos del INDEC e Informes Económicos Provinciales y Regionales.
Se trató de una investigación de tipo exploratoria y de naturaleza cuantitativa, para tomar en cuenta aspectos de eficiencia regional.
Herramientas estadísticas: Serie de tiempo para poder pronosticar la variable consumo de energía eléctrica en la región.

6. Resultados de la investigación
6.1 La industria en la región
La Región del Gran La Plata muestra características productivas diversas y un sinnúmero de factores que le imprimen, ventajas en términos de competitividad.

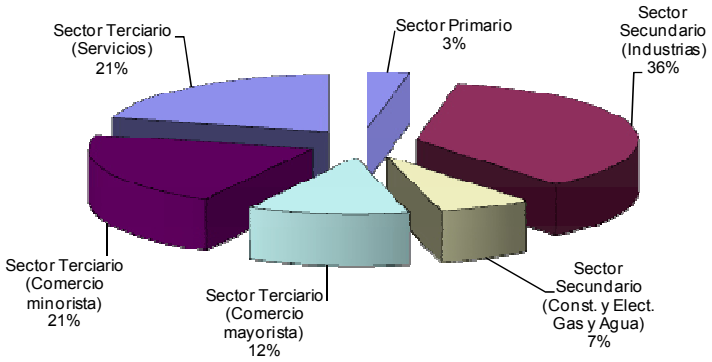
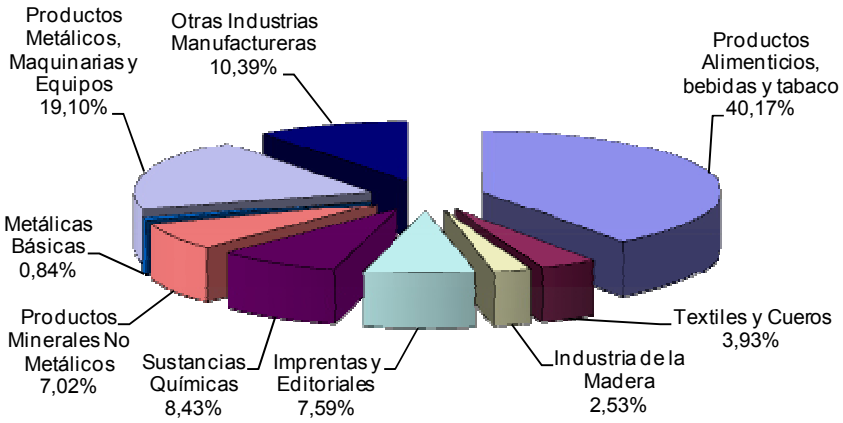


Figura 1: Estructura Económica La Plata Berisso y Ensenada

Fuente: Caracterización Productiva Regional La Plata Berisso y Ensenada 2010

Un trabajo realizado desde el CEB (2001),5 estimaba la existencia de 43.900 establecimientos en la Región Metropolitana Buenos Aires, a razón de 9,9 industrias/Km2, mientras que en La Plata los 930 establecimientos existentes se distribuían en 542 Km2 de ámbitos urbanos y periurbanos (1,7 industrias/ Km2).

En un análisis sectorial, las actividades industriales (sector secundario) son las que tienen primacía sobre las demás, en cuanto a Valor Bruto de Producción con más de un tercio del total de la economía. Le siguen el comercio minorista y los servicios.



Respecto a cantidad de empresas en el sub-sector Industrias de la región, se destacan las actividades de Productos Alimenticios, bebidas y tabaco y le sigue en orden Productos Metálicos, Maquinarias y Equipos

Figura 2: Fabricación de Bienes: % de empresas sobre el total de la industria

Fuente: Caracterización Productiva Regional La Plata Berisso y Ensenada 2010

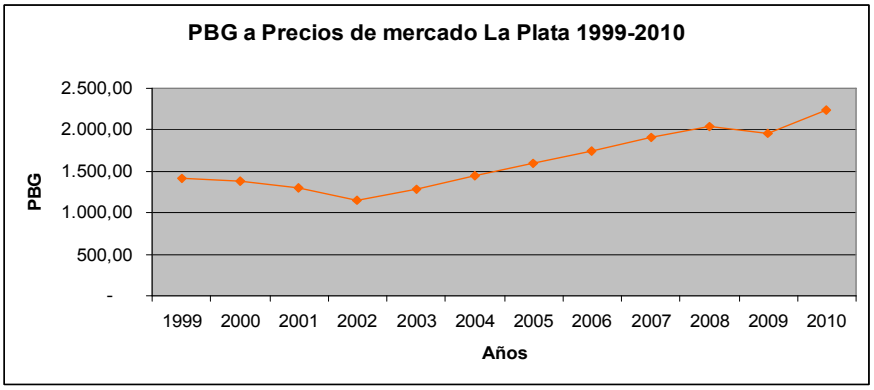
6.2 PBG

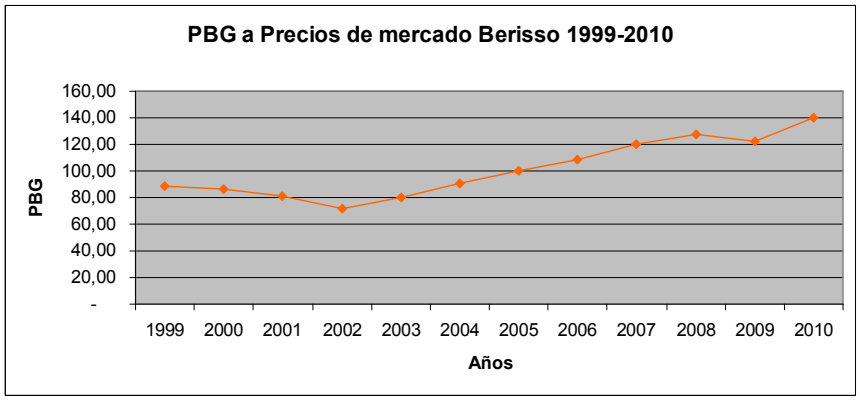
6.2.1Participación relativa de cada partido sobre el total de la Provincia

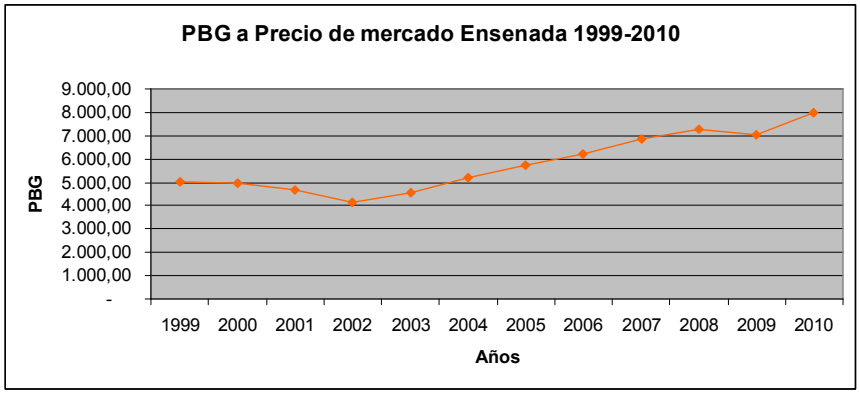
Berisso	0,09%
Ensenada	5,22%
La Plata	1,46%

Figura 3: Cuadro de elaboración propia con datos de Dirección Provincial de Estadística.

