





# **Cuadernos de Arquitectura Sustentable**

## **Artículos Seleccionados | 2011**



Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Universidad Nacional de La Plata

2011





# **Cuadernos de Arquitectura Sustentable**

## **Artículos Seleccionados | 2011**

### **Compiladores**

Jorge D. Czajkowski   Analía F. Gómez

### **Autores**

Jorge D. Czajkowski   Analía F. Gómez

Celina Filippín   Carolina S. Vagge

M. Belén Salvetti   María de la Paz Diulio

Mariela I. Marcilese   Cristian J. Díaz

Mauro G. García Santa Cruz   M. Gracia Bianciotto

### **Editor Técnico**

Mauro G. García Santa Cruz

Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Universidad Nacional de La Plata

2011

Cuadernos de arquitectura sustentable: artículos seleccionados, 2011 / Jorge D. Czajkowski ... [et.al.]; compilado por Jorge D. Czajkowski y Analía F. Gómez; edición literaria a cargo de Mauro G. García Santa Cruz. - 1a ed. - La Plata: Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, 2011.

256 p. 16x23 cm.

ISBN 978-950-34-0800-1

1. Arquitectura. 2. Eficiencia Energética. 3. Conservación Preventiva. I. Czajkowski, Jorge D. II. Czajkowski, Jorge D., comp. III. Gómez, Analía F., comp. IV. García Santa Cruz, Mauro G., ed. lit.

CDD 720

Fecha de catalogación: 10/11/2011

© Jorge D. Czajkowski, Analía F. Gómez, Celina Filippín, Carolina S. Vagge, M. Belén Salvetti, María de la Paz Diulio, Mariela I. Marcilese, Cristian J. Díaz, Mauro G. García Santa Cruz, M. Gracia Bianciotto, 2011.

Editado por LAYHS FAU UNLP

Calle 47 Nro 162 | C.C. 478 | B1900GGD | La Plata, Buenos Aires, ARGENTINA  
Tel. +54 221 4236587/90 Int. 255 | layhs@fau.unlp.edu.ar

Diseño de portada: Brenda T. Czajkowski

Foto de portada: Oficinas Cadavid, Cali, Colombia (Detalle). © Jorge D. Czajkowski, 2004.

Diseño interior y diagramación: Mauro G. García Santa Cruz

1ª edición, 2011.

Hecho el depósito que marca la ley 11.723

Libro de edición Argentina. Impreso por Dunken

ISBN: 978-950-34-0800-1 (versión impresa)

978-950-34-0789-9 (versión digital)

“No se permite la reproducción parcial o total, el almacenamiento, el alquiler, la transmisión o la transformación de este libro, en cualquier forma o por cualquier medio, sea electrónico o mecánico, mediante fotocopias, digitalización u otros métodos, sin el permiso previo y escrito del editor. Su infracción está penada por las leyes 11723 y 25446.”

# Índice

Prólogo	9
Agradecimientos	11
<b>Ciudad y Energía: Modelización</b>	
Comparación de la demanda de energía en calefacción en Argentina y otros países	15
Modelo metodológico de análisis tipológico energético-ambiental basado en tipos edilicios ideales y matriz de datos auditados	25
Modelización energético-ambiental de la edilia urbana basado en técnicas de auditoría y procedimientos estadísticos multivariados	37
Modelación morfológica - energética - tipológica de la ciudad de La Plata, Argentina	51
<b>Normalización</b>	
Ahorro de energía en refrigeración de edificios para oficinas. Propuesta de indicadores de eficiencia y valores admisibles	65
<b>Edificios de Vivienda</b>	
Consumo energético en viviendas sociales de Tierra del Fuego. Comparación con otras regiones de la Argentina	81
Comportamiento térmico de viviendas sociales mediante incorporación de mejoras de diseño en la envolvente	93
Consumo de gas natural y confort higrotérmico en vivienda unifamiliar de la ciudad de La Plata, Argentina	107

Verificación del etiquetado energético de edificios a partir de mediciones en edificios construidos **125**

### **Edificios en Altura**

Análisis del comportamiento energético-ambiental en torre de viviendas en La Plata **141**

Indicadores de eficiencia energética en edificios. Comparación con estándares vigentes en Argentina **157**

Análisis del comportamiento energético-ambiental de un modelo de edificio de oficinas en altura, de baja energía, para la ciudad de La Plata **169**

### **Edificios Culturales. Evaluación y Diagnóstico**

Una aproximación al diseño ambientalmente consciente en espacios de guarda. Estudio de casos **183**

Evaluación de las necesidades de control del entorno para la conservación de los museos de la Red de Museos de la UNLP. Adecuación del procedimiento del Getty Conservation Institute (GCI) **197**

Simulación numérica del funcionamiento de Doble Envolverte Ventilada en la refuncionalización de la Biblioteca del Museo de Instrumentos Musicales Dr. Emilio Azzarini **203**

Estrategias de diseño pasivo para una biblioteca **217**

Desarrollo de herramientas para la evaluación del entorno ambiental en museos y edificios afines **233**

### **Edificios Educativos. Evaluación y Diagnóstico**

Modelo de escuela rural en microclima platense a partir de diseño ambientalmente consciente y simulación con EnergyPlus **241**

## Prólogo

Escribir este prólogo no resulta sencillo debido a las grandes dificultades que hemos pasado para llegar a esta publicación. Por otra parte este Cuaderno de Arquitectura Sustentable busca mostrar parte de la actividad que hemos venido desarrollando en los últimos años. Los compiladores y autores, siendo alumnos, nos incorporamos a un proyecto llamado Audibaires en el lejano 1985 y comenzamos una lenta pero sostenida transición desde la formación de arquitectos hasta convertirnos progresivamente en investigadores. Preferimos utilizar el término *investigador* ya que la palabra *científico* resulta demasiado extraña en la arquitectura.

En este punto podemos preguntarnos ¿es este texto un texto científico?, la verdad es algo que tendrá que meditarlo el lector. ¿Es un texto de Arquitectura Sustentable? Quizás no en la manera que los profesionales de la arquitectura tienden a comprender el uso del término o el tipo de textos usuales en el hacer arquitectura.

El libro en su primer volumen busca reunir artículos seleccionados ya publicados en congresos y seminarios con el fin de mostrar de manera compacta los temas en los que hemos estado trabajando en el grupo de investigación de la *Cátedra de Instalaciones Czajkowski-Gómez* de la FAU-UNLP, durante el período 2005-2009, y en el *Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable*, a partir del 2009.

Quizás resulte necesario mencionar el aporte que ha venido realizando el LAYHS al conocimiento de la Arquitectura Sustentable. En el origen del equipo trabajábamos en el uso racional de la energía y en el diseño bioclimático en equipos interdisciplinarios formados por arquitectos, físicos, ingenieros y sociólogos. Esta visión inicialmente interdisciplinaria y volcada un poco más hacia las ingenierías incidió en la formación, que con el tiempo se haría transdisciplinar. Desde el principio trabajábamos sistemáticamente, utilizábamos computadoras e instrumental de medición para llevar a números la realidad construida. Estas matrices, por su complejidad, las debíamos reducir para simplificar la información y así comenzamos a trabajar con tipos y modelos. Para comprender las mediciones debimos construir modelos matemáticos de los edificios y así comparar lo calculado con lo medido. Las diferencias que encontrábamos marcaban cuán lejos o cerca estaba lo calculado de lo medido. Tuvimos la oportunidad de concretar algunas obras y luego volver a auditarlas y comprender no solamente los errores cometidos sino también generar conocimiento tecnológico. Este continuo ir y venir entre medir la realidad construida, modelizar, simular, implementar ideas y volver a medir generaron una espiral ascendente de conocimiento. Quizás estamos muy lejos de las experiencias del mundo desarrollado pero nos ha permitido crecer y afianzarnos.

También tuvimos la posibilidad de revisar los instrumentos de regulación de la calidad térmica y energética de los edificios en el país y trabajar para mejorarlos. Éstos con el tiempo se convirtieron en Normas, luego la sociedad comenzó a observar la mala calidad del hábitat construido y quiso regularlo. Así se sancionaron leyes y códigos de edificación que hicieron de uso obligatorio estas normas. Con lo cual sin desearlo nues-

tro trabajo ha implicado un alto impacto “potencial” en el *arte de la construcción* en Argentina. Potencial ya que la resistencia al cambio es enorme, pero progresivamente se va venciendo y el tiempo dirá si nuestro trabajo genera un cambio en la realidad construida.

Este no es un texto sencillo ni de divulgación, sino un corte en el tiempo, que nos permite mostrar donde llegamos y ayudar a la sociedad a conocer nuestro trabajo.

En el año 2007 hemos realizado nuestro aporte a la divulgación en un lenguaje sencillo cuando Clarín nos convocó para hacer ocho fascículos, que luego fueron diez, sobre Arquitectura Sustentable. Fue una tarea titánica y *ad honórem* que duró poco más de 70 días. Dos años después se publicó como un libro por la misma empresa de multimedios.

En todo este período hemos transferido al medio mediante charlas, seminarios y cursos nuestra visión del hacer arquitectura y en 2011 esta experiencia se consolida mediante la creación de las carreras de Especialización y Maestría en Arquitectura y Hábitat Sustentable. Este texto servirá de bibliografía esencial y esperamos que a usted, querido lector, le resulte de utilidad.

JDC & AFG

## Agradecimientos

Estas investigaciones han sido posibles gracias a la ayuda económica de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), mediante el proyecto PICT 2006 Nro 956, que además permitió consolidar el LAyHS.

Similar reconocimiento merece el CONICET que, desde hace más de dos décadas, apoya la investigación en la que podríamos considerar un área de vacancia, como lo es la Arquitectura. Este apoyo se materializó mediante becas en diversas categorías y mediante la Carrera del Investigador, junto a varios proyectos PIP.

Además la Facultad de Arquitectura y Urbanismo permanentemente nos brindó su apoyo, especialmente en las figuras de los decanos Arq. Néstor Bono y Arq. Gustavo Azpiazu. También desde rectorado tanto el Arq. Azpiazu, como en la actualidad el Dr. Fernando Tauber, siempre nos allanaron el camino para que continuáramos trabajando.





## Sección 01 | **Ciudad y Energía: Modelización**



# Comparación de la demanda de energía en calefacción en Argentina y otros países

Jorge D. Czajkowski.

## 1. Resumen

Diversos trabajos muestran que en la Argentina el consumo de energía en calefacción es alto en relación a otros países y también que la calidad energética edilicia tiende a reducirse con el transcurrir de los años. Esto conlleva a una preocupante insustentabilidad del hábitat construido producto de una ineficiencia energética creciente. Así se busca por una parte construir indicadores de consumo para poder hacer comparables trabajos realizados desde la oferta de energía y desde los sectores que la demandan. Estos últimos analizados mediante auditorías energéticas y construcción de tipos edilicios para segmentar el tejido urbano. Los resultados muestran una similitud entre valores medios de consumo generados por entes nacionales e investigaciones del sector académico.

Por otra parte la comparación con otros países muestra que por una parte el consumo medio real es similar a otros países pero con desconfort y hacinamiento y que de alcanzarse el confort y uso total de las viviendas implicaría casi triplicar el consumo nacional de gas natural. También se muestra que nuestras normas poseen exigencias similares a varios países con clima templado.

Palabras clave: demanda energía, viviendas, eficiencia energética, edificios, normas.

## 2. Introducción

La producción edilicia en la Argentina se ha realizado hasta el presente sin que se hayan incorporado en ellas técnicas adecuadas de habitabilidad higrotérmica y racionalidad energética. En función de esto este trabajo, que forma parte de los objetivos de dos proyectos de investigación que lleva adelante el LAYHS denominados: "Eficiencia energética en el Hábitat Construido" uno y "Eficiencia energética edilicia en áreas metropolitanas" financiados ambos por la ANPCyT (Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica). Mientras el primero es un proyecto en red de varios grupos de investigación nacionales el segundo con sede en la UNLP (Universidad Nacional de la Plata), integra a otros investigadores del país. Siempre con el objeto de trabajar con un objetivo común consistente en la mejora energética del hábitat. Este trabajo aborda el problema del consumo de gas natural y la construcción de indicadores.

Así, las normativas existentes, en particular las Normas IRAM (Instituto Argentino de Normalización), si bien han sido actualizadas, no son de aplicación obligatoria en estos aspectos y las prácticas parecieran apuntadas a resolver -en la mayoría de los casos- sólo la reducción del costo inicial del edificio. Queda para los usuarios sean públicos o privados resolver las deficiencias, las patologías debidas al tipo de ocupación, la reposición y mantenimiento y los altos costos operativos con sus recursos. En síntesis: costo inicial lo más bajo posible y no consideración del costo total en al ciclo de vida del edificio. Costo total que en algunos casos triplica el costo inicial.

El cuadro antes descrito incluye tanto los edificios construidos por iniciativa particular como los construidos por la iniciativa oficial en el territorio nacional. Esto abarca la totalidad del parque construido sea para habitación, salud, educación, cultura o esparcimiento, administración, turismo y comercio.

En el caso de viviendas sean de gestión pública o privada el problema adquiere toda su relevancia si se advierte que será utilizada por franjas de usuarios que están mayormente situados en lo que el INDEC denomina “bajo el límite de la pobreza”. Las tarifas de la energía (Energía eléctrica y gas natural por redes) se mantuvieron en valores congelados en el período 2001 hasta principios del 2009. Y llevó a que se presentaran perturbaciones en el consumo de energía.

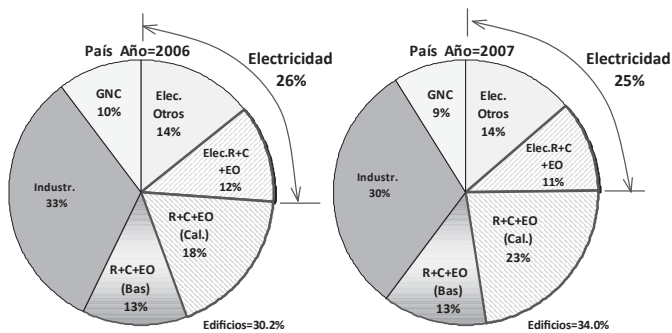


Figura 1. Consumo de gas natural en la Argentina para los años 2006/7. Fuente: ENARGAS.

En la figura 1 puede verse la distribución en el consumo de gas natural por redes en el hábitat donde en promedio el 25,5% se utilizó para generar electricidad en centrales de ciclo combinado y el 32% fue consumido por el sector edilicio. El ENARGAS - Ente Nacional Regulador del Gas, estima que un 13% corresponde a un consumo base medio anual en calentamiento de agua y cocción mientras el 20,5% corresponde a la calefacción de estos.

En la figura 2 se muestra la relación entre las temperaturas medias mensuales y el consumo específico de gas natural en el sector residencial (ENARGAS, 2009). Estos separaron a los usuarios residenciales patagónicos que cuentan con tarifas altamente subsidiadas, del resto del país, principalmente en zona templada. Puede notarse la gran

diferencia que se presenta cuando hay subsidios tanto por mayor consumo como por la dispersión. Pero en la zona templada, que mantuvo una de las tarifas más bajas del mundo hasta febrero de 2009, la dispersión es relativamente baja y tiene un crecimiento cuasi lineal con la disminución de la temperatura media mensual. Esto indica una cierta homogeneidad en el consumo que se corresponde con trabajos propios previos donde se mostraba que el modo de construcción en el país es independiente de la condición climática. Por lo tanto menor consumo específico a mayor temperatura media y viceversa.

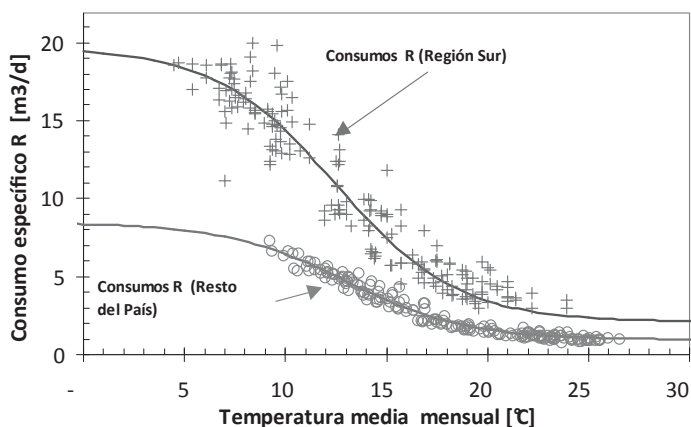


Figura 2. Variación del consumo específico de gas natural del sector residencial en Argentina en relación a la temperatura media mensual. Fuente: ENARGAS, 2009.

Entendemos que una forma de bajar el consumo específico es la “barrera tarifaria” que implementó el gobierno este año y otra es la eficiencia energética en el consumo de gas. Si acordamos con ENARGAS que prácticamente un tercio del consumo nacional de gas natural es para el funcionamiento edilicio entonces es necesario implementar políticas que tiendan a la mejora de la calidad térmica de la edificación.

En los últimos años se han realizado numerosos análisis de la demanda de energía en la Argentina con el fin de comprender el comportamiento de los usuarios a fin de tender a trazar estrategias de ahorro y uso racional del gas que puedan derivar en políticas. Lo particular es que no hubo conexión entre los análisis desde el estado, caso ENARGAS (Ente Nacional Regulador del Gas) e investigadores académicos.

Este trabajo se inicia con un primer contacto en 2008 que deviene en el inicio de una cooperación con el fin de comprender el comportamiento en la demanda de gas natural desde dos enfoques: a. un Ente que vigila y regula el consumo del gas natural y b. trabajos de investigación a nivel de trabajo de campo y auditorías energéticas en edificios.

Así, comparar la demanda de energía en calefacción en hábitat construidos diversos no es sencillo debido a diversos códigos de edificación, sistemas constructivos, modos

de uso de la energía, rigurosidad climática, entre otros. El indicador más usado en la actualidad surge de determinar la demanda total de energía por todo concepto (calefacción, refrigeración, iluminación, electrodomésticos, cocción y agua caliente sanitaria) en kWh/año o kWh/m<sup>2</sup> año.

También y a los fines estadísticos, se los toma por separado, pero la mayoría de los autores (MAIER, T. et Al, 2009) (HEIPLE & SAILOR, 2008) (TIBERIU, et A., 2008) (ASDRUB-ALI, 2008), usa esta unidad de medida de la demanda de energía circunscripta a su caso, país o región. Esto dificulta la comparación entre países.

Una alternativa consiste en eliminar el factor climático dividiendo la demanda de energía anual por los grados día de calefacción a 18° (°D) que es un indicador de la rigurosidad climática del sitio. De esta forma se pueden comparar estándares propuestos por diversos países (PREDAC) (Decreto 192; 2005) (CSTB, 2005) (CTE, 2006).

En Europa existe la Directiva 2002/91/EC que busca que cada país de la comunidad establezca estándares propios y los haga de cumplimiento obligatorio mediante Códigos de Edificación, usualmente dando el poder de policía a los municipios según corresponda.

En la Argentina existen Normas IRAM para regular la calidad térmica de la construcción pero no son de uso obligatorio. Solo la provincia de Buenos Aires posee vigente la Ley 13059/03 que hace de cumplimiento obligatorio las Normas IRAM sobre Acondicionamiento Térmico de Edificios dando el poder de policía a los municipios. A la fecha el poder ejecutivo provincial no la reglamentó y ningún municipio la incorporó a sus Códigos de Edificación.<sup>1</sup>

### **3. Objetivo**

Este artículo tiene el objetivo de encontrar indicadores de consumo de energía en edificios y poder compararlos con consumos específicos dados por entes reguladores nacionales y con valores internacionales a fin de cuantificar el estado de la calidad térmica del parque edilicio en el país.

### **4. Método**

El trabajo consta de dos partes donde a partir de una muestra de más de 500 casos de viviendas auditadas en la última década se analizan los consumos de gas y las demandas potenciales para mantenerlas en confort (18°C).

---

1 A través del Decreto 1030/10 promulgado el 2/07/2010 se aprueba la reglamentación de la Ley 13059/03. La Comisión Técnica de seguimiento realiza su primera sesión el 30 de agosto de 2011. En el caso de la obra privada la vigencia es plena desde la sanción de la ley. En el caso de la obra pública se prevee comience a implementarse en etapas, estimándose el cumplimiento efectivo y total en cinco años.

Se parte del indicador de calidad energética denominado  $G_{cal}$  (Coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas) en  $W/m^3.K$  (Norma IRAM 11604). Este indicador define la calidad térmica de un edificio y otros parámetros puede llegarse al consumo de gas natural en calefacción por grado de diferencia de temperatura con la siguiente expresión:

$$CC_{\circ C} = \frac{G_{cal} \times V \times T_{cal} \times FCV}{Pc \times \rho} \quad [\text{Eq. 01}]$$

Donde:

$CC_{\circ C}$  : Consumo de gas natural en calefacción por día y grado diferencia temperatura [ $m^3/^\circ C$  día]

$G_{cal}$  : Coeficiente Volumétrico de pérdidas de calor en calefacción [ $W/m^3.K$ ]

$V$  : Volumen interior de aire a calefaccionar [ $m^3$ ]

$T_{cal}$  : Tiempo medio de calefacción [hs/día]

$FCV$  : Factor de % calefaccionamiento vivienda [adim]

$Pc$  : Poder calorífico del gas natural [ $W/m^3$ ]

$\rho$  : Rendimiento medio sistema calefacción

#### 4.1. Viviendas, sus características

Surge de auditar viviendas relevando sus características formales, de materiales de construcción de la envolvente. Para el armado del modelo urbano edilicio se eligieron tres tipos de vivienda usuales en el gran Buenos Aires (casa compacta, departamento en propiedad horizontal bajo o en altura, viviendas grandes).

Esto a fin de simplificar la clasificación tipológica de viviendas que consistía en 17 tipos se reduce a solo tres con el fin de hacer compatible la muestra auditada con valores dados por el Censo Nacional de Población y Viviendas (INDEC 2001). Con esto se reduce a lo que denominaremos *casa compacta*, *casa grande* y *departamento*. Luego se calcula el “peso” de cada tipo en la muestra total y se obtienen valores medios muestrales para cada tipo. Esto permite estimar el peso de participación de cada tipo de vivienda en el tejido urbano.

Otro problema surge al definir un rendimiento medio en los sistemas de calefacción, dado que en las encuestas mayoritariamente se declara el uso de calefactores individuales a gas natural y lo más usual es que las viviendas utilicen tiros balanceado independientemente de la clase social. El uso de sistemas de calefacción central es bajo. En función de esto se adopta un valor medio de eficiencia de 0,5.

La Tabla 1 muestra una síntesis de valores medios de coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas  $G$ , volumen calefaccionado medio  $V_m$ , superficie calefaccionada media  $S_m$ , peso porcentual de participación en el tejido urbano en ciudades medias a grandes, el tiempo medio de calefacción según encuestas  $T_{cal}$  y el factor de % de calefacción medio de las viviendas también de encuestas.

	Gm <sub>cal</sub> W/m <sup>3</sup> °C	Vm m <sup>3</sup>	Sm m <sup>2</sup>	Peso %	Tcal hs/día	FCV adim
Casa compacta	2,98	180	67	60	12	0,45
Departamento	2,50	100	37	30	12	0,7
Casa grande	2,15	350	130	10	24	0,7

Tabla 1. Tipos de vivienda y sus características formales y térmicas.

## 5. Análisis de resultados

### 5.1. Sobre el consumo de gas natural medio en calefacción de viviendas

Se determina que los tres tipos tendrán un consumo específico de gas natural de 1,2 m<sup>3</sup>/°C día para el tipo *Casa compacta*, 0,56 m<sup>3</sup>/°C día para el tipo *Departamento*, y 2,36 m<sup>3</sup>/°C día para el tipo *Casa grande*.

Con los pesos de la Tabla 1 puede determinarse el consumo específico de gas natural en calefacción ponderado CC<sub>p</sub> según la siguiente expresión:

$$CC_{\text{ponderado}} = 0,54 \times 0,6 + 0,56 \times 0,3 + 2,36 \times 0,1 = 0,32 + 0,17 + 0,24 = 0,73 \text{ m}^3/\text{°C día}$$

[Eq. 02]

El valor de 0,73 m<sup>3</sup>/°C día, surge de auditar las características de las viviendas y realizar un cálculo a partir de valores medios. Hemos encontrado que sea en casas compactas o en departamentos hay un porcentaje no despreciable que no climatiza la vivienda o lo hace mínimamente. Por otra parte no se está considerando el efecto del aporte solar medio que se calculó en un 12% para un 30% de días soleados en los meses de invierno. Esto haría que el valor se redujera levemente.

El valor medio ponderado obtenido difiere del valor calculado por el ENARGAS de 0,56 m<sup>3</sup>/°C día. Esto muestra varias cosas: por una parte el valor medio de ENARGAS es un 30% inferior al obtenido por este trabajo mediante auditorías e implica que se calefacciona menos de lo que se ha encuestado, otra posibilidad es que la muestra auditada tiene una tendencia hacia sectores económicos medios a medios altos. Lo cual implica que es significativo el impacto de los sectores de bajos recursos que habitan viviendas de similares características tanto en dimensiones como en sistemas constructivos. La diferencia es que consumen menos y esto solo se puede lograr por menor tiempo de calefacción, menor superficie calefaccionada y por ende temperaturas medias interiores muy por debajo de un confort a 18°C, entre otras posibles hipótesis.



## 5.2. Sobre la demanda media anual de gas en calefacción de viviendas

Dado que en la Argentina no hay obligatoriedad en el cumplimiento de las Normas que tenderían a regular la calidad térmica edilicia, se presentan tres escenarios distintos para mostrar la demanda media anual por unidad habitacional en el Área Metropolitana de Buenos Aires con acceso a gas natural por red.

a. La demanda de energía por unidad habitacional suponiendo que se encuentra en confort térmico (18 a 20 °C) a lo largo de 24 horas en todo el período frío calefaccionando el 90% de la superficie cubierta. La denominaremos **Argentina a**.

b. La demanda de energía “real” que surge de auditorías energéticas realizadas a lo largo de 20 años en la región. Donde solo se calefacciona parte de la vivienda y la temperatura media interior es sensiblemente inferior y no alcanza el confort. Lo denominaremos **Argentina b**.

c. La demanda de energía si la vivienda media cumpliera con la Norma IRAM 11604 sobre “Ahorro de energía en calefacción”. Lo denominaremos **Argentina IRAM 11604**.

En la Figura 3 se muestra la comparación donde puede verse claramente que la vivienda media que representa a las más de 3,62 millones de viviendas del AMBA (CZA-JKOWSKI; et Al, 2003) es un 28% (0,32 kWh/m<sup>2</sup>.°D año) más ineficiente que una vivienda media española (0,23 kWh/m<sup>2</sup>.°D año) y un 93% más ineficiente que una vivienda alemana (0,023 kWh/m<sup>2</sup>.°D año).

Siempre tomando la vivienda media construida según los Códigos de Edificación vigentes en la región. Dado que en ninguna ciudad de la Argentina hay exigencias para regular la calidad térmica de la construcción podemos asumir a **Argentina a** como un valor medio nacional.

Pero en la misma figura se muestra **Argentina b** que es la misma vivienda media en su condición “real” de funcionamiento según surge de auditorías en el AMBA (CZA-JKOWSKI; et Al, 2003) (ROSENFELD; et Al, 2003) y claramente se está consumiendo casi  $\frac{1}{3}$  de lo que necesitaría para mantenerse en lo que se denomina temperatura de termostato a 20°C.

¿Porque una diferencia de 0,11 a 0,32? Pues por múltiples razones entre las que se encuentran: imposibilidad económica de calefaccionar todos los ambientes que lleva a sectorizar la vivienda entre zona de uso diurno y nocturno; desconfort higrotérmico, habiéndose medido temperaturas internas medias semanales entre 10 a 16 °C; uso de sistemas de calefacción individuales ineficientes; solo se calefacciona mientras la vivienda está ocupada; uso de sistemas constructivos para muros, techos y vidriados de muy mala calidad térmica. Así la vivienda “real” con infraconsumo energético y desconfort higrotérmico se encuentra a solo un 27% de cumplir con las Normas IRAM si fueran de cumplimiento obligatorio.

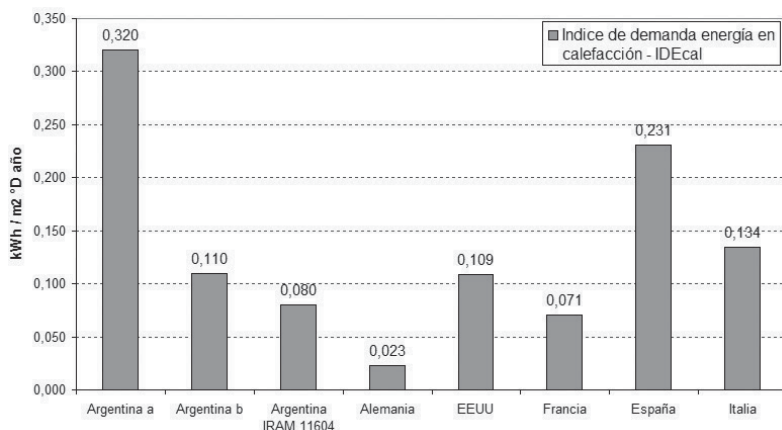


Figura 3. Comparación de la demanda de energía en viviendas tipo medias de Argentina y otros países.

Lograr hacer cumplir las Normas IRAM permitiría una reducción potencial de la demanda de energía en calefacción cercana al 27%, con el valor agregado de alcanzar el confort ahorrando energía, permitiendo ocupar la totalidad de la vivienda y *minimizando* la necesidad de utilizar sistemas de refrigeración en verano (CZAJKOWSKI; CORREDERA, 2003).

### 5.3. Comparación entre países

Por lo expuesto no es sencillo comparar nuestra realidad con la de otros países donde las normas son de cumplimiento obligatorio. ¿Que indicador utilizamos?

**Argentina a** es como se construye sin regulación térmica y es muy ineficiente respecto de países como Italia, Francia, EEUU o Alemania y un poco más cercana a las actuales exigencias de España. Si comparamos lo que una familia en una vivienda promedio demanda, **Argentina b**, es similar a EEUU, Italia, y mucho menos que España; pero distante de Alemania y Francia.

Si las Normas IRAM fueran de cumplimiento obligatorio en los 5 conglomerados urbanos más importantes del país, que contienen 4,58 millones de viviendas [INDEC 2001], la demanda sería similar a una vivienda francesa y mejor que una española, italiana y norteamericana aunque un 71% menos exigente que una vivienda alemana.

## 6. Conclusiones

Existe gran resistencia a convertir de cumplimiento obligatorio las normas nacionales, sin debatir sobre los costos y beneficios que significaría su implementación. Por una parte se tendería en el tiempo a reducir la pendiente de la demanda permitiendo a las familias alcanzar el confort higrotérmico, hacer uso de la totalidad de la vivienda y que la factura de gas natural impacte menos en el presupuesto familiar.

Respecto a viviendas nuevas el sobrecosto no sería superior al 1 a 2,5% dependiendo de que las medidas de mejoramiento térmico sean aplicados a viviendas unifamiliares o multifamiliares (CZAJKOWSKI, et Al, 2008).

Dado que habría que introducir innovaciones en el modo de construir, llevaría a una mayor diversificación de la demanda de materiales, de capacitación de la mano de obra y profesionales, entre otros. Una vivienda bien aislada térmicamente reduce costos de mantenimiento ya que se evita el humedecimiento de muros y techos logrando una mayor durabilidad en terminaciones. Es una espiral virtuosa que genera demanda y movimiento económico permitiendo ahorrar recursos energéticos no renovables.

Los indicadores elaborados facilitan la comparación de consumo real y consumo potencial de gas natural en calefacción. Permitiría facilitar la construcción de modelos de consumo de energía para que los entes de regulación puedan implementar políticas adecuadas para el ahorro de energía. Son un aporte más a los trabajos que se vienen realizando a fin de consensuar mecanismos y procedimientos de etiquetado energético de edificios en el mediano plazo.

## 6. Referencias

- MAIER, T., KRAZACZRK, M., J. TEJCHMAN, J. *Comparison of physical performances of the ventilation systems in low-energy residential houses*. Energy and Buildings 41 (2009) 337–353 {Alemania}
- HEIPLE Shem, SAILOR David J. *Using building energy simulation and geospatial modeling techniques to determine high resolution building sector energy consumption profiles*. Energy and Buildings 40 (2008) 1426–1436. {EEUU}
- TIBERIU Catalina, VIRGONE Joseph, BLANCO Eric. *Development and validation of regression models to predict monthly heating demand for residential buildings*. Energy and Buildings 40 (2008) 1825–1832 {Francia}
- ASDRUBALI, F.; BONAUT, M.; M. BATTISTI, M. VENEGAS. *Comparative study of energy regulations for buildings in Italy and Spain*. Energy and Buildings 40 (2008) 1805–1815 {Italia y España}
- PREDAC project. Guide for a Building Energy Label.

- Decreto Italiano no. 192/05. (modificado por Decreto no. 311/06)
- CSTB, Reglementation Thermique 2005, 2005
- CTE - Código Técnico de Edificación España. Marzo 2006.
- IRAM, Instituto Argentino de Normalización. *Normas 11601, 11603, 11604, 11605, 11625, 11630, 11659-1-2*
- CZAJKOWSKI, J.; CORREDERA, C.; SAPOSNIK, M. (2003) *Análisis de la relación entre demanda de gas natural en calefacción según "EnergoCAD" y consumos reales en viviendas unifamiliares del gran La Plata*. En Avances en energías renovables y medio ambiente. Edit. INENCO-UNSa, Salta. ISSN 0329-5184. Vol: 7, Tomo 1, 6 Pág.
- ROSENFELD, E; DISCOLI, C.; MARTINI, I.; CZAJKOWSKI, J.; SAN JUAN, G.; BARBERO, D.; FERREYRO, C.; CORREDERA, C.; DIAZ, C. (2003). *El uso de la energía en el sector residencial del gran La Plata. Discriminación de consumos, cambios tecnológicos y opinión de los usuarios en las décadas del '80 y '90*. En Avances en energías renovables y medio ambiente. Edit. INENCO-UNSa, Salta. ISSN 0329-5184. Vol: 7, Tomo 1, 6 Pág.
- CZAJKOWSKI, C. DISCOLI, C. CORREDERA y E. ROSENFELD. (2003). *Comportamiento energético ambiental en viviendas del gran La Plata*. En Avances en energías renovables y medio ambiente. Edit. INENCO-UNSa, Salta. ISSN 0329-5184. Vol: 7, Tomo 1, 6 Pág.
- CZAJKOWSKI, J. y CORREDERA C. (2007) *Ahorro de energía en refrigeración de edificios para viviendas y propuesta de indicadores de eficiencia y valores admisibles. Avances en energías renovables y medio ambiente*. Edit. INENCO-UNSa, Salta. ISSN 0329-5184. Vol: 10, Tomo 1, Pág.
- CZAJKOWSKI, J.; GÓMEZ, A. y BIANCIOTTO, M.G. (2008) *Comportamiento térmico de viviendas sociales mediante incorporación de mejoras de diseño en la envolvente. Avances en energías renovables y medio ambiente*. Edit. INENCO-UNSa, Salta. ISSN 0329-5184. Vol: 12, Tomo 1.