Año	PBG a precios de mercado (aproximados) [2]	La Plata	Berisso	Ensenada
1999	96.888	1.409,84	88,15	5.060,74
2000	94.721	1.378,30	86,18	4.947,51
2001	89.640	1.304,37	81,56	4.682,15
2002	79.188	1.152,28	72,05	4.136,18
2003	87.614	1.274,90	79,71	4.576,33
2004	99.191	1.443,35	90,25	5.181,01
2005	109.800	1.597,72	99,90	5.735,14
2006	119.435	1.737,92	108,66	6.238,41
2007	131.448	1.912,73	119,59	6.865,89
2008	139.596	2.031,30	127,01	7.291,49
2009	134.765	1.961,00	122,61	7.039,16
2010	153.508	2.233,74	139,67	8.018,17







6.3 Sector Eléctrico

46 empresas generadoras de energía eléctrica que producen 23.609 MW de potencia, proveniente en un 42% de centrales termoeléctricas, en un 51% de hidroeléctricas y en un 7% de nucleares.
5 empresas transportistas de energía con 22.140 kilómetros de líneas de transmisión de todos los niveles de tensión, transportan la electricidad desde los remotos asentamientos de las generadoras hasta las ciudades.
66 empresas distribuidoras de electricidad hacen posible el abastecimiento a millones a habitantes de nuestro país.

6.3.1 Electricidad

El partido de La Plata, junto con Berisso, Ensenada, Magdalena, Punta Indio y Coronel Brandsen, se encuentra dentro del área de concesión de la empresa distribuidora de energía eléctrica EDELAP S.A.
Una amplia zona del área atendida por EDELAP, corresponde a zonas rurales o dispersas, con baja densidad de clientes, la cual representa el 81 % (en km2) del área de Concesión y en la cual sólo se concentra el 5% de los clientes totales de EDELAP. Asimismo, en dicha área, se encuentran localizadas varias Cooperativas que resultan ser prestadoras de hecho de servicio eléctrico en determinadas zonas.
La distribución de electricidad es un servicio público regulado. En el caso de EDELAP S.A. la regulación aplicable es la establecida por el Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE), ya que se trata de una concesión otorgada por el Gobierno Nacional.

Figura 4: Datos de Edelap y Figura 5: Energía facturada

Datos de EDELAP - 2010	
Cantidad de Clientes*	320.127
Superficie del Área de concesión [km2]	5.780
Energia facturada estimada anual [Mwh]	2.590.320
Importe estimado anual facturado s/imp [$]	235.407.633
Importe estimado anual facturado c/imp [$]	323.079.933
Cantidad de Empleados**	487

Tipo de Consumo	Cantidad de Clientes 2010	% Clientes sobre el Total	Energía facturada promedio mensual [Mw]	% Energia facturada sobre el total mensual
Residencial	272.810	85,2%	69193	32,1%
Comercial	46.770	14,6%	29235	13,5%
Industrial	539	0,2%	109472	50,7%
Otros Consumos*	8	0,002%	7960	3,7%
Total	320.127	100%	215860	100,0%

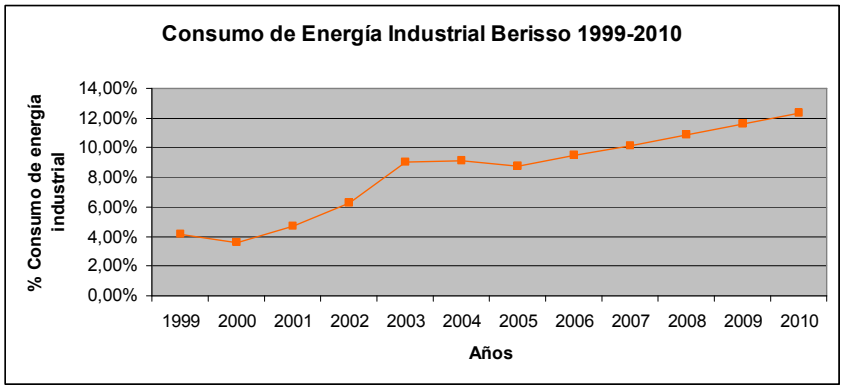
Notas aclaratorias:

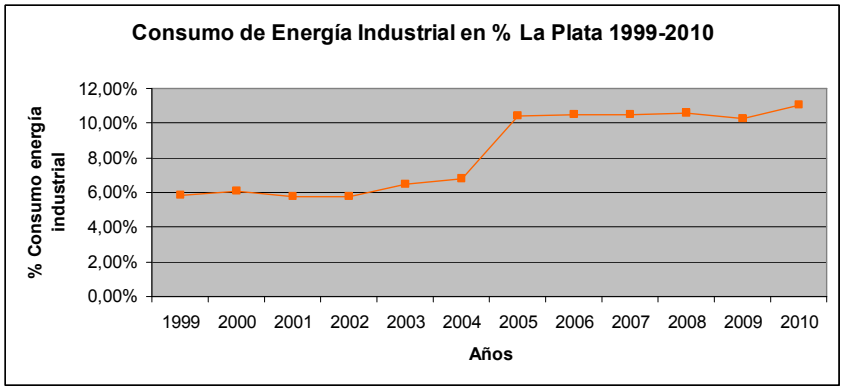
*Alumbrado Publico a traves de Municipios

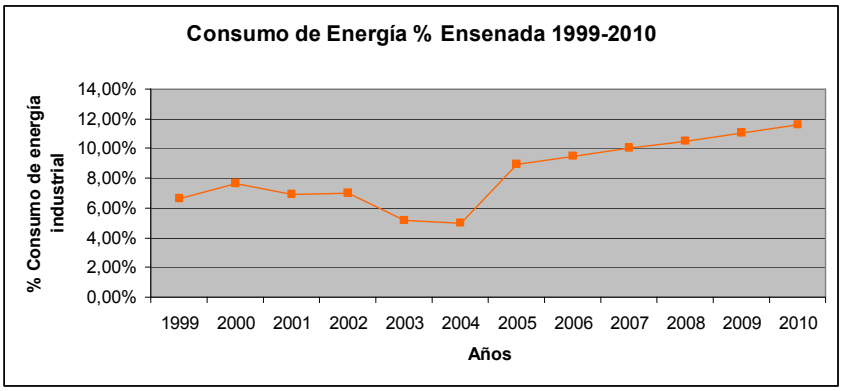
Figura 6: Consumo de energía industrial en %. Período 1999-2010.

Años	La Plata	Berisso	Ensenada
1999	5,85%	4,18%	6,59%
2000	6,11%	3,58%	7,68%
2001	5,77%	4,72%	6,95%
2002	5,78%	6,24%	7,04%
2003	6,50%	9,05%	5,16%
2004	6,80%	9,08%	4,98%
2005	10,40%	8,73%	8,95%
2006	10,51%	9,45%	9,47%
2007	10,49%	10,17%	10,00%
2008	10,55%	10,88%	10,53%
2009	10,23%	11,60%	11,06%
2010	11,02%	12,32%	11,59%

Fuente: Secretaría de Energía, Ministerio de Planificación, Inversión Pública y Servicios de la Nación







7. Conclusiones

La región presenta una conformación productiva diversificada, que realza las potencialidades de la misma en cuanto a su inserción en el mercado interno y externo con una amplia gama de productos y servicios, como así también en términos de oportunidades de inversión y negocios.

El PBG, como indicador macroeconómico que representa la cantidad de bienes que se producen en la región, presenta un comportamiento creciente año a año en La Plata, Berisso y Ensenada.

En Ensenada se destaca la participación relativa del PBG en la Provincia respecto a La Plata y Berisso, ya que ella presenta la mayor concentración de grandes industrias del sector secundario.

El crecimiento del PBG se refiere al crecimiento industrial de la región destacando el desarrollo económico. Por lo que si la industria crece, necesita y demanda mayor inversión en infraestructura, entendiéndose a la electricidad como infraestructura para el desarrollo económico de la región.

Y como nos muestran los resultados, el consumo de energía industrial va creciendo año a año en la región, con la salvedad de la crisis que sufrió el país en la 2001. Y su comportamiento tiende a seguir creciendo en los próximos años.

El impacto que genera el consumo de energía en el PBG es directo ya que el aumento en el consumo de energía genera un aumento en la producción y esto repercute en el crecimiento industrial y en el PBG.

Existen políticas alentadoras en inversión en infraestructura productiva para así fomentar la industria, la productividad y apoyar el desarrollo económico regional.

8. Referencias

COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA. Sintesis del Mercado Eléctrico Mayorista de la República Argentina.

OBSERVATORIO PYME REGIONAL ESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES. 2006 Industria Manufacturera. ISBN 98798723299-6-8

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS. (INDEC)

DIRECCIÓN PROVINCIAL DE ESTADÍSTICAS. Subsecretaría de coordinación Económica . Ministerio de Economía de la Provincia de Buenos Aires.

EDELAP. www.edelap.com.ar

INVERTIR EN LA CIUDAD. Región La Plata. Potencialidades, Desarrollo Endógeno y Factores de Atractividad Territorial. 2005. www.ceb.org.ar

COUSELO ROMINA , 2011. Marco Económico. Análisis de eficiencia empresarial del sector industrial de la Región La Plata Berisso y Ensenada.

RELEVAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA PRODUCCIÓN EN LA REGIÓN DE LA PLATA, BERISSO Y ENSENADA.

Couselo Romina, Pendón Manuela, Williams Eduardo
romina.couselo@ing.unlp.edu.ar

Cátedra de Formulación y Evaluación de Proyectos. Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de La Plata. Calle 1 y 47 La Plata.CP1900 Pcia de Buenoa Aires. Argentina

La región conformada por los municipios de La Plata, Berisso, Ensenada presenta características y potencialidades comunes que contribuyen a dinamizar el proceso de crecimiento que viene manifestándose a partir de la recuperación económica.
El objetivo del trabajo es destacar las ventajas competitivas regionales y los ejes potenciales de desarrollo a partir de los cuales puede delinearse una estrategia consensuada público-privada tendiente a promover inversions.

Marco teórico

Definimos infraestructura como el conjunto de estructuras de ingeniería e instalaciones -por lo general, de larga vida útil- que constituye la base sobre la cual se produce la prestación de servicios considerados necesarios para el desarrollo de fines productivos, políticos y sociales (BID 2000).
Una clasificación es definida según sus objetivos en:

- Desarrollo económico donde se destacan las infaestructuras de transporte, de energía, abasteciemiento de agua potable y de saneamiento;
- Desarrollo social pueden mencionarse a hospitales y escuelas
- Protección del medio ambiente, conformada principalmente por parques y reservas naturales o territorioas que gozan de alguna protección en general
- Información y el conocimiento, donde se puede mencionar los sistemas de educación a distancia, las estaciones de repetición y las redes de suminisytro de Internet.

El trabajo es una descripción de la infraestructura de la región referente al **desarrollo económico**.

Importancia del tema a desarrollar

La provisión eficiente de los servicios de infraestructura es importante para las politicas de desarrollo de una región. La adecuada disponibilidad puede desarrollar ventajas competitivas y alcanzar un mayor grado de especialización productiva.
Algunos efectos que genera la inversión en infraestructura son:
-Contribuye como producto final directamente a la formación del PBI.
-Genera externalidades positivas sobre la producción y el nivel de inversión agregada de la economía acelerando el crecimiento a largo plazo
-Influye dirctamente en la productividad y en las empresas, generando aumento en la mano de obra, disminuyendo los costos de traslado de la materia prima o insumos necesarios para la producción y de sus productos generando así accesibilidad a nuevos mercado. Eficiencia en la distribución, almacenamiento y politicas de inventario y acceder a nuevos mercado y ser más competitivas.

Objetivos

- Poder brindar información sobre la estructura actual de la región y servir así de herramienta para inversores actuales o futuros.Documento que sirva para detectar oportunidades de futuras inversiones en infraestructura para el sector público como privado.

Resultados de la investigación

Infraestructura Vial

En la región se encuentran caminos que conectan los municipios de Ensenada y Berisso, que son el camino a Punta Lara (Ruta 11), los caminos Rivadavia y Vergara (Rutas 13 y 215) a Ensenada y la Avenida 60 (ex Ruta 10) en dirección a Berisso.

Los caminos radiales vinculan la ciudad con los municipios ribereños (Ensenada y Berisso), dos con la región metropolitana y cinco con el interior pampeano. Los corredores periféricos son dos rutas radiales en la región pampeana y en la zona balnearia de la costa atlántica (Rutas 2, 6 y 36).
Los espacios dedicados a la producción -industriales, cinturón verde y agropecuario extensivo- se observa que en lo relativo a la red vial regional hay un desarrollo acorde al impulso de las lógicas de ocupación respectivas (Rutas 36, 2, y 13).

Transporte Terrestre

En el interior del casco urbano de La Plata, corren 16 líneas de colectivos: 4 municipales regulares: Norte, Sur, Este y Oeste; 3 municipales semirrápidos: 506, 508, 518 y 561; 7 provinciales de recorrido urbano: 202, 214, 215, 273, 275 , 307 y 418; y 2 nacionales: 129 y 195, las cuales comunican con las localidades colindantes a la ciudad que pertenecen al Partido de La Plata; en el caso de las líneas provinciales, cubren servicios en los Partidos de Berisso, Ensenada, Berazategui, Brandsen, San Vicente y Magdalena; y las nacionales ofrecen conexiones con la ciudad de Buenos Aires. La oferta de larga distancia de la región presenta: *Servicios internacionales*: a Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay. *Nacionales* a 21 de las 23 Provincias Argentinas. *Regionales*: al interior de la provincia: posee servicios a 40 localidades. *Locales, dentro de la región*: las localidades de La Plata, Berisso y Ensenada cuentas con servicios provistos por empresas de transporte local de pasajeros; existiendo transporte de media distancia a Brandsen y Magdalena con frecuencias de 12 servicios diarios. La ciudad, con una terminal que cuenta con instalaciones para la atención de los servicios de ómnibus de media y larga distancia con destino a diferentes localidades del país. La terminal fue innaugurada en su citio actual, el 24 de abril de 1970. [1]

Transporte Ferroviario

La red ferroviaria se la puede agrupar en dos ramales que corresponden a:
1. El ex ferrocarril Belgrano, de trocha angosta, que actualmente se encuentra en período de rehabilitación a cargo de la Unidad Ejecutora de Proyectos Ferroviarios Provincial; permite conectar al Área Portuaria-Industrial con la red troncal principal del norte del país, pero la capacidad de los rieles es limitada.
2. El ferrocarril Transportes Metropolitanos Roca (TMR) permite fácil conexión con las redes ferroviarias restantes que conectan así a La Plata con distintos puntos del país.

Transporte aéreo

En las cercanías de la ciudad de La Plata se encuentra el aeropuerto platense, utilizado para tareas estratégicas como comunicaciones y vuelos oficiales, ubicado a 7 km del centro de la ciudad, en Avenida 7 esquina 610 S/Nº (B1900) Barrio Aeropuerto. Cuenta con una pista de 2.000 metros y otra de 1.600 metros.

Electricidad

El partido de La Plata, junto con Berisso, Ensenada, Magdalena, Punta Indio y Coronel Brandsen, se encuentra dentro del área de concesión de la empresa distribuidora de energía eléctrica EDELAP S.A.
Una amplia zona del área atendida por EDELAP, corresponde a zonas rurales o dispersas, con baja densidad de clientes, la cual representa el 81 % (en km2) del área de Concesión y en la cual sólo se concentra el 5% de los clientes totales de EDELAP. Asimismo, en dicha área, se encuentran localizadas varias Cooperativas que resultan ser prestadoras de hecho de servicio eléctrico en determinadas zonas.