Artículo publicado en las Actas del X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído (X ENCAC / VI ELACAC). Natal, Brasil. Septiembre de 2009. Organizado por la Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC)

# **Modelo metodológico de análisis tipológico energético-ambiental basado en tipos edilicios ideales y matriz de datos auditados**

Carolina S. Vagge , Jorge D. Czajkowski.

## **1. Resumen**

Este trabajo plantea una metodología de análisis a partir de procedimientos estadísticos a fin de poder validar la hipótesis de que los diferenciales de tejido urbanos a modo de tipos edilicios con pesos y atributos serían un indicador útil para explicar comportamientos y tendencias históricas. Para elaborar posteriormente un modelo predictivo que ayudará a entender comportamientos y demandas futuras de energía para facilitar no sólo una predicción por escenarios a mediano plazo, sino también mejorar la visualización de las tendencias a quienes toman las decisiones. A través de la aplicación de esta metodología sobre el sector residencial de la ciudad de La Plata, se busca construir indicadores e índices de consumo de energía típico, relación vidrio opaco y calidad térmica edilicia que describan el hábitat objeto de estudio en particular y, que aplicada como procedimiento, pueda servir para otros casos de análisis.

Palabras clave: modelo, tipo edilicio ideal, levantamiento catastral, consumo de energía

## **2. Introducción**

La explosión demográfica de los últimos 100 años es un fenómeno sin precedentes en la historia de la humanidad. Hacia 1900, solo el 14 % de la población vivía en ciudades, un total de 200 millones de personas. A principios del siglo XXI el 50 % de la población mundial es urbana con un estimado de 3.000 millones de personas. Pero la gran explosión demográfica del futuro próximo tendrá lugar en los países en vías de desarrollo. El banco mundial prevé que el 80% de la población de esos países vivirá en ciudades en el 2025 (Gauzin-Muller, 2002).

El crecimiento urbano fue de tal magnitud que en el plazo de 30 años el hombre ha edificado tanto como en toda su historia previa. Se estima que será necesario construir el equivalente a 1000 ciudades de tres millones de habitantes en los próximos 40 años, principalmente en los países en vías de desarrollo. Tal perspectiva da un sentido concreto de la necesidad de dotar a la edificación y planificación urbana mundial futura de una lógica cercana al desarrollo sostenible, debiéndose plantear a largo plazo (Santamouris, 2001).

La ciudad de La Plata fue fundada en 1882 por el Gobernador Dr. Dardo Rocha, para cumplir la función de Capital de la provincia de Buenos Aires. El sitio elegido se situaba a 60 Km. al sudeste de la ciudad de Buenos Aires y a unos 8 Km. del Río de La Plata, permitiendo una fácil comunicación con la Capital Federal y la posibilidad de contar con un puerto. Una de sus características principales es haber sido diseñada de acuerdo a un plan previo a partir de las ideas del siglo XIX. El plan regional constaba de tres elementos: Casco Urbano, Zona de chacras y quintas, y el puerto.

La estructura de la ciudad se conforma por un eje fundacional definido por dos avenidas que conectan el puerto con el interior del país, un sistema de espacios verdes, avenidas ortogonales y diagonales, y un sistema de anillos periféricos productivos de abastecimiento local. Sin embargo, la compra indiscriminada de parcelas dió origen a la suburbanización, distorsionándose de este modo la traza original de la ciudad.

Por otra parte las primeras regulaciones urbanísticas de la época fueron de carácter general, estableciéndose como criterio urbanístico una clara diferenciación entre lo público y lo privado. Los edificios públicos, de carácter institucional se implantaron en el centro de la manzana. En cambio la edificación privada se materializó, en general, a través de la *casa chorizo*, dando como resultado un lenguaje de fachada uniforme. Posteriormente la adopción masiva de la *casa cajón* reemplazó esta tipología (Curtit, 2003).

El objetivo de este trabajo es plantear un método de análisis tipológico a partir de la construcción de un tipo ideal para poder determinar la demanda potencial de energía. Para de este modo poder reorientar el comportamiento de las actuales conurbaciones hacia bases más sostenibles, modelizar su funcionamiento, replantearlo, y seguir los cambios que se operen en las cantidades de recursos y de territorio que se venían dilapidando, directa o indirectamente, en aras de la sostenibilidad local de las mismas. La modelización del comportamiento de los sistemas urbanos y el establecimiento de baterías de indicadores que faciliten su comparación y seguimiento, deben de apoyarse mutuamente (Naredo, 1997).

### 3. Metodología

Para la realización de este trabajo se partió de un relevamiento fotográfico de 300 viviendas de la ciudad de La Plata, que se llevó a cabo durante los meses de Julio y Agosto de 2009. A partir de este relevamiento se seleccionaron dos fotografías, correspondientes a las tipologías Casa Chorizo y Casa Cajón. Al mismo tiempo se identificaron satelitalmente con el programa Google Earth (Figuras 2 y 3), de este modo pudieron obtenerse, a partir de las fotos, los datos referidos al tipo; dimensiones, forma, materialidad y tecnología, como también la medida del lote, el área y el perímetro de la vivienda (Figura 1).

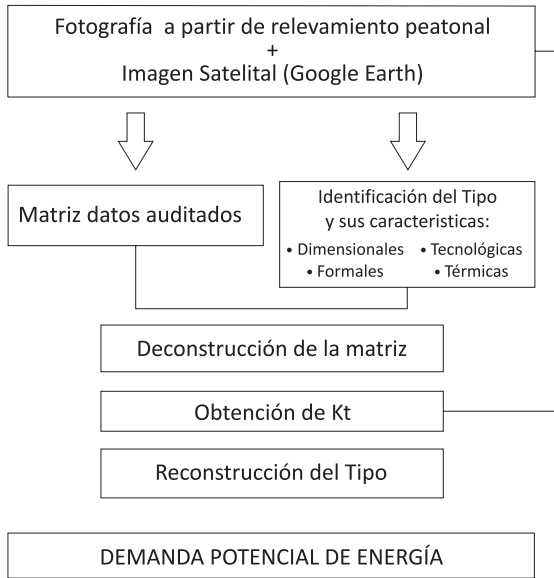


Figura1. Gráfico de flujos del modelo propuesto.



Figura 2 y 3. Relevamiento fotográfico y satelital de las tipologías analizadas. Arriba tipología *Casa Chorizo*. Abajo tipología *Casa Cajón*.

### 3.1. Construcción del Tipo Ideal

Entendemos al tipo ideal (Hughes, 1988) (Czajkowski, 1994) como un espacio de atributos cuali-cuantitativo de  $n$  dimensiones, que sintetiza el valor medio y la desviación standard de un conjunto de variables que definen al tipo edilicio y su desempeño energético; como ser, formas constructivas (superficies, volumen, altura de locales) y térmicas (transmitancia térmica), participación porcentual de diversas soluciones constructivas de techos, muros, aberturas y consumos de energía auditados (Czajkowski, 2009).

Del análisis de los tipos seleccionados a partir del relevamiento peatonal, y del catálogo de tipologías (Rosenfeld y Czajkowski, 1992) se construyó un tipo ideal (Figura 4) del cual se obtuvieron los pesos relativos a la relación entre superficies de cada componente constructivo al total de la envolvente:

*Casa Chorizo*: muros expuestos (31 %), muros en contacto con espacio no calefaccionado (27%) ventanas (4 %), puertas (1%) y cubierta (37 %).

*Casa Cajón*: muros expuestos (50 %), muros en contacto con espacio no calefaccionado (5,5 %) ventanas (2,5 %), puertas (2%) y cubierta (40 %).

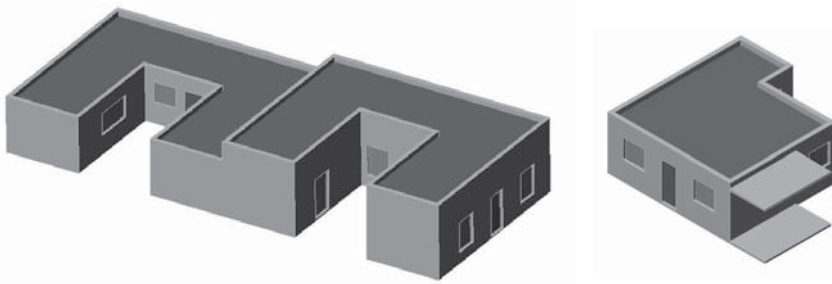


Figura 4. Modelos ideales de las tipologías *Casa Chorizo* (Izquierda) y *Casa Cajón* (Derecha).

Luego, para cada tipología se fijaron los distintos valores de transmitancia térmica de cada elemento de la envolvente, dejando como incógnita el valor de transmitancia térmica de techos ( $K_t$ ). Si bien es la parte de la envolvente donde se producen las mayores pérdidas en invierno y las mayores ganancias en verano, resultó de gran dificultad poder establecer la solución constructiva de este elemento. Las imágenes satelitales permiten observar cuál es el tipo de cubierta, sin embargo no puede conocerse con mayor precisión cuál es el grado de aislamiento térmico.

Para la obtención de los valores de transmitancia térmica de los distintos elementos de la envolvente, se partió del análisis de casos auditados:



- *Casa Chorizo*: muros expuestos  $K= 1,9 \text{ W/m}^2.\text{K}$ , muros en contacto con espacio no calefaccionado  $K= 0.95 \text{ W/m}^2.\text{K}$ , ventanas  $K= 5 \text{ W/m}^2.\text{K}$  y puertas  $K=3,5 \text{ W/m}^2.\text{K}$ .

- *Casa Cajón*: muros expuestos  $K= 2,21 \text{ W/m}^2.\text{K}$ , muros en contacto con espacio no calefaccionado  $K= 1,1 \text{ W/m}^2.\text{K}$ , ventanas  $K= 5 \text{ W/m}^2.\text{K}$  y puertas  $K=3,5 \text{ W/m}^2.\text{K}$ .

Posteriormente esta información se cruzó con la base de datos de auditorías realizadas en distintos proyectos por el LAYHS. En las auditorías se realizó una encuesta detallada al grupo familiar, se relevaron las características dimensionales y constructivas de la vivienda, se consignaron los consumos de energía y las opiniones sobre su uso.

En el caso de la tipología *Casa Chorizo*, se trabajó sobre 23 casos, y en el caso de la tipología *Casa Cajón* se trabajó con una muestra de 57 casos auditados. Se tomaron dimensiones de los distintos casos, los valores de  $G$  [Eq. 01] y el número de renovaciones de aire, que para ambas tipologías se fijó en  $n=1,5$ . De este modo pudo despejarse el valor ponderado de transmitancia térmica del techo para cada tipología [Eq. 02].

$$G = \frac{K_{me} \times S_{me} + K_{mp} \times S_{mp} + K_v \times S_v + K_t \times S_t + K_p \times S_p}{Vol.} + 0.35 \times n \quad [\text{Eq. 01}]$$

$$K_t = \frac{(G - 0.35 \times n) \times Vol - K_{me} \times S_{me} - K_v \times S_v - K_p \times S_p}{S_t} \quad [\text{Eq. 02}]$$

Donde:

$G$ : coeficiente global de pérdidas térmicas ( $\text{W/m}^3.\text{K}$ )

$K_{me}$ : transmitancia térmica cerramiento opaco vertical en contacto con el exterior ( $\text{W/m}^2.\text{K}$ )

$S_{me}$ : área de cerramiento opaco vertical en contacto con el exterior ( $\text{m}^2$ )

$K_{mp}$ : transmitancia térmica cerramiento opaco vertical en contacto con volumen no calefaccionado ( $\text{W/m}^2.\text{K}$ )

$S_{mp}$ : área de cerramiento opaco vertical en contacto con volumen no calefaccionado ( $\text{m}^2$ )

$K_v$ : transmitancia térmica cerramiento vidriado ( $\text{W/m}^2.\text{K}$ )

$S_v$ : área de cerramiento vidriado ( $\text{m}^2$ )

$K_t$ : transmitancia térmica cerramiento opaco horizontal ( $\text{W/m}^2.\text{K}$ )

$S_t$ : área de cerramiento opaco horizontal ( $\text{m}^2$ )

$K_p$ : transmitancia térmica carpintería opaca ( $\text{W/m}^2.\text{K}$ )

$S_p$ : área de carpintería opaca ( $\text{m}^2$ )

0,35: calor específico del aire ( $\text{W/m}^3.\text{K}$ )

$n$ : número de renovaciones de aire promedio por hora.

$Vol$ : volumen del edificio ( $\text{m}^3$ )

## 4. Resultados

La Tabla 1 muestra los valores mínimos, máximos y de tendencia central para las transmitancias térmicas de techo ( $K_t$ ) de los casos auditados, obtenidas a partir de la Ecuación 2. Esta tabla también permite observar con que frecuencia la variable  $K_t$  se repite dentro de cada rango de valores. Previamente se calcularon los valores mínimos y máximos.

Para preparar la tabla de frecuencia para un histograma, primero se estableció el número de intervalos que se deseaba tener en cada uno de los casos: se determinaron 5 rangos de datos para ambas situaciones. Luego, se determinó el ancho común de los intervalos. Para esto, se calculó la diferencia entre el dato mayor y el menor para cada uno de los casos, y se dividió entre el número de intervalos deseados para cada caso. Finalmente, se determinó el límite superior de cada intervalo: como límite superior del primer intervalo, se seleccionó un valor mayor que el dato menor para que no quede vacío, en el caso de la casa chorizo fue 1,57 y en la cajón 1,2.

$x_i$	$n_i$	$f_i$	$p_i$		$x_i$	$n_i$	$f_i$	$p_i$	
1.57	4	4/23	18%		1.2	8	8/57	15%	
2.17	5	5/23	19%		2.4	21	21/57	37%	
2.77	8	8/23	35%		3.6	22	22/57	38%	
3.37	3	3/23	14%		4.8	3	3/57	5%	
3.97	3	3/23	14%		6	3	3/57	5%	
N=23 $\sum f_i=1$ $\sum p_i=100\%$					N=57 $\sum f_i=1$ $\sum p_i=100\%$				
<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>DESVEST</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>DESVEST</b>
0.97	3.89	2.32	2.29	0.81	0.25	6.27	2.41	2.17	1.33

Tabla 1. Frecuencia de la variable  $K_t$ . Casa Chorizo (Izquierda) y Casa Cajón (Derecha).

$x_i$ : rango en el que aparece en el estudio este valor |  $n_i$ : frecuencia absoluta

$f_i$ : frecuencia relativa |  $p_i$ : porcentaje | N: número de la muestra.

Por su parte, los histogramas de las Figuras 5 y 6 muestran los polígonos de frecuencias de la variable  $K_t$ . Puede observarse que los valores de tendencia central se encuentran en el intervalo con mayor frecuencia, por lo tanto se puede inferir que son representativos. A partir de este procedimiento se obtuvieron valores ponderados de  $K_{t \text{ chorizo}} = 2,32 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  y  $K_{t \text{ cajon}} = 2,41 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  (Tabla 2 y 3). Luego estos valores se reemplazaron en la Ecuación 01, obteniéndose de este modo un  $G_{\text{chorizo}} = 1,52 \text{ W/m}^3 \cdot \text{K}$  y  $G_{\text{cajon}} = 2,09 \text{ W/m}^3 \cdot \text{K}$  (Tablas 2 y 3).

### 4.1. Reconstrucción del Tipo

Con los valores de K de techo ponderado para cada una de las tipologías, ( $K_{t \text{ chorizo}} = 2,32 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  y  $K_{t \text{ cajon}} = 2,41 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ) más la información de base de datos auditados mencionados anteriormente, y la información del relevamiento fotográfico y satelital a partir de Google Earth se calculó el área, altura media de la vivienda, volumen, área

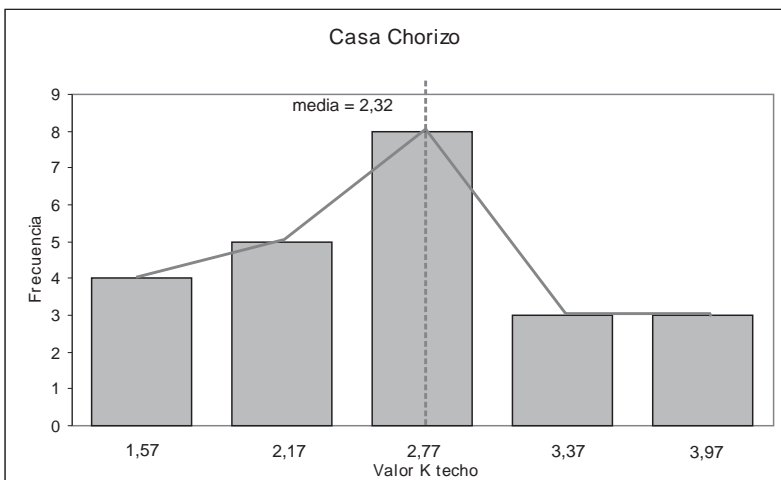


Figura 5. Histograma de frecuencia de variable  $K_t$  de tipología *Casa Chorizo*.

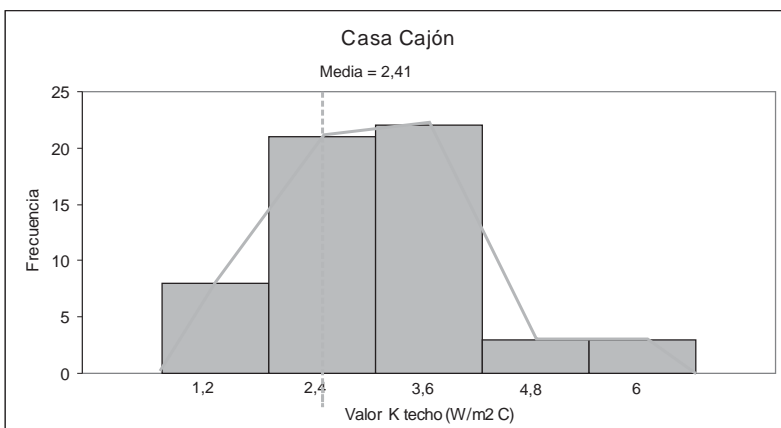


Figura 6. Histograma de frecuencia de variable  $K_t$  de tipología *Casa Cajón*.

AH	Alt. Local	Volumen	Aenv	Aexp	Co	Ff	Fe	K Techo	G
m <sup>2</sup>	m	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	Co=AH/AE	f=AH/Vol	AExp/Aenv	W/m <sup>2</sup> .k	W/m <sup>3</sup> .k
263	3.5	920	695	558	0.38	0.28	0.8	<b>2.32</b>	<b>1.52</b>

Tabla 2. Síntesis de valores  $K_t$  ponderado y  $G$  para *Casa Chorizo*.

AH	Alt. Local	Volumen	Aenv	Aexp	Co	Ff	Fe	K Techo	G
m <sup>2</sup>	m	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	Co=AH/AE	f=AH/Vol	AExp/Aenv	W/m <sup>2</sup> .k	W/m <sup>3</sup> .k
60	2.5	150	140	117.5	0.42	0.4	0.83	<b>2.41</b>	<b>2.09</b>

Tabla 3. Síntesis de valores  $K_t$  ponderado y  $G$  para *Casa Cajón*.

envolvente, factor de compacidad de la vivienda, factor de forma, factor de exposición y coeficiente de pérdidas térmicas. Luego, con el programa Auto-Cad 3D pudo reconstruirse cada una de las tipologías (Figura 7).

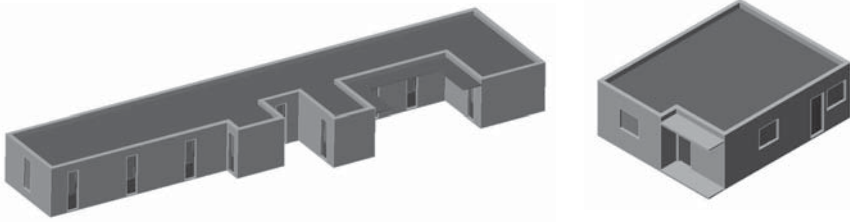


Figura 7. Reconstrucción de las tipologías del relevamiento peatonal. *Casa Chorizo* (Izquierda) y *Casa Cajón* (Derecha).

## 4.2. Demanda de Energía

Para el análisis de los valores de consumo de energía, se tomaron de los casos auditados de ambas tipologías los valores de energía primaria. Para simplificar el proceso de clasificación, como muestra la Tabla 5, se discriminó la variable consumo de energía primaria en forma tricotómica (Czajkowski 2009): 0-0.0150 TEP/m<sup>2</sup> (Bajo); 0.0150-0.0250 TEP/m<sup>2</sup> (Medio) y + 0.0250 TEP/m<sup>2</sup> (Alto).

Al igual que como ocurrió con la variable transmitancia térmica de techo, los valores promedio de consumo de energía se encuentran dentro de los rangos de mayor ocurrencia de los datos. Por lo tanto se pueden tomar como valores ponderados ya que son representativos de las muestras.

$x_i$	$n_i$	$f_i$	$p_i$	
0-0.0150	12	12/23	53%	
0.0150-0.0250	10	10/23	43%	
+ 0.0250	1	1/23	4%	
N=23		$\sum f_i=1$	$\sum p_i=100\%$	
Min.	Max.	Media	Mediana	DESVEST
0.004	0.029	0.015	0.014	0.007

$x_i$	$n_i$	$f_i$	$p_i$	
0-0.0150	23	23/57	40%	
0.0150-0.0250	27	27/57	48%	
+ 0.0250	7	7/57	12%	
N=57		$\sum f_i=1$	$\sum p_i=100\%$	
Min.	Max.	Media	Mediana	DESVEST
0.004	0.033	0.018	0.018	0.007

Tabla 4. Frecuencia de la variable consumo de energía. *Casa Chorizo* (Izq.) y *Casa Cajón* (Der.)  
 $x_i$ : rango en el que aparece en el estudio este valor |  $n_i$ : frecuencia absoluta  
 $f_i$ : frecuencia relativa |  $p_i$ : porcentaje | N: número de la muestra.

El histograma de la Figura 8 muestra un polígono de frecuencia, para la tipología *Chorizo*, alabeado a la derecha con la cola a la derecha, que indica que valor promedio de consumo de energía TEP/m<sup>2</sup>, se encuentra dentro del rango 0-0.0150 TEP/m<sup>2</sup> (Bajo). Por su parte el histograma de la Figura 9 muestra un polígono de frecuencia, para la tipología *Cajón* que indica un valor promedio dentro del rango 0.0150-0.0250 TEP/m<sup>2</sup> (Medio).

Los gráficos de la Figura 10 muestran qué porcentaje de las viviendas auditadas entra en cada rango. En el caso de la tipología *Chorizo* la mayoría de los casos corresponde a un consumo bajo con el 53 %. Mientras que para el tipo *Cajón* el mayor porcentaje de viviendas muestra un consumo medio (48 %).

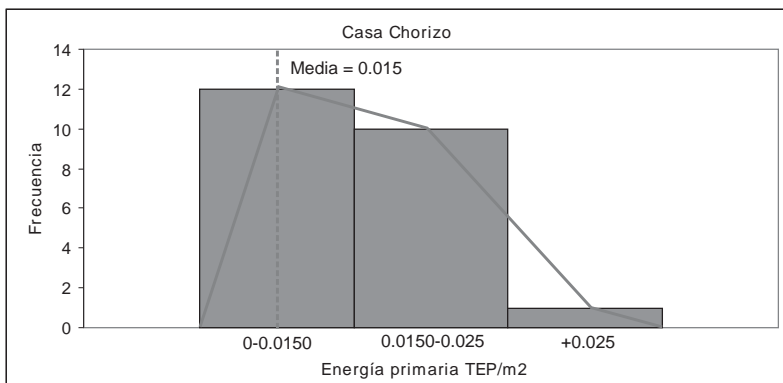


Figura 8. Histograma de frecuencia de variable Energía primaria TEP/m<sup>2</sup> para *Casa Chorizo*.

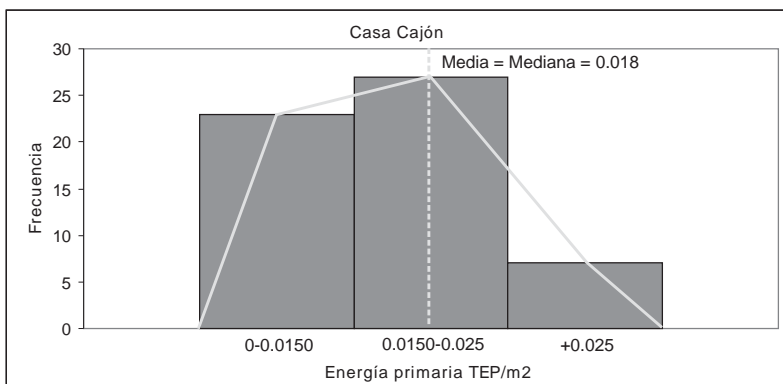


Figura 9. Histograma de frecuencia de variable Energía primaria TEP/m<sup>2</sup> para *Casa Cajón*.

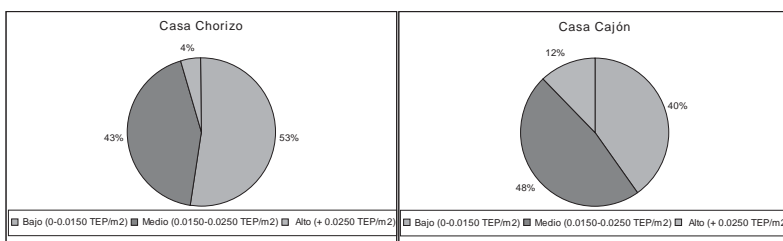


Figura 10. Porcentajes de consumo de energía primaria de las tipologías analizadas.

## 5. Conclusiones

El trabajo permitió, mediante el relevamiento fotográfico satelital y peatonal, obtener datos relevantes característicos de los elementos que constituyen la envolvente de cada tipología. Asimismo pudieron inferirse valores de transmitancia térmica de techos, para luego calcular un G según tipo.

Por otra parte pudieron estimarse valores medios de consumo de energía primaria para las distintas tipologías analizadas, *casa chorizo* y *cajón*, observándose que en ambas tipologías predominan consumos de energía bajos y medios.

Con este trabajo se busca desarrollar un método que permita analizar de forma sistémica las distintas variables de los tipos que conforman el tejido urbano, y de este modo obtener índices de consumo de energía típicos.

El desarrollo de herramientas de diagnóstico energético, apoyada en bases de datos de redes edilicias, permitirá mejorar el proceso de diseño y gestión de redes urbanas.

## 6. Referencias

- Hughes, M; Griffon, B.; y Bouveyron, C. (1988). *Segmentación y Tipología*. Edit. Saltés, Madrid.
- Czajkowski, J. y Rosenfeld, E. (1994). *Evaluación del comportamiento energético de hospitales de complejidad media en la región del gran La Plata*. Actas ASADES 17, Rosario. Pág 463-472.
- Rosenfeld, E. y Czajkowski, J. (1992) *Catálogo de tipologías de viviendas urbanas en el área metropolitana de Buenos Aires. Su funcionamiento energético y bioclimático*. Instituto de Estudios del Hábitat, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de La Plata. La Plata.
- Naredo, J.M. (1997) *La "ciudad sostenible": Resumen y Conclusiones* [en línea]: [fecha de consulta: 1 de mayo de 2010] Disponible en: <http://habitat.aq.upm.es/cs/p2/a010.html>.
- Czajkowski, J. (1999). *Programa AuditCAD para el análisis del comportamiento energético edilicio basado en auditorías energéticas y de confort*. Anais del V Encontro de Conforto no Ambiente Construido.
- Santamouris, M. (2001). *Passive Cooling of Buildings*. James&James, Londres.
- Gauzin-Muller, D. (2002). *Arquitectura Ecológica, 29 ejemplos europeos*. Gustavo Gilli, Barcelona.

- Curtit, G. (2003). *Ciudad, gestión local y nuevos desafíos ambientales. Reflexiones entorno a las políticas neoliberales y sus efectos sobre nuestro territorio. Estudio de caso: eje de crecimiento noroeste de la ciudad de La Plata*. CIAM-Espacio, Buenos Aires.
- Czajkowski, J. (2009). Tesis de Doctor. Facultad de Ingeniería: *Análisis y modelización energético-ambiental de la edificación urbana basado en técnicas de auditoría y procedimientos estadísticos multivariados. Desarrollo de herramientas de diagnóstico y simulación*. La Plata, UNLP.

Artículo publicado en las Actas del XXXIII Congreso de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (ASADES 2010).

Cafayate, Salta, Argentina. Noviembre de 2010. pp 08.43 – 08.49.





# **Modelización energético-ambiental de la edificación urbana basado en técnicas de auditoría y procedimientos estadísticos multivariados**

Jorge D. Czajkowski.

## **1. Resumen**

El trabajo que se presenta es parte de una tesis de Doctorado en Ingeniería de la UNLP ya defendida. Se sustenta en numerosos proyectos de investigación que permitieron auditorías energéticas masivas en el área metropolitana de Buenos Aires (2000 casos encuestados, 330 auditorías globales y 95 detalladas), localidad de Río Turbio - Santa Cruz (350 viviendas y otros edificios), provincia de Buenos Aires (64 viviendas) y diversos hospitales, escuelas y edificios administrativos del gran La Plata. Pretende generar un diagnóstico del comportamiento energético de sectores urbanos y junto a la propuesta de medidas correctivas. En el tiempo fueron pasando sucesivas crisis energéticas sin haberse implementado acciones eficaces. Pero las crisis son cíclicas aunque con condiciones levemente diferentes en cada una. Hoy se percibe en el mediano plazo una crisis ambiental derivada, entre otras, del mal uso y derroche energético, principalmente en sectores urbanos. En estos se emiten buena parte de los contaminantes atmosféricos y que en el caso de la región metropolitana de Buenos Aires alcanza a  $91 \times 10^8$  Kg/año de  $\text{CO}_2$  y  $0,07 \times 10^8$  Kg/año de  $\text{NO}_x$ . Estos sólo en acondicionamiento ambiental edilicio. A esto se suma el desconfort higrotérmico, ya que se ha encontrado que existen sectores que por mal diseño no alcanzan el confort derrochando recursos y otros que no alcanzan el confort por Infra-consumo energético. De las conclusiones de los proyectos surge que existe una carencia cultural y profesional en cuanto al ahorro energético, el uso racional de la energía, el diseño climáticamente consciente y del uso de fuentes renovables de energía. Pasados veinte años el problema subsiste en nuestro país, mientras en EE.UU., Francia, Escandinavia, Alemania y hasta Brasil lograron cubrir el crecimiento poblacional con una estabilización o leve disminución de la demanda energética, aquí sucede lo opuesto. Se detectó que a pesar que desde principios de siglo la oferta de tecnología constructiva aumenta, la calidad energética de los edificios disminuye. El objetivo principal fue sistematizar la experiencia metodológica, técnica y de desarrollo de instrumentos y herramientas para la auditoría-diagnóstico energético ambiental de edificios en sectores urbanos. Sumado a la construcción de modelos de ahorro de energía en calefacción y refrigeración para la República Argentina. Modelos que en su uso lleven a la proposición de estándares de calidad energética edilicia.

Palabras clave: eficiencia energética, edificios, áreas metropolitanas, modelo energético, tipología, auditoría energética.

## 2. Introducción

Se han realizado en el país numerosos proyectos tendientes a lograr un diagnóstico del comportamiento energético de sectores urbanos, algunos ya mencionados y habiéndose cuantificado yacimientos de ahorro de energía en climatización y propuesto medidas correctivas; pasadas las crisis energéticas no se implementaron acciones. De haberse implementado hubieran sido necesarios: un Código Técnico de Edificación basado en la eficiencia energética edilicia que forme parte de los Códigos Municipales en toda construcción para habitación humana; el cumplimiento obligatorio de las Normas IRAM sobre Acondicionamiento Térmico de Edificios; la obligatoriedad de usar calentadores solares térmicos para cubrir total o parcialmente la demanda de agua caliente sanitaria; sistemas de calefacción (district heating) y refrigeración (tap warm water) distrital, sistemas de acumulación freática, junto a un marco legal. Pero las crisis son cíclicas aunque con condiciones levemente diferentes en cada una. Hoy se percibe en el mediano plazo una crisis ambiental derivada entre otras del mal uso y derroche energético, principalmente en sectores urbanos. En estos se emiten buena parte de los contaminantes atmosféricos y que en el caso de la región metropolitana de Buenos Aires alcanza a  $91 \times 10^8$  Kg/año de  $\text{CO}_2$  y  $0,07 \times 10^8$  kg/año de  $\text{NO}_x$  (Rosenfeld et al, 1996). A esto se suma el discomfort higrotérmico, ya que se ha encontrado que existen sectores que por mal diseño no alcanzan el confort derrochando recursos y otros que no alcanzan el confort por infra-consumo energético. De las conclusiones de los proyectos surge que existe una carencia cultural y profesional en cuanto al ahorro energético, el uso racional de la energía, el diseño climáticamente consciente y el uso de fuentes renovables de energía (Rosenfeld et al, 2000). Parece necesario formular lineamientos y acciones que se puedan incorporar en los procesos de diseño, producción y habitabilidad edilicia y urbana. Posibiliten una racionalización del consumo energético del hábitat y mejoren la habitabilidad ambiental y la producción de servicios para toda la sociedad, en un marco de distribución eficiente de los recursos.

Junto a esto incorporar la operación y funcionamiento de los edificios en su vida útil, donde:

$X_i$  = variables de diseño

$Y_j$  = variables de operación

$Z_k$  = comportamiento del sistema

$Z_k = f(X_i, Y_j)$

si  $Y_j = \text{constante}$   $\longrightarrow$  Diseño

si  $X_i = \text{constante}$   $\longrightarrow$  Simulación operativa

Las técnicas de conservación y Uso Racional de la energía, en adelante *URE*; tienen larga tradición en Europa y América del Norte. Tuvieron fuerte impulso desde la crisis del '73 y las políticas globales de conservación han obtenido significativos resultados a más de dos décadas de su lanzamiento. En todos esos países forman parte de los códigos de construcción y planeamiento urbano y de leyes y políticas prioritarias. Francia, por ejemplo, fue uno de los mayores impulsores de normas que contemplan la eficiencia energética y a lo largo de dos décadas fueron reformulando progresivamente sus estándares e indicadores de eficiencia para adecuarlos a su realidad. El ADEME *Agence de L'Environnement et de la Maitrise de L'Energie* desde mediados de los '80 visitó nuestra región para hacer transferencia de sus avances. En la actualidad poseen una de las normas más flexibles en cuanto a su aplicación y es probable que este modelo pueda implementarse en nuestro medio cuando logremos avanzar en varios campos de regulación de calidad de componentes de la construcción edilicia (ADEME, 2007).