Datos de EDELAP - 2010	
Cantidad de Clientes*	320.127
Superficie del Área de concesión [km2]	5.780
Energia facturada estimada anual [Mwh]	2.590.320
Importe estimado anual facturado s/imp [$]	235.407.633
Importe estimado anual facturado c/imp [$]	323.079.933
Cantidad de Empleados**	487

Notas aclaratorias:
*Cantidad de Suministros
**No incluye personal contratado por servicios tercerizados, becarios y personal eventual.

Tabla 3: Energía EDELAP

[1] www.laplata-argentina.com.ar

Tabla 4: Energía facturada

Tipo de Consumo	Cantidad de Clientes 2010	% Clientes sobre el Total	Energía facturada promedio mensual [Mw]	% Energia facturada sobre el total mensual
Residencial	272.810	85,2%	69193	32,1%
Comercial	46.770	14,6%	29235	13,5%
Industrial	539	0,2%	109472	50,7%
Otros Consumos*	8	0,002%	7960	3,7%
Total	320.127	100%	215860	100,0%

Notas aclaratorias:

*Alumbrado Publico a traves de Municipios

Gas

La distribución de gas en el ámbito local es responsabilidad de la empresa CAMUZZI Gas Pampeana S.A. Su área de distribución cubre el interior de la provincia de Buenos Aires (excluida la Ciudad de Buenos Aires, el Gran Buenos Aires y el extremo meridional de dicha provincia) y la provincia de La Pampa, región de grandes e importantes centros urbanos e industriales. La compañía brinda sus servicios a más del 70% de las 1.350.000 viviendas de la región. Cuenta con más de 18.700 Km. de redes y 6.190 Km. de ramales y gasoductos.

Datos de Camuzzi Gas Pampeana - 2010	
Cantidad de Clientes	1.191.463
Volumenes de Ventas de Gas [millones de m3]	5.132,90
Ventas Brutas Estimadas [millones de $]	626,1

Tabla 5: Camuzzi

Tabla 6: Venta de Gas

Tipo de Consumo	Cantidad de Clientes 2010	% Clientes sobre el Total	Volumen de Ventas de Gas anuales (millones de m3)	% Volumen de Ventas de Gas anuales sobre el total anual
Residenciales	1.120.626	94,1%	1504,1	29,3%
Comerciales	70.768	5,9%	992,9	19,3%
Grandes Usuarios	69	0,0%	2635,9	51,4%
Total	1.191.463	100,0%	5132,9	100,0%

Agua

El aprovisionamiento de agua en el partido de La Plata esta a cargo de Aguas Bonaerenses S.A. (ABSA), la cual asumió la concesión en marzo de 2002, con el objeto de garantizar la prestación de los servicios de agua potable y desagües cloacales, en gran parte del territorio provincial.

En la actualidad ABSA presta servicios en 80 localidades pertenecientes a 62 partidos de la provincia de Buenos Aires, en un territorio de 150 mil kilómetros cuadrados.

La empresa tiene a su cargo las tareas de captación, potabilización, transporte y distribución de agua potable, y también la colección, tratamiento y disposición final de las aguas residuales.

Datos de ABSA	
Cuentas de Agua Potable	180.923
Cuentas de Desagues Cloacales	161.375
Establecimientos Potabilizadores	14
Perforaciones	850
Plantas Depuradoras de Liquidos Cloacales	56
Agua Potable mensual estimada [millones de m3]	31,5
Cantidad de Empleados*	1670

Notas aclaratorias:

*Entre profesionales, técnicos y operarios

Desagues, cloacas

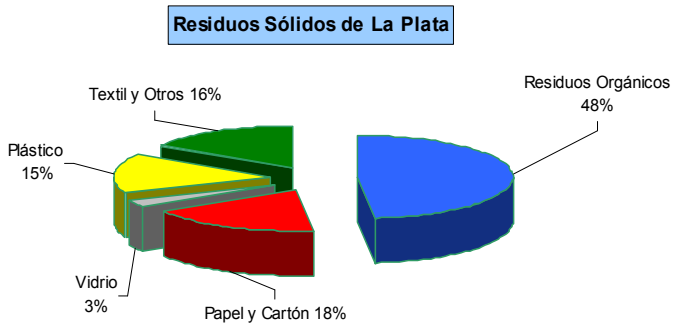
Según datos del Censo de Población y Vivienda, el 91% de la población cuenta con aprovisionamiento de agua en las viviendas de la región frente al 84% registrado para la provincia, ubicándose de este modo por encima de la media provincial y contando, además, con los mejores niveles de la Región Metropolitana, junto a otros municipios próximos a la ciudad de Buenos Aires.

El partido de La Plata, con un 77% de acceso a la red de cloaca, supera a la media provincial. Asimismo, dentro de la Región encontramos importantes diferencias respecto a la provisión de servicios, siendo La Plata, Berisso y Ensenada los municipios que cuentan con

una infraestructura que cubre una alta proporción de su población en los servicios de agua, gas, pavimento y teléfonos.[3]
Del total de los centros comunales que conforman la región de la ciudad de La Plata y sus alrededores, el 54,97% de hogares del casco urbano poseen desaguen a red pública. Comparado con el total de hogares del casco, un 98, 99% de las viviendas tiene desagues a red pública dentro del casco.

Tratamientos de Residuos

El Plan de Separación y Clasificación de Residuos Secos se iniciaron en 2008 y ya cuenta con un alto grado de adhesión entre los platenses. Cuatro años después, el plan funciona en todos los barrios de la ciudad.[4]
Los resultados que se obtienen por año utilizando el plan de separación son: El reciclado de más de 2.300 toneladas de papel y cartón. La separación de 1.800.000 botellas. La recuperación de 225 toneladas de metal El reciclado de más de 100 toneladas de plástico
En la actualidad son nueve los puntos donde se pueden llevar los residuos secos y solicitar asesoramiento: Calle: 69 esq. 118; Calle: Diag. 73 esq. 117; Calle: 2 N° 1424 e 61 y 62; Calle: 57 N° 957 e 14 y 15; Calle: 43 N° 1036 e 15 y 16; Calle : 14 N° 668 e 45 y 46; Calle: 10 e 59 y 60; Calle : 49 N° 1227; Calle: 38 N° 568 6 y Pza. Olazabal; Calle: 116 e/ 37 y 38 – Barrio Hipódromo; Calle: 55 e/ 16 y 17.



Los residuos sólidos de La Plata se dividen actualmente en: residuos orgánicos (48%), papel y cartón (18%), vidrios (3%), plásticos (15%), textiles y otros (16%). Los rellenos actuales de José León Suarez, González Catán y Ensenada reciben diariamente 14.500 toneladas de basura, por lo tanto serían necesarias 15 plantas de este tipo para poder procesar dicha cantidad. Se está lanzando la primera y que gracias a esta en particular, se permitirá cerrar el relleno sanitario de Ensenada.[5]
Ceamse: Ubicación: Diagonal 74 y Canal del Gato, Partido de Ensenada, Pcia.de Buenos Aires. Recibe los residuos de los siguientes municipios: Berisso, Ensenada, La Plata, Brandsen y Magdalena. Ingresan aproximadamente 27.700 toneladas por mes, equivalentes a 1.060 toneladas de residuos diarios. Los tipos de residuos que recibe: Sólidos domiciliarios e industriales asimilables a los domiciliarios1
La municipalidad de La Plata Servicio posee un servicio denominado “Municipal 72 hs”. Se encargan de la recolección de residuos no habituales -escombros, ramas, electrodomésticos –; reparación de luminarias rotas o fuera de funcionamiento; limpieza de basurales; reposición de árboles en cuadrantes o casuelas donde antes haya habido una especie; corte de pasto en la vía pública - de su propiedad o del vecino- limpieza de desagües pluviales para que el agua fluya normalmente en caso de lluvias y el retiro de animales sin vida de la vía pública.