El análisis de modelos internacionales mostró que esos países no presentaban la heterogeneidad tecnológico-edilicia de la Argentina, no siendo compatibles las unidades de análisis utilizadas. Se planteó entonces la alternativa de basar la investigación en un *enfoque tipológico* del parque edilicio residencial. Este proceso clasificatorio implicó un análisis de clasificaciones complejas, introduciendo conceptos de otras disciplinas (Harvey, 1983). Dado que una *tipología* se caracteriza mediante múltiples variables, debe organizarse un conjunto complejo de datos, debiendo tener en cuenta que muchas de las variables representan propiedades cualitativas. Estas se pueden clasificar en un cierto número de categorías que pueden o no ser ordenadas y que definen o no un conjunto de intervalos regulares; limitándonos a plantear un orden relativo. En estos casos las tipologías permiten la organización de un conjunto complejo de datos y el análisis de los componentes de las variables con el objeto de determinar el papel que cada una de ellas desempeña. En esta concepción el concepto "*tipología*", designa al conjunto de técnicas de simplificación de los datos relativos a una población, permitiendo concentrar la presentación en la de sus principales tipos. (Hughes et al, 1988). Pero previo a esto es necesario elaborar el material de base para intentar un proceso clasificatorio automático. Esto requiere del estudio de las variables de cada tipo edilicio, para poder intentar calcular sus distancias relativas y tamaños de las poblaciones relativas. Así como en nuestro caso de un proceso clasificatorio tentativo de tipologías arquitectónicas y tipologías energéticas. Tarea esta que se realizó por métodos simples de concentración y luego concentración parcial. Ello permitió formarse una idea abarcativa del problema planteado.

## 2.1. El problema

El hábitat construido en la Argentina es complejo, ya que en toda estructura urbana hay un espacio natural preexistente sobre el cual se sitúa y crece una ciudad. Este crecimiento, pasadas décadas o siglos al intentar interpretarse su estructura con el fin de poder realizar un modelo matemático con fines predictivos, debe ser de-construido en secciones y elementos operables. Una alternativa es asimilar la ciudad como "*capas*" superpuestas e interactuantes compuestas por tipos de tejido que a su vez están compuestas por células. Hecha esta semejanza podemos entender que todo edificio o cons-

trucción habitable es una célula o *diferencial de tejido urbano* (en adelante **dtu**). Si acordamos, podemos encontrar edificios similares por función, forma, dimensiones, etc. que sistematizadas sus variables en indicadores cuali-cuantitativos pueden permitirnos construir tipos. Estos tipos sintetizan diversas características y dado el nivel de abstracción de su descripción no necesariamente debe coincidir con un caso en particular.

El Censo Nacional de Población y Vivienda (INDEC, 2005) propone tres tipos de vivienda perfectamente caracterizados: *casa*, *departamento* y *precario*. Tanto *casa* como *departamento* reúnen condiciones estructurales y de habitabilidad para ser pasibles de una auditoría energética, mientras que *precario* no es de interés de esta investigación. Dado que son tipos muy globales es necesario construir subtipos y modelos para permitir valorar y caracterizar con mayor detalle los **dtu**. Este es un primer problema y la construcción de tipos del hábitat metropolitano de Buenos Aires fue uno de los problemas a abordar por la investigación. Otro problema es la herramienta de medición de los **dtu** y se propone utilizar auditorías energéticas que podrán ser globales o detalladas en función del grado de resolución que se desee. A lo largo de esta investigación se fueron modificando los instrumentos de medición y esto llevó a una constante adaptación de los protocolos adaptados de antecedentes internacionales. En el país aún no se cuenta con un protocolo de auditoría normalizado y se busca que de esta investigación surja uno adecuado a nuestra realidad construida. Luego, debe sistematizarse y analizarse la información y nuevamente aparece el problema donde las herramientas de cálculo no son totalmente adaptables a nuestros requerimientos y por esto se construye un sistema informatizado en base CAD junto a subprogramas relacionados. Ya analizados los tipos nos encontramos con que los **dtu** de nuestras ciudades poseen una intensidad energética potencial de operación que excede en mucho valores internacionales. En función de este problema se busca proponer *Modelos de Ahorro de Energía en Calefacción y Refrigeración de Edificios* con el fin de que sean usados para contener la demanda y reducir su intensidad energética. Dado que es necesario validar estos modelos hay que implementar las medidas de diseño energético propuestas en casos de estudio para luego poder auditarlas y contrastar resultados. Este problema debe ser abordado al menor costo.

### 3. Objetivo

El objetivo principal apunta al análisis y modelización energético-ambiental de la edificación urbana basado en técnicas de auditoría y procedimientos estadísticos multivariados. Se muestran resultados de la sistematización metodológica, técnica y de desarrollo de instrumentos y herramientas para la auditoría-diagnóstico energético ambiental de edificios en sectores urbanos. Sumado a la construcción de modelos de ahorro de energía en calefacción y refrigeración para la República Argentina. Modelos que en su uso lleven a la proposición de estándares de calidad energética edilicia. Instrumentos con los cuales se pueda avanzar en la implementación de políticas activas por parte de los responsables del subsector del hábitat. Se elaboran indicadores comparativos del consumo de energía en viviendas de la región con respecto a otros países.

## 4. Metodología

### 4.1. Características del universo de análisis

El trabajo define como universo de análisis los edificios de centros urbanos localizados principalmente en el Área Metropolitana de Buenos Aires *AMBA* (385 casos) y Gran La Plata *GLP* (58 casos) al los que se han sumado algunos casos en los extremos sur patagónico (28 casos) y en el nordeste (23 casos). Estos fueron encuestados y monitoreados durante 5 a 7 días. Mientras los últimos fueron abordados recientemente, los casos del *AMBA+GLP* se vienen analizando desde 1986.

La Argentina posee una población de 35.878.882 habitantes que residen en 10.059.866 hogares (INDEC, 2005). La principal zona analizada compuesta por el *AMBA+GLP* representa el 33,64% de la población y el 36,12 % de hogares. La población estimada para 2009 considerando la tasa de crecimiento sería de 39.745.613, que implica un crecimiento poblacional del 10.78% en siete años a razón de 1.58%/año. Podría estimarse que el sector construido creció con la misma tasa. Si discriminamos ciudad de Buenos Aires con provincia respecto al acceso a servicios podemos notar que para ciudad Buenos Aires el 99,6% posee cloaca, el 99,9% agua de red, el 99,0% energía eléctrica de red y el 65,5% gas de red. Mientras que en la Provincia de Buenos Aires el 50,3% posee cloaca, el 75,1% agua de red, el 96,8% energía eléctrica de red y el 78,4% gas de red. Así esta zona concentra al 33,64% de la población del país y el 90% de la demanda total de energía primaria para el subsector edilicio (vivienda, salud, educación, administración).

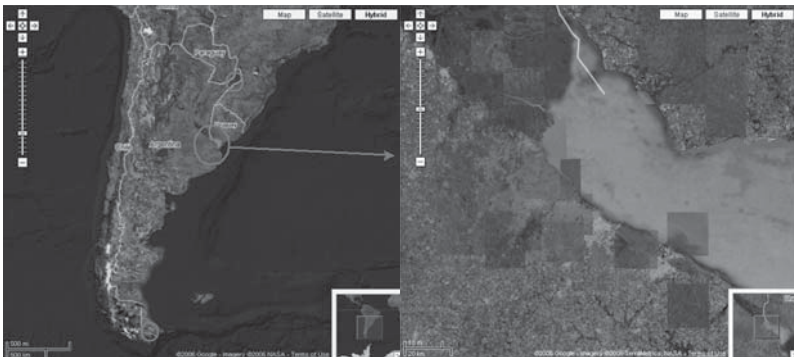


Figura 1. Imágenes satelitales de las regiones en estudio. Fuente: Google Maps.

Los programas y planes de eficiencia energética propuestos por sucesivos gobiernos se centraron en el ahorro de energía eléctrica que representa el 30% de la demanda de energía secundaria para el sector residencial y el 26,3% del comercial y público (BEN, 2005). Pero dado que la demanda de energía eléctrica representa el 15.5% de la energía secundaria total (45.059 miles de TEP en 2005); el consumo de energía eléctrica del sector residencial será 4.65% y el sector comercial y público 4.08%. En la Figura 2 puede

observarse que en años recientes la cuarta parte del consumo de gas natural fue para la generación de energía eléctrica. Y el 11% del total fue para el consumo eléctrico en los subsectores residencial (R), comercial (C) y edificios de la administración pública. En promedio, de los años 2006/7, un tercio del consumo directo de gas natural con fines térmicos en los subsectores R+C+EO fue para calefacción, cocción y agua caliente sanitaria. En la Figura 3 el ENARGAS (Ente Nacional Regulador del Gas) estima que un 13% es para lo que denominan consumo base y un 18 a 23% para calefacción.

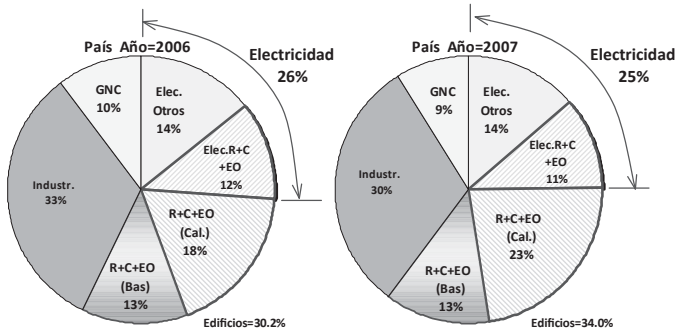


Figura 2. Consumo de gas natural según usos. Fuente: ENARGAS, 2008.

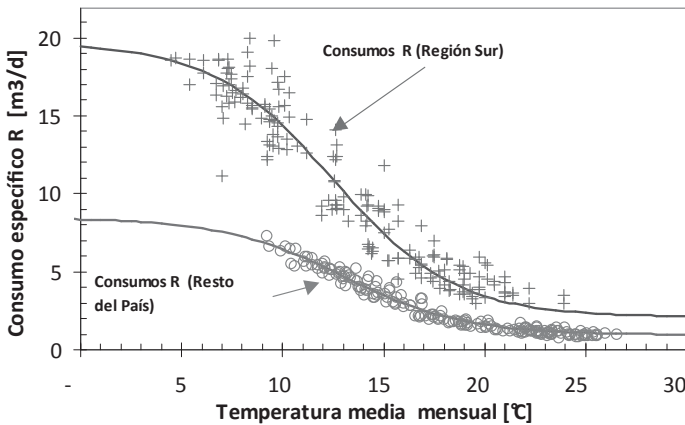


Figura 3. Relación entre el consumo específico de gas natural ( $m^3/día$ ) en el subsector residencial respecto a la temperatura media mensual. Fuente: ENARGAS, 2008.

La Figura 3 compara las pendientes de consumo para usuarios de todo el país donde puede verse que el consumo específico de gas natural en el sector residencial es inferior en casi  $5 m^3/día$ . Esto implica que los planes de URE debieran orientarse, principalmente, hacia la demanda de energía en climatización + cocción + agua caliente sanitaria que representan el 17.6 % de la demanda total de energía secundaria, para el sector resi-

dencial y el 3.3% para el comercial y público. Un análisis por subsector muestra que para el residencial el 20.8% es energía eléctrica y el 79.1% combustibles gaseosos-líquidos y sólidos. En comercial y público el consumo de energía eléctrica representa el 55.2% y el 44.8% combustibles gaseosos-líquidos y sólidos. El 20% del total de gas natural consumido en los años 2006/7 fue para calefaccionar edificios residenciales, comerciales y administrativos. Esto justifica un enfoque en la investigación centrado en la demanda y de esta demanda en particular en lo atinente a la climatización de edificios. En la misma figura se ven dos regiones o tipos de consumo: en cruces los alcanzados por subsidios de hasta el 76% de la factura y en círculos los que no cuentan con subsidios directos. En el último caso hay menor dispersión en función de la temperatura media mensual del sitio.

El país, según el último Censo discrimina a los edificios en 6.268.228 (62,2%) de viviendas unifamiliares o casas, 1.599.348 (15,9%) de departamentos en edificios. El 21,9% restante denominado precario solo se menciona a modo informativo reúne a varias categorías propuestas por el INDEC (2,26% ranchos, 2,79% casillas, 0,73% piezas en inquilinatos, 0,25% piezas en hotel o pensión, 0,21% locales no construidos para habitación y 0,04% viviendas móviles). Hay dos segmentos claramente diferenciados y son: a. la Ciudad de Buenos Aires donde el 65,3% de la población habita en edificios de departamentos, solo 28,2% lo hace en casas y la precariedad es relativamente baja (6,42%) y b. la gran conurbación donde la mayoría habita en casas (64,2%), casi un tercio (26,34%) habita edificios precarios y solo el 9,5% habita edificios de departamentos.

Otro indicador importante es que a mayor temperatura media anual o menor latitud crece significativamente la precariedad habitacional. Precariedad que llega al extremo en las provincias del norte Argentino donde más de la mitad de la población habita viviendas precarias. Son destacables los casos de Formosa (58,7%), Santiago del Estero (54,1%), Chaco (50,7%), Misiones (49,7%), Salta (42,6%), Jujuy (41,7%), Tucumán (35,6%), donde entre 1/3 y casi 2/3 de las viviendas son precarias.

*A mayor temperatura y humedad ambiente, mayor precariedad.*

La investigación profundizará el mejoramiento del conocimiento de las viviendas unifamiliares o casas y los departamentos en edificios que representan el 62,2% y 15,89% del parque habitacional y entre ambos son el 78,1% del total. De estas, posteriormente cuando analicemos la demanda energética seleccionaremos las que posean servicio de electricidad y gas natural. Así podemos segmentar el problema en dos grandes grupos:

- Un 78,1 % del parque habitacional, posee unas ciertas características físicas, tipológicas, constructivas que demandan una cierta cantidad de energía en función del clima y cultura del sitio donde se emplazan. Pero además requieren del desarrollo de estrategias de rediseño y adecuación energética y son pasibles de someterse a una auditoría energético-ambiental.

- El 21,9% restante no reúne condiciones de habitabilidad para una calidad de vida de sus habitantes y requiere de la implementación de planes masivos de construcción de viviendas. Desde ya no son pasibles de someterse a una auditoría energético-ambiental salvo que sea con un objetivo antropológico-social.

La pregunta es ¿porque no auditar lo precario...? pueden esgrimirse varias razones y se considera que entre las principales: a. no son viviendas aptas y deben formar parte de las previsiones del Estado para asignarles una vivienda digna; b. volvemos a preguntarnos ¿que significa una vivienda digna...?. Todavía se considera que una vivienda digna es aquella construida con materiales nobles y duraderos (hormigón, ladrillos y bloques de concreto o tierra cocida, piso sobre contrapiso, cubiertas de chapa - tejas - H°A°, instalación sanitaria - eléctrica - gas, etc) desde ya con carpinterías y vidrios. Pero en esta ecuación todavía no se incluyó el ciclo de vida de los materiales y del edificio y la eficiencia energética. Esto lleva a que se construyan viviendas de “*costo inicial lo más bajo posible*” sin considerar las consecuencias sobre mantenimiento y reposición en el mediano y largo plazo. La tesis centró su interés en mostrar como se comporta ambientalmente el **paradigma de vivienda digna** para luego proponer elementos tendentes a que se produzcan viviendas ambientalmente dignas, que es lo que vamos a necesitar en este siglo XXI con carencia de recursos y cambio climático (Czajkowski, 2009). Así el trabajo se centró en las viviendas, edificios de viviendas y otros; que demandan energía de las redes de electricidad y gas natural y son pasibles de ser sometidas a un reciclado energético a fin de mejorar la calidad de vida de sus ocupantes, reducir la demanda de energía en climatización y las *emisiones de gases de efecto invernadero GEI* (CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> y metano).

#### 4.2. La auditoría energética - ambiental (AEA) edilicia

La auditoría energética - ambiental (AEA) edilicia es un conjunto de procedimientos que nos permiten conocer como se comporta un edificio respecto a:

1. Los consumos de energía discriminados sean de entrada y salida del edificio como sistema.
2. Los consumos de energía dentro de edificio discriminados por usos.
3. El clima exterior e interior del edificio.
4. El nivel de confort higrotérmicos.
5. Las características constructivas, formales y dimensionales del edificio.
6. El modo de uso de las energías por los usuarios y otros.

La realización de una auditoría energética requiere de: brújula, cinta métrica de 5 m y de 30 m, cámara fotográfica analógica o digital, documentación gráfica, planos mudos para realizar anotaciones, encuesta, etc. Dependiendo de que se desee conocer se requerirá instrumental de medición: Micro adquisidores de datos “HOBO H8-002 y H8-004” (temperatura, humedad e iluminación); Estación meteorológica marca “Davis Weather Link II” (temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, lluvia y presión atmosférica); Adquisidores de datos portátiles “Davis Perception II” (temperatura, humedad y presión atmosférica); Tester ambiental 4 en 1 (anemómetro, higrómetro, termómetro y luxómetro) marca “Lutrón LM-8000”; Termómetro infrarrojo con puntero



láser “Lutron TM-949”; Anemómetro/Termómetro de hilo caliente “Lutron”; Anemómetro axial de mano; Termohigrógrafo mecánico marca SIAP; Termómetros de máxima y mínima; Higrómetro de precisión marca SIAP; Luxómetro digitales “TES 1330”; Decibelímetros “Lutron 4011”. Para el procesamiento de la información se utilizaron programas como: “PCLink3” para los datos meteorológicos, “BoxCarPro 3.01” para los datos generados por los micro adquirentes de datos, el “Psico 1.1” para los diagramas de confort, el “EnergCAD” (Czajkowski, 1992) para los balances estacionarios, el “AuditCAD” (Czajkowski, 1999) para los análisis energéticos, el “Discrgas” para discriminar el consumo debido a agua caliente y cocción (Czajkowski et al, 2003) y “EnergyPlus 3.2” para simulaciones numéricas.

## 5. Análisis de resultados

### 5.1. Características tipológicas

Dada la complejidad del parque de viviendas se realizó una evaluación y clasificación tipológica conformando un catálogo de tipologías para el área metropolitana de Buenos Aires y gran La Plata (Czajkowski, 1991), que con error razonable, es extrapolable a casi la totalidad del parque habitacional nacional.

Segmento	Gestión	Tipo Código	Tipo designación	Pisos	Unidad Habitacional			Edificio	
					h	S <sub>UH</sub>	V <sub>UH</sub>	S <sub>E</sub>	V <sub>E</sub>
					m	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
CASAS	Privada	1	Chorizo	1	3,40	103	350	--	--
		2	Cajón	1	2,72	75	204	--	--
		3	Dúplex mixto	2	2,80	131	367	--	--
		4	Racionalista	2	2,80	106	297	--	--
		5	Chalet californiano	1 a 2	3,54	142	503	--	--
	Pública	6	Chalet Estatal	1	2,85	85	242	--	--
		7	Casa Estatal	1	2,64	57	150	--	--
		8	Dúplex Estatal	2	2,61	72	188	--	--
DEPARTAMENTOS	Privada	9	Renta pasillo	1	2,63	64	168	320	840
		10	Renta altura	2 a 3	2,63	55	145	550 a 825	1450 a 2175
		11	Edificio P.H.	4 a 12	2,64	59	155	1180 a 3540	3100 a 9300
		12	Torre P.H.	8 a 32	2,63	51	132	1632 a 6528	4224 a 16896
	Pública	13	Bloque Estatal	3	2,70	61	165	732	1980
		14	Torre Estatal	4 a 14	2,61	75	196	1200 a 4200	3136 a 10976
		15	Placa Estatal	4 a 14	2,72	58	158	1856 a 6496	5056 a 17696

Tabla 1. Tipos de viviendas en el AMBA y GLP. Fuente: Elaboración propia, 2008.

Donde: h es altura media locales; S<sub>UH</sub> es superficie de la unidad habitacional; V<sub>UH</sub> es volumen de la unidad habitacional; S<sub>E</sub> superficie del edificio y V<sub>E</sub> volumen del edificio.

En la Tabla 1 se muestran cantidades y superficie cubierta por tipos edilicios de viviendas, mediante la operación de partir de los datos censales de casas y departamentos para la región del AMBA+GLP que cruzados con los edificios auditados nos permite decir que en la región AMBA, para 2.996.771 unidades habitacionales hay 246.412.199 metros cuadrados construidos para viviendas pasibles de acceder a un *Programa de Mejoramiento Energético - Ambiental*. En otro trabajo se muestra un avance metodológico por parte de la doctoranda Carolina Vagge del LAYHS para reconocer y cuantificar a escala masiva, mediante imágenes satelitales, CAD y GIS, grandes espacios urbanos.

## 5.2. Sobre modelos de ahorro de energía en calefacción y refrigeración

La complejidad del universo de análisis se sintetizó mediante tipificación, construyendo *dtu* representativos. Los casos auditados se analizaron y modelizaron con el *EnergoCAD* y el *AuditCAD*. Una mayor simplificación en tipos ideales simples permitió el desarrollo de modelos de ahorro de energía en calefacción y refrigeración de alcance nacional que se convirtieron en las Normas IRAM 11604 y 11659-1 y 2. La Figura 4 muestra solo un ejemplo de los indicadores energéticos generados, que abarcaron calefacción y refrigeración de edificios divididos en tres tipos: “casa”, “bloque” y “torre” (Czajkowski, 2009).

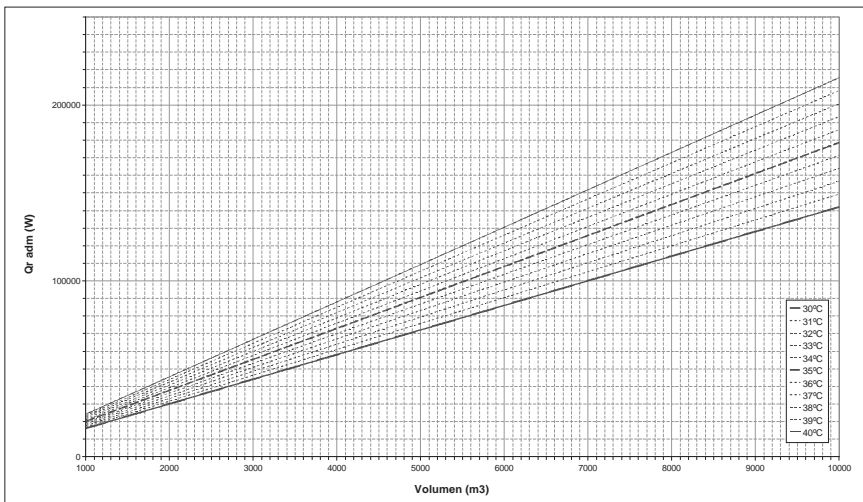


Figura 4. Carga térmica admisible en refrigeración para edificios tipo torre para la Argentina en función del volumen a refrigerar y la temperatura de diseño máxima.

El análisis de resultados para conocer el nivel de derroche de energía, posible de contener con fines de generar un yacimiento potencial de ahorro de energía, determinó que el consumo medio diario de GN en viviendas encontrado por ENARGAS es de 0,56 m<sup>3</sup>/°C día, el modelo desarrollado arroja un valor algo superior de 0,73 m<sup>3</sup>/°C día. Esto muestra varias cosas: por una parte el valor medio de ENARGAS es un 30% inferior al obtenido mediante auditorías, e implica que se calefacciona menos de lo que se ha encuestado. Otra posibilidad es que la muestra auditada tiene una tendencia hacia sectores económicos medios a medios altos, lo cual implica que es significativo el impacto de los sectores de bajos recursos que habitan viviendas de similares características tanto en dimensiones como en sistemas constructivos. La diferencia es que los sectores sociales medios bajos y bajos consumen menos y esto solo se puede lograr por menor tiempo de calefacción, menor superficie calefaccionada y por ende temperaturas medias interiores muy por debajo de un confort a 18°C.

### **5.3. Comparación entre valores de consumo de gas natural en calefacción auditados medios de viviendas argentinas, valores normativos nacionales e internacionales**

Otro interrogante surge cuando hablamos de derroche energético y la Figura 5 sintetiza varias cuestiones:

1. **Argentina a** representa lo que debiera consumirse para mantener las viviendas a 18°C y es claro que prácticamente triplica el valor de **Argentina b**.

2. **Argentina b** representa lo que realmente se consume y es mucho menos de lo que debiera consumirse. Esto implica que, con el modelo de construcción tradicional vigente se condena a que los habitantes nunca alcancen condiciones de habitabilidad higrotérmica.

3. **Argentina IRAM 11604** o lo propuesto en el modelo de ahorro de energía en calefacción también es comparable con los países citados e inferior en un 27,3% de **Argentina b**, pero con confort a 18°C.

Pero los estándares propuestos están lejos de las exigencias de Alemania que primero buscaron contener la demanda, luego fueron en busca de impulsar edificios de baja energía y hoy comienzan a exigir edificios de energía cero o energía plus. Esto implica una revolución en el modo de entender a un edificio como sistema energético: un edificio “convencional” puede entenderse como un sistema en el que deben ingresar vectores energéticos para mantenerlo funcionando y luego de ser usado en diversos servicios, emitir desechos al ambiente en forma de calor, gases, líquidos o sólidos. Un modelo “sustentable” busca que el edificio sistema minimice el uso de vectores energéticos y servicios y mantenga sus condiciones de habitabilidad, alimentando a los sistemas urbanos.

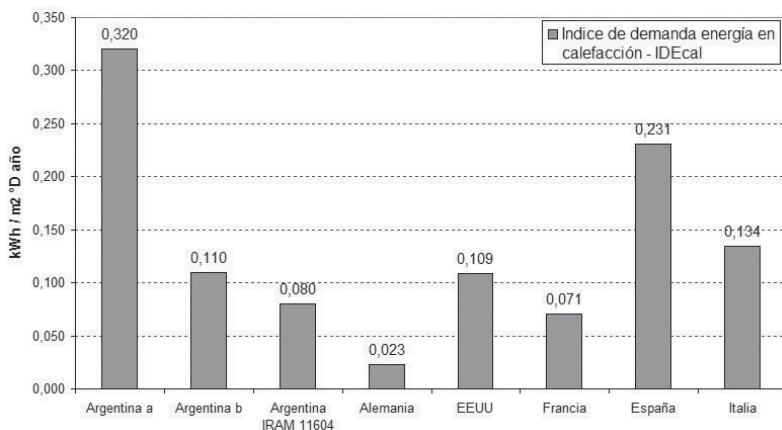


Figura 5. Comparación de la demanda de energía en viviendas tipo medias de Argentina y otros países.

## 6. Conclusión

La investigación muestra que prácticamente la totalidad del hábitat construido nacional es energéticamente ineficiente. Esta ineficiencia crónica y creciente en el tiempo genera un derroche de energía en particular en fuentes no renovables. Principalmente debido a que desde hace 50 años la Argentina es netamente dependiente de combustibles fósiles (gas natural, petróleo y derivados) y todavía no hay políticas suficientemente activas e intensas que busquen reducir dicha dependencia. Se ha discutido que el modo de construir es relativamente constante en todo el país, y la variable es el consumo de energía. Debíamos tender a que el modelo de construcción sea variable y el consumo debiera ser constante en cualquier punto del país. Parece una utopía pero esto podría ser factible. Desde hace dos décadas y de forma creciente se subsidia el consumo de energía, devenido en derroche, y no la eficiencia energética. Principalmente a la población patagónica, que aunque de poco peso en la demanda total implica un ejemplo de lo que no debe hacerse. Esta perturbación se mostró en la Figura 2 con datos oficiales. Debemos volver a preguntarnos ¿cómo revertir esta insustentable tendencia? Posiblemente un camino sea hacer de uso obligatorio los modelos de ahorro de energía expuestos, pero para esto los estándares debieran ser obligatorios y no voluntarios como en la actualidad. Las leyes existen y están. Y ¿cuál es el impedimento?... diversos actores sociales con poder de decisión que evitan todo tipo de cambio o modificación del *modelo de desarrollo insustentable*. Se encontró que hay dos Argentinias, una de medio a alto nivel económico que cuenta con acceso a todos los servicios y otra de medios a bajos recursos que, o no cuenta con los servicios básicos, o estos son de baja calidad. Pero la constante es la baja calidad de la envolvente térmica, con independencia del sector social que analicemos. Y que deriva en crecientes consumos de energía apoyados en un concepto de confort consumista que se opone al concepto de habitabilidad. El poder haber participado en el tiempo en diversos foros con diversos actores del hábitat,

muestra una fuerte resistencia a invertir en eficiencia. Hasta el presente no solo se ha subsidiado la ineficiencia energética edilicia, sino que esta ineficiencia se ha extendido a escala territorial. Recién a principios del 2009 el ENARGAS convocó a un reducido grupo de referentes, entre los cuales me encontraba, a una tormenta de ideas para ver que caminos podían seguirse para tender a contener la creciente ineficiencia de las construcciones. Producto de esto el 5 de agosto del 2009 se crea el subcomité de Eficiencia Energética Edilicia, comienza a debatirse el esquema de Norma IRAM 11900 para el etiquetado energético de edificios, que es aprobado en marzo 2010. Solo el tiempo dirá si se efectivizará su aplicación. Las construcciones energéticamente eficientes y sostenibles implicarán romper el modelo de dependencia del territorio, para pasar a que cada **dtu** genere más recursos de los que demanda, minimizando el impacto ambiental local, regional y global. Esta es la tendencia actual y es la reflexión hacia donde debe continuar la línea de trabajo iniciada hace dos décadas.

## 7. Referencias

- ADEME - *Qualité Environnementale des batiments*. En Manuel a l'usage de la maitrise d'ouvrage et des acteurs du batiment. Valbonne, France. [www.ademe.fr] 2007.
- BEN-MECON. *Balance Energético Nacional*. Secretaría de Energía de la Nación. Ministerio de Economía de la Nación. Buenos Aires. 2005.
- CZAJKOWSKI, J. *Tipologías de viviendas para el análisis energético urbano en el área metropolitana de Buenos Aires*. Informe final beca pre iniciación CONICET. La Plata. 1991.
- CZAJKOWSKI, J. y Rosenfeld E. *ENERGOCAD. Sistema informatizado para el diseño bioclimático de alternativas edilicias*. Actas 15º Reunión de Trabajo de ASADES. 1º Encuentro Nacional de la International Association for Solar Energy Education. Catamarca. 1992.
- CZAJKOWSKI, J. *Desarrollo del programa AuditCAD para el análisis de edificios a partir de auditorías ambientales*. Revista Avances en energías renovables y medio ambiente. ISSN 0329-5184. Pág. 08-5 a 8. Vol 3. Nro 2. 1999.
- CZAJKOWSKI, J., Corredera C y Saposnik M. *Análisis de la relación entre demanda de gas natural en calefacción según EnergoCAD y consumos reales en viviendas unifamiliares del gran La Plata*. En Avances en energías renovables y medio ambiente. Edit. INENCO-UNSa, Salta. ISSN 0329-5184. Vol: 7, Tomo 1, 6 Pág.
- CZAJKOWSKI, J. *Análisis y modelización energético-ambiental de la edilicia urbana basado en técnicas de auditoría y procedimientos estadísticos multivariados. Desarrollo de herramientas de diagnóstico y simulación*. Tesis Doctorado en Ingeniería UNLP. La Plata, 2009. Acceso en: 14 mayo 2010 [http://sedici.unlp.edu.ar/search/request.php?id\\_document=ARG-UNLP-TPG-0000000340&request=request](http://sedici.unlp.edu.ar/search/request.php?id_document=ARG-UNLP-TPG-0000000340&request=request)

- HARVEY, D. *Teorías, leyes y modelos en geografía*. Versión española de G. L. Rodrigo. Alianza Editorial, Madrid. 1983.
- HUGHES, M; GRIFFON, B.; y BOUVEYRON, C. *Segmentación y Tipología*, Edit. Saltés, Madrid. 1988.
- INDEC 2005. *Anuario estadístico de la República Argentina*. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Buenos Aires.
- ROSENFELD, E., Discoli C., Czajkowski J., San Juan G., Ferreyro C. *Reducción de la contaminación urbana por ahorro energético en el sector residencial. El caso del área metropolitana de Buenos Aires, Argentina*. Actas ASADES'19, Mar del Plata. Pág 08.5-8. 1996.
- ROSENFELD, E., Discoli C., Czajkowski J., San Juan G., Ferreyro C. *Consumo energético y URE en los sectores residencial y terciarios metropolitanos. La aglomeración del gran La Plata*. Revista Avances en energías renovables y medio ambiente. ISSN 0329-5184. Volumen 4, Nro 2, pág 07.35. 2000.

Artículo publicado en las Actas del XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construido (ENTAC 2010). Canela, Brasil. Octubre de 2010. Organizado por la Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC).

# Modelación morfológica - energética - tipológica de la ciudad de La Plata, Argentina

Carolina S. Vagge , Jorge D. Czajkowski.

## 1. Resumen

El trabajo de investigación presentado se encuadra dentro de la realización de una beca doctoral tipo I CONICET para aspirar al grado de doctora en Arquitectura y Urbanismo de la FAU-UNLP. El tema de trabajo refiere a un “Modelo alternativo de planeamiento estratégico energético-ambiental de áreas metropolitanas MAPES basado en diferenciales de tejido urbano”. También se enmarca dentro del proyecto de investigación PICT ANPCyT 2006-956: “Eficiencia energética edilicia en áreas metropolitanas. Evaluación mediante auditorías y propuestas de estándares”.

El crecimiento urbano introduce permanente presión a las áreas metropolitanas. La demanda de energía se incrementa, lo que provoca en los países desarrollados inversiones en eficiencia energética, nuevas fuentes de energía y regulación. En nuestros países periféricos la demanda de energía crece a mayor velocidad que el crecimiento poblacional y la oferta; creando crisis y escasez. Entonces es necesario crear mapas de demanda potencial de energía de las metrópolis.

El tejido urbano es una aproximación conceptual para modelizar la demanda de energía, e indica dónde, cómo y cuánta energía se consume.

Este trabajo presenta el estudio tipológico-energético-morfológico de distintas manzanas dentro del tejido de La Plata. Mediante un procedimiento aleatorio se localizaron 6 zonas sobre el plano de la ciudad, según la Ordenanza 9231 de Ordenamiento Territorial y Uso del Suelo: UC3,UR1, UC2a, UC2b, UC4a y UC5b. Luego se realizó un relevamiento fotográfico de las manzanas seleccionadas. Esta información se cruzó con consumos de energía obtenidos a partir de distintas campañas de medición realizadas por integrantes del LAYHS y otras fuentes.

La modelización de la demanda de energía en el subsector residencial, representa un avance en el conocimiento. Asimismo poder comunicar la información pertinente, facilitará a los planificadores urbanos y energéticos la toma de decisiones, a partir de una visión no convencional.

Palabras claves: Modelación, Tipología edilicia, Consumo de energía.

## 2. Introducción

La ciudad de la Plata (Figura 1) fue fundada en 1882 por el Gobernador Dr. Dardo Rocha, para cumplir la función de Capital de la provincia de Buenos Aires.

El sitio elegido se situaba a 60 km al sudeste de Buenos Aires y a unos 8 km del Río de La Plata, permitía una fácil comunicación con la Capital Federal y la posibilidad de contar con un puerto.

Una de sus características principales es haber sido diseñada de acuerdo a un plan previo a partir de las ideas del siglo XIX. El plan regional constaba de tres elementos: Casco Urbano, Zona de chacras y quintas y el puerto.

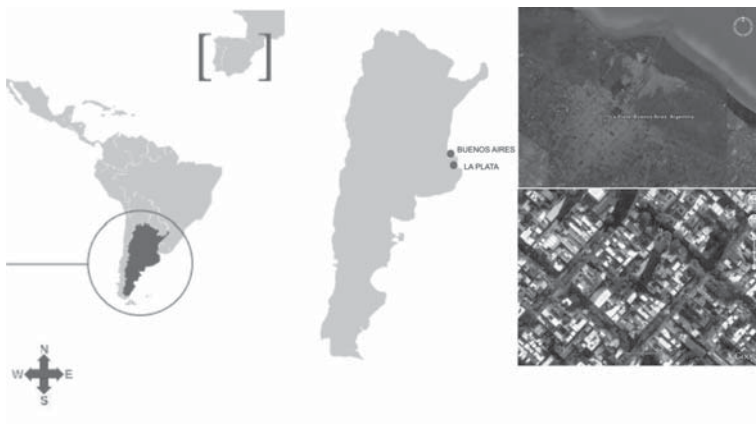


Figura 1. Ubicación de la ciudad de La Plata, Buenos Aires, Argentina.

### 2.1. Período 1882-1910

Los primeros pobladores de la nueva ciudad fueron inmigrantes que participaron en la construcción de las obras de la urbanización y el puerto y por un grupo menos numeroso de trabajadores nativos. Para 1890, a sólo 5 años de su fundación, La Plata contaba con 65.000 habitantes.

La función de la nueva ciudad era de carácter administrativo y prestación de servicios.

La estructura de la ciudad se conformaba, por un eje fundacional definido por dos avenidas que conectaban el puerto con el interior del país, un sistema de espacios verdes, avenidas ortogonales y diagonales, más un sistema de anillos periféricos productivos de abastecimiento local.



La compra indiscriminada de parcelas dio origen a la suburbanización, distorsionándose de este modo la traza original de la ciudad.

Las primeras regulaciones urbanísticas de la época fueron de carácter general. Se estableció como criterio urbanístico una clara diferenciación entre lo público y lo privado. Los edificios públicos, de carácter institucional se implantaron en el centro de la manzana. En cambio la edificación privada se materializó, en general, a través de la casa chorizo, dando como resultado un lenguaje de fachada uniforme.

## **2.2. Período 1910-1940**

En este período la población creció de manera uniforme, debido al aporte migratorio que recibió la provincia de Buenos Aires y la región en particular. Se instalaron establecimientos de carácter industrial y comercial.

En cuanto a las tipologías de edificación predominantes, se incorporaron los garajes o cocheras a las casas chorizo, y se adoptó la tipología de casa de rentas como vivienda multifamiliar: comercio con 5 o 6 niveles de altura, superando a los edificios públicos fundacionales.

## **2.3. Período 1940-1960**

En este período se mantuvo la tendencia de crecimiento, siendo mayor en las localidades periurbanas respecto del casco.

Comenzó un proceso de renovación edilicia en las zonas céntricas. De a poco, se reemplazaron estructuras antiguas por edificios en altura y viviendas antiguas por nuevas tipologías de vivienda individual racionalista. También surgieron los edificios con departamentos en planta baja, alineados por pasillos como nueva modalidad de vivienda multifamiliar, al mismo tiempo, ocupando más superficies dentro de las manzanas.

## **2.4. Período 1960-2000**

En este período comenzó la consolidación definitiva del eje La Plata - Buenos Aires. El crecimiento de población del partido para este período fue bajo, y el crecimiento del casco en particular fue nulo.

La renovación urbana se llevó a cabo a partir del edificio en altura como tipología predominante, rompiendo de este modo con el modelo fundacional. Comienzan a aparecer tipologías suburbanas provocando modificaciones morfológicas dentro del casco (Curtit 2003).

La explosión demográfica de los últimos 100 años es un fenómeno sin precedentes en la historia de la humanidad. Hacia 1900, solo el 14 % de la población vivía en ciuda-

des, un total de 200 millones de personas. A principios del siglo XXI el 50 % de la población mundial es urbana con un estimado de 3.000 millones de personas.

Pero la gran explosión demográfica del futuro próximo tendrá lugar en los países en vías de desarrollo. El banco mundial prevé que el 80% de la población de esos países vivirá en ciudades en el 2025. (Dominique Gauzin-Muller 2002).

El crecimiento urbano fue de tal magnitud que en el plazo de 30 años el hombre ha edificado tanto como en toda su historia. Se estima que será necesario construir el equivalente a 1000 ciudades de tres millones de habitantes en los próximos 40 años, principalmente en los países en vías de desarrollo. Tal perspectiva da un sentido concreto de la necesidad de dotar a la edificación y planificación urbana mundial futura de una lógica cercana al desarrollo sostenible, debiéndose plantear a largo plazo (San-tamouris, 2001).

Cualquier intento serio de reorientar el comportamiento de las actuales conurbaciones hacia bases más sostenibles, en el sentido fuerte y global antes apuntado, pasa por modelizar su funcionamiento para replantearlo y seguir después, con datos en la mano, los cambios que se operen en las cantidades de recursos y de territorio que se venían dilapidando, directa o indirectamente, en aras de la sostenibilidad local de las mismas. La modelización del comportamiento de los sistemas urbanos y el establecimiento de baterías de indicadores que faciliten su comparación y seguimiento, deben de apoyarse mutuamente (Naredo, 1997).

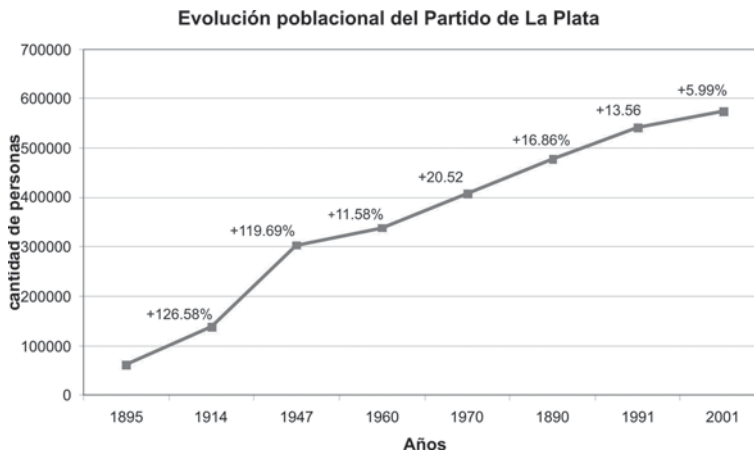


Figura 2. Evolución poblacional de La Plata.

### 3. Objetivo

El objetivo de este trabajo es describir la metodología utilizada para desarrollar un modelo tipológico-energético-morfológico de distintas manzanas dentro del tejido de la ciudad de La Plata.

## 4. Metodología

### 4.1. Adquisición de datos

Para la obtención de datos se realizaron auditorías detalladas en distintos tipos de vivienda que incluyeron una encuesta socio-energética y una campaña de medición de invierno entre junio y agosto de 2008, y una campaña de verano durante los meses de enero y febrero de 2009. Para realizar las auditorías se utilizaron micro-adquisidores de datos HOBO U10 (temperatura y humedad), un micro-adquisidor de datos HOBO U12 (temperatura, humedad e iluminación), una estación meteorológica HOBO Pro V2 (temperatura y humedad), un termómetro infrarrojo Lutron TM-949 y un termómetro /anemómetro Lutron LM 8000. Se utilizaron Hobos para registrar las condiciones higrotérmicas en ambientes diurnos y nocturnos de las distintas viviendas auditadas (Figura 4).

También, en algunos de los casos auditados, se colocaron dos micro-adquisidores de datos para medir la frecuencia y tiempo de encendido de quemadores en cocinas y calentadores de agua (Figuras 5 y 6). Esta información luego podrá ser procesada con el programa Discrgas a fin de obtener consumos (Czajkowski et Al, 2003).

Se instaló una estación meteorológica en el patio de una de las viviendas en ambos períodos de medición (Figura 3). Se midió durante días laborales y no laborales. El intervalo de toma de datos se fijó en 15 minutos en los hobos ubicados en los distintos ambientes y exterior.

Además de los datos obtenidos a partir de estos casos abordados recientemente en el marco del plan de beca, también se utilizaron casos del Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) + Gran La Plata (GLP) que se vienen analizando desde el año 1986.

En cuanto al instrumental de procesamiento de la información, se utilizó el “Excel”, el “HOBOWare-Pro” y el “BoxCarPro”, para los datos generados por los hobos. Para el análisis de la auditoría se usó el programa AuditCAD (Czajkowski, 1999).



Figuras 3-4-5-6. Estación meteorológica en el patio de la casa. Ejemplo de localización en dormitorio. Ubicación del microadquisidor de datos en conducto del termotanque y cocina.

## 4.2. Características del área estudiada

En cuanto a la metodología utilizada, se prosiguió mediante un procedimiento aleatorio: se localizaron 6 zonas sobre el plano de la ciudad (Figura 7). Luego se realizó un relevamiento fotográfico de las manzanas seleccionadas (Figura 8). Esta información se cruzó con información catastral de La Dirección de Catastro de la Municipalidad de la Plata e información satelital (GoogleEarth) con el fin de generar un levantamiento morfológico de las zonas, identificando el tipo edilicio con el relevamiento fotográfico y la ayuda del “Catálogo de tipologías de viviendas urbanas en el área metropolitana de Buenos Aires” (Rosenfeld-Czajkowski 1992). Este antecedente se basó en una cantidad estimada de 3000 auditorías globales y 400 detalladas. La auditoría global constaba de una encuesta breve y consumos por facturas de servicios, mientras que la detallada incluía mediciones durante 7 días.

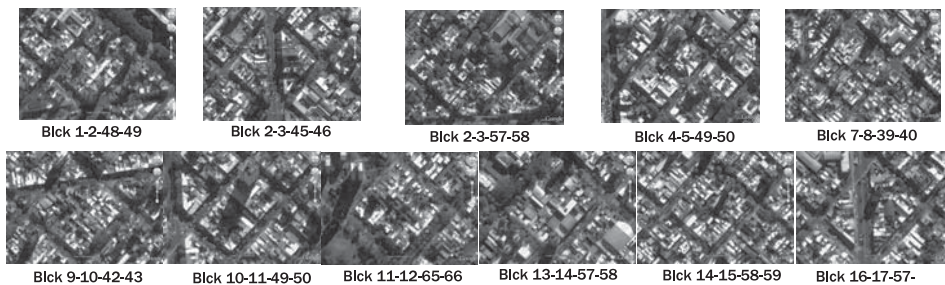


Figura 7. Manzanas de la ciudad de La Plata seleccionadas aleatoriamente como muestra de trabajo.

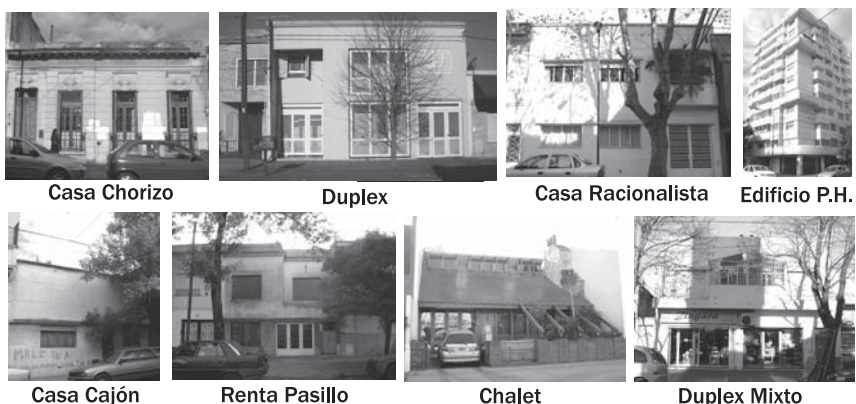


Figura 8. Relevamiento fotográfico de las manzanas seleccionadas.

### 4.3. Análisis de datos mediante la tecnología SIG y AutoCAD 2D y 3D.

Usando el programa Auto CAD Map 3D 2009 se extrajeron los atributos de las parcelas en formato de tabla de datos de Access. Obtenida la tabla de datos, se completó con valores globales de consumo de energía obtenidos a partir de trabajos de investigación realizados previamente por integrantes del LAYHS y la realización de auditorías energéticas mencionadas anteriormente en el punto 1. Con el fin de mostrar los datos de la zona analizada de forma clara y comprensible, se utilizaron los productos de la familia de MapInfo (Figura 9).

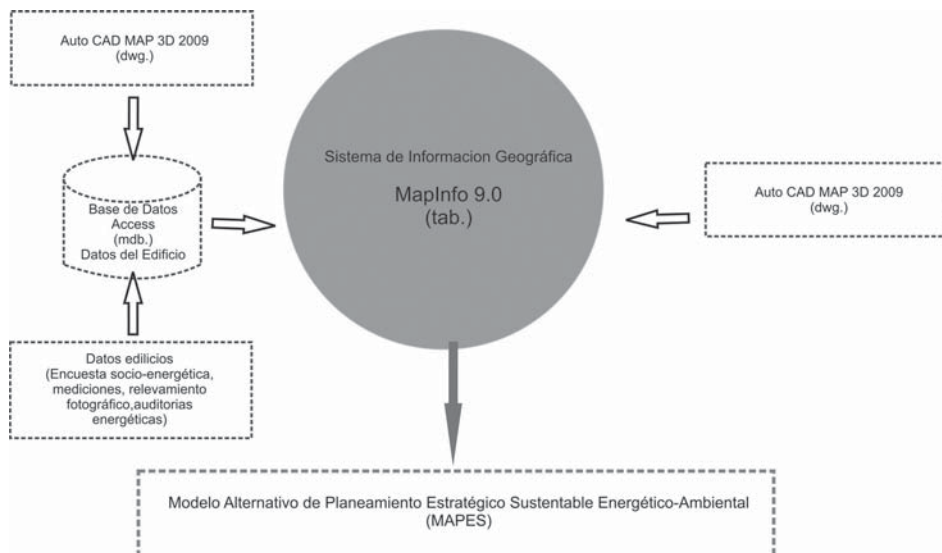


Figura 9. Flujo de trabajo para recopilar, analizar y visualizar los datos.

Con el programa AutoCAD Map de un archivo DWG (plano del partido de la ciudad de La Plata) se exportaron los atributos, en este caso de las parcelas, desde donde fueron automáticamente transferidos a una base de datos de Access. Luego, la tabla de datos se completó con tipología edilicia, consumo de gas natural, consumo de energía eléctrica y fotos del frente del edificio. Se vinculó luego esta tabla en el programa MapInfo para poder crear los mapas de los datos relevados (Figura 10).

Luego, se dibujaron las distintas edificaciones de las manzanas con el programa AutoCAD 2D (Figura 11) sobre capturas que se extrajeron del Google Earth, que más tarde se levantaron en tres dimensiones.

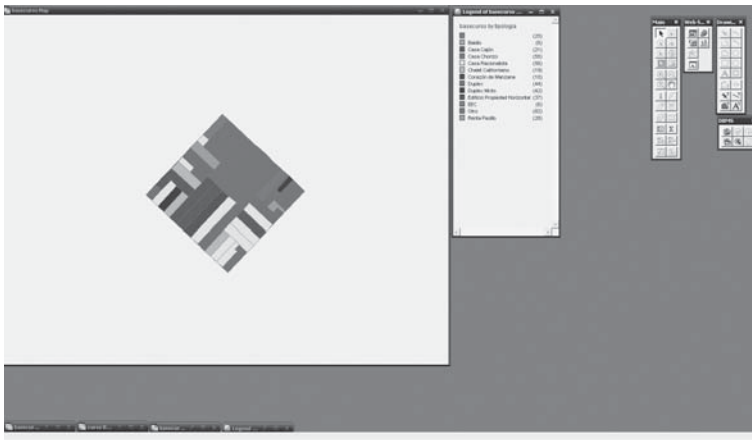


Figura 10. Captura de pantalla del programa MapInfo donde se ve el mapa de tipologías de una de las manzanas.



Figura 11. Dibujo de las edificaciones con programa AutoCAD sobre imágenes de Google Earth.

## 5. Análisis de resultados

De los datos analizados con la herramienta Map Info, AutoCAD, más el relevamiento fotográfico, podemos observar que las tipologías con mayor peso son la casa chorizo y la casa racionalista.

La casa racionalista se organiza a partir de un esquema funcional en el que se tratan como zonas diferenciadas los ámbitos comunes, los ámbitos íntimos y los servicios. Generalmente se segrega en plantas, ubicándose los ambientes íntimos en los pisos superiores.

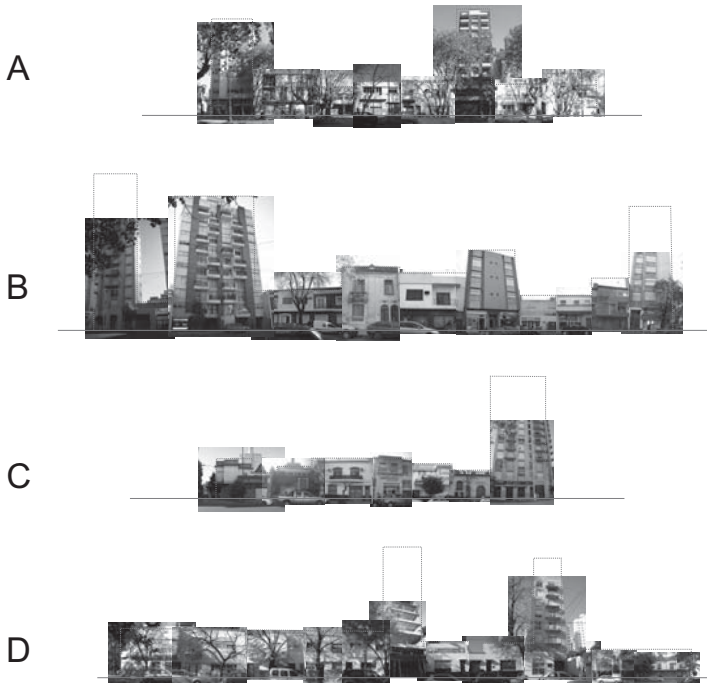
En cuanto a la habitabilidad de estas viviendas se puede ver que poseen una orientación e iluminación aceptable en general.

Los mayores problemas están dados por el inadecuado aislamiento térmico e hidrófugo de la cubierta y las extensas áreas vidriadas.

Por otro lado, la casa chorizo, cuya envolvente materializada por una cubierta de chapa metálica ondulada, aislamiento térmico de tierra seca de 2 pulgadas ( $K = 1.24 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ) y muros exteriores de mampostería de ladrillo común de 0.30 m revocados en ambas caras ( $K= 1.88 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ), tiene un comportamiento deficiente si se encuentra mal orientada. El gran volumen de aire permite un buen comportamiento durante el verano, pero en invierno requiere un gasto mayor de energía en relación a otras tipologías. Posee buena inercia térmica y buen aislamiento térmico cuando tiene cámaras de aire bajo piso y en cieloraso. En general, la ventilación es regular y la iluminación, deficiente.



Figura 12. Levantamiento tipológico de una de las manzanas de la ciudad.



Figuras 13. Perfiles de una manzana de la ciudad realizado a partir del relevamiento fotográfico.



Si observamos la Tabla 1 y la Figura 14 podemos observar que de los casos relevados en la ciudad la tipología casa racionalista (4) y edificio propiedad horizontal (12) son los que mayor consumo de energía representan.

Tipo Designación	Cod.	Cantidad Unidades	Unid. Habitacional Repr %	Consumo Electricidad kW.h m2/año	Consumo total Electricidad kW.h/año	Consumo Gas kW.h m2/año	Consumo total Gas kW.h/año	Consumo total de energía kW.h/año
Casa Chorizo	1	55	18.2%	25	1375	139	7645	9020
Duplex Mixto	3	42	13.9%	14	588	134.82	5662	6250
Casa Racionalista	4	56	18.5%	33.31	224	190.46	10666	10890
Chalet Californiano	5	19	6.3%	36.07	685	260.22	4944	5629
Casa Cajón	6	21	6.8%	18.2	382	110.21	2314	2696
Duplex	8	44	14.6%	14	616	134.82	5932	6548
Renta Pasillo	9	28	9.3%	15.69	440	60.88	1704	2144
Edificio Propiedad Horizontal	12	37	13.2%	56.7	2098	285.69	10570	12668
Total		302	100.0%	212.97	6408	1316.1	49437	55845

Tabla 1. Consumo total de energía de las tipologías relevadas en la ciudad de La Plata.

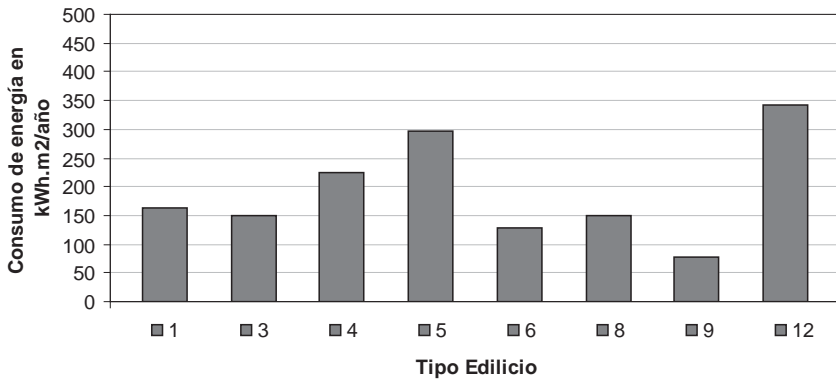


Figura 14. Gráfico donde se observa el índice consumo energético (electricidad+gas) por tipología.



## 6. Conclusiones

Este trabajo se basó principalmente en los datos de consumo de energía de edificios residenciales en la zona residencial de La Plata, la muestra de estudio abarcó 302 casos.

Los resultados hasta el momento mostraron que el tipo edilicio casa racionalista (4) y casa chorizo (1) son las tipologías predominantes en la zona residencial de la ciudad de La Plata, coincidiendo con lo dicho anteriormente estas tipologías son de las más antiguas y representativas de la ciudad.

Por otro lado, encontramos que las tipologías que representan mayor consumo de energía son: nueva-mente la casa racionalista (4) por su alta representatividad (18,5 %) dentro de la muestra de estudio y el edificio propiedad horizontal (12), con altos índices de consumo de energía (gas y electricidad). Asimismo los tipos edilicios que menos consumo de energía representan son la casa cajón (6), muy compacta y la renta pasillo (9).

De los resultados analizados hasta el momento podemos empezar a comprender como se comporta el hábitat residencial construido de la ciudad de La Plata, que en la mayoría de los casos y tipologías analizadas apenas alcanzan los niveles mínimos admitidos de transmitancia térmica de los sistemas constructivos de la envolvente de los edificios por normas nacionales.

Por lo tanto la caracterización de la energía residencial a partir del desarrollo de aplicaciones SIG y levantamientos morfológicos con AutoCAD, en nuestra opinión representan importantes avances en la investigación sobre la caracterización del consumo de energía en las comunidades existentes, e identificar y comunicar la información pertinente para facilitar la planificación del consumo eficiente de energía y reducir las emisiones de carbono.

## 7. Referencias

BASTIAS, L. *Evaluación subjetiva de la inserción de edificios en altura dentro de la trama consolidada. El caso de la ciudad de Mendoza*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 12, ASADES, Mendoza, 2008.

CURTIT, G. *Ciudad, gestión local y nuevos desafíos ambientales. Reflexiones entorno a las políticas neoliberales y sus efectos sobre nuestro territorio Estudio de caso: eje de crecimiento noroeste de la ciudad de La Plata*. Buenos Aires, CIAM-Espacio, 2003.

CZAJKOWSKI, J. *Programa AuditCAD para el análisis del comportamiento energético edilicio basado en auditorías energéticas y de confort*. Anais del V Encontro de Conforto no Ambiente Construído. 1999.

CZAJKOWSKI, J. et Al. *Análisis de la relación entre demanda de gas natural en la calefacción según EnergoCad y consumos reales en viviendas unifamiliares del gran La Plata*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 7, ASADES, Formosa, 2003.

GAUZIN-MULLER, D. *Arquitectura Ecológica, 29 ejemplos europeos*. Barcelona, Gustavo Gilli, 2002.

NAREDO, J.M. *La "ciudad sostenible": Resumen y Conclusiones* [en línea] 1997:[fecha de consulta: 1 de mayo de 2010] Disponible en: <http://habitat.aq.upm.es/cs/p2/a010.html>.

ROSENFELD, E. y CZAJKOWSKI, J. *Catálogo de tipologías de viviendas urbanas en el área metropolitana de Buenos Aires. Su funcionamiento energético y bioclimático*. Instituto de Estudios del Hábitat, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de La Plata. La Plata, 1992.

SANTAMOURIS, M. *Passive Cooling of Buildings*. Londres, James&James, 2001.

Artículo publicado en las Actas del XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC 2010). Canela, Brasil. Octubre de 2010. Organizado por la Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC)

## Sección 02 | **Normalización**



# Ahorro de energía en refrigeración de edificios para oficinas

## Propuesta de indicadores de eficiencia y valores admisibles

M. Belén Salvetti, Jorge D. Czajkowski, Analía F. Gómez.

### 1. Resumen

En este trabajo se realiza una revisión de la Norma IRAM 11659-2 sobre acondicionamiento térmico de edificios (*Verificación de sus condiciones higrotérmicas y ahorro de energía en refrigeración. Edificios para vivienda*). Se proponen valores aplicables a edificios de oficinas para los indicadores de eficiencia energética edilicia en refrigeración. La Carga térmica total de verano ( $Q_R$ ) de la cual se derivan el Coeficiente de refrigeración por unidad de superficie ( $S_R$ ) y el Coeficiente volumétrico de refrigeración ( $G_R$ ) propuestos en la Norma IRAM 11659-2 fueron calculados teniendo en cuenta factores de ocupación, equipamiento e iluminación aplicables a viviendas. Para el caso de edificios de oficinas, donde hay una mayor concentración de personas y donde el uso de artefactos eléctricos y de iluminación es mucho más intensivo, debieran considerarse valores diferenciados.

Palabras Clave: ahorro energía; refrigeración; edificios de oficinas; eficiencia energética.

### 2. Introducción

El siguiente trabajo fue desarrollado en el LAYHS - FAU - UNLP. El mismo se encuentra enmarcado dentro de una de las líneas de investigación principales que se desarrollan en el laboratorio, orientados hacia la eficiencia energética edilicia en áreas urbanas. Forma parte de los objetivos del PICT 06 N°956 "Eficiencia energética edilicia en áreas metropolitanas" y del proyecto acreditado por la UNLP denominado "Eficiencia Energética y Sustentabilidad para la Materialización de Edificios en un Contexto de Adaptación al Cambio Climático".

La importancia del tema está relacionado con dos problemáticas actuales: la escasez de recursos energéticos y el cambio climático debido al calentamiento global. Aspectos en los cuales la construcción del hábitat tiene un grado de incidencia significativo (IPCC, 2001). La industria de la construcción es una de las más importantes consumidoras de materias primas y recursos no renovables. La misma implica un gran impacto ambiental no sólo durante los procesos de extracción y elaboración de las materias primas, sino también durante la construcción de edificios, su utilización y aún después, cuando el edificio es demolido y reciclado (Edwards, 2008).

Los combustibles fósiles por su parte constituyen la principal fuente de energía empleada en el hábitat construido. En Argentina, por ejemplo, el 96% de la generación eléctrica es mayormente centrado en la combustión de combustibles fósiles (Secretaría de Energía de la Nación; MECON, 2008).

La Argentina cuenta con normativa relacionada con la calidad térmica edilicia desde principios de los '70, la cual es revisada y actualizada continuamente. Dos indicadores regulan la calidad de la envolvente edilicia; el coeficiente volumétrico ( $G_v$ ) de pérdidas de calor orientado al ahorro de energía en calefacción propuesto por la Norma IRAM 11604 y la transmitancia térmica ( $K$ ) para muros y techos según tres niveles de calidad propuestos por la Norma IRAM 11605. La implementación de los valores propuestos por estas normas permitiría regular la calidad térmica de las construcciones y ser instrumentos para la regulación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Por otra parte los únicos indicadores que afectan al comportamiento de edificios en el período estival en las zonas I a IV (Norma IRAM 11603) es la transmitancia térmica ( $K$ ) para condiciones de verano y los propuestos por la Norma IRAM 11659-2.

### 3. Metodología

Este trabajo da continuidad al modelo de ahorro de energía en refrigeración presentado en el año 2006 al Instituto Argentino de Normalización, el cual se convirtió en la parte 2 de la Norma IRAM 11659 en 2007. De la parte 1 de dicha Norma (IRAM, 2004) se toman los datos para determinar la carga térmica de refrigeración del edificio, teniendo en cuenta el destino de los locales habitables, en este caso oficinas.

La metodología utilizada fue tomada del trabajo desarrollado por el Grupo Eficiencia Energética Edilicia (GEEE) de la Cátedra de Instalaciones de la FAU – UNLP en el año 2006. En aquel entonces, luego de analizar los datos normativos de los que se disponía y ante la inexistencia de Grados Día de Refrigeración propuestos, se planteó la necesidad de adoptar como indicador climático la Temperatura Exterior de Diseño en el período de verano ( $T_{DMX}$ ).

Luego de analizar las características de las distintas zonas bioambientales que conforman la Argentina (Norma IRAM 11603) se decidió adoptar un rango entre los 30°C y los 40°C de  $T_{DMX}$ . Se resolvió que la verificación se haría para el día 15 de enero a las 13hs. Como a nivel normativo no se contaba con datos ni procedimientos de cálculo de radiación solar  $I_s$  horaria para las diferentes latitudes, orientaciones y pendientes de los planos posibles de ser analizados, se propuso un anexo normativo en el cual se analizó la  $I_s$  horaria en las capitales provinciales respecto de su pertenencia a las zonas bioambientales I a IV, que son las que requerirían de la utilización de refrigeración mecánica durante el período estival. El resultado obtenido fueron 8 tablas con datos de  $I_s$  horarios (en  $W/m^2$  y  $MJ/m^2$ ) para nueve orientaciones, para las zonas bioambientales Ia, Ib, IIa, IIb, IIIa, IIIc, IVa, IVb, IVc y IVd. En la determinación de la  $I_s$  se utilizó el procedimiento de Liu & Jordan aplicando el  $K_t$  provisto por la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE) de Argentina con el programa *Radiac2*.

Luego se propusieron tres indicadores de eficiencia energética edilicia en refrigeración para diferentes tipos de edificios para vivienda, complementarios entre sí: la Carga térmica total de verano ( $Q_R$ ) de la cual se derivan el Coeficiente de refrigeración por unidad de superficie ( $S_R$ ) y el Coeficiente volumétrico de refrigeración ( $G_R$ ). Los tipos de vivienda fueron “casa”, “bloque” y “torre”.

Este trabajo plantea la necesidad de determinar nuevos valores para estos indicadores de modo que tengan en cuenta las diferentes condiciones de ocupación, iluminación y consumo eléctrico que tiene un edificio de oficinas con respecto a uno de vivienda. De este modo se busca evitar caer en la confusión de verificar la carga térmica de refrigeración de un edificio de oficinas según parámetros utilizados para edificios de vivienda.

### 3.1. Indicadores de Eficiencia Energética Edilicia en Refrigeración

#### 3.1.1. Carga térmica total de verano - $Q_R$

El valor de la carga térmica del edificio o local refrigerado, en estado estacionario, se calcula con la siguiente ecuación general.

$$Q_R = Q_c + Q_a + Q_s + Q_o \quad [\text{Eq. 01}]$$

Donde:

$Q_R$  = Carga térmica total en W.

$Q_c$  = Carga térmica por conducción a través de la envolvente en W.

$Q_a$  = Carga térmica por ventilación aportado por el aire exterior en W.

$Q_s$  = Carga térmica solar en W.

$Q_o$  = Carga térmica por fuentes internas (personas + equipamiento + iluminación) en W.

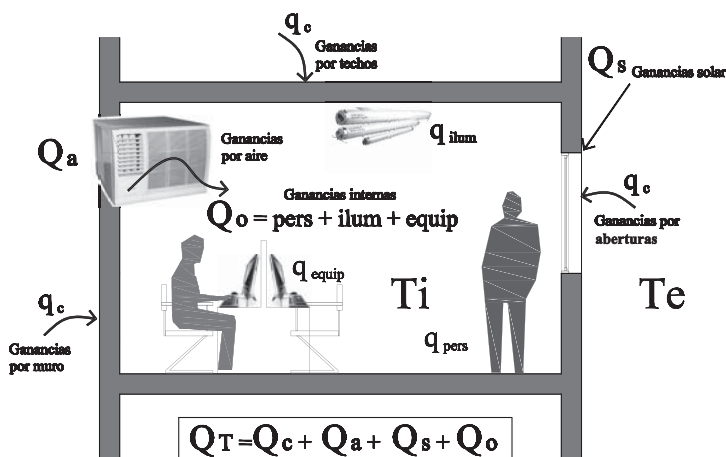


Figura 1. Ganancias de calor de un local en verano.

### 3.1.1.a. Carga térmica por conducción a través de la envolvente - Q<sub>c</sub>

La ganancia de calor por conducción parcial  $q_c$  a través de la envolvente del local será:

$$Q_C = \sum q_c \quad [\text{Eq. 02}]$$

La sumatoria de todas las pérdidas parciales  $q_c$  por conducción a través de la envolvente dará como resultado las pérdidas totales por conducción ( $Q_c$ ), según la siguiente ecuación:

$$q_C = K.A(T_{DMX} - T_i) \quad [\text{Eq. 03}]$$

Donde:

K = Transmitancia térmica del cerramiento (muro, techo, piso, ventana, etc.) en (W/m<sup>2</sup>.K).