Puerto La Plata

Ubicación: El Puerto La Plata se encuentra emplazado sobre la margen Sud del Estuario del Río de la Plata a 10 Km. de la ciudad Capital de la Provincia de Buenos Aires y a 60 Km. vía terrestre y 37 Km. vía marítima de la Ciudad de Buenos Aires.

---

[3] Invertir en la región Capital. Potencialidades, desarrollo Endógeno y Factores de Atractibilidad Territorial. www.ceb.org.ar
[4] Municipalidad de la plata
[5] Como funcionará la nueva planta de tratamiento de residuos en La Plata
Por Rodrigo Herrera Vegas
Para lanacion.com
[1] www.veamse.gov.ar

El objetivo del Puerto La Plata, es incrementar y diversificar las cargas de la estación portuaria, generando nuevos negocios y oportunidades laborales
El Puerto está abierto a la comunidad y esta tiene un arraigado sentimiento de pertenencia hacia él. Así, a la actividad propiamente portuaria se le ha sumado un permanente esfuerzo por mejorar la calidad de vida de la comunidad del entorno.
El Puerto La Plata es un puerto público de acuerdo a los términos de la Ley Nacional 24.093 de Actividades Portuarias y su Decreto Reglamentario 769/93.
El Consorcio de Gestión del Puerto La Plata, creado por el Decreto 1596/99, es un ente público no estatal que tiene la finalidad de administrar y explotar el Puerto. En el marco de estas funciones generales, tiene la obligación de reinvertir en obras de infraestructura el 65 %, como mínimo, de su recaudación y las decisiones que tome el Directorio sobre el manejo del uso del suelo portuario deben tener un control de legalidad por parte de la Fiscalía del Estado Provincial. Además, este ente se rige por un estatuto interno y es controlado contablemente por una auditoría externa y por el Tribunal de Cuentas de la Provincia de Buenos Aires.[2]
Los servicios son: Buque, solicitud de atraque, servicios MARPOL, servicios de agua y energía eléctrica y ayuda a la navegación. Mercaderías: declaraciones sumarias y manifiesto, mercaderías peligrosos y registro de empresas Y espacio portuario.

Zona Franca

La base operativa se encuentra en Ensenada – Provincia de Buenos Aires, en un predio de 70 hectáreas en el corazón de la principal área industrial argentina, contando con un acceso para camiones y barcos. Esta ubicación estratégica ha convertido a la Zona Franca La Plata en un natural centro logístico y de distribución hacia el mundo desde América del Sur.
Cuenta con: lotes de distintas dimensiones desde 1000 metros cuadrados para edificación de depósitos o plantas industriales. 23535 metros cuadrados de depósitos para almacenaje de mercadería. 2300 metros cuadrados de oficinas para alquiler. 133647 metros cuadrados de playas de asfaltadas con alambrado perimetral y portones de acceso para almacenamiento de automotores, maquinarias viales, etc. Salón para convenciones, exhibiciones y seminarios y Playas de contenedores.
Servicios que ofrece: Alquiler de terreno: En los casos en que su proyecto involucre la construcción de un depósito y/o planta. Alquiler de un depósito ya construido: Este sistema permite adaptarse en caso de no contar con la posibilidad financiera para la construcción o bien para proyectos de tiempo determinado. Alquiler de playas: Para el almacenaje de Vehículos, Máquinas viales, Camiones, etc.[2]

El Polígono Industrial

Empresas comienzan a instalarse en 1990. En corto tiempo se incorporaron otras más, lo que permite fundar el 3 de julio de ese mismo año la C.E.P.I.B (Cámara Empresaria del Polígono Industrial Berisso).
El Ente Administrador del Polígono Industrial Berisso, nacido de la Ley Provincial 13651 y su Decreto Reglamentario, controla el predio. Sus órganos de gobierno están integrados por representantes del Ministerio de la Producción de la Provincia de Bs As, la Municipalidad de Berisso y la CEPIB.
Alrededor de setenta empresas, de diversas actividades y tamaños, produce en el predio.

Promoción Industrial

- Parque Industrial I

Ubicación: Sobre la Avenida 520 (Ruta Provincial N°13) en la intersección con Ruta Nacional N°2. Infraestructura: Superficie en Has.: 58. Distancias al Parque desde: Principal Centro Urbano: 8 kms, (La Plata). Red Vial: Ruta Nacional Nº 2; Rutas Provinciales Nº 13 y Nº 36
Aeropuerto de Cabotaje: Ciudad de La Plata, 11 kms. Aeropuerto Internacional: Ministro Pistarini, 85 kms. Puerto: 32 Kms, (La Plata)

- Parque Industrial II

[2] www.puertolaplata.com
[2] www.bazflp.com.ar/home.html

Ubicación: Se desarrollara en una superficie de 93 hectáreas, ubicadas en el Km. 50 de la Ruta Nacional 2, acorde a lo autorizado y permitido por la ordenanza 9231.
El Segundo Parque Industrial municipal ya cuenta con 30 hectáreas de infraestructura básica. El Predio contará con: Edificio central de administración, Centro de desarrollo de nuevos productos y tecnología, Centro de asistencia en estándares y tramitaciones de calidad, Centro de marketing y telecomunicaciones, Incubadora de empresas, Red de gas natural, Red eléctrica de alumbrado, Agua potable y desagüe fluviales, Efluentes industriales y cloacales, Parcelamiento y red vial; Pavimentación, cerco perimetral y espacios verdes y Seguridad
Beneficios: La radicación en el Parque Industrial conllevará la exención en el pago de impuestos y en el pago de impuestos de tasas provinciales y municipales.
El Concejo Deliberante, en su Sesión Ordinaria N° 2 3, ha sancionado la Ordenanza 10.434 Régimen de Promoción Industrial y de la Industria del Software.

Conclusión

La Plata, Berisso y Ensenada poseen caminos que unen distintos centros urbanos y áreas rurales subregionales, además en el interior de la Provincia de Buenos Aires. Cuenta con lineas de óbnibus, que comunican con las localidades colalindantes y las que ofrecen conexiones con la ciudad de Buenos Aires. Además posse servicios de transporte de colectivos a destinos nacionales e internacionales.
La línea ferroviaria une a la ciudad con las distinatas redes ferroviarias que conectan a la ciudad con los distintos puntos del país.
Actualmente, el aeródromo La Plata, está subutilizado; sólo se aprovecha para vuelos oficiales (del gobierno provincial), Policía Bonaerense y fines deportivos y recreativos
La electricidad es prestada por la empresa EDELAP. El servicio es distribuido a 539 usuarios industriales, con una facturación de 109472 MW que representa un % total facturado sobre cantidad de clientes de 50.7%. Residenciales 32.1% y Comerciales 13.5%
El gas es distribuido por CAMUZZI Gas Pampeana S.A. a 69 grandes usuarios con un volumen de venta de 2635.9 millones m3 que representa un % de volumen de venta sobre usuario de 51.4%. Residenciales 29.3% y Comerciales 19.3%
Respecto del agua, ABSA es la encargada de brindar el servicio de agua potable y desague cloacales. El 77% de la población de la ciudad tiene acceso a la red cloacal.
Los residuos tienen un tratamiento alentado por la difusión y concientización social que promueve la Municipalidad de los distintos municipios.
El puerto de la región tiene el objetivo de incrementar y diversificar la carga de estación portuaria y generar nuevos negocios y oportunidades laborales. Se esperan grandes obras portuarias para aumentar el potencial de la capacidad. Se destacar la importancia de la cercanía portuaria para el desarrollo productivo de una región y la potencialidad que ofrece la zona portuaria al sector industrial. El puerto como una gran ventaja estratégica que tiene la región. Resaltar la promoción industrial que ofrecen los parques industriales de la ciudad de La Plata y del polígono de Berisso, generando puestos de trabajo, alentando a la inversión y apoyando al sector industrial, para el desarrollo regional.
La infraestructura que posee la región fortalece el desarrollo económico sustentable. El relevamiento realizado sirve para detectar oportunidades y debilidades que poseen los servicios y poder invertir fuertemente en ellos para poder crecer.

Referencias

1. Servicios de Infraestrucutra DATOS ESTADISTICOS MUNICIPIOS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES.Municipalidad de La Plata.
2. Patricio Rozas Ricardo Sánchez.Desarrollo de infraestructura y crecimiento económico: revisión conceptual. División de Recursos Naturales e Infraestructura recursos naturales e infraestructura Santiago de Chile, octubre del 2004.- CEPAL
3. Dr. Daniel Lauría. Ventajas competitivas y oportunidades de inversión de Tandil 1999/2000 Facultad de Ciencias Económicas Secretaría de Promoción y Desarrollo
4. Dr Daniel LAURÍA. Caracterización Productiva Regional. La Palta Berisso y Ensenada.
5. Patricio Rozas, Ricardo Sánchez “Desarrollo de infraestuctura y crecimiento económico: revisión conceptual” CEPAL Naciones Unidas Santiago de Chili, 2004

Indice por autor

Autor	Código	Página
ACTIS, Marcos D.	IA6-IA10-IA11-IA12	P. 48-P.70-P.76-P.82
AFRANCHI, Andrea V.	IH6	P. 581
AGUILAR, Myriam	IH7	P. 587
ALASIA, Gonzalo Rubén	IA1	P.18
ALDASORO, Roberto	Ag2	P.185
ALGOZINO, Santiago	IA3	P.30
ALTAMIRANO, Natalia	CB5	P.214
ALUSTIZA, Diego H.	CB22	P.310
ALVAREZ, Cecilia	IM15	P.719
AMARILLA, Roberto	IH8	P.593
ANAUT, Fernando	IE7	P.391
ANGHEBEN, Enrique	IH3	P.563
ANTONINI, Luis	IE5	P.384
AQUINO, Aurelio	IM10-IM11	P.692-P.697
ARGAÑARAZ, Lucila	IH8	P.593
ARGERICH, Analía	Ag1	P.179
ARMAS, Leonardo	IA25-IA26	P.160-P.166
AROZTEGUI, Walter	IE6	P.390
ARROJO, Carlos C.	IE22	P.490
BACCHI, Federico A.	IA24-IA25-IA26-IA27	P.154-P.160-P.166-P.172
BALDOVINO, Wenceslao	IH8	P.593
BARAVALLE, Francisco	IE20	P.478
BARBA, Salvatore	IM7	P.672
BARBERA, Gustavo A.	IE2	P.363
BARBERIS, Walter	IA18-IA19	P. 118-P.125
BARBERO, Juan C.	IE2	P.363
BARBERO, Santiago	IE3	P.370
BARBELLI, María Laura	IP2	P.738
BARBIERI, María Beatriz	IE3	P.370
BARON, Pedro J.	IQ1	P.600
BARRAGAN, Javier	IE7	P.392
BARRERA, John Fredy	CB8	P.232

BARRETO, Guillermo F.	IQ3	P.612
BATTAIOTTO, Pedro E.	IE12	P.426
BAVA, Alberto	IE31	P.546
BELLOMO, Sebastián	IM9	P.684
BELTRACHINI, Leandro	IE11	P.420
BEROQUI, Mario C.	IE3	P.370
BERTERO, María Fernanda	CB5	P.214
BIANCHI, Ana E.	IM14	P.713
BIANCHI, Guillermo	IH4	P.569
BIDEBERRIPE, Hernán P.	IQ4	P.618
BILMES, Pablo	IM6	P.666
BITEZNIK, Carlos Ezequiel	IE3	P.370
BLANCO, Alberto R.	IM9-IM10-IM11	P.684-P.692-P.697
BOGLIACINO, Nicolás	CB16	P.275
BOLGERI, Fernando	IC2	P.324
BOLOGNINI, Néstor	CB8	P.232
BONETTO, Rita	IM6	P.666
BONICATTO, María	IM15	P.719
BONOPERA, Mariano E.	IA15-IA16-IA19-IA21	P.100-P.106-P.124-P.136
BOSSIO, María E.	IC3	P.330
BOTANA, Adrián	IM14	P.713
BOTTANI, Asdrúbal E.	IA5-IA6	P.42-P.48
BRUNO, Leonardo J.A.	IA23	P.148
BULUS ROSSINI, Laureano A.	IE4	P.376
CABRAL, Arturo	Ag1	P.179
CADEMARTORI, Patricia	CB1	P.192
CALANDRA, María V.	CB7	P.226
CALIFANO, Alicia N.	IQ1-IQ2	P.600-P606
CAMOCARDI, Pablo A.	IE12	P.426
CANCHERO, Andrés	IA2	P.24
CAP, Nelly L.	CB9	P.238
CAPOSSIO, Leonardo	IE6	P.390
CAPPELLETTI, Marcelo A.	IE27	P.522
CAPRA, Bernardino A.	IC2	P.324
CARASAY, David	IA22	P.142
CARLOTTO, Adrián	IE15	P.444
CARNER, José L.	IH1-IH2	P.553-P.555

CARRIZO, Enrique	IP1	P.732
CASAS, Guillermo A.	IE27	P.522
CASELLA, Mónica L.	IQ4	P.618
CATALANO, Leonardo J.	IE1	P.356
CAVALLIN, Benjamín	IA10-IA11	P.70-P.76
CEDOLA, Ariel P.	IE27	P.522
CENDOYA, Marcelo G.	IE8-IE12-IE19	P.399-P.426-P.471
CERVINO, Cintia	IP1	P.732
CHAPELA, Matías	IA15-IA16	P.100-P.106
CIPPONERI, Marcos	IH6	P.581
COGO, Jorge	IE14	P.438
COLMAN LERNER, Jorge E.	IH7	P.587
COLMAN LERNER, Jorge L.	IA1-IA3-CB3	P.18-P.30-P.204
COLLI, Gustavo Adrián	IH6	P.581
COPPA, Matías	IA18-IA20	P.118-P.130
CORDERO, María Cristina	IE25-IE26	P.511-P.516
CORSARO, Juan Pablo	IA4	P.37
CORTEZ, Susan	CB20	P.299
CORTI, María Agustina	CB18	P.287
COSTA, Viviana A.	CB1-CB3	P.192-P.204
COSTANZO CASO, Pablo A.	IE4	P.376
COUSELO, Romina	IP3-IP4	P.744-P.750
COZZARIN, Ana Laura	IM3	P.648
CULCASI, J. Daniel	IM4	P.655
CZERWIEN, Juan C.	IE25	P.511
D'IORIO, Juan I.	IA15-IA16-IA20	P.100-P.106-P.130
DABIN, Haroldo	IA25	P.160
DAGUERRE, Lisandro	IC2	P.324
DAVANZO, Juan A.	IM3	P.648
DE BATTISTA, Hernán	IE8-IE18	P.399-P.462
DE LA CROIX, Brian	IM12	P.703
DEFRANCO, Gabriel H.	IM7-IM8	P.672-P.678
DELGADO, Emilio	IA26	P.166
DELNERO, Juan S.	IA1-IA2-IA3-CB7	P.18-P.24-P30-226
DELUCHI, Marta	Ag1	P.179
DEORSOLA, Marcos	IE29	P.534
DEVECE, Eugenio	CB2	P.198