A = Superficie del cerramiento en m<sup>2</sup>

TDMX= Temperatura exterior de diseño en °C

Ti = Temperatura interior en °C

### 3.1.1.b. Carga térmica por ventilación aportada por el aire exterior - Q<sub>A</sub>

En verano se supone al edificio "cerrado" para reducir pérdidas y ahorrar energía. Esto implica que es necesario ventilar una parte o la totalidad del aire interior, por lo que se supone que debería introducirse en el ambiente interior una importante masa de aire caliente y húmedo que el equipo de aire deberá acondicionar. Este aire de renovación y recirculado contiene humos, partículas en suspensión y olores que son necesarios eliminar.

$$Q_A = CAR \times (0,29 \times \Delta t + 0,72 \times \Delta w) \quad [\text{Eq. 04}]$$

Donde:

CAR: Cantidad de aire a renovar en m<sup>3</sup>/h.pers.

$CAR = \text{cantidad personas} \times \text{caudal aire/persona}$

$\Delta t$ : diferencia entre temperatura exterior y temperatura interior

$\Delta w$ : diferencia entre la humedad específica exterior e interior en g/kg

### 3.1.1.c. Carga térmica solar - Q<sub>s</sub>

Debido a las superficies vidriadas del local a analizar una parte de los aportes se deberá a la radiación del sol que al atravesar el cristal ingresa al local calentándolo. Para el caso de oficinas esta superficie tiene una influencia mayor sobre el total de la envolvente que en el caso de edificios de vivienda. Por su parte la radiación del sol varía con cada hora del día solar y también a lo largo de los meses del año. La expresión general para el cálculo de la carga debida al sol es:

$$Q_S = S.I_S.F_{es} \quad [\text{Eq. 05}]$$



Donde:

$Q_s$ : ganancia solar en W

$S$ : superficie vidriada en  $m^2$

$I_s$ : Intensidad de la radiación solar en  $W/m^2$

$F_{es}$ : Factor de exposición solar del vidrio o aventanamiento (adimensional 0 a 1)

### 3.1.1.d. Carga térmica por fuentes internas - $Q_o$

Es la suma del calor total por personas, más el calor sensible de la iluminación artificial, más el calor sensible de los artefactos de oficina (computadoras, impresoras, fotocopiadoras, etc.). En este caso también la influencia de estos factores cobra mayor importancia debida a que el factor de ocupación -y por consiguiente de equipos- es mayor que en el caso de un edificio de vivienda. Por otra parte la actividad que se desarrolla en un edificio de oficinas requiere de un mayor nivel de iluminación que en el caso de un edificio de viviendas. La expresión general para el cálculo de la carga debida a fuentes internas es:

$$Q_o = Q_{pers} + Q_{ilum} + Q_{equip} \quad [\text{Eq. 06}]$$

Donde:

$Q_o$ : Carga térmica por fuentes internas en W.

$Q_{pers}$ : aporte de calor interno por personas; sensible + latente en W

$Q_{ilum}$ : aporte de calor interno por iluminación; sensible en W.

$Q_{equip}$ : aporte de calor interno por equipamiento; sensible en W.

### 3.1.1.e. Otras ganancias internas de calor sensible

Existen otros aportes internos debidos a los conductos de inyección y retorno de aire acondicionado. Es usual que estos se establezcan como un valor estimado porcentual. Existe otra penalización a agregar debida a la calidad en la construcción de los conductos de distribución y retorno, y que en general se establece entre un 4% y un 10% de la suma de calor sensible debida a conducción y efecto solar.

### 3.1.2. El Coeficiente de refrigeración por unidad de superficie - $S_R$

El valor del Coeficiente de refrigeración por unidad de superficie del edificio o local refrigerado, se calcula con la fórmula siguiente:

$$S_R = \frac{Q_R}{A_R} \quad [\text{Eq. 07}]$$

Donde:

$Q_R$ : Carga térmica total de verano en W

$A_R$ : Superficie refrigerada en  $m^2$

### 3.1.3. El coeficiente volumétrico de refrigeración - $G_R$

El valor del coeficiente volumétrico de refrigeración del edificio o local refrigerado, se calcula con la fórmula siguiente:

$$G_R = \frac{Q_R}{V_R} \quad [\text{Eq. 08}]$$

Donde:

$Q_R$ : Carga térmica total de verano en W.

$V_R$ : Volumen refrigerado en  $\text{m}^3$ .

### 3.2. El modelo edilicio

Dado que se obtendrá un valor de  $G_{R_{adm}}$  en relación al volumen refrigerado se hace el análisis para un modelo que parte de la repetición en altura de una planta tipo de  $185 \text{ m}^2$  con un volumen refrigerado que va desde los  $1.000 \text{ m}^3$  (dos niveles de  $2.70 \text{ m}$  de altura cada uno) hasta los  $10.000 \text{ m}^3$  (veinte niveles de  $2.70 \text{ m}$  de altura cada uno). El hecho de adoptar una planta de  $185 \text{ m}^2$  que se desarrolla en altura está relacionado con el relevamiento de casos de la realidad donde puede apreciarse cómo el avance de este tipo edilicio en las limitaciones de los solares urbanos se ve incentivado por la especulación inmobiliaria. Esto da como resultado edificios de frente angosto con planta profunda que se repite en altura según lo que admite el Código de Edificación de la ciudad correspondiente, dependiendo de la zona en la que se encuentra implantado.

Por otra parte se prevén tres grados de relación vidriado-opaco que van desde el 20% de superficie vidriada sobre el total de la envolvente hasta el 50%, como valor máximo. Cabe destacar que se proponen diferentes valores de coeficiente de transmitancia térmica ( $K$ ) para la superficie vidriada según la relación vidriado-opaco del total de la envolvente. Asimismo es importante acentuar el hecho de que se propone como máxima relación vidriado-opaco el 50% del total de la envolvente y no el 80% -ó más- que se manifiesta en muchos edificios de oficinas actuales, y que responde a una imagen corporativa, que tiene su origen en una época en la que no existía una conciencia de los efectos que el derroche energético de los edificios genera sobre el ambiente.

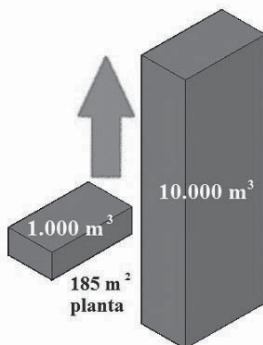


Figura 2. Modelo adoptado de volumen edilicio creciente.

Como se mencionó anteriormente para el desarrollo del tipo edilicio en altura se utiliza la altura de local mínima media según Códigos de Edificación de 2,70 m. Esto implica un volumen creciente a superficie de planta constante (Figura 2). A partir de la figura geométrica generada se obtienen las superficies de la envolvente discriminadas en muros y techo.

Para definir las características y distribución de las superficies vidriadas por orientación se tomó el criterio adoptado en la Norma IRAM 11659-2, el cual tiene su fundamento en un modelo de distribución de los vidriados por orientación según un criterio bioclimático (IRAM 11603 inciso 6.2) que busca el máximo aprovechamiento del sol durante el invierno, y que cuenta con requisitos de verificación, orientaciones que permiten obtener un asoleamiento mínimo y recomendaciones sobre protecciones solares. El área vidriada recomendada, que como se dijo anteriormente, varía del 20% al 50% del total de la superficie de la envolvente se distribuye de la siguiente forma:

- No se admiten vidriados en techos.
- 40% del área vidriada se ubica al norte.
- 25% del área vidriada se ubica al este.
- 25% del área vidriada se ubica al oeste.
- 10% del área vidriada se ubica al sur.

### 3.3. Calidad térmica de la envolvente

La Norma IRAM 11605 sugiere tres niveles de calidad térmica para muros y techos (A, B y C). Debido a que los valores de transmitancia térmica propuestos por el Nivel C son ineficientes en cuanto al ahorro de energía, dicho nivel fue descartado. Cabe destacar que dicho Nivel fue elaborado para ser implementado en viviendas de interés social y solamente previene el riesgo de condensación superficial.

Siguiendo con los niveles de aislamiento térmico propuestos en el trabajo previo se tomó como nivel de calidad térmica para muros y techos un nivel intermedio entre los niveles A y B propuestos por la Norma IRAM 11605.

Se propone el uso de una transmitancia térmica “*K*” variable en función de la variación de la Temperatura Exterior de Diseño “*T<sub>DMX</sub>*” de verano (IRAM 11603). Esto implica una variación:

- Desde  $K_{\text{techos}} = 0.335 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  y  $K_{\text{muros}} = 0.875 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  para una  $T_{\text{DMX}} = 30^\circ\text{C}$ .
- Hasta un  $K_{\text{techos}} = 0.315 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  y  $K_{\text{muros}} = 0.775 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  para una  $T_{\text{DMX}} = 40^\circ\text{C}$ .

En lo que respecta a los cerramientos vidriados se proponen diferentes valores según la relación vidriado-opaco del total de la envolvente. De este modo:

- Para una relación vidriado-opaco del 20% se propone un valor de  $K_{\text{vidrios}} = 2.86 \text{ W/m}^2\text{K}$ , que equivale a un sistema de doble vidriado hermético (DVH).
- Para una relación vidriado-opaco del 30% se propone un valor de  $K_{\text{vidrios}} = 1.80 \text{ W/m}^2\text{K}$ , que equivale a un sistema de doble vidriado hermético (DVH) con un vidrio de baja emitancia (Low-e).
- Para una relación vidriado-opaco del 50% se propone un valor de  $K_{\text{vidrios}} = 1.30 \text{ W/m}^2\text{K}$ , que equivale a un sistema compuesto por un triple vidriado hermético con un vidrio de baja emitancia, que equivale al sistema más eficiente disponible en la Argentina.

Estos valores se adoptan para todas las zonas del país. Como se mencionó anteriormente la verificación del modelo se hizo para el rango entre los 30°C y los 40°C de TDMX, para el día 15 de enero a las 13hs.

### 3.4. Referencia climática

Las Normas IRAM 11601/3/4/5 utilizan diferentes criterios para adoptar un valor de referencia climática del sitio donde se implantará el edificio. De este modo se utiliza la zona bioambiental que surge de una regionalización, la temperatura mínima de diseño, los grados día de calefacción. Para la situación de verano puede utilizarse la temperatura de diseño máxima de la IRAM 11603 o los grados día de enfriamiento que están en los antecedentes de dicha norma.

Sin embargo se utilizó el criterio adoptado en el trabajo previo, en el cual se hizo un análisis comparativo del antecedente respecto de las necesidades de refrigeración en el territorio nacional. Se concluyó que hay un rango que va de los 100 Grados Día de Refrigeración ( $GD_R$ ) en el norte de la Patagonia (latitud= 40º Sur) a los 1.000 Grados Día de Refrigeración ( $GD_R$ ) en la zona chaqueño-formoseña (latitud= 25º Sur). Esto implica un rango de Temperaturas de Diseño Máximas que va desde los 30°C a los 40°C.

Cabe destacar que mientras los Grados Día de Refrigeración ( $GD_R$ ) funcionan como un indicador muy útil en la determinación de la Carga Térmica Anual en Refrigeración con fines de economía y gestión ambiental de la energía, no lo son tanto en cuanto a verificar la Calidad Térmica y el Diseño Ambiental de la envolvente; aunque estén relacionados. Razón por la cual se opta por utilizar la Temperatura de Diseño Exterior.

### 3.5. Radiación solar

Como se concluyó en el antecedente, la radiación solar es un componente significativo en la carga térmica de un local o edificio y no es sencillo encontrar una correlación de fácil implementación ya que en la Argentina existen variaciones por latitud, altitud o amplitud térmica según el sitio. Entonces fue necesario adoptar un criterio que permita tratarla como un valor preestablecido, de manera que pondere su influencia según las diferentes orientaciones del edificio, al tiempo que contemple la variación en latitud y longitud.

Para este modelo se adoptaron los valores propuestos en el trabajo previo, para las 13hs. del día 15 de enero: Plano horizontal 736 W/m<sup>2</sup>; Norte 370 W/m<sup>2</sup>; Sur 268 W/m<sup>2</sup>; Este 268 W/m<sup>2</sup>; y 360 Oeste W/m<sup>2</sup>. Se adopta un factor de exposición solar  $F_{ES}$  de 0,5 que implica la utilización de algún sistema o mecanismo que permita reducir la carga solar sobre las áreas vidriadas. Es un valor que puede alcanzarse con cortinas de enrollar, toldos o parasoles; todos de uso muy frecuente en el país. El modelo no tiene en cuenta el aporte de calor por conducción en la envolvente opaca puesto que la verificación se realiza en estado estacionario y supone la incorporación de aislamiento térmico a esta parte de la envolvente edilicia.

### 3.6. Carga térmica por iluminación artificial

En cuanto a las fuentes internas de energía debidas a la iluminación artificial se adoptó un nivel de iluminación de 400 lux propuestos por la Norma IRAM 11659-1 para oficinas, que equivale a un factor de 16W/m<sup>2</sup> para lámparas del tipo bajo consumo. Al respecto se prevé que las necesidades de iluminación se cubrirán en un 100% con lámparas de bajo consumo, despreciándose el uso de lámparas incandescentes o halógenas para satisfacer esta demanda.

### 3.7. Carga térmica por fuentes internas

En el caso de la carga térmica por personas se adoptó una densidad de 8m<sup>2</sup>/persona con trabajo liviano (Norma IRAM 11659-1) y 99 W/persona de calor total (sensible + latente). En cuanto al equipamiento se hizo un cálculo estimativo en función de la cantidad de personas (1 computadora por persona) y de la cantidad de plantas del edificio (1 impresora laser multifunción para oficinas por planta), lo que da un coeficiente de 28 W/m<sup>2</sup> de calor sensible. Por otra parte se desprecia la generación de calor latente por equipamiento.

Para la carga de calor total por renovaciones de aire se usa una tasa de ventilación sanitaria de 15 m<sup>3</sup>/h/persona (Norma IRAM 11659-1).

## 4. Resultados

Las curvas de las figuras 3 a 5 muestran los valores admisibles de Carga Térmica en Refrigeración ( $Q_{R adm}$ ), la Carga en Refrigeración por unidad de superficie en planta ( $S_{R adm}$ ) y la Carga Volumétrica en Refrigeración ( $G_{R adm}$ ); para temperaturas exteriores de diseño que van de 30°C a 40°C, para edificios de oficinas con una relación vidriado-opaco del 50%.

Como puede verse en los gráficos el  $Q_{R adm}$  varía desde los 37.200W hasta los 303.500W para edificios entre 1.000m<sup>3</sup> y 10.000m<sup>3</sup>, para una TDMx de 35°C que corresponde a la ciudad de La Plata. Para ese mismo caso el  $G_{R adm}$  varía desde los 37.2 W/m<sup>3</sup>

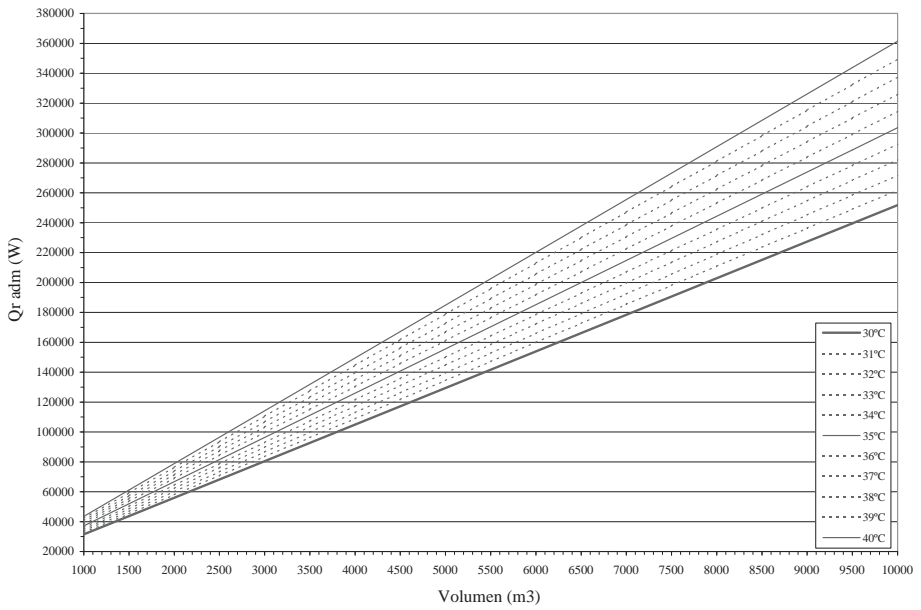


Figura 3. Valores admisibles de  $Q_r$  para edificios de oficinas con 50% de la envolvente vidriada.

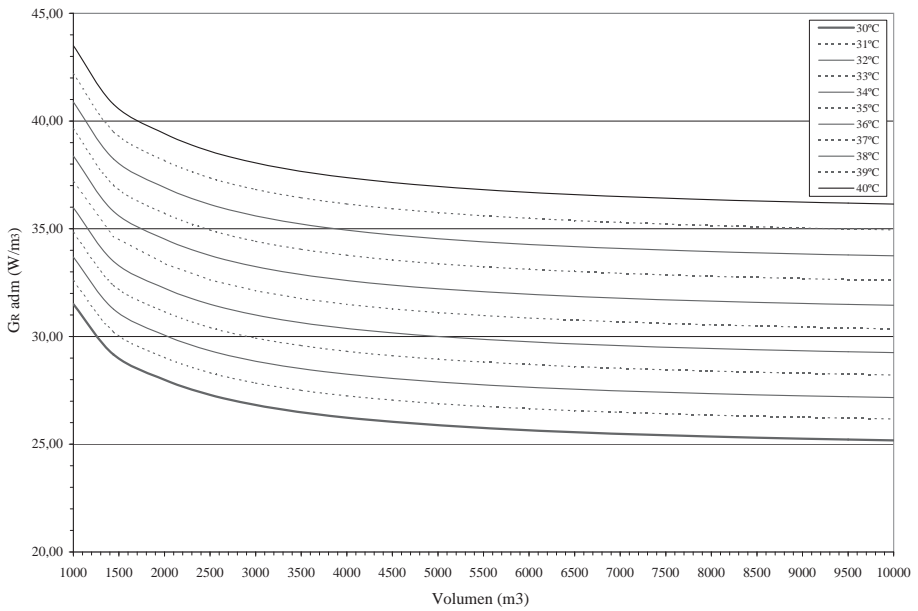


Figura 4. Valores admisibles de  $G_r$  para edificios de oficinas con 50% de la envolvente vidriada.

hasta los  $30.3 \text{ W/m}^3$  para edificios entre  $1.000\text{m}^3$  y  $10.000\text{m}^3$ , para una TDMx de  $35^\circ\text{C}$ . Por su parte el  $S_{R \text{ adm}}$  varía desde los  $100.4 \text{ W/m}^2$  hasta los  $82 \text{ W/m}^2$  para edificios entre  $1.000\text{m}^3$  y  $10.000\text{m}^3$ , para una TDMx de  $35^\circ\text{C}$ .

Para edificios con una relación vidriado-opaco del 20% el  $Q_{R \text{ adm}}$  varía desde los  $27.700\text{W}$  hasta los  $240.600\text{W}$  para edificios entre  $1.000\text{m}^3$  y  $10.000\text{m}^3$ , para una TDMx de  $35^\circ\text{C}$ . Para ese mismo caso el  $G_{R \text{ adm}}$  varía desde los  $27.7 \text{ W/m}^3$  hasta los  $24\text{W/m}^3$  para edificios entre  $1.000\text{m}^3$  y  $10.000\text{m}^3$ . Por su parte el  $S_{R \text{ adm}}$  varía desde los  $74.7 \text{ W/m}^2$  hasta los  $65\text{W/m}^2$  para edificios entre  $1.000\text{m}^3$  y  $10.000\text{m}^3$ .

Para edificios con una relación vidriado-opaco del 30% el  $Q_{R \text{ adm}}$  varía desde los  $30.500\text{W}$  hasta los  $295.600\text{W}$  para edificios entre  $1.000\text{m}^3$  y  $10.000\text{m}^3$ , para una TDMx de  $35^\circ\text{C}$ . Para ese mismo caso el  $G_{R \text{ adm}}$  varía desde los  $30.5 \text{ W/m}^3$  hasta los  $26\text{W/m}^3$  para edificios entre  $1.000\text{m}^3$  y  $10.000\text{m}^3$ . Por su parte el  $S_{R \text{ adm}}$  varía desde los  $82.45 \text{ W/m}^2$  hasta los  $70.1\text{W/m}^2$  para edificios entre  $1.000\text{m}^3$  y  $10.000\text{m}^3$ .

Estos valores distan mucho de los valores propuestos por la Norma IRAM 11659-2 para edificios de vivienda de desarrollo vertical, con características similares a las propuestas.

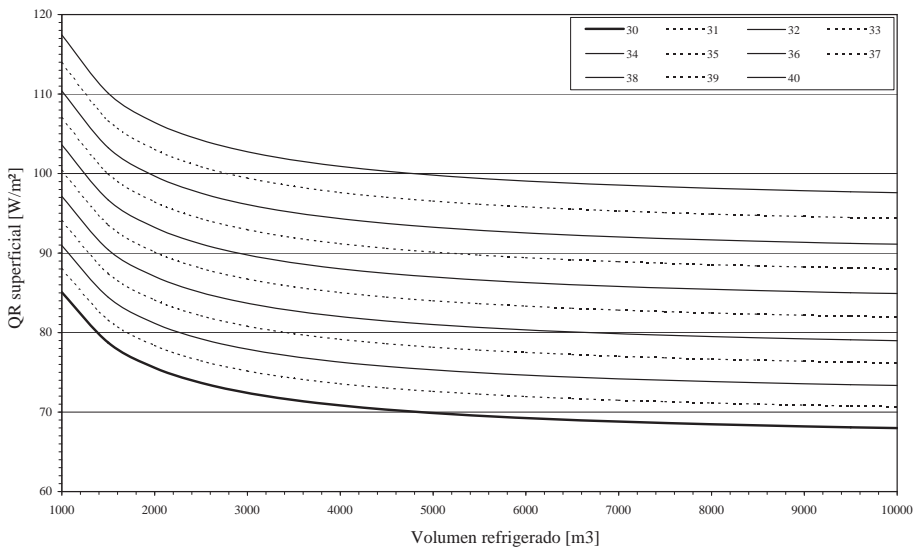


Figura 5. Valores admisibles de  $S_R$  para edificios de oficinas con 50% e la envolvente vidriada.

La tabla 1 muestra los valores admisibles de Carga Térmica en Refrigeración ( $Q_{R \text{ adm}}$ ) para Temperaturas Exteriores de Diseño que van desde los  $30^\circ\text{C}$  a los  $40^\circ\text{C}$ , para edificios de oficinas con una relación vidriado-opaco del 50%.

Temperatura de Diseño Exterior de Verano (TDMx)											
Volumen	30°C	31°C	32°C	33°C	34°C	35°C	36°C	37°C	38°C	39°C	40°C
1000	31,50	32,60	33,69	34,83	35,98	37,18	38,37	39,63	40,88	42,19	43,50
1440	29,16	30,22	31,27	32,38	33,49	34,65	35,81	37,02	38,24	39,51	40,77
2000	27,99	29,03	30,06	31,15	32,24	33,39	34,53	35,72	36,92	38,17	39,41
2500	27,29	28,31	29,34	30,42	31,49	32,63	33,76	34,94	36,12	37,36	38,60
3000	26,82	27,84	28,86	29,93	31,00	32,12	33,24	34,42	35,60	36,83	38,05
3500	26,49	27,50	28,51	29,58	30,64	31,76	32,88	34,05	35,22	36,44	37,66
4000	26,23	27,24	28,25	29,31	30,37	31,49	32,60	33,77	34,93	36,15	37,37
4500	26,04	27,05	28,05	29,11	30,17	31,28	32,39	33,55	34,71	35,93	37,15
5000	25,88	26,89	27,89	28,95	30,00	31,11	32,22	33,38	34,54	35,75	36,96
5500	25,76	26,76	27,76	28,81	29,87	30,97	32,08	33,24	34,39	35,61	36,82
6000	25,65	26,65	27,65	28,70	29,75	30,86	31,96	33,12	34,27	35,48	36,69
6500	25,56	26,56	27,56	28,61	29,66	30,76	31,86	33,02	34,17	35,38	36,59
7000	25,48	26,48	27,48	28,53	29,57	30,68	31,78	32,93	34,09	35,29	36,50
7500	25,41	26,41	27,41	28,46	29,50	30,61	31,70	32,86	34,01	35,22	36,42
8000	25,36	26,35	27,35	28,40	29,44	30,54	31,64	32,79	33,94	35,15	36,35
8500	25,30	26,30	27,29	28,34	29,39	30,49	31,58	32,74	33,89	35,09	36,29
9000	25,26	26,25	27,25	28,29	29,34	30,44	31,53	32,68	33,83	35,04	36,24
9500	25,22	26,21	27,20	28,25	29,29	30,39	31,49	32,64	33,79	34,99	36,19
10000	25,18	26,17	27,17	28,21	29,25	30,35	31,45	32,60	33,75	34,95	36,15

Tabla 1. Valores admisibles de  $G_R$  ( $W/m^3$ ) para edificios de oficinas con 50% de la envolvente vidriada

## 5. Conclusión

Estas curvas buscan sugerir un límite en la carga térmica en refrigeración de edificios para oficinas. Los datos adoptados en cuanto a volumen refrigerado, cantidad de personas, relación vidriado-opaco, etc. surgen del análisis de casos auditados y de los valores propuestos por las Normas IRAM.

Es importante destacar la necesidad de proponer indicadores de eficiencia energética y valores admisibles de  $Q_{R adm}$ , como así también de  $S_{R adm}$  y  $G_{R adm}$  de manera que pueda tender a brindar valores de referencia de este tipo edilicio. El hecho de que a la fecha no exista esta posibilidad hace que sea necesario regirse por los valores planteados por la Norma IRAM 11659-2 para edificios de vivienda, que tienen un índice de ocupación, nivel de iluminación y equipamiento muy distinto o solamente por los  $K_{adm}$  de verano brindados por la IRAM 11605.

Al comparar la Carga Térmica de Refrigeración de un edificio de oficinas con la de un edificio de iguales características constructivas pero destinado para viviendas, el análisis del primero dará como resultado un  $Q_{R adm}$  mayor en un 50%.

Con este trabajo se busca aplicar medidas de *Diseño Ambientalmente Consciente* para edificios de oficinas en altura. Se hace necesario plantear una reducción de la superficie vidriada sobre el total de la envolvente. Esta reducción de la superficie vidriada debe ir acompañada de una mejora en la calidad térmica de los sistemas de aventanamiento, la cual debe ser más rigurosa cuanto mayor sea la proporción de este tipo de cerramiento sobre el total de la envolvente. El proyectista podrá aumentar el nivel de aislamiento en áreas opacas, aumentar la protección solar, generar sectores diferenciados de refrigeración en planta, mejorar la calidad térmica de vidriados o una combinación de todas estas para llegar a los valores mínimos sugeridos en el trabajo.



El establecimiento de un valor de transmitancia térmica en cerramientos opacos intermedio entre los niveles A-B de la Norma IRAM 11605 busca reducir las ganancias de calor a través de la envolvente, que en este tipo de edificios de gran desarrollo en altura se vuelven importantes.

Cabe destacar que este trabajo comprende una fase de aproximación en la cual no se considera el efecto del sol sobre los cerramientos opacos. Se espera que en un futuro puedan implementarse medidas correctivas basadas en temperatura sol-aire complementadas con simulaciones numéricas.

## 6. Bibliografía

- Czajkowski, Jorge; Corredera, Cecilia. (2006). *Ahorro de energía en refrigeración de edificios para viviendas y propuestas de indicadores de eficiencia y valores admisibles*. Revista Avances en energías renovables y ambientales N°10. ISSN 0329-5184
- Edwards, Brian. (2008). *Guía básica de la sostenibilidad*. Gustavo Gili, SL. Barcelona. ISBN 8425222087.
- IPCC (2001). *Tercer informe de evaluación del Intergovernmental Panel on Climate Change: Cambio Climático*. Ginebra, Suiza. ISBN 0 52180770 0.
- IRAM 11601. (2002). *Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo*. IRAM. Buenos Aires.
- IRAM 11603. (1996). *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires.
- IRAM 11604. (1990). *Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires.
- IRAM 11605. (1996). *Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios*. IRAM. Buenos Aires.
- IRAM 11659-1. (2004). *Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Parte 1: Vocabulario, definiciones, tablas y datos para determinar la carga térmica de refrigeración*.
- IRAM 11659-2. (2007). *Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Parte 2: Viviendas*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires.
- Secretaría de Energía de la Nación (2008). *Informe de auditoría de gestión del programa de políticas energéticas*. Ministerio de Planificación Federal Inversión Pública y Servicios. Buenos Aires.

Artículo publicado en la revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Volumen 14, pp 17-24. Año 2010.

## Sección 03 | **Edificios de Vivienda**



# Consumo energético en viviendas sociales de Tierra del Fuego. Comparación con otras regiones de la Argentina.

Cristian J. Diaz, Jorge D. Czajkowski.

## Resumen

Se expone el estado de la cuestión de las viviendas de interés social llevadas a cabo en los últimos años en la provincia de Tierra del Fuego desde el punto de vista de su consumo de energía. Se muestra una síntesis de resultados obtenidos del análisis realizado a viviendas con diferencias tipológicas y constructivas y se las compara con tipos similares característicos de otras localidades del país. Se comparan diferentes tipos, unificándolos dentro de un mismo rango de grados día de calefacción para su comparación y surge como hipótesis que las viviendas del extremo sur patagónico tienen un consumo de energía excesivo, superando la variable constructiva y proyectual. Se expone la sistematización de estos resultados con el fin de utilizarlos como antecedente para proponer alternativas de mejoras. Se discute la factibilidad de implementarlo y el aporte en I+D en el sector.

Palabras claves: Vivienda interés social, clima muy frío, tecnología, confort.

## 1. Introducción

La política del Instituto Provincial de la Vivienda (IPV) de la provincia de Tierra del Fuego ha dado desde su creación, fines de los '70 y principio de los '80, una gran diversidad de respuestas, en lo arquitectónico y constructivo, a las necesidades habitacionales.

Actualmente se está llevando a cabo el plan de construcción de viviendas denominado a nivel nacional "Plan Federal de Viviendas I y II", en el que se prevé un total de 120.000 unidades habitacionales. De acuerdo a estos valores se destinarán para la provincia de Tierra del Fuego, dentro del primer plan, 2.200 y 2.800 correspondiente al Plan Federal II. Estas viviendas darán la posibilidad de albergar aproximadamente más de 20.000 personas. De estas cifras se desprende que 1.017 serán construidas en la ciudad de Río Grande, 47 en Tolhuin y 248 en Ushuaia, estos valores corresponden al primer plan que comenzó en el 2004 y se prevé terminar en el 2008. En lo que se refiere al segundo plan, la institución encargada del proyecto, ejecución y planificación (IPV) no ha dispuesto, hasta el momento, la discriminación de unidades habitacionales para cada ciudad.

En lo que refiere a nuestro caso de estudio, el parque habitacional de la provincia de Tierra del Fuego, tiene la particularidad de destacarse de otras provincias de la República Argentina por tener un alto índice de viviendas de interés social construidas por el Estado, para ser más preciso, del total de la población que la habita (101.079 habitantes según el último censo del INDEC–2001), y de acuerdo a datos del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, Secretaria de Obras Públicas y la Subsecretaria de Desarrollo Urbano y Vivienda, en la provincia, el 65,3% de la población se encuentra habitando este tipo de viviendas, con lo cual podemos apreciar el impacto que producen las diferentes operatorias en nuestro universo de estudio.

El objetivo general del trabajo consiste en el análisis energético comparativo en viviendas de cuatro localidades de la Argentina, con una focalización en esta comparativa, con el consumo energético en viviendas sociales construidas por el Estado en la ciudad de Río Grande, Tierra del Fuego. Sobre una muestra de 20 auditorías detalladas, realizadas en dicha ciudad, se muestran los resultados del comportamiento térmico según la tecnología implementada y su correlación con la energía consumida, considerando dentro de esta el gas natural y electricidad. Los casos de otras localidades fueron tomados de trabajos publicados (Blasco, I. et Al., 2000) (Filippín, C., 1995, 2007) (Czajkowski, J y Rosenfeld, E., 1990). Se muestra a través del análisis como los usuarios logran, lo que consideran, sus condiciones de bienestar por medio de un hiperconsumo en el consumo de gas para calefacción, superando cualquier *variable tecnológica*. La localidad de Río Grande se ubica al NE de la provincia de Tierra del Fuego a 53º 40', 67º 40' y 70 m, de latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar, respectivamente, con una población aproximada de 60.000 habitantes. De acuerdo a la clasificación bioambiental de la República Argentina (Norma IRAM 11603, 1992) corresponde a la zona VI, muy frío, la características de este clima es de veranos fríos e inviernos muy rigurosos (Datos medios anuales: T<sub>máx.med.</sub>: 15,8 °C, T<sub>mín.med.</sub>: - 3,6 °C, con una HR: 73%, vientos muy fuertes, en la mayor parte del año, de SO y 5482 grados día (Base 20 °C). La temperatura mínima de diseño en invierno es de -11,6 °C.

## 2. Métodos y técnicas

Se llevaron a cabo auditorías detalladas de verano e invierno del comportamiento térmico-energético en condiciones reales de uso entre el 04/02 y el 21/02/2005 y 08/07 y el 28/07/2005. Se utilizó el siguiente instrumental: veintidós micro-adquisidores de datos tipo HOBO (Marca HOBO H8004), una estación meteorológica (Marca HOBO H8 PRO) de dos parámetros y cinco termohigrómetros digitales. Las mediciones del comportamiento higrotérmico de las viviendas fueron realizadas en un lapso de cinco días corridos que incluyen un fin de semana completo, la elección de esto, es lograr información lo más completa posible sobre modos y comportamientos de uso de la vivienda y energía, permitiendo de ésta manera comparar días laborables y de descanso. En el período de medición se procedió a la lectura de los medidores de gas natural (GN) y energía eléctrica (EE) para obtener los consumos reales. Estos datos fueron volcados en los balances térmicos para su posterior análisis. (Diaz, C y Czajkowski, J. 2006–2007).

Trabajos anteriores centraron su interés en las variables energéticas y de habitabilidad, en relación a las dimensionales y formales de los edificios para el período de verano por una parte, e invierno por la otra. De acuerdo a los resultados de esos análisis se propusieron alternativas de mejoras para las diferentes operatorias y una posterior comparación de los ahorros energéticos logrados en comparación a su estado actual (Díaz, C y Czajkowski, J. 2004 –2005–2006).