DI BERNARDI, Carlos A.	IA14-IA15 -IA16-IA17 IA20-IA21	P.94-P100-P.106-P.130-P.136
DI DOMENICANTONIO, Rossana M.	CB5	P.214
DIAS, Ricardo	IE22	P.491
DIAZ, Carolina	IM16	P.725
DIAZ, Juan G.	IE14	P.438
DIMA, Jimena B.	IQ1	P.600
DITONDO, Juan	IH7	P.587
ECHAPRESTO GARAY, Iban	IA2	P.24
ECHARRI Tomás	IM4-IM12-IM13	P.655-P.703-P708
ECHARRI, Juan M.	IM3-IM4-IM5	P.648-P.655-P.660
ECHEBEST, Nélida E.	CB15	P.269
ECHEVERRIA, Gustavo A.	IM14	P.713
EISENBER, Patricia	IM14	P.713
EPERJESI, Lilian N.	IC1	P.318
FABIANI, Gustavo	IA21	P.136
FAIELLA, Pablo	IC2	P.324
FAUT, Rogelio	IA19	P.124
FELOY, Lucas E.	IM1	P.636
FERNANDEZ CORAZZA, Mariano	IE11	P.419
FERNANDEZ LORENZO, Mónica	IM16	P.725
FERRARI, Flavio A.	IE7 - IE26	P.391-P.515
FERREYRA HIRSCHI, Enrique	IC1	P.318
FERTITTA, Abel Edgardo	CB4	P.210
FLEGO, Silvana P.	CB11-CB12-CB13-CB17	P.287-P.251-P.257-P.281
FRENE, Horacio	IE30	P.540
FRIGOLI ALBERT, Elisa	IC2	P.324
FUERTES, Laura L.	IM7-IM8	P.672-P.678
FUNES, Gustavo	CB21	P.305
GALLEGO SAGASTUME, Juana I.	CB2	P.198
GALLEGOS, Norma Graciela	IQ5	P.624
GARAVAGLIA, Mario	CB18-CB21-CB22-IE31	P.218-P.305-P.310-P.546
GARBATI, Gustavo D.	IE10	P.411
GARCIA CLUA, José G.	IE8	P.399
GARCIA SAINZ Mariano	IA1-IA3	P.18-P.30
GARCIA, Javier G.	IE14	P.438

GARCIA, Mabel M.	CB5	P.214
GARCIA, Pablo A.	IH2-IE9-IE16	P.555-P.404-P.449
GARELLI, Fabricio	IE10-IE18	P.411-P.462
GARNICA Alvaro David	IA1	P.18
GAVINO, Sergio J. L.	IM7-IM8	P.672-P.678
GERVASI, Claudio A.	IM6	P.666
GIACCIO, Graciela M.	IC3	P.330
GIALONARDO, José Ignacio	IE25	P.511
GIL, Francisco	Ag2	P.185
GOMEZ, Rubén	IA14	P.94
GONZALEZ, Alfredo C.	IM1-IM2-IM3	P.636-P.642-P648
GONZALEZ, Mónica L.	IE23-IE24	P.498-P.504
GRECO, Axel E.	IA5	P.42
GRIÑO, Robert	IE19	P471
GRUMEL, Eduardo	CB9	P.238
GUARAGLIA, Dardo	IH2	P.555
GUARDARUCCI, María T.	CB10-CB15	P.239-P.269
GUERRERO, Federico N.	IE9-IE17	P.405-P.456
GULICH, Damián	CB20-CB21	P.299-P.305
HABERMAN, Marcelo	IE9-IE13-IE17	P.405-P.432-P.456
HANNA, Walid	IA15-IA16-IA22	P.101-P.107-P.143
HERBARTH, Olf	IH7	P.587
HERNANDEZ Carlos Sebastián	IA4	P.37
HERRON, Alejandro G.	IA14-IA17-IA22	P.95-P.113-P.143
HINTERMEYER, Blanca H.	IQ6	P.629
HIRSCH, Ernesto	IM15	P.719
HO, Yen K.	IA24	P.154
HOLLAR DALMAU, Pablo G.	IA23	P.148
INTHAMOUSSOU, Fernando A.	IE8	P.399
IPARRAGUIRRE, Mercedes	IM15	P.719
ISSOURIBEHERE, Fernando	IE2	P.363
ISSOURIBEHERE, Pedro E.	IE2	P.363
JAUREGUI LORDA, Matías	IA24	P.154
JELINSKI, Guillermo	IH8	P.593
JODRA, Sebastián	IM4	P.655
JUAREZ, José M.	IE15	P.444
JUNCIEL, Luis D.	IM14	P.713

JURY, Silvia	CB20	P.299
KANG, Kyung W.	IM5-IM6	P.660-P.666
KEEGAN, Sergio D.	IQ3	P.612
KNOPOFF, Patricia A.	IE23-IE24	P.498-P.504
LACOSTE, Juan L.	IM1	P.636
LACOUR, Norman H.	IQ6	P.629
LAGRAÑA, Carolina	CB19	P.293
LAMATTINA, Rafael	IC4	P.336
LAMBERTUCCI, Luis A.	IM2	P.642
LANDERRECHE, Francisco	CB3	P.204
LANGONI, Laura	CB5-CB10	P.214-P.239
LAQUIDARA, Aníbal P.	CB16-CB19-CB20	P.275-P.293-P.299
LARA, Marianela	IM7-IM8	P.672-P.678
LARROSA, Virginia J.	IQ2	P.606
LARSEN, Diego O.	IC2	P.324
LEMOS BARBOZA, Adriana L.	IM6	P666
LEMOZY, Norberto A.	IE21	P.484
LISCIA, Sergio	IH1	P.553
LLORENTE, Carlos L.	IM5-IM6	P.660-P.666
LONGARZO, Agostina	CB9	P.238
LOPARDO, Edgardo	IM12-IM13	P.703-P.708
LOPEZ LA VALLE, Ramón	IE14	P.438
LOPRESTI, Laura A.	IM7-IM8	P.672-P.678
LORENZO, Gabriel	IQ2	P.606
LUCINO, Cecilia	IH1	P.553
MAFFIA, Ernesto G.	IM2	P.642
MANNO, Francisco J.	CB22	P.310
MANTZ, Ricardo J.	IE8	P.399
MARAÑON DI LEO, Julio	IA1-IA2-IA3-IA4-CB7	P.18-P.24-P.30-P37-P.226
MARIANI, Néstor J.	IQ3	P.612
MARINO, Paolo	IA14	P.94
MARTIARENA, Juan	IA18	P.118
MARTIARENA, Tomás	IA11	P.76
MARTINEZ DEL PEZZO, Andrés	IA5-IA9-IA10-IA12	P.42-P.66-P.70-P.82
MASSA, Pablo A.	IE20-IE21	P.478-P.484
MASSARUTTI, Jorge H.	IE26	P.516