En el presente trabajo se propone un análisis comparativo del consumo total (CT) anual de energía en GN y EE (Eq. 01) por unidad de superficie habitable (Eq. 02), para viviendas en diferentes localidades del país. Para plantear dicho análisis con las viviendas de la ciudad de Río Grande se escogieron de acuerdo a sus similitudes formales y dimensionales.

$$CT = CEE + CGN \times 10,27 \quad [KWh / año] \quad [Eq. 1]$$

$$CTm^2 = \frac{CEE + CGN \times 10,27}{m^2} \quad [KWh / m^2.año] \quad [Eq. 2]$$

Para realizar el diagnóstico de las tipologías auditadas, se seleccionaron casos representativos de éstas, agrupándose en tres grupos de acuerdo a la tecnología implementada en la operatoria. Esta determinación se realizó de acuerdo al peso/m<sup>2</sup> de cada solución constructiva de muros y techos. Otro dato que se cruzó con esta información es el consumo de energía, tanto eléctrica como gas natural, para determinar cuál es el confort logrado teniendo en cuenta la respuesta arquitectónica al sitio y el comportamiento de la estructura social de los hogares. Se construyó una tabla complementaria a las presentadas en otros trabajos (Díaz C. y Czajkowski J., 2004 - 2005) que incluye: a. Aspectos dimensionales, b. aspectos energéticos, c. tecnología, d. situación de confort. (Tabla 1)

Las características de los sistemas constructivos que se representan en la Tabla 1, corresponden a valores promedios de las viviendas auditadas. El objetivo de esto es tener una comprensión rápida del universo de análisis.

Donde:

A: superficie interior a calefaccionar en m<sup>2</sup>

V: volumen interior a calefaccionar en m<sup>3</sup>

Fe: factor de compacidad adimensional (Czajkowski, 1990)

Ff: factor de forma adimensional (Czajkowski, 1990)

Fe: factor de exposición adimensional (Czajkowski, 1990)

Kp: coeficiente ponderado de transmitancia térmica (W/m<sup>2</sup>.K) (Czajkowski, 2001)

CGN: Consumo Gas Natural (m<sup>3</sup>/año)

CEE: Consumo de Energía Eléctrica (KWh/año)

Tecnología implementada	Descripción de la envolvente (SC)	Características de los sistemas constructivos	Imagen	
Sistema constructivo pesado (8 casos auditados) ( $\geq 400 \text{ Kg/m}^2$ )	Muro: Placas de hormigón armado prefabricado con 1,5 cm de aislación en medio.  Techo: Entrepiso de losa hormigón armado	$A(\text{m}^2) - 95$ (promedio)		
		$V(\text{m}^3) - 247$		
		$Fc - 69,2$		
		$Ff - 0,38$		
		$Fe - 0,19$		
		$Kp (\text{W/m}^2\text{°C})$		M: 0,91 T: 2,00
		$G (\text{W/m}^2\text{°C}) - 2,26$		
		$CGN (\text{m}^3) - 6133,4$		
		$CEE (\text{KWh/año}) - 17320$		
		Sistema constructivo tradicional (6 casos auditados) ( $\leq 250 \text{ Kg/m}^2$ )		Muro: Bloque de hormigón revocado en ambas caras.  Techo: Chapa / aislación y machimbre a la vista.
$V(\text{m}^3) - 224$				
$Fc - 69,4$				
$Ff - 0,35$				
$Fe - 0,62$				
$Kp (\text{W/m}^2\text{°C})$	M: 2,15 T: 1,17			
$G (\text{W/m}^2\text{°C}) - 1,83$				
$CGN (\text{m}^3) - 8231,9$				
$CEE (\text{KWh/año}) - 16297$				
Sistema constructivo liviano (6 casos auditados) ( $\leq 100 \text{ Kg/m}^2$ )	Muro: Sist. Prefabricado con madera exterior aislación y enchapado int.  Techo: Chapa / aislación y cielo raso suspendido.		$A(\text{m}^2) - 98$ (promedio)	
		$V(\text{m}^3) - 231,4$		
		$Fc - 65,4$		
		$Ff - 0,38$		
		$Fe - 1,00$		
		$Kp (\text{W/m}^2\text{°C})$	M: 0,81 T: 0,86	
		$G (\text{W/m}^2\text{°C}) - 1,47$		
		$CGN (\text{m}^3) - 7651$		
		$CEE (\text{KWh/año}) - 18022$		

Tabla 1. Resumen de Indicadores dimensionales, morfológicos y térmicos promedios de cada grupo de viviendas.

Se realizó un estudio energético considerando como variable constante el consumo general de energía ( $\text{KWh/m}^2\text{.año}$ ), esto quiere decir que se unificó el consumo energético anual por unidad funcional en EE y GN. Se correlacionaron los consumos con las pérdidas volumétricas globales ( $G - \text{W/m}^3\text{.K}$ ), la superficie ( $\text{m}^2$ ) y el volumen habitable ( $\text{m}^3$ ). A partir de esta premisa se buscaron antecedentes que traten la misma problemática en diferentes localidades de la Argentina con el objeto de poder analizar y comparar otros comportamientos en relación al consumo energético para el sector viviendas. (Blasco, 2000-2002; Czajkowski, 1990; Filipín, 1995). El criterio de elección se basó en la información brindada por trabajos publicados que contengan datos suficientes para desarrollar gráficos que puedan ser comparables.

Estos datos se volcaron en la Tabla 2, cuyo criterio de elección fue escoger edificios de viviendas que contemplen similitudes dimensionales, las tipologías de La Pampa y San Juan corresponden a viviendas sociales y para el caso de Buenos Aires viviendas privadas. Los datos que se extrajeron fueron: metros cuadrados y cúbicos construidos; pérdidas globales ( $\text{W/m}^3\text{.K}$ ); consumo total de energía ( $\text{KWh/m}^2\text{/año}$ ). De acuerdo a la información brindada por los trabajos publicados, el caso de Blasco, et al. (San Juan) no se pudo obtener información de las pérdidas globales  $G$ . En la tabla se representa como "S/D".



Blasco, et al. (San Juan)				
Código	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	G (W/m <sup>2</sup> °C)	KWh/m <sup>2</sup> /año
1	60,6	183,3	S/D	75
2	73,57	228,08	S/D	66
3	70,58	198,32	S/D	67
4	86,58	236,99	S/D	59
5	52,48	146,95	S/D	96
6	62,4	174,72	S/D	83
7	54,96	181,38	S/D	83
8	56,42	147,32	S/D	68
9	69,26	171,03	S/D	63
Czajkowski, et al. (Buenos Aires)				
70	60	161	2,2	161,28
93	68	184	2,1	160,12
71	64	173	2,9	176,16
91	61	162	2,4	194,11
137	56	160	2,8	195,69
68	74	203	2,5	183,87
94	60	167	2,9	168,37
241	60	167	2,7	139,41
288	39	106	2,9	143,60
Filippin, et al. (La Pampa)				
1	65,8	171,1	2,46	271,56
2	50,2	130,5	2,42	261,10
4	50,8	132	2,31	403,16
5	36,5	95	2,15	225,71
14	65,8	171,1	2,54	190,09
15	50,2	130,5	2,55	240,79
13	50,8	132	2,52	356,48
12	35,5	95	2,4	237,00

Tabla 2. Datos de antecedentes para diferentes localidades del país.

Se analizó la respuesta de los consumos totales de energía con respecto al volumen a climatizar y con las pérdidas globales  $G$  (Figura 1). Si observamos estos gráficos se puede apreciar como los consumos de energía tienen una correlación directa con el sistema constructivo empleado respecto a la características climáticas en las cuales se encuentran implantadas las viviendas y su volumen a calefaccionar.

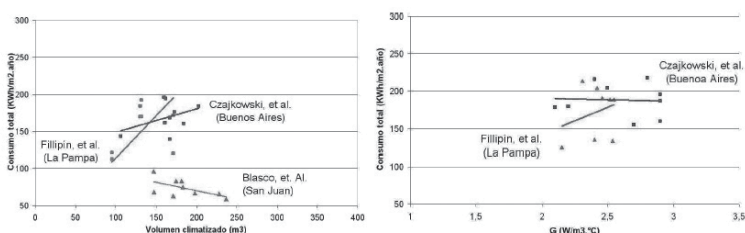


Figura 1. Superposición del consumo total de energía con el volumen climatizado y el  $G$  respectivamente.

Como se mencionó anteriormente, en la Figura 1, se superpusieron los diferentes casos con respecto a su localización geográfica, dando como resultado el consumo de energía relacionada a sus características dimensionales. En el caso de la Figura 2 se realizaron los gráficos unificando la variable del consumo de energía, para lograr esto se utilizaron los grados día en base 20° de cada localización según las Normas IRAM 11604 (San Juan, 1275 °D/año; Buenos Aires, 1778 °D/año y La Pampa, 1802 °D/año)

con el objeto de poder observar los comportamientos de las viviendas con respecto al consumo de energía sin considerar la variable geográfica. Esta unificación nos ayudará a compararlos con nuestro caso de estudio.

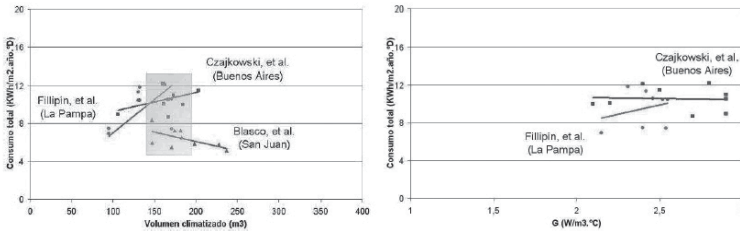


Figura 2. Consumo de energía de viviendas en diferentes localidades del país unificando los grados día en base 20º C.

Al unificar estos valores se puede observar como los consumos, a similitudes volumétricas y pérdidas globales, se correlacionan, lo que demuestra, que más allá de la localización geográfica en el que se encuentran implantadas las viviendas y sus características constructivas, los usuarios tienen un comportamiento similar en el modo de acondicionar las mismas. En el siguiente punto se analizará el comportamiento para las viviendas de Tierra del Fuego y se analiza si continúa existiendo dicha correlación.

### 3. Resultados – Discusión

Partimos de la hipótesis en que el parque habitacional de viviendas de interés social de Tierra del Fuego presenta distorsiones aparentes en el consumo de energía respecto de tipos similares en otras zonas del país. Así se propone, en una primera parte, un análisis de las tipologías analizadas recalculando el consumo total de energía con tres variables, las cuales se deberían dar regresiones lineales con pendiente positiva, o sea que el consumo de energía “debe” crecer cuando aumentan el volumen a calefaccionar, el coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas y el grado de exposición de la envolvente de la vivienda.

Al plantear el análisis de estas variables para cada caso auditado y el comportamiento de las mismas al clima muy frío, observamos, como factor común, la existencia de una muy baja correlación (un  $R^2$  que oscila entre 0,023 y 0,0041) entre las pérdidas diarias de energía y su superficie habitable (Ver figuras 4, 5 y 6). Los puntos azules representan el consumo según lo auditado.

Realizada esta correlación para el total de la muestra y comparando la carga térmica anual con el total de energía consumida por vivienda, vemos que se plantea una gran dispersión con respecto a la situación real de consumo. Esta diferencia entre calculado (puntos rojos) y medido (puntos azules) se aplica en que los usuarios tienen un consumo mayor de energía que lo estipulado en los balances energéticos, el cual se realizó con una base de 20 °C (Norma IRAM 11604).

Ante los resultados de este análisis y según las distorsiones que se producían, observamos varios factores interesantes a discutir. En primera medida comparamos el consumo medido (auditorías) con el consumo obtenido de acuerdo a los balances energéticos y, aunado a estos, analizamos los casos auditados y los agrupamos de acuerdo a las similitudes en la temperatura media interior, sin distinción en la tipología o tecnología empleada (Figura 3). Para esta latitud la preponderancia del recurso para mantener los espacios habitables en confort es el GN, con lo cual significa que se debe tener, muy en cuenta, la variable del comportamiento de su uso por parte de los usuarios.

De acuerdo a los valores medidos de temperatura interior y humedad relativa se obtuvo un valor promedio de 22,92 °C y 35,25 %, para un valor exterior en verano de 11,31 °C y 66,31 %, y en invierno de 1,87 °C y 86,7 % respectivamente.

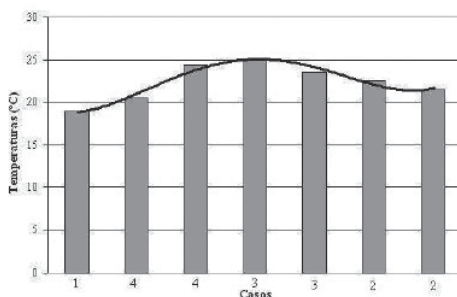


Figura 3. Similitud de  $T_{media}$  de los diferentes casos.

Según estos datos medidos se observan dos factores que dan una explicación al alto consumo energético, la primera es la lógica consecuencia de buscar el confort entre la diferencias de temperatura interior con la exterior, pero si observamos las temperaturas medias exteriores es necesario “incrementar” 21 °C en invierno y 12 °C en verano, para lograr este “confort”, el cual se logra por medio de un alto consumo de energía.

No obstante, no se cuestiona a los usuarios que buscan este nivel de confort, lo que planteamos es que los mismos se logran gracias a un uso poco eficiente de la energía, que está directamente relacionado al modo de construcción de las diferentes operativas y las pérdidas globales (Diaz, C. y Czajkowski, J.; 2004 - 2005- 2006).

Otro factor importante a tener en cuenta es el subsidio al GN que otorga el Gobierno Nacional por Ley a los usuarios de la empresa privada Camuzzi Gas del Sur S.A. la cual abastece a todo el sur argentino y la mayor parte de la provincia de Buenos Aires, dicho subsidio es aplicado al valor final del combustible (sobre las facturas de gas), y el mismo es mayor a medida que las latitudes de nuestro país van aumentando, hasta llegar a un 65% en la provincia de Tierra del Fuego, dando como resultado un uso poco cuestionado del GN, para calefacción, por parte de los usuarios.

Para entender dicho comportamiento se analizaron las diferencias entre la temperatura medida (auditoría) y la calculada para realizar los balances (20 °C), la cual dio como

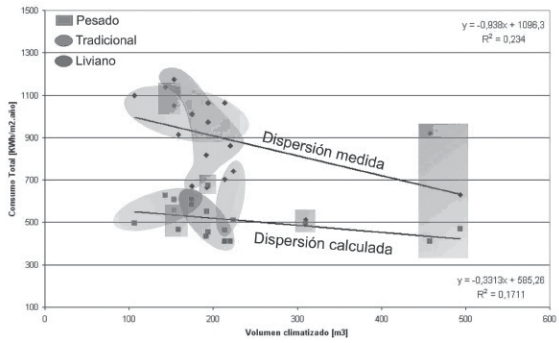


Figura 4. Consumo de energía de acuerdo al volumen a climatizar.

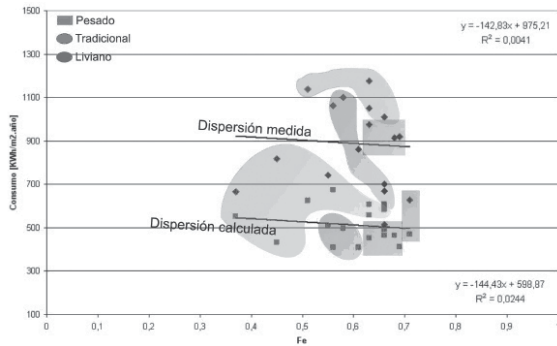


Figura 5. Consumo de energía de acuerdo a la calidad energética de la envolvente.

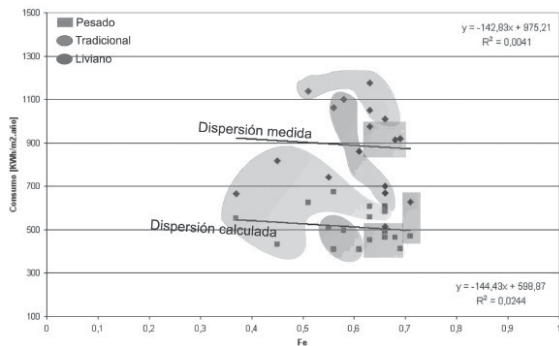


Figura 6. Consumo de energía de acuerdo al grado de exposición.

resultado una diferencia de solo tres grados. Aunque este valor no parezca significativo, es importante destacar que para lograr este aumento de temperatura, es necesario un alto consumo de energía ya que esta diferencia no se produce de manera lineal para el caso de un edificio, por intervenir varios factores como ser las infiltraciones y renovaciones de aire.

Luego de este análisis, realizamos nuevamente estos gráficos donde la temperatura interior es de 20 °C (calculada) y los superpusimos con los valores calculados (Figura 4, 5 y 6). Observamos como se corrige la dispersión. Para dar una explicación a esto, en las figuras mostramos tres grandes agrupaciones (pesado, tradicional y liviano), en las cuales se puede observar el comportamiento de los diferentes sistemas constructivos en relación al consumo. Para una mejor lectura remarcamos en diferentes colores cada sistema constructivo. (Naranja: Pesado; Verde: Tradicional y Azul: Liviano)

Según este último análisis, las viviendas construidas con el sistema constructivo liviano tienen una mayor eficiencia en respuesta al clima muy frío, aunque tengan un  $F_e$  más alto por tratarse de viviendas aisladas. De esta manera también verificamos los indicadores de  $K_p$  y  $G$  de la Tabla 1.

Si observamos las viviendas construidas con el sistema tradicional (estructura independiente de hormigón armado y bloques de hormigón), las cuales también corresponden a viviendas individuales, se aprecia que existe un mayor consumo de energía a menor superficie, con lo cual confirma lo expresado en trabajos anteriores que mostraban una menor eficiencia en la forma o modo de adaptar este sistema constructivo a un clima riguroso (Diaz y Czajkowski, 2005-2006-2007).

El opuesto a estos casos, es el sistema constructivo pesado, donde se observa en los gráficos una gran diferencia en lo medido y auditado. Una respuesta a esta particularidad es que a la hora de realizar los balances energéticos con los cuales se determinaron los valores para el cálculo (Valores de  $K$  y  $G$ ) fueron de acuerdo a los pliegos y fichas técnicas cedidas por la Sede Norte del Instituto Provincial de la Vivienda de la ciudad de Río Grande, con lo cual, luego de la posterior sistematización y cruzamiento de datos con las mediciones realizadas, se corroboró que en muchos de los casos auditados existe una distorsión entre las características constructivas de los pliegos y las mediciones.

Volviendo a la hipótesis anterior, donde se planteaba unificar los grados días en base 20° de las diferentes tipologías para distintas localidades del país, el cual para la ciudad de Río Grande donde se realizaron estas auditorías corresponde a 5482 °D/año, de acuerdo a las Normas IRAM 11604 (Figura 6).

Observamos en estos gráficos que el comportamiento de las viviendas de nuestra auditoría, a similares características en la variable dimensional, se alejan en la mayoría de los casos auditados para otras localidades del país. Situación que afirma la hipótesis planteadas en cuanto a las deficiencias en los sistemas constructivos de las diferentes operatorias, ya analizadas en trabajos anteriores, y al comportamiento de los usuarios para lograr un “confort” elevado, por medio del desmedido consumo de combustible para tal fin.

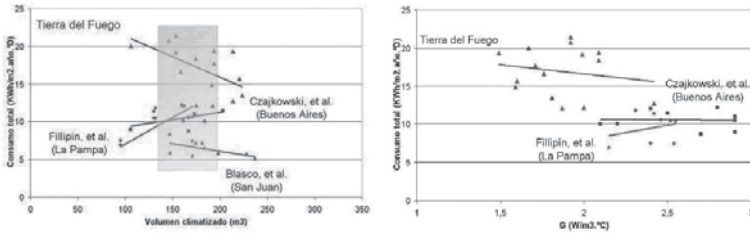


Figura 7. Consumo total de energía, unificando las diferentes viviendas analizadas del país.

### 4. Conclusiones

Queda claro que es necesario poseer una muestra cuantitativamente mayor para obtener características más significativas. Creemos que con los escasos medios para realizar esta beca, los resultados son promisorios en lo que respecta a viviendas de interés social. Ya sea en diversidad tipológica, constructiva y tecnológica, como así también costumbres y modo de uso en climas muy fríos.

Se puede inferir que los altos consumos de energía estarían relacionados al comportamiento por parte de los usuarios respecto al uso de la energía, derivados de los altos subsidios otorgados en la provincia. Esto conlleva a que en otras regiones del país, a similitud en cuanto a volumen habitable e igual grados día, sean notablemente menores. No solo por lograr el confort interior menor a los de Tierra del Fuego, sino como resultado directo con el costo de la energía.

El análisis comparativo muestra que mientras en el resto del país se percibe una correlación entre consumo de la energía y el volumen de las viviendas, en Río Grande no ( $R^2=0,0116$ ). La fuerte dispersión es debida a la perturbación causada por los subsidios que llevan a que los usuarios pierdan la capacidad de valorar la energía. Esto implica un comportamiento tipo *random* entre grupos familiares que consumen lo necesario para mantener sus viviendas en torno a los 20°C mientras en otras se registraron valores superiores a 24°C.

La posible ampliación de datos de las viviendas analizadas de las otras localidades del país, permitiría generar un indicador que sirva como base para comparar el comportamiento y uso energético, superando la variable tecnológica y el modo de uso de la energía.

En cuanto a las viviendas de Tierra del Fuego se reconoce una factibilidad real de implementación en el rediseño de las mismas. Debe plantearse a partir de este análisis instrumentos en I+D que respondan al contexto tecnológico, económico, social e institucional de la región considerada. De manera complementaria a esto, es necesario proponer el diseño de políticas de incentivos económicos que favorezcan la adopción de niveles de exigencia superiores a los establecidos en las Condiciones Mínimas de

Habitabilidad Higrotérmica de la SEDUV (Nivel C de la Norma IRAM 11604). Se señala además, la necesidad de crear un instrumento jurídico de validez provincial que de marco a un conjunto de medidas coordinadas entre los distintos niveles del gobierno.

## 5. Referencias

- Atria, Raúl, (2004). *Estructura ocupacional, estructura social y clases sociales*. Series políticas sociales. Publicado por la Naciones Unidas, CEPAL. División de desarrollo social, Santiago de Chile.
- Blasco, I.; Albarracín, O y Hoesé, L. (2000). *Procedimiento de evaluación bioclimática de viviendas*. Actas 23º Reunión de Trabajo de ASADES. Chaco, Argentina. Vol. 4, Pág. 103-107.
- Blasco, I.; Facchini, M; Gómez, W.; Pontoriero, D.; Hoesé, L y Carestía, C. (2002). *Análisis de consumos energéticos en barrios suburbanos de la ciudad de San Juan*. Energías renovables y medio ambiente. Vol. 11, Pág. 11-18-.
- Blasco, I.; Albarracín, O.; Carestía, C. (2000). *Comportamiento energético de tipologías barriales en San Juan - Argentina*. Actas 23º Reunión de Trabajo de ASADES. Chaco, Argentina. Vol. 4, Pág. 121-125.
- Czajkowski, Jorge y Rosenfeld, Elías (1990). *Resultados del análisis energéticos y de habitabilidad higrotérmica de las tipologías del sector residencial urbano del área Metropolitana de Buenos Aires*. Actas 14º Reunión de Trabajo de ASADES. Mendoza, Argentina. Pág. 131-136.
- Czajkowski, Jorge y Rosenfeld, Elías (1990). *Metodología para el análisis de las clasificaciones complejas y construcción de tipologías mediante la reducción de espacio de atributos. Un enfoque energético*. Actas 14º Reunión de Trabajo de ASADES. Mendoza, Argentina. Pág. 27-33.
- Czajkowski, Jorge y Gómez Analia (2001). *Trabajo práctico N° 2*. Taller Vertical de Instalaciones – Opción 2. FAU – UNLP.
- De Rosa, C y Fernandez Llano, J. C. (1994). *Normas de conservación de energía para edificios residenciales en la provincia de Mendoza. Propuesta preliminar*. Actas 17º Reunión de Trabajo de ASADES. Santa Fe, Rosario, Argentina. Pág. 189-197.
- Diaz, Cristian J. y Czajkowski Jorge (2004). *Comportamiento térmico de viviendas populares en Tierra del Fuego (Argentina)*. Actas 27º Reunión de Trabajo de ASADES. La Plata, Argentina. Vol. 8, Pág. 73-78.
- Diaz, Cristian J. y Czajkowski Jorge (2005). *Análisis técnico-económico en viviendas de interés social en el extremo Sur-Patagónico (Prov. Tierra del Fuego - Argentina)*. Actas IX Encuentro Nacional e III Encuentro Latino-Americano sobre Conforto no ambiente

Construido y V Conferencia Latinoamericana sobre confort y Comportamiento Térmico de Edificaciones I, Maceio, Alagoas – Brasil.

- Diaz, Cristian J.; Corredera Cecilia y Czajkowski Jorge (2005). *Resultados de mediciones de confort higrotérmico en viviendas de interés social en Tierra del Fuego. Campaña de verano*. Actas 28º Reunión de Trabajo de ASADES. La Plata, Argentina. Vol. 9, Pág. 79-84.
- Diaz, Cristian J. y Czajkowski Jorge (2006). *Resultados de mediciones de confort higrotérmico en viviendas de interés social en Tierra del Fuego, argentina. Campaña de invierno*. Actas 29º Reunión de Trabajo de ASADES. La Plata, Argentina.
- Filippín, Celina (2007). *Análisis del consumo de gas natural en viviendas multifamiliares en bloque en un clima templado frío de Argentina*. Actas 30º Reunión de Trabajo de ASADES. San Luis, Argentina.
- Filippín, C., De Rosa, C y Bernardos, J. (1995). *Variación del perfil energético estacional en viviendas de Interés Social en La Pampa*. Actas 17º Reunión de Trabajo de ASADES. San Luis, Argentina. Pág. 23-30.
- IRAM, serie de normas relacionadas con el aislamiento térmico de edificios. Buenos aires, Argentina.
- Kwok, Alison G., AIA y Grondzik, Walter T., PE (2007). *The green Studio handbook. Enviromental strategies for shematic design*. Architectural press. Published by Elsevier Inc, 2007. ISBN: 13: 978-0-7506-8022-6.
- Rosenfeld, E., Discoli C., Martini I., San Juan, G., Barbero D., Ferreyro C., Corredera C., Diaz C. (2003). *El uso de la energía en el sector residencial del gran La Plata. Discriminación de consumos, cambios tecnológicos y opinión de los usuarios en las décadas del '80 y '90*. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol 7. ISSN 0329-5184. Pág. 07-25.

## **Agradecimientos**

Un especial reconocimiento al Director de la UI2 – IDEHAB – FAU – UNLP, el Dr. Elias Rosenfeld, por facilitar el instrumental para desarrollar el trabajo de campo, sin el cual hubiera sido imposible en tan corto tiempo obtener tantos casos. A la Provincia de Tierra del Fuego, por facilitar pasajes aéreos sin cargo y a las autoridades del IPV por el acceso a información sensible. Un especial agradecimiento al pueblo de Río Grande y Tolhuin por permitirnos ingresar a sus hogares.

Artículo publicado en las Actas del XXXI Congreso de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (ASADES 2008).

Mendoza, Argentina. Noviembre de 2008. pp 05.05 – 05.12.



# Comportamiento térmico de viviendas sociales mediante incorporación de mejoras de diseño en la envolvente

Jorge D. Czajkowski, Analía F. Gómez, M. Gracia Bianciotto.

## Resumen

La UNLP es un nodo dentro de la red académica que forma el Proyecto PAE 22559 - BID 1718/OC-AR «Eficiencia energética en el hábitat construido». Uno de los objetivos del Nodo hacia la red consiste en evaluar modelos de viviendas de interés social e incorporar mejoras con costos cercanos a cero pero mejorando significativamente su eficiencia energética con mayor confort térmico. Este enfoque implica contemplar la minimización en el uso de la energía, la adecuación al clima, el uso de materiales del sitio, el contenido energético de estos, el costo inicial y en la vida útil, el uso de energías renovables y minimizar emisiones. Se exponen resultados producto de validación de un modelo construido en EnergyPlus con auditorías y trabajo de campo. A partir de la validación se incorporan mejoras y se muestran los comportamientos logrados.

Palabras clave: vivienda, ahorro energía, innovación tecnológica, simulación, eficiencia energética.

## 1. Introducción

Durante dos décadas se ha venido trabajando en un seguimiento y monitoreo mediante auditorías energéticas globales y detalladas en el AMBA, la provincia de Buenos Aires, la provincia de Misiones y Tierra del Fuego. Esto permitió acumulación de conocimiento y experiencia en una visión desde la demanda. Entre varios proyectos destaca el PID CONICET «Mejoramiento de las condiciones de habitabilidad higrotérmica en el hábitat bonaerense» (1989-1991) por la profundidad que alcanzó y facilitó la obtención de varios premios en investigación y proyectos nacionales. A esto se suma el seguimiento de trabajos realizados en La Pampa (Filippin C.; 1995, 2001), San Juan (Blasco I.; 2000), Mendoza (De Rosa; 1988) (López; 1992), Tucumán, Buenos Aires (San Juan G.; 1992) (de Schiller S; 2003), entre otros.

Mucho se ha trabajado sobre la vivienda de interés social, mayoritariamente desde comportamientos térmicos y consumo energético en estado estacionario, monitoreo de la habitabilidad higrotérmica, propuesta de modelos simplificados de ahorro de energía en calefacción, evaluación de la transmitancia térmica adecuada, evaluación del riesgo de condensación, entre otros.

En este trabajo pretendemos:

1. Establecer contacto con los hacedores de viviendas de interés social del Instituto de Vivienda de la Provincia de Buenos Aires. Explicarles los alcances del PAE - BID y como Universidad y proyectistas públicos podemos intentar hacer un trabajo cooperativo con los que deseen integrarse a la cooperación. Así, no fuimos a contactar al director, sino que nos sentamos en una ronda, en el propio lugar de trabajo de arquitectos e ingenieros, a ver si podíamos discutir mejoras en viviendas que generan.

2. Acordamos tomar lo que ellos consideran la peor operatoria, desde la visión de un arquitecto proyectista, y llevarnos el material para analizarlo. Es el Plan Federal 2 que prevé construir viviendas de uno o dos dormitorios, que deben crecer en dúplex con un costo entre 47.000 y 57.000 pesos. Esto implica 887 pesos/m<sup>2</sup> o 286 u\$s/m<sup>2</sup>. Como puede verse es un gran desafío (Figura 1).

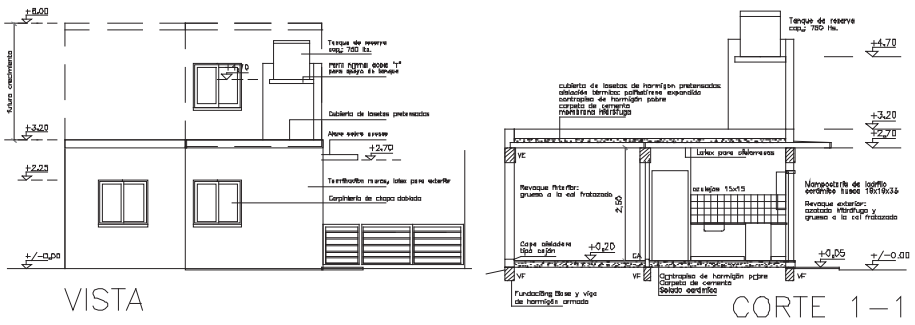
3. Propusimos otras alternativas para mejorar la interacción, como acudir una vez a la semana al IVBA o que el IVBA envíe algún profesional al grupo, pero por el momento fue desestimado. El tiempo dirá como continuar.

4. Se acordó que ni bien tuviéramos algún resultado o propuesta lo llevaríamos para que el área costos analice su viabilidad y de ser aprobado por directorio pasa a integrar los legajos tipo que ofrece el IVBA a las organizaciones intermedias. Cabe aclarar que el IVBA a diferencia de otros Institutos provinciales no construye barrios.

5. Se realizó una campaña de auditoría energética en viviendas habitadas en Rojas (provincia de Bs. As), se modelaron en EnergyPlus las viviendas para ajustar el modelo y a partir de esto proponer mejoras.

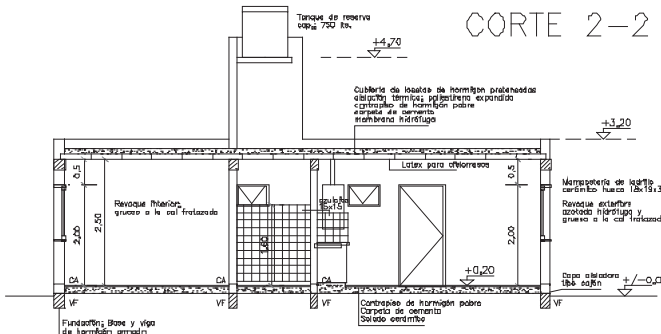
En este trabajo se muestran resultados surgidos de simulaciones numéricas realizadas con el programa EnergyPlus del Ministerio de Energía de los Estados Unidos de Norte América, que es de libre disponibilidad. La única base de datos meteorológica (*bdm*) disponible es Aeroparque (Bs. As.) y es con la que se trabajó. En la actualidad nos encontramos analizando el formato de la base de datos a fin de elaborar *bdm* para 27 localidades de Argentina. Contamos con el asesoramiento técnico del LabEEE-UFSC (Brasil).

El objetivo del trabajo es tomar el modelo de vivienda enviado por Nación y proponer escenarios tecnológicos en cuanto a características de muros y techos y niveles de aislamiento térmico, a fin de conocer su comportamiento térmico anual, pero centrandolo los resultados en el período de verano e invierno, y discutirlos.

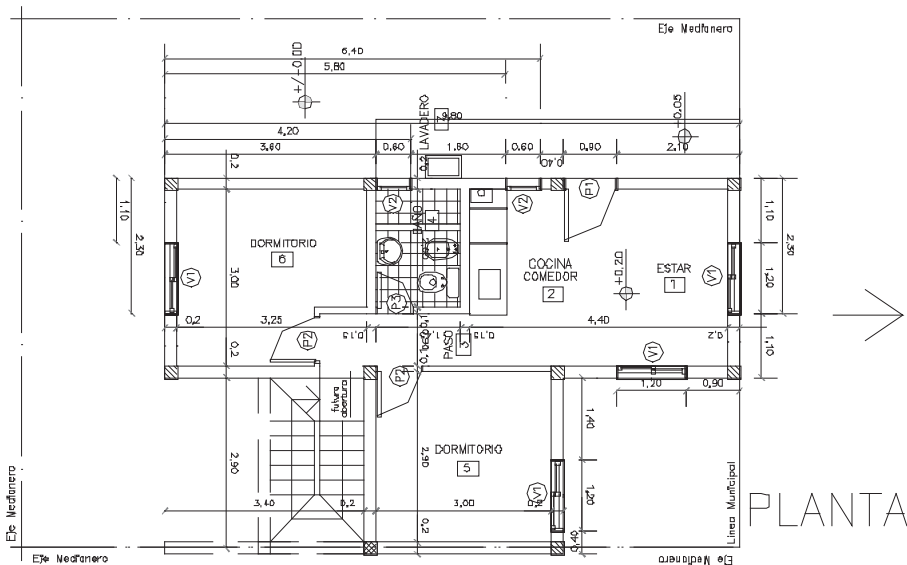


VISTA

CORTE 1-1



CORTE 2-2



PLANTA

Figura 1. Documentación gráfica del prototipo del Plan Federal 2 para la Prov de Buenos Aires. (Fuente: IVBA, 2007)

## 2. Metodología

Se modelizó la vivienda auditada en EnergyPlus, se estableció una agenda de uso y ocupación (personas, iluminación, cocción y agua caliente), basado en los casos auditados para cada mes del año. Esto con el fin de generar cargas internas por ocupación hora. A fin de contrastar resultados entre auditado y simulado se incrustaron en la base de datos climáticos del programa los datos climáticos medidos para el período de medición. En la Figura 2 se muestra que no hay diferencia en el exterior entre auditado y simulado y en el interior de la vivienda las diferencias no son significativas.

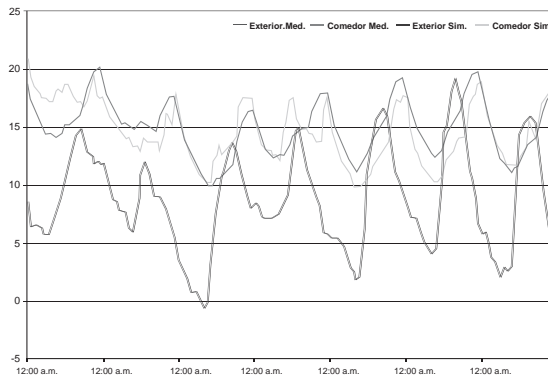


Figura 2. Validación del modelo de vivienda auditado y simulado con EnergyPlus.

En cada escenario tecnológico se fueron incorporando cambios en la envolvente a fin de evaluar el comportamiento térmico del conjunto. Se utilizaron tres soluciones base para muros y una para techos. En muros: ladrillos cerámicos huecos de 18x18x33; bloques de concreto 19x19x39 y «tapia» de suelo estabilizado. En la solución base (Prot1) se utilizaron carpinterías de aluminio con vidrio simple. En la solución intermedia (Prot2) carpinterías de madera de cultivo tratadas con CCA y vidrio simple pero con postigones exteriores de madera. En la solución recomendada (Prot3) las mismas carpinterías pero con vidrio doble económico ( $K= 3,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ). Previamente se analizó cuales son las soluciones constructivas usuales en la construcción de estos barrios definiendo sus características físicas y térmicas.

Se establecieron las mejoras en función del Nivel B propuesto en la Norma IRAM 11605 y una versión mejorada que denominamos «recomendable». Una de las opciones que se adoptó fue recuperar la «Tapia» como solución constructiva ancestral de muy bajo contenido energético (IDAE, 1999); constituida por suelo apisonado con un 10% (promedio) de aglomerante sea cemento Portland o cal hidráulica.

Se utilizaron antecedentes locales y regionales donde se obtuvieron valores de su comportamiento mecánico, físico y térmico. (Cortés, A.; 1996). Se aumentó la masa tér-

mica de los bloques de concreto relleno con tierra levemente apisonada (Prot 1', 2 y 3). Se pierde levemente aislamiento térmico, pero se aumenta la masa.

En el caso de muros la opción es adherir el aislamiento térmico en la cara exterior, mediante un procedimiento denominado «EIFS» External Insulation Finish System [[www.eifscouncil.org](http://www.eifscouncil.org)]. Este sistema permite incorporar aislamiento térmico exterior al menor costo posible (Filippin, 2007), evitando costosos recubrimientos como dobles muros y otros. Se probó este sistema con buenos resultados en dos viviendas privadas en La Plata, con materiales locales.

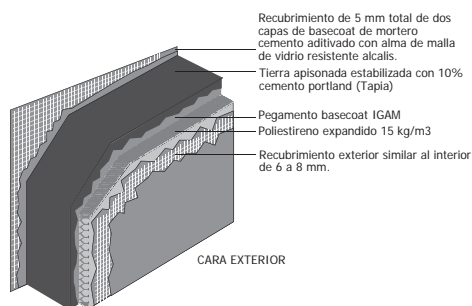


Figura 3. Tradicional «tapia» mejorada. (Elaboración propia)

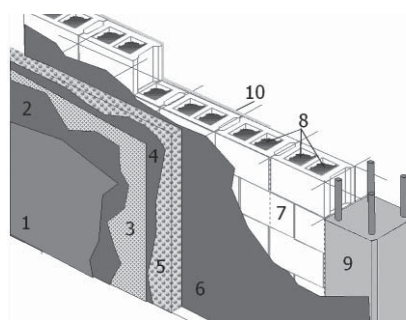


Figura 4. Bloques de concreto con aumento de masa y resistencia térmica. Donde: 1 a 6 es sistema EIFS; 7 bloques concreto; 8 suelo cal; 9 estructura resistente y 10 revoque interior. (Elaboración propia)

Prototipo	Espesor m	Aislam. m	K W/m <sup>2</sup> .K	Masa Kg/m <sup>2</sup>
P1-LH: Sin aislam, vidrio simple y carpintería aluminio sin protección solar	0,20	---	1,75	140
P2-LH: Nivel B, vidrio simple, carpintería madera y postigones exteriores	0,24	0,04	0,58	142
P3-LH: Nivel Rec, vidrio doble, carpintería madera y postigones exteriores	0,28	0,08	0,37	143
P1-BC: Sin aislam, vidrio simple y carpintería aluminio sin protección solar	0,20	---	2,70	188
P1'-BC: Sin aisl. c/tierra, vidrio simple y carpintería aluminio sin protección solar	0,20	---	3,22	322
P2-BC: Nivel B c/tierra, vidrio simple, carpintería madera y postigones exteriores	0,24	0,04	0,68	324
P3-BC: Nivel Rec c/tierra, vidrio doble, carpintería madera y postigones exteriores	0,28	0,08	0,42	326
P1-Tap: Sin aisl. c/tierra, vidrio simple y carpintería aluminio sin protección solar	0,20	---	1,91	384
P2-Tap: Nivel B, vidrio simple, carpintería madera y postigones exteriores	0,24	0,04	0,60	386
P3-Tap: Nivel Rec, vidrio doble, carpintería madera y postigones exteriores	0,28	0,08	0,38	388

Tabla 1. Síntesis de las características físicas y térmicas de los muros usados en la simulación.

Prototipo	Espesor m	Aislam. m	K W/m <sup>2</sup> .K	Masa Kg/m <sup>2</sup>
P1-LCH: Losa de viguetas y ladrillos huecos con terminaciones usuales. Sin aislam.	0,15	---	3,48	320
P2-LCH: IDEM Anterior. Nivel B.	0,26	0,07	0,40	330
P3-LCH: IDEM Anterior. Nivel Recomendable.	0,34	0,15	0,19	334

Tabla 2. Síntesis de las características físicas y térmicas de los techos usados en la simulación.

Dado que es parte del Plan Federal 2 que la vivienda crezca como dúplex y la cubierta es de manera excluyente una losa, se optó por implementar un «techo invertido». Esto permite además proteger la barrera hidráulica y hacerla actuar como barrera de vapor. El aislamiento (EPS 30 kg/m<sup>3</sup>) se apoya sobre la membrana y se cubre con una capa de ripiolita. Cuando se desee construir la planta alta se quita y acopia el aislamiento para ser utilizado nuevamente en la nueva cubierta. Finalmente se implementó un nivel de *aislamiento mínimo* basado en el concepto de «*espesor económico de aislamiento térmico*» (Raspall&Evans; 2003) a fin de verificar comportamientos.

### 3. Resultados

Se seleccionaron 10 días de verano e invierno donde el clima exterior se mostrara más riguroso. En el caso de verano cinco días con temperatura creciente que llegan a un máximo de 35,6°C y luego el cambio de temperatura producto de una tormenta.

En el caso de invierno 10 días con temperaturas mínimas que llegan a -2,4°C y solo dos días antes sobrepasa levemente la máxima de 17°C. En las Figuras 5 a 7 se muestra la respuesta térmica de verano de la vivienda sin mejoras y con las mejoras progresivas. En las figuras 8 a 10 en condición de invierno.

#### 3.1. Verano

Las soluciones constructivas convencionales muestran grandes variaciones térmicas que van siguiendo el ritmo exterior con una amplitud térmica menor pero con extremos en el día más cálido de 31°C y mínima de 27°C (Figura 5: día 4 en rojo). Aclarando que no hay protección solar en las carpinterías y sí baja tasa de ventilación. En ese mismo día la tapia responde con una amplitud de 4,5°C y una máxima de 33°C. De cualquier forma fuera del confort térmico (Figura 7: día 4 en rojo).

La solución Prot2 y Prot3 en las tres soluciones constructivas casi no muestran diferencias. O sea duplicar el aislamiento térmico en verano no implica una mejora o diferencia significativa. Pero sí el cambio en el material de la carpintería, la protección solar en ventanas durante el día y la ventilación selectiva (ventilación cruzada nocturna y mínima diurna).

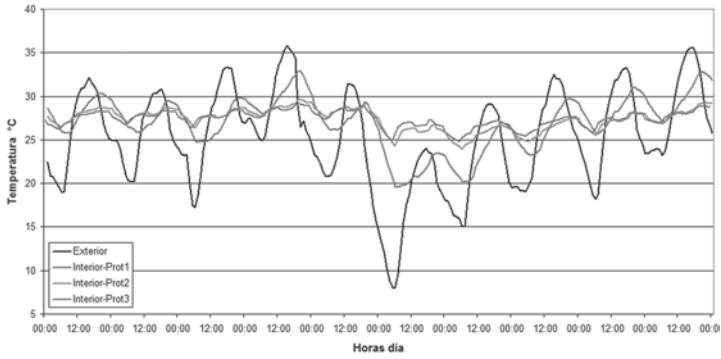


Figura 5. Comportamiento térmico verano de la vivienda resuelta con muros de ladrillo hueco y niveles de mejora. 1 al 10 de Enero, datos EnergyPlus para Buenos Aires.

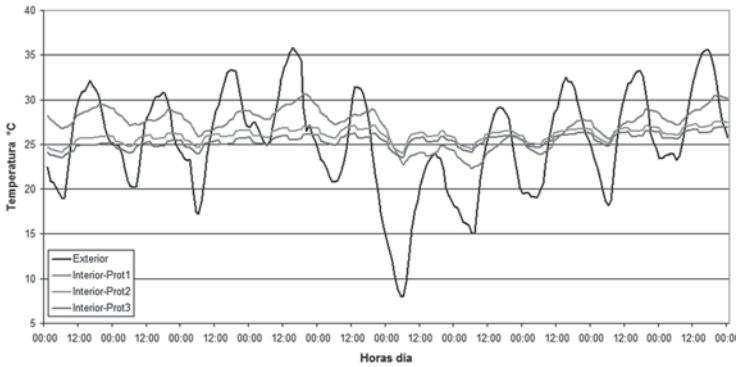


Figura 6. Comportamiento térmico verano de la vivienda resuelta con muros de bloques de concreto y niveles de mejora. 1 al 10 de Enero, datos EnergyPlus para Buenos Aires.

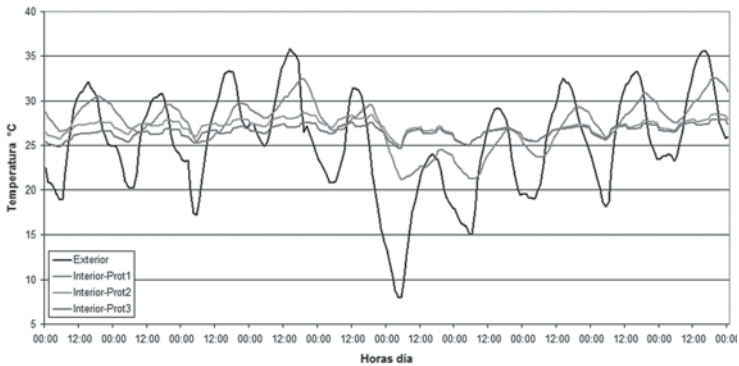


Figura 7. Comportamiento térmico verano de la vivienda resuelta con muros de suelo estabilizado «tapias» y niveles de mejora. 1 al 10 de Enero, datos EnergyPlus para Buenos Aires.

Con ladrillo hueco Prot2 y Prot3, se llega a máximas de 28 a 29°C y amplitud térmica de 2°C. Con el bloque de concreto relleno de tierra y el EIFS una máxima de 26°C y 1°C de amplitud térmica. El muro de tierra estabilizada con un comportamiento muy similar, 27°C y  $\Delta t$  1°C, pero a un costo menor.

Mientras el exterior varió entre 7 a 36°C en los 10 días el interior lo hizo entre 23 a 27°C en el caso de los bloques de concreto rellenos con suelo y aislamiento exterior. Mientras la tapia respondió con 25 a 28°C. En otras palabras en el período más riguroso para la ciudad de Buenos Aires con ventilación mecánica y con estrategias de diseño pasivo más aislamiento térmico y masa la vivienda se mantuvo en un razonable confort.

### **3.2. Invierno**

Durante este período la ventilación se restringió al mínimo sanitario (1 RA) y los postigos estuvieron abiertos desde las 6 de la mañana a las 20 hs en los tres casos. En la condición sin mejoras en los tres casos, la temperatura interior varió entre 3,5 y 17°C en el período, mientras el exterior entre -2,5°C a 17,5°C. Pero lejos del confort sin calefacción.

Mientras en el verano el aislamiento térmico no muestra significativa sensibilidad a los cambios en la temperatura, en invierno sí. Implementando el Nivel B de la IRAM 11605 se consigue en las tres soluciones constructivas una media interior del período cercana a los 13°C.

Con la incorporación de 800 W de potencia de calefacción y sumado al calor por ocupación de 150 a 175 W diarios entre las 12 y las 22hs se llega al confort de 18°C ya que hay que elevar 5°C la temperatura interior.

A pesar del relativo incremento en el costo inicial del nivel de aislamiento térmico recomendable, en los casos de bloques rellenos y tapia la temperatura media del período llega a cerca de los 14°C.

Si en verano la masa térmica es importante, en invierno podemos ver que también es útil mostrándose las mayores variaciones de temperatura interior en la solución con ladrillos huecos. En el caso de los bloques de concreto y tierra o el muro de suelo estabilizado las variaciones diarias en la temperatura son cercanas a los 2°C.

En estas condiciones un mayor aprovechamiento del sol mediante algún sistema de captación pasiva probablemente podría cubrir un incremento de 4 o 5°C para alcanzar el confort a 18°C.

### **3.3. Opción aislamiento mínimo**

Analizadas las soluciones sin mejoras y con dos niveles de mejoras, se decidió simular una alternativa de bajo costo con niveles de aislamiento térmico inferiores a los establecidos en el Nivel B de la IRAM 11603 pero superiores al Nivel C.



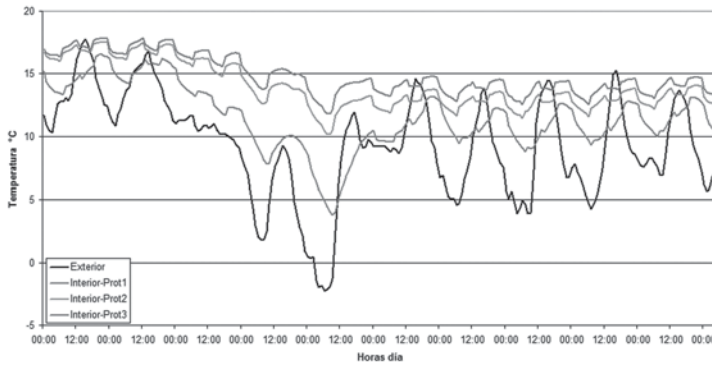


Figura 8. Comportamiento térmico invierno de la vivienda resuelta con muros de ladrillo hueco y niveles de mejora. 15 al 25 de Julio, datos EnergyPlus para Buenos Aires.

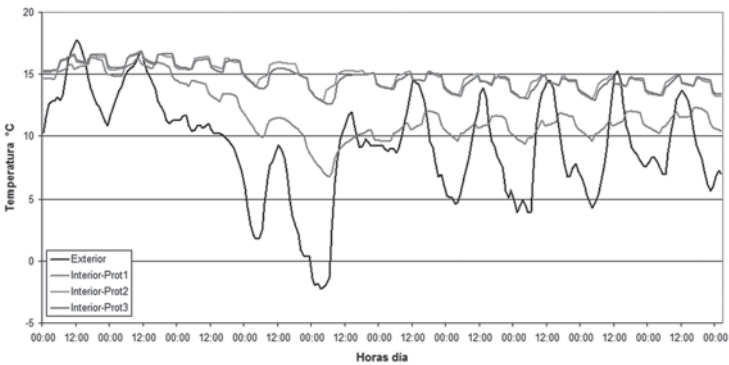


Figura 9. Comportamiento térmico invierno de la vivienda resuelta con muros de bloques de concreto y niveles de mejora. 15 al 25 de Julio, datos EnergyPlus para Buenos Aires.

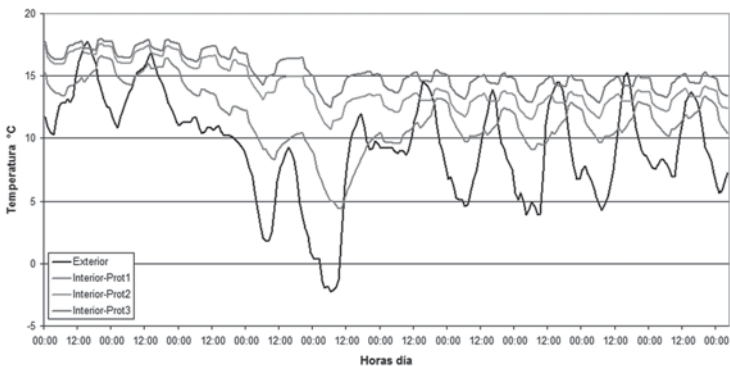


Figura 10. Comportamiento térmico invierno de la vivienda resuelta con muros de suelo estabilizado «tapia» y niveles de mejora. 15 al 25 de Julio, datos EnergyPlus para Buenos Aires.

Se simularon las soluciones tecnológicas de mayor uso por parte de los pequeños municipios que cuentan con “bloqueras” de concreto; mejorando con 2,5 cm de EPS 20 kg/m<sup>3</sup> en muros y 4 cm en techos. Siempre manteniendo las otras estrategias de diseño pasivo y gestión ambiental consciente por parte del usuario. Ver Figuras 11 a 12.

La Figura 11 muestra en los tres casos el comportamiento térmico de la vivienda en verano. La combinación de bloque de concreto con aumento en la masa y el aislamiento exterior, sumado a la ventilación selectiva y protección solar en ventanas muestra pocos cambios en el comportamiento de verano. Mientras la temperatura exterior es de 35,5°C en el día más cálido la temperatura interior alcanza los 30°C con mínimas de 27,7°C posible de alcanzar el confort con ventilación mecánica. Mientras la temperatura en la semana varió entre 7°C a 35,5°C en el exterior, la interior respondió con 25°C a 29°C y medias de 21,3°C y 27°C respectivamente.

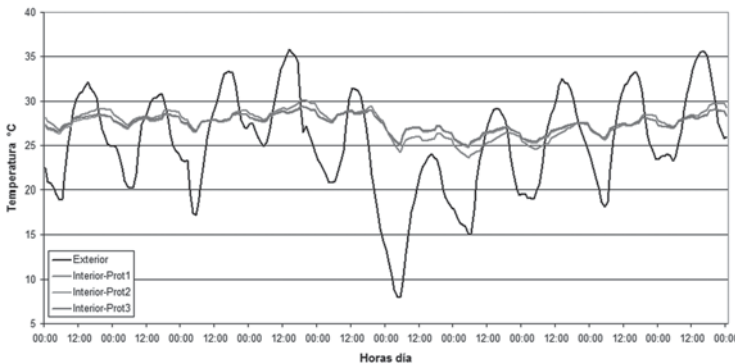


Figura 11. Comportamiento térmico de verano de la vivienda. Opción con aislamiento mínimo 2,5 cm EPS en muros y 4 cm EPS en techo; para ladrillos huecos, bloques suelo y tapia. 1 al 10 de Enero, datos EnergyPlus para Buenos Aires.

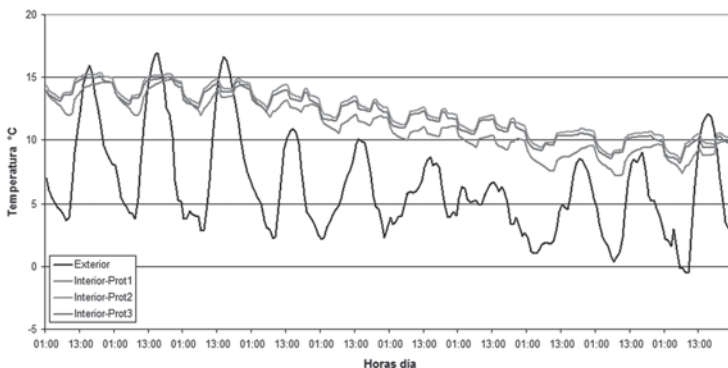


Figura 12. Comportamiento térmico de invierno de la vivienda. Opción con aislamiento mínimo 2,5 cm EPS en muros y 4 cm EPS en techo; para ladrillos huecos, bloques suelo y tapia. 15 al 25 de Julio, datos EnergyPlus para Buenos Aires.

Durante el invierno la situación cambia y la falta de aislamiento térmico se hace evidente con temperaturas interiores entre 7,5°C y 15°C respecto al exterior -1°C a 17°C. Con una media interior de 11,2°C y exterior de 9°C. La condición térmica interior con una temperatura media cercana a 10°C fue constatada en auditorías realizadas en la localidad de Rojas (prov. de Bs. As.) en viviendas con techos livianos de madera y chapa junto a muros de ladrillos huecos.

## 4. Discusión

Podremos debatir cuanto aislamiento térmico debe utilizarse en una vivienda de interés social y si usar el nivel C que solo evita el riesgo de condensación superficial o colocar 4 cm en paredes y casi el doble en techos a pesar del sobre-costos que significa. Lo que si no puede dejar de remarcarse es la importancia de la masa térmica como ya lo mostraran en la vivienda construida en el Partido de Moreno (Raspall y Evans, 2003). Esto muestra que para lograr condiciones mínimas de confort higrotérmico en viviendas es tan importante la masa como el aislamiento térmico. Pero aún sin modificar el proyecto original el cambio en el tipo de ventanas y el modo de uso de las viviendas por los usuarios es significativo para incorporar diseño pasivo.

El Nivel B previsto en la IRAM 11605 es razonable, pero podría ser ajustado y el Nivel C debiera ser eliminado ya que perjudica a los futuros habitantes de las viviendas. El Nivel C genera derroche de energía y al no ser climatizadas los niveles de habitabilidad higrotérmica son muy bajos. Además es pertinente revisar la citada Norma y volver a incorporar la masa térmica como una variable decisoria en la definición del K admisible.

Los sistemas constructivos cuya envolvente tenga una masa térmica inferior a 150 Kg/m<sup>2</sup> no deberían utilizarse en viviendas de interés social y mucho menos sin aislamiento térmico adicional, en climas templados. Son calurosas en verano y no retienen el calor que puedan ganar durante el día en invierno. La opción de mínimo aislamiento térmico no afecta significativamente al comportamiento durante el verano pero implica que durante el invierno va a ser necesario un significativo aporte adicional de calor para alcanzar el confort. En un período tan frío como el que ofrece la base de datos del EnergyPlus, pero constatado en la auditoria realizada en Rojas, debiéramos debatir si una temperatura sin calefacción en una vivienda ocupada con casi 14°C +/- 1°C no resulta aceptable.

## 5. Conclusión

El EnergyPlus es una herramienta gratuita que permite simular con buena confianza viviendas, más si previamente se cuenta con mediciones producto de una auditoría. Los resultados de este trabajo se transfirieron al IVBA que conformó un expediente para sentar un antecedente. Este acercamiento iniciado hace dos años llevó a la realización en paralelo de una conferencia para los técnicos del Ministerio de Obras y Servicios Públicos de la Provincia de Buenos Aires sobre «Arquitectura Sustentable y Vivienda de Interés Social (13/6/07)».

Al obtener los resultados que se exponen en este trabajo, surgió la necesidad de contar con datos climáticos de otros puntos del país para hacer la transferencia a la red. Nuevamente eventos externos al proyecto nos permitieron contar con vital información climática provista por el SMN. En el trabajo de comprender como «construir» una base de datos climática y al encontrar serias dificultades, solicitamos ayuda al LabEEE - UFSC y la recibimos. Nos encontramos trabajando en preparar dicha información. Pero ya comienza a aparecer otro problema y es la necesidad de contar con datos de radiación solar medidos y esperamos encontrar la misma receptividad y cooperación en nuestro medio. En agosto del corriente año comenzó a funcionar la estación meteorológica del grupo que entre otros parámetros usuales registra cada 5 minutos radiación solar global sobre plano horizontal y radiación UV. Esta información será vital cuando completemos una serie de un año.

Sobre los resultados del trabajo hay que destacar la necesidad de incorporar masa térmica a las viviendas de interés social y sugerir la actualización de la Norma IRAM 11605 que solo exige aislamiento térmico. Se han realizado gestiones ante IRAM y la sugerencia fue la creación de una nueva norma para evitar modificar la 11605 que es conflictiva.

Para el período frío hay dos conclusiones: a. es preferible subsidiar aislamiento térmico a subsidiar el gas natural o GLP y b. debe considerarse de forma prioritaria la obligatoriedad del aislamiento térmico de masa en todo edificio para habitación humana.

Prácticamente 1/3 de la demanda nacional de energía primaria es para la climatización de edificios y un programa que impacte en la matriz energética debe partir de este hecho.

## 6. Referencias

- Blasco Lucas I.; Albarracín O.; Hoes L. (2000). *Procedimiento de evaluación bioclimática de viviendas*. Vol 4, Nro 1.
- Cortés, A. (1996). *Ensayos para el Aprovechamiento de Tierra Cruda en la construcción con utilización de Energía Solar en la Zona Pampeana*. Revista Energías Renovables y Ambiente. Volumen 1. ISSN 0328-932X
- Czajkowski, J; et Al. (1999) *Hacia un modelo de confort integral. Auditorías ambientales en viviendas*. En Avances en energías renovables y medio ambiente. ISSN 0329-5184. Pág. 08-13 a 16. Vol 3. Nro 2.
- Czajkowski, J.; et Al. (1997) *Estrategias bioclimáticas en viviendas de interés social*. En Avances Energías Renovables y Medio Ambiente. ISSN 0329-5184. Vol 1, No 1. Revista de la Asociación Argentina de Energía Solar. Págs. 137-140.
- Czajkowski, Jorge y Rosenfeld E (1993). *Condiciones higrotérmicas mínimas de muros y techos para la Provincia de Buenos Aires*. 16a Reunión de Trabajo de ASADES (Asociación Argentina de Energía Solar) en La Plata.
- Czajkowski, J. y Rosenfeld, E. (1990). *Resultados del análisis energético y de habitabilidad higrotérmica de las tipologías del sector residencial urbano del área metropolitana de Buenos Aires*. Actas ASADES'14, Mendoza. Pág 131.
- De Rosa, C. (1988) *Potencial de ahorro energético de las nuevas operatorias de vivienda de la provincia de Mendoza*. Actas ASADES'13, Salta, 1988. Pág 305-312.
- de Schiller, S., Gomes da Silva, V., Goijberg, N. y Treviño, C. (2003) *Edificación sustentable: consideraciones para la calificación del hábitat construido en el contexto regional latinoamericano*. ASADES Formosa 2003
- EnergyPlus 2.0.0 (2007). *Energy Efficiency and Renewable Energy*. US Department of Energy. [<http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>]
- Filippín, C. y Bernardós, J. (1995) *Evaluación energética de un sector de las viviendas de interés social de la Ciudad de Santa Rosa*. Actas ASADES'18, San Luis, 1995. Pág 02.69-76.
- IRAM 11601; 11603; 11604; 11605. *Serie de Normas sobre Acondicionamiento térmico de edificios*. Buenos Aires.
- Filippín C, et al. (2001). *Comportamiento térmico y energético de viviendas solares para estudiantes de escasos recursos en La Pampa*. Volumen 9
- IDAE & Institut Cerdá. (1999). *Guía de la edificación Sostenible. Calidad energética y medioambiental en edificación*. Madrid.

- López, C. et Al. (1992) *Determinación del potencial de conservación de energía del parque edilicio urbano de la provincia de Mendoza. Estrategias técnico-económicas para su recuperación.* Actas ASADES'15, Catamarca. Pág 45-48.
- Rosenfeld, E. et Al (1993) *Pautas para mejorar la habitabilidad higrotérmica en la provincia de Buenos Aires.* Actas ASADES'16, La Plata, 1993. Pág 81-86.
- Raspall, C. y Evans, J. M. (2003) *Espesores económicos de aislación térmica. Impacto de la crisis económica.* AVERMA, Salta.
- San Juan, G. y Rosenfeld, E. (1992) *Mejoramiento de la racionalidad energética de tipos predominantes de vivienda de producción oficial reciente en la Provincia de Buenos Aires.* Actas ASADES'15, Catamarca, 1992. Pág 35-44.

Artículo publicado en la revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Volumen 12, pp 05.33 – 05.40. Año 2008.

# Consumo de gas natural y confort higrotérmico en vivienda unifamiliar de la ciudad de La Plata, Argentina

Carolina S. Vagge , Jorge D. Czajkowski, Celina Filippín.

## Resumen

Las viviendas unifamiliares del Área Metropolitana de Buenos Aires poseen baja calidad energética que conlleva a un alto consumo de energía en climatización con inadecuados niveles de confort higrotérmicos. Como metodología se implementa una auditoría energética-ambiental que incluye la adecuación de una encuesta socio-energética, y protocolo de monitoreo. El objetivo busca mejorar la calidad de variables críticas e indicadores energético-ambientales para diferenciales de tejido urbano. Se analiza el comportamiento higrotérmico y el consumo de energía anual y a partir de lo evaluado se busca aportar mejoras a nivel edilicio para que alcancen un nivel de confort higrotérmico adecuado.

Palabras claves: Vivienda tipo dúplex, eficiencia energética, consumo de energía, clima templado húmedo, confort térmico.

## 1. Introducción

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación PICT ANPCyT 2006-956: “Eficiencia energética edilicia en áreas metropolitanas. Evaluación mediante auditorías y propuestas de estándares”. El grupo de trabajo integra investigadores de la región metropolitana bonaerense, Cuyo y la zona pampeana seca, contenidos por la UNLP. El objetivo general del proyecto apunta a revisar, sistematizar y experimentar formas edilicias y tecnologías alternativas, con costos iniciales cercanos a cero, en algunos sectores críticos del área metropolitana a la que pertenece cada subgrupo que integra este proyecto en el ciclo de vida de los edificios. Las unidades de análisis son edificios clasificados por tipo y función basados en trabajos previos que en este proyecto serán revisados bajo un criterio común, proponiendo escenarios de aplicación de programas de eficiencia energética y cuantificación de impactos.

La vivienda, objeto de estudio, se encuentra en Tolosa, fuera del casco urbano de la ciudad de La Plata (lat: -34.9; long: 57,56; alt: 21 mts) a orillas del Río de la Plata sobre la margen occidental (Figura 1). El clima esta clasificado según normas argentinas como templado cálido húmedo, sub-zona IIIb. La vivienda se encuentra orientada según eje NE-SO.

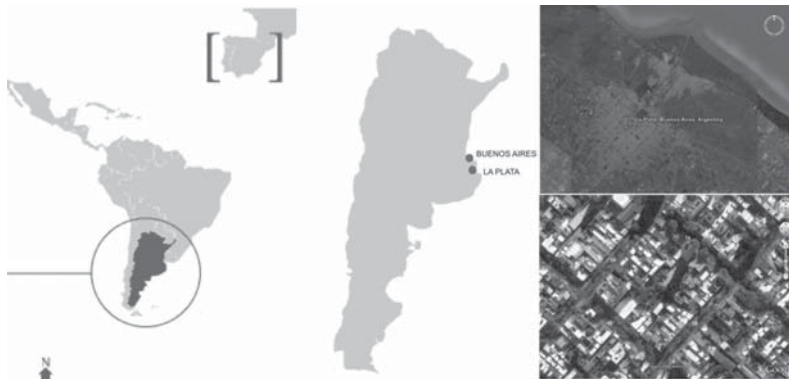


Figura 1. Área de estudio, sector residencial de la ciudad de La Plata, capital de la provincia de Buenos Aires, Argentina.

Del análisis de los datos climáticos, surge que posee veranos suaves ( $T_{\text{máxmed}}=28.5^{\circ}\text{C}$ ) e inviernos poco rigurosos ( $T_{\text{mínmed}}=6.7^{\circ}\text{C}$ ) con alta humedad ambiente ( $HR=71$  Y  $86\%$ ) y vientos predominantes desde el NE a SE. La temperatura de diseño máxima para verano es  $34.5^{\circ}\text{C}$  y la mínima de invierno  $2.4^{\circ}\text{C}$ . El 17 % de los días de un año estadístico las temperaturas medias se encuentran por debajo del nivel de confort, esto implica garantizar el acceso al sol en los ambientes principales y prever un buen aislamiento térmico. Solamente durante el 16 % de las temperaturas máximas superan el confort aunque con temperaturas medias dentro del confort. Según el climograma de Givoni en la Figura 2, deberá tenerse en cuenta el sombreado adecuado, ventilación nocturna, mínima ventilación diurna, inercia térmica y aislamiento térmico en techos principalmente.

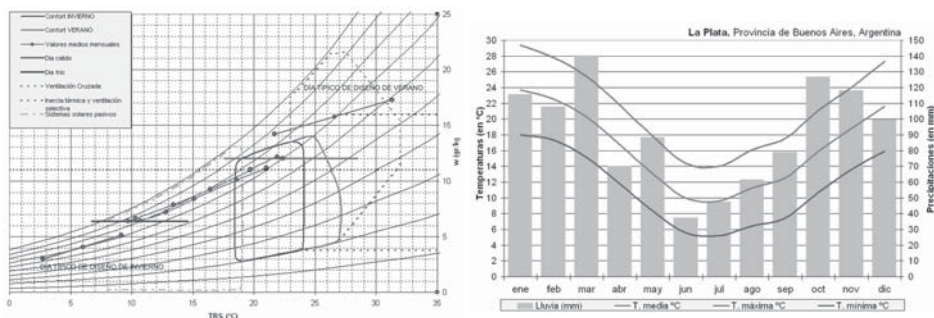


Figura 2. Características bioclimáticas de La Plata, Buenos Aires, Argentina, a partir de datos medios de temperatura y humedad e indicando los días típicamente cálidos y fríos sobre el modelo de B. Givoni. Construido con el programa Psiconf 1.0 (Czajkowski 2006). Se muestran los días de diseño típicamente fríos y cálidos según norma IRAM 11603/0.