MASSOLO, Laura	IH7	P.587
MATAMOROS, Natalia	IH7	P.587
MATERA, Román	IM9-IM10-IM11	P.684-P.692-P.697
MAURIÑO, Miguel	IH5	P.575
MAYER, H. Gastón	IE2	P.363
MELGAREJO, Augusto	CB14	P.263
MENGHINI, Matías	IA11-IA12-IA13	P.76-P.82-P.88
MINEO, Marcos	CB22	P.310
MIÑAN, Alejandro	IM16	P.725
MOLLO, Mariana	IM14	P.713
MONETTI, Diego H.	IC3	P.330
MONTEAGUDO, Juan Pedro	IA2	P.24
MOORE, Ignacio	IA8	P.60
MORBIDEL, Leonardo	IE4	P.376
MORCELLE del VALLE, Pablo	IE29	P.534
MORE, Jerónimo J.	IE19	P.471
MOREA, Francisco	IC3	P.330
MOREDA, Pablo	IM10-IM11	P.692-P.697
MÜLLER, Andrea	IH7	P.587
MUNDO, Luis M.	IA7	P.54
MURAVCHIK, Carlos H.	IE11-IE14	P.420-P.438
MURISENGO, Walter	Ag1	P.179
NADAL MORA, Vicente	IA18-IA19-IA21-IA25	P.118-P. 124-P. 138-P. 160
NAPAN MALDONADO, Rocío	IE28	P.528
NASTTA, Hernán A.	IE22	P.491
NATOLI, Alejandro	IE4	P.376
NESCHUK, Nancy	IH8	P.593
NICHIO, Nora N.	IP2	P.738
NOGUERA, María	CB16	P.275
NUÑEZ, Natalia E.	IQ4	P.618
NUÑEZ, Sebastián	IE18	P.462
ORTIZ, Pablo Manuel	IA1	P.18
OSIO, Jorge	IE5-IE6-IE7	P.384-P.390-P.392
PAEZ, Bruno	Ag2	P.185
PALACIO, Luis E.	CB12	P.251
PAOLA, Analía Cristina	IH6	P.581

PARDO, Cristian F.	IA8	P.60
PAUS, Pablo	Ag2	P.185
PAULUCCI, Emanuel	IE4	P.376
PELTZER y BLANCA, Eitel L.	IE27-IE28	P.522-P. 528
PENDON, Manuela	IP3-IP4	P. 744-P. 750
PEREDA, María Dolores	IM6	P. 666
PEREIRAS, Roberto	IQ3	P. 612
PESARINI, Alejandro	IA17-IA18-IA19-IA20	P.112-P.118-P.124-P.130
PEZZOTTI, Santiago	IA14-IA18-IA19-IA21 IA22-IA25	P.94-P.118-P.124 P.-136 P.143-P.160
PIECHOCKI, Joaquín	IA15-IA16-IA18-IA19 IA21	P.100-P.106-P.118-P.124 P.-136
PIERRE CASTELL, Andrea V.	IM9-IM10-IM11	P. 684-P. 692-P. 697
PINTARELLI, María Beatriz	CB6	P.220
PITRELLI, Sergio	IA17-IA22	P.112-P.142
POMPEO, Francisco	IP2	P.738
PORRITIELO, Francisco	IA9	P.66
PORTA, Atilio Andrés	IH7-IH8	P.587-P.593
PUEBLA, Alejandro	IA17	P.112
PUGA, Gerardo L.	IE14	P.438
PULESTON, Pablo F.	IE19	P.471
PUNTE, Graciela	IM14	P. 713
RABAL, Héctor	CB9	P.238
RABAL, Sebastián	IE4	P.376
RAPALLINI, José A.	IE5-IE6-IE7-IE25-IE26	P.384-P.390-P.392-P.511-P.516
RIMOLDI, Claudio	IA4	P.37
RINGEGNI, Pablo L.	IA6	P.48
RIOS, Javier	IE1	P.356
ROCCO, Claudio G	IC4-IC5	P.336-P.343
RODRIGUEZ, Guillermo	IE31	P.546
ROMANAZZI, Pablo	IH3	P.563
ROMERO, César	Ag1	P.179
RONCAGLIOLO, Pedro Agustín	IE14	P.438
SACCO, Antonio	IE26	P.516
SACCO, Juan	IM9	P.684
SAGER, Gerardo	IE15	P.444
SALAZAR MESIA, Daniel	IH8	P.593

SALVIOLI, Mónica Laura	IH6	P.581
SAN MARTIN, José L.	Ag2	P.185
SANCHEZ, Erica Yanina	IH7	P.587
SANTOIANI, Gastón E.	IA24	P.154
SANTORI, Gerardo F.	IP2	P.738
SANTOS, María Victoria	IQ1	P.600
SARALEGUI, Gustavo	IM12-IM13	P.703-P.708
SAVIO, Marcelo	Ag1	P.179
SCARABINO, Ana E.	IA12-IA23-IA24-IA27	P.82-P.148-P.154-P.172
SCARAMUTTI, José C.	IE22	P.491
SCHILARDI, Patricia	IM16	P.725
SCHVARTZER, Fabián	IC2	P.324
SCOLNIK, Hugo	CB15	P.269
SERVERA, Horacio	IH6	P.581
SIRI, Guillermo J.	IQ4	P.618
SISTI, Jorge	Ag1	P.179
SKOU, Pedro	CB22	P.310
SMIDT, Javier A.	IE14	P. 438
SOTO, Jaime R.	Ag2	P.185
SPINELLI, Enrique	IH2-IE9-IE13-IE16-IE17	P. 555-P.405-P.432-P.450-P.456
STABILE, Franco M.	IQ5	P.624
TALPONE, Juan J.	IE19	P.471
TAVANI, Eduardo L.	IQ6	P.629
TEBALDI, Myrian	CB8	P.232
TENAGLIA, Carlos	IE4	P.376
TIDONE, Leda	IC2	P.324
TOCCACCELI, Graciela M.	IE12-IE16	P. 426-P.450
TOCCI, Ana María	CB4	P.210
TORI, Cora I.	CB14	P.263
TORRES SANCHEZ, Rosa M.	IM14	P.713
TORRIANI, Iris L.	IM14	P.713
TORRIJOS, María C.	IC3	P.330
TORROBA, Patricia L.	CB2-CB17	P.198-P.281
TORROBA, Roberto	CB8	P. 232
TOVIO, Daniel	IM15	P.719
TRINCADO, Pablo	IE1	P.356

TRIPOLI, María de las Mercedes	CB5-CB14	P.214-P.263
TRIVI, Marcelo	CB9	P.238
URIONA, Hugo N.	CB13	P.257
VALLEJO, Gonzalo	IA6	P.48
VAZQUEZ, Enrique	IE26	P.516
VERICAT, Fernando	CB6	P.220
VERNIERI, Julieta	IE31	P.546
VICENTE, Ariel A.	IC1	P.318
VIDELA, Fabián	CB2	P.198
VIGNONI, Alejandro	IE18	P.462
VILCHE, Ernesto A.	IE23-IE24	P.498-P.504
VILLA, E. Ignacio	IC4-IC5	P.336-P.343
VILLAMAYOR, Virginia	Ag1	P.179
VILLAR, Juan Ignacio	IA27	P.172
VINSON, Edgardo G.	IE21	P.484
VISINTIN, Arnaldo	CB4	P.210
VISUS, Marcos	IA9	P.66
VOLZONE, Cristina	IQ5	P.624
VON ELLENRIEDER, Nicolás	IE11	P.420
VUCETICH, Danilo A.	IM1-IM9	P.636-P.684
WALL, Carlos A.	IE1	P.356
WICHMANN, Gunner	IH7	P.587
WILLIAMS, Eduardo A.	IC2-IP3-IP4	P.324-P.744-P.750
YEDINAK, Ezequiel	CB19	P.293
ZAPITELLI, María Paul	IC5-IC6	P.343-P.349
ZARITZKY, Noemí E.	IQ1-IQ2	P.600-P.606
ZERBINO, Lía M.	CB16-CB18-CB19-CB20	P.275-P.287-P.293-P.299
ZERBINO, Raúl	IC3	P.330
ZUBIMENDI, Alejandro	IM10-IM11	P.692-P.697
ZUNINO, Luciano	CB21	P.305