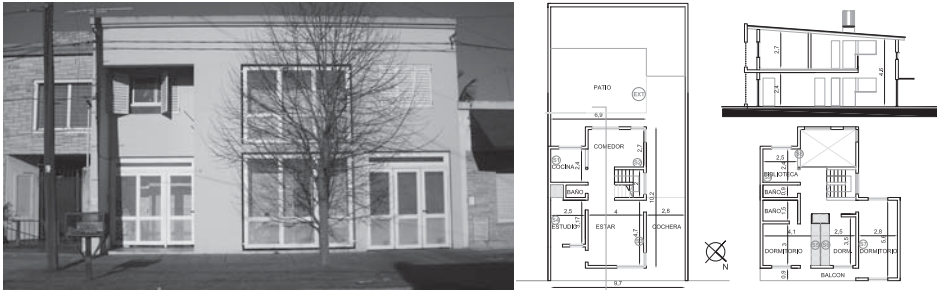


Figura 3. Fachada noroeste de la vivienda (Foto 07-2008).

Planta de la vivienda indicando la ubicación de los microadquisidores de dato Hobo en los distintos ambientes y el exterior. Izquierda: planta baja (estar, cocina, comedor, estudio y toilette).

Derecha: planta alta (dormitorios, baños y biblioteca).

La vivienda fue diseñada y construida en el año 1996 (Figura 3). La familia que habita actualmente la vivienda, integrada por un matrimonio y sus dos hijas, la ocupó en el año 1998. Tiene 140 m<sup>2</sup> cubiertos, se encuentra emplazada en un terreno 10 x 20 m. Es tipo dúplex, compacta, dispuesta en dos niveles: en la planta baja se encuentran el estar, comedor, estudio, baño y cocina, y en la planta superior 3 dormitorios, 2 baños y una biblioteca.

Su tecnología constructiva es convencional con estructura de H<sup>o</sup> A<sup>o</sup> (bases y vigas de fundación, columnas y vigas) entrepiso de viguetas pretensadas, con ladrillo cerámico hueco y capa de compresión. Cielorraso suspendido de placa de roca de yeso en estructura de hierro galvanizado. La cubierta es de chapa con entablonado de machimbre a la vista de pino, aislamiento térmico e hidrófugo, materializado con cartón alquitranado y EPS de 20 mm y chapa galvanizada ondulada N<sup>o</sup> 25 ( $K= 1.8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ). Los muros exteriores son de ladrillo hueco de 18x18x33 ( $K= 1.8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ). Revoque externo con azotado hidrófugo y jaharro enlucido a la cal. Revoque interior: grueso y fino a la cal. Las carpinterías son de aluminio con vidrio simple de 4 mm y persianas de aluminio ( $K= 5,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ). Los pisos son cerámicos sobre contrapiso de 10 cm de espesor sobre terreno natural.

Como sistema de calefacción cuenta con dos estufas de tiro balanceado de 2500 kcal/h cada una en la planta baja. No cuenta con sistema de refrigeración.

## 2. Objetivos

Los objetivos de este trabajo son: analizar las condiciones de confort higrotérmico de las distintas habitaciones de la casa según ubicación y orientación predominante, comparar el consumo de gas natural y análisis comparativo entre el consumo calculado y medido.

### 3. Métodos

Se realizó una auditoría detallada que incluyó una encuesta socio-energética (Tablas 1 y 3) y una campaña de medición de invierno entre el 12-06-2008 y el 20-06-2008, y una campaña de verano durante el período 18-02-2009 al 27-02-2009. Para realizar las auditorías se utilizaron micro-adquisidores de datos HOBO U10 (temperatura y humedad), un micro-adquisidor de datos HOBO U12 (temperatura, humedad e iluminación), una estación meteorológica HOBO Pro V2 (temperatura y humedad), un termómetro infrarrojo Lutron TM-949 y un termómetro/anemómetro Lutron LM 8000.

Durante el periodo frío se siguió la siguiente metodología de medición:

1. Se utilizaron 6 Hobos para registrar las condiciones higrotérmicas en ambientes diurnos: estar, comedor, estudio y biblioteca, y dormitorios. También se colocaron dos micro-adquisidores de datos para medir cocción y agua caliente (Figura 4 y 5)

2. Se verificaron los datos consignados en la encuesta.

3. Se instaló una estación meteorológica en el patio de la vivienda. El período de medición fue de 8 días incluyendo un fin de semana para medir durante días laborales y no laborales. El intervalo de toma de datos se fijó en 15 minutos y en 30 segundos, en los hobos ubicados en los distintos ambientes y para medir agua caliente y cocción respectivamente (Figura 6).

El programa auditCAD permite ingresar un valor variable de renovaciones de aire. La norma IRAM 11604 prevé dos procedimientos para definir la tasa de renovaciones de aire: según zona bioambiental corresponde un valor de  $N = 2$  para la verificación del  $G_{adm}$ ; o una expresión que resulta del cociente entre el caudal de aire a renovar y el vo-



Figura 4-5-6. Ejemplo de ubicación de microadquisidor de datos HOBO en uno de los dormitorios. A la derecha ubicación de la estación meteorológica en el patio de la vivienda.

lumen calefaccionando. Por otra parte la Ley de Higiene y Seguridad en el trabajo estipula para viviendas un  $N_{\min} = 1,2$  y recomendado de  $N = 1,5$ . Pero en la definición del mínimo sanitario prevé un caudal de aire de  $15 \text{ m}^3/\text{h.persona}$  y en función de la aplicación de la expresión del anexo b (IRAM 11604) la tasa de renovaciones de aire mínima sanitaria para esta vivienda es  $N = 0,18$ . Esto nos da un margen de flexibilidad para ajustar el balance en función de encontrar el  $N$  adecuado; para nuestro caso resultara  $N = 1,4$ .

Para discriminar el consumo de gas para agua caliente sanitaria (A.C.S), se ubicó un Hobo en el conducto de salida de gases de combustión del termotanque a fin de que registre los saltos térmicos provocados por el encendido del quemador como se puede ver en la Figura 5. Dado que la potencia del quemador figura en el equipo y este combustiona gas natural a caudal cuasi constante podríamos inferir que conociendo el período de tiempo diario y/o semanal de funcionamiento junto al poder calorífico del combustible conocer el caudal consumido. Así en una hoja Excel se graficaron y cuantificaron los momentos de encendido y apagado que sumados nos dan el tiempo total de encendido. Mediante este procedimiento puede conocerse el porcentaje de gas utilizado en A.C.S.

Similar procedimiento podría utilizarse para conocer el consumo de gas en cocción, que desde ya tendrá un mayor margen de error debido a que tiene que relevarse en la encuesta socio energética cuáles son los quemadores más utilizados y en que momentos del día. Aunque no se expone en este trabajo hemos encontrado que cada quemador registra una curva característica.

Durante el periodo cálido se siguió la siguiente metodología de medición:

a. Se utilizaron 6 Hobos para registrar las condiciones higrotérmicas en ambientes diurnos: estar, comedor, estudio y biblioteca, y dormitorios. (Figura 4)

b. Se instaló una estación meteorológica en el patio de la vivienda. (Figura 6).

En ambas campañas de medición se utilizó el siguiente instrumental de procesamiento de la información: el "HOBOWarePro" y el "BoxCarPro", y el Excel para los datos generados por los hobos. En el análisis del la auditoría se usó el programa AuditCAD (Czajkowski, 1999). Dado que en La Plata la facturación es bimestral se debieron convertir los consumos de gas natural y electricidad a valores mensuales a fin de poder contrastar con los valores generados por el AuditCAD (Czajkowski y Corredera, 2003).

Luego se graficaron los datos obtenidos mediante el programa Psicconf 1.0 para visualizarlos en el modelo bioclimático de B. Givoni.

## 4. Análisis de resultados

### 4.1. Comportamiento de la vivienda en invierno

En la Tabla 1 se puede ver una síntesis de las características climáticas exteriores durante la campaña de medición. Por otro lado, la Tabla 2 muestra las temperaturas medias de cada ambiente de la vivienda y del exterior durante los días 12-06-2008 al 20-06-2008. En la Tabla 2 se muestra que la variación de temperatura en los ambientes interiores es mínima y relativamente homogénea. Como excepción, el hobo localizado en la doble altura con la cocina en planta baja, la estufa del comedor y el tiro del termostato en planta alta muestra una diferencia media de 3°C. La temperatura dentro de la vivienda entre los distintos ambientes varían entre los 16.6°C y 22.3°C. Mientras que la temperatura exterior varía durante el período de medición entre los 8°C y 11.1°C promedio. Por lo tanto la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior es prácticamente constante con un valor medio de 8.6°C.

	12/06/2008	13/06/2008	14/06/2008	15/06/2008	16/06/2008	17/06/2008	18/06/2008	19/06/2008	20/06/2008
Temperatura media (°C)	11.1	13.3	11.7	8.4	9.4	11.6	9.2	9.7	9.4
Temperatura máxima (°C)	17.4	17.4	18.5	13.1	13.3	14.8	15.1	14.3	11.6
Temperatura mínima (°C)	1.5	4	7.4	4.8	1.5	5	-1	1.4	6.9
Punto de rocío (°C)	0.8	2.8	-1	0.9	0.9	1.8	3.5	7.6	8.4
Humedad relativa promedio (%)	49	49	41	59	55	51	67	87	93
Velocidad del viento promedio (km/h)	9.3	9.1	22.6	18.1	8.9	13.7	15.2	23	35.6

Tabla 1. Datos obtenidos con la estación meteorológica durante el período de medición 12-06-08 al 19-06-08.

El comedor y el living se encuentran a la misma temperatura. Los dormitorios A y C alcanzan temperaturas mínimas cercanas a los 16 °C. El dormitorio A se encuentra sobre la biblioteca y dos de sus muros dan al exterior. El 80% de la envolvente del dormitorio C se encuentra expuesta (incluido el piso), además cuenta con grandes superficies vidriadas que corresponden a dos ventanas, una orientada al noreste y la otra al sudoeste respectivamente, y una puerta que comunica el dormitorio con el balcón. En la Figura 7 se puede ver como las temperaturas mínimas de este dormitorio se encuentran fuera de la zona de confort comprendida entre 17.5°C y 23.5 °C (Givoni 1969). El dormitorio B se encuentra ubicado entre los dos dormitorios antes mencionado, recibiendo parte del calor que sube de la doble altura.

	12-jun	13-jun	14-jun	15-jun	16-jun	17-jun	18-jun	19-jun
Estudio	17.4	17.2	18.3	17.2	16.6	17.1	17.0	16.5
Comedor	19.1	18.9	19.8	17.8	17.7	18.5	18.3	18.3
Dormitorio a	17.9	17.8	18.1	17.2	16.4	16.9	16.8	17.2
Dormitorio b	19.2	19.2	20.1	18.6	17.8	18.0	18.4	18.5
Dormitorio c	18.5	18.2	18.7	17.7	16.9	18.1	17.5	18.3
Doble altura	21.7	21.6	22.3	20.4	20.2	21.0	20.9	21.0
Estar	19.2	19.1	19.8	18.1	18.0	18.7	18.5	18.5
Exterior	9.9	11.4	11.1	8.0	8.5	9.9	9.6	10.8

Tabla 2. Temperaturas registradas en los distintos ambientes de la vivienda y el exterior durante el período 12-06-2008 al 20-06-2008.

De las mediciones realizadas se deduce que aproximadamente el 12% del consumo de gas natural se consume en agua caliente, por lo tanto si este porcentaje se lo suma al valor que arrojó el balance, da como resultado que el valor calculado es un 8% mayor que el medido.

La vivienda tiene un consumo de gas natural de 2506 m<sup>3</sup>/año, (según encuesta), para 1080 grados día de calefacción (Temp base= 18°C). Esto implica un consumo anual de gas natural de 20 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.año con una media mensual de 209 m<sup>3</sup>.

En la Figura 8 se puede ver la coincidencia entre la curva de consumo promedio medida y los valores medios máximos calculados. Por otro lado se puede inferir que la calefacción es encendida en la vivienda alrededor del mes abril y se apaga para el mes de noviembre, teniendo un pico de máximo consumo en el mes de agosto coincidiendo con el mes más frío en la ciudad de La Plata.

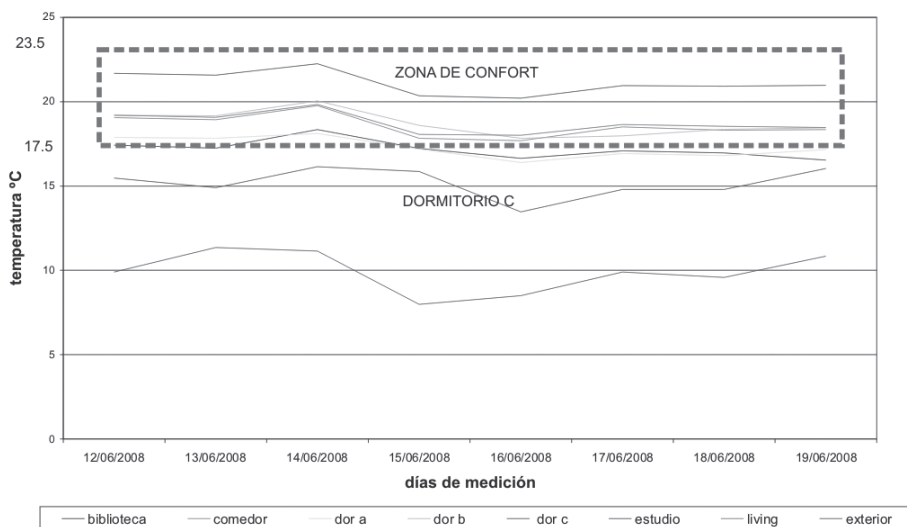


Figura 7. Gráfico de temperaturas en los distintos ambientes de la vivienda y el exterior durante el 12-06-2008 al 19-06-2008.

En la Tabla 3 se puede ver los consumos mes por mes medidos obtenidos a partir de la encuesta socio energética y los consumos calculados por el programa auditCAD a partir de los datos obtenidos por los hobos.

También se comparan valores totales de consumo, promedios y cantidad de m<sup>3</sup> de GN que se gastan por m<sup>2</sup> (Tabla 2). El consumo anual total de gas medido es superior al calculado, porque no se está considerando el GN consumido para agua caliente y cocción.

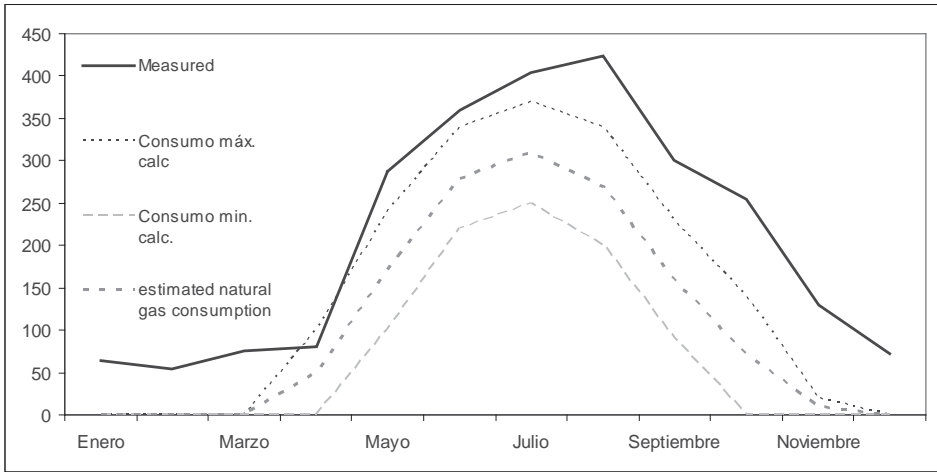


Figura 8. Gráfico comparativo entre consumo medido y calculado.

En la Figura 9 se ve la baja dispersión entre el consumo de GN medido y el consumo calculado. Esta diferencia está directamente relacionada con el consumo de gas en agua caliente y en cocción. Además de medir situación de confort en la vivienda se registraron datos de consumo de GN para agua caliente y cocción. En la figura se comparan los consumos calculados con los consumos medidos en la vivienda. Se observa una baja dispersión con  $R^2 = 0,9142$ .

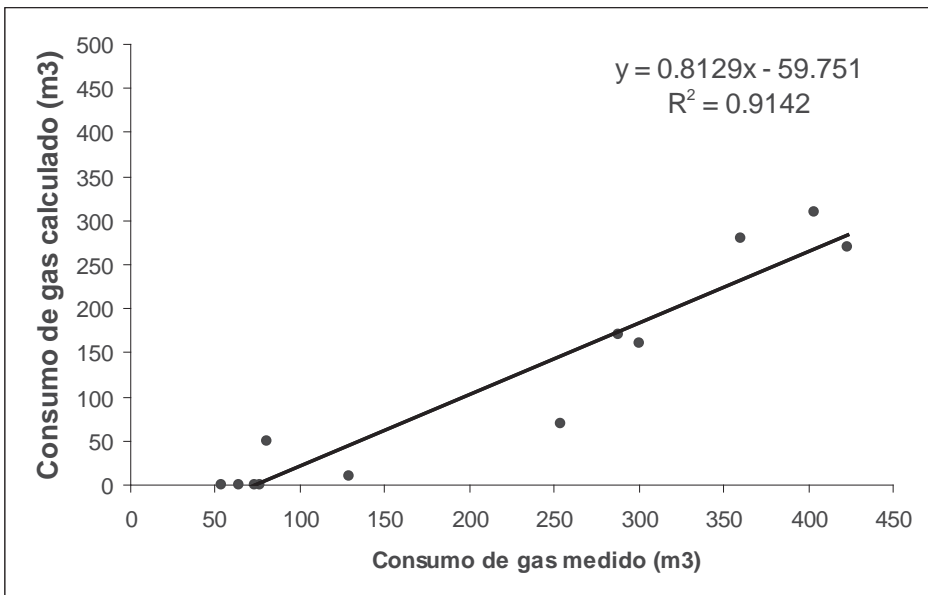


Figura 9. Gráfico que muestra la dispersión entre el consumo medido y el calculado.

	Consumo de gas medido m <sup>3</sup>	Consumo de gas estimado m <sup>3</sup>
Enero	64	0
Febrero	54	0
Marzo	76	0
Abril	81	50
Mayo	288	170
Junio	360	280
Julio	404	310
Agosto	423	270
Septiembre	300	160
Octubre	254	70
Noviembre	129	10
Diciembre	73	0
Total	2506	1320
Promedio	209	110
Consumo GN/m <sup>2</sup> .año	20	11

Tabla 3. Valores de consumos de gas natural medidos y calculados.

### Carga térmica anual de la vivienda

El análisis de la demanda anual se realizó mediante el EnergoCAD, ver resultados en Tabla 4.

$$Q_c = \frac{N \times GD20 \times G \times V}{1000} \quad [\text{Eq. 01}]$$

Donde:

Q<sub>c</sub> : carga térmica anual en calefacción en (Kwh/año)

N: tiempo de calefacción en horas diarias según ocupación de la vivienda

GD20: grados días anuales (20°C).

G: coeficiente global de pérdidas térmicas (W/m<sup>3</sup>.K)

V: volumen calefaccionado del edificio (m<sup>3</sup>).

## Comparación Balances entre Aportes Medidos y Calculados

Horas medición consumo energía:	192.00	hs	Días medición:	8.00 días
Consumo gas natural :	123.80	m <sup>3</sup>		
Consumo Gas Envasado :	0.00	Kg		
Consumo Energía Eléctrica :	136.80	KW/h		
Temperatura del exterior media:	9.90	°C		
Temperatura del interior media:	18.00	°C		
Número de renovaciones de aire:	1.40	ra		
Número de habitantes :	4.00	Hab		
Área habitable estudiada :	76.86	m <sup>2</sup>		
Volumen climatizado estudiado :	327.97	m <sup>3</sup>		

<b>Calculadas por Balance:</b>	<b>3333.01</b>	<b>MJ</b>	
Aportes de energía debidos al Gas Natural	2561.55	MJ	75.7 %
Aportes de energía debidos al Gas Envasado	0	MJ	0 %
Aportes de energía debidos a la Energía Eléctrica	492.48	MJ	14.6 %
Aportes de energía debidos a la ocupación	124.42	MJ	3.7 %
Aportes de energía debidos a la insolación	204.11	MJ	6 %
<b>Aportes de Energía Inferido a partir de Mediciones:</b>	<b>3382.55</b>	<b>MJ</b>	
<b>Diferencia Porcentual entre Consumo Calculado y Medido:</b>	<b>-1.46</b>	<b>%</b>	

## Asignación Porcentual de Pérdidas Térmicas según Balance

Consumo debido a Pérdidas por:	Muros	138.00 W/°C	23.20 %
	Techos	112.00 W/°C	18.76 %
	Ventanas	83.00 W/°C	13.97 %
	Puertas	55.00 W/°C	9.30 %
	Pisos	46.00 W/°C	7.80 %
	Renov. De Aire	161.00 W/°C	27.00 %

Tabla 4. Resultados arrojados por el programa AuditCAD.

Al analizar la vivienda según norma IRAM 11604 el  $G_{\text{proyecto}} = 1.8 \text{ W/m}^3 \cdot \text{K}$  y el  $G_{\text{adm}} = 1.6 \text{ W/m}^3 \cdot \text{K}$ ; con lo cual el edificio no cumple con la norma vigente.

En la Figura 10 puede observarse la variación semanal de la temperatura en el exterior respecto a los locales interiores. El exterior varió entre una máxima de 21°C, el primer día con una mínima de 3°C el día 5, con una media semanal de 12°C. Respecto a los locales interiores, y a pesar de poseer sistema de calefacción a gas natural, prácticamente todos los locales se mantuvieron en una media de 17°C. O sea fuera del confort mínimo de invierno. La variación entre ambientes se debe a orientación de los locales, acceso al sol y calidad térmica de la envolvente.



AH	Alt Local	Volumen	Aenv	Aexp	Co	Ff	Fe	G	G <sub>adm</sub>	Qc
m <sup>2</sup>	m	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	Co=AH/AE	f=AH/Vol	AExp/AEnv	W/m <sup>3</sup> °C	W/m <sup>3</sup> °C	Kw.h
120	2.7	328	278	254	0.43	0.36	0.9	1.8	1.6	19327

Tabla 5. Indicadores dimensionales, morfológicos y energéticos. CO: coeficiente de compacidad; Ff: factor de forma, Fe:Factor de exposición; G: coeficiente global de pérdidas; Q: calor auxiliar (calculado en función del valor G y para una temperatura base de 18 °C.

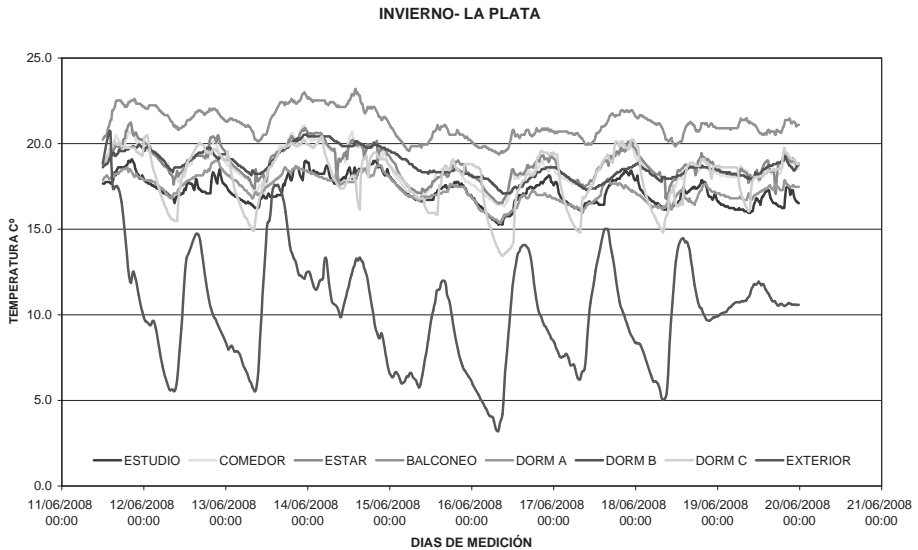


Figura 10: Gráfico de temperaturas medidas durante el invierno en los ambientes interiores y el exterior de la vivienda durante el período 12 al 20-06-2008.

Las Figuras 11 y 12 representan la medición en un climograma de Givoni donde se separaron los locales de uso diurno y nocturno. En ambas figuras puede notarse que en todos los locales solo aproximadamente la mitad del tiempo estos se encuentran en confort.

En el caso del balcón se evidencia que es la zona que se encuentra en su totalidad en confort con temperaturas entre los 19°C y los 23 °C.

En los ambientes diurnos de la vivienda como muestra la Figura 11 se encuentran gran parte del tiempo fuera de confort, entre los 15°C y los 21°C y presentan una HR de 30% a 70%. El estudio es el ambiente más desfavorable, sus paredes están orientada al SE (este muro no recibe la incidencia del sol) y al NE.

Cuando se observa el comportamiento higrotérmico de los ambientes nocturnos, se puede ver que el dormitorio C alcanza temperaturas cercanas a los 13 °C, esto en parte

INVIERNO- AMBIENTES NOCTURNOS CASA UNIFAMILIAR-LA PLATA

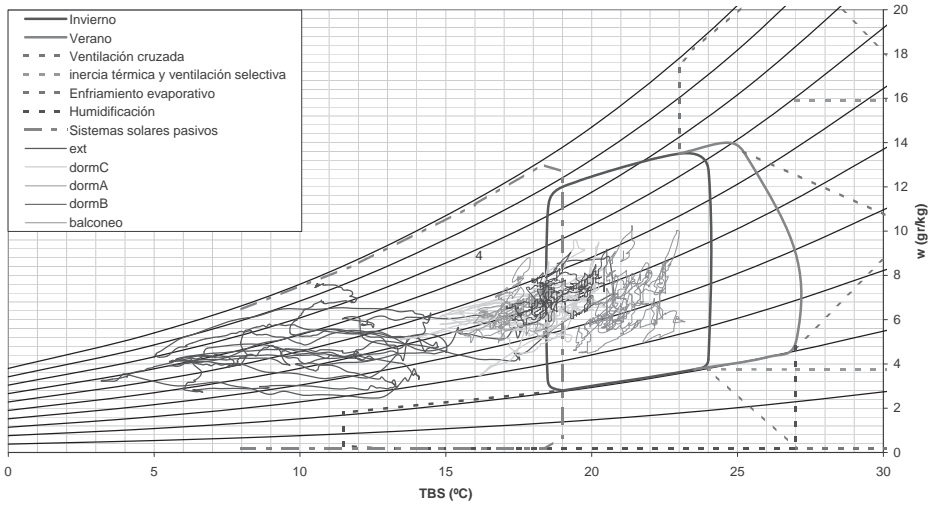


Figura 11: Comportamiento higrotérmico durante el invierno en ambientes nocturnos de la vivienda. Psiconf 1.0 mediciones 12 al 20-06-2008.

INVIERNO-CASA UNIFAMILIAR AMBIENTES DIURNOS-LA PLATA

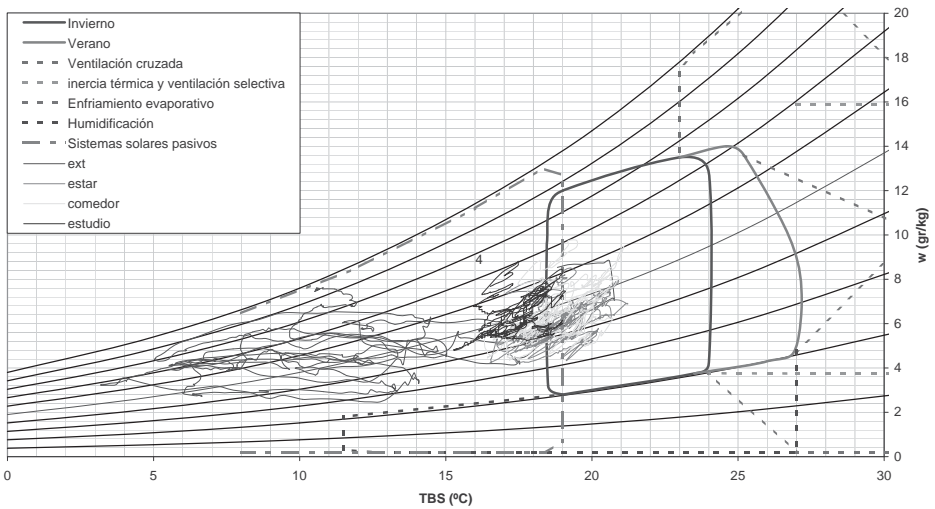


Figura 12: Comportamiento higrotérmico en invierno en ambientes diurnos de la vivienda. Psiconf 1.0 mediciones 12 al 20-06-2008.

se debe a sus características constructivas, su ubicación en la casa y tener uno de sus muros orientado al NE, otro al NO y otro al SO, el piso y la cubierta en contacto con el exterior, el dormitorio B (el dormitorio que se comporta mejor higrotérmicamente) se encuentra ubicado entre los dormitorios A y C, solo tiene un muro en contacto con el exterior. En contraposición el único lugar de la vivienda que se encuentra en su totalidad en confort es la zona en doble altura.

Para el período frío o se aumenta la potencia del sistema de calefacción, o se cambia por un sistema centralizado radiante (piso radiante con caldera) o se mejora la calidad térmica de la envolvente. En este caso mediante la incorporación de doble vidriado hermético en aberturas, y aislamiento térmico adicional en muros y techos. Con esto la potencia de calefacción debiera ser suficiente, la temperatura media debería elevarse y las diferencias entre zonas diurna y nocturna deberían reducirse.

## **4.2. Comportamiento de la vivienda en verano**

La ventilación cruzada posee un doble efecto en el confort térmico, por un lado activa el intercambio convectivo, mejorando la eficiencia de la transpiración del cuerpo, produciendo una disminución de la temperatura, resultando ser un buen recurso en climas húmedos.

Por otro lado, la ventilación cruzada tiende a anular los efectos de inercia térmica en relación a la velocidad del aire. Por lo tanto se debe tener en cuenta la orientación y dimensiones de las aberturas, para captar los vientos deseados en el momento necesario. (Czajkowski; Gómez, 1994)

En la Figura 13 se puede ver como en los días de mayor temperatura exterior la totalidad de los ambientes de la vivienda se encuentran fuera del confort con temperaturas máximas cercanas a los 33°C. También se observa una amplitud térmica interior cercana a los 5°C a lo largo de la semana cada día. Dado que la vivienda posee una masa ponderada de 141 kg/m<sup>2</sup>, implica una baja inercia térmica para las características climáticas del sitio.

En la Figura 14 puede verse que la variación térmica interior prácticamente sigue la variación exterior. El clima interior se encuentra en una zona del climograma de Givoni donde se requiere de inercia térmica con ventilación nocturna en parte del día, ventilación cruzada en otras partes del día y en otros momentos se encuentra en confort. En todos los casos se requiere de una adecuada protección solar que como puede verse en la Figura 3 no está totalmente satisfecha ya que la vivienda presenta una gran superficie vidriada de doble altura en el cuadrante SO a NO.

VERANO-VIVIENDA LA PLATA

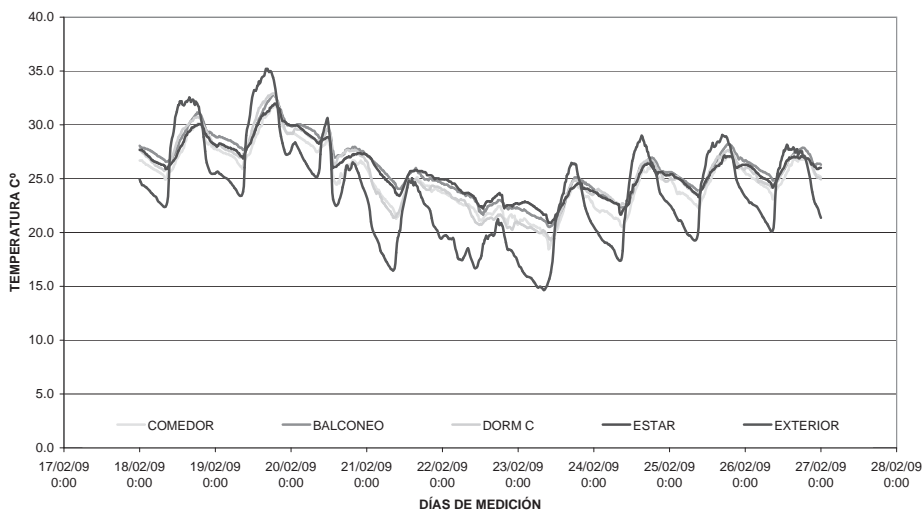


Figura 13: grafico de temperaturas medidas durante el verano en los ambientes interiores y el exterior de la vivienda durante el periodo 18 al 27-02-2009.

VERANO-VIVIENDA-LA PLATA

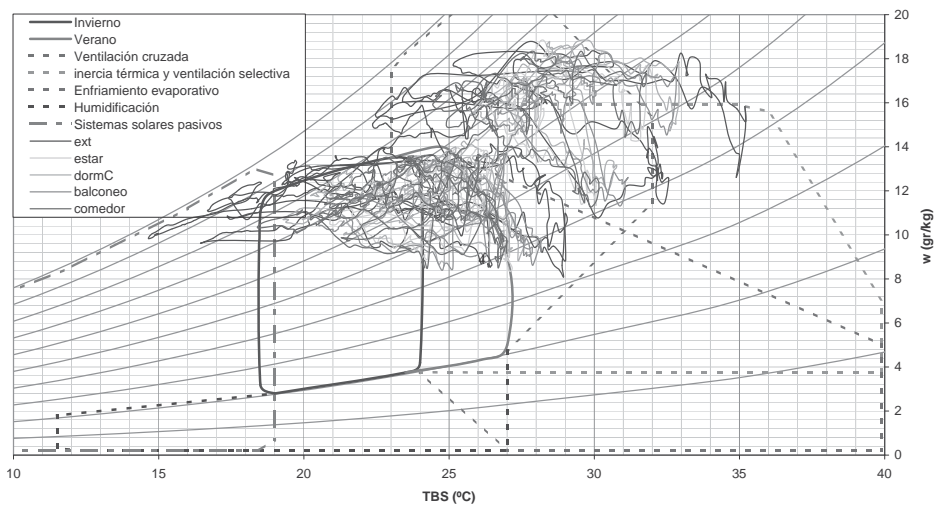


Figura 14: Comportamiento higrotermico de la vivienda en verano. Psiconf 1.0 medición 18 al 27-02-2009.

El análisis nos lleva a reflexionar sobre qué medidas de mejoramiento de la envolvente son necesarias para que el caso analizado se mantenga en confort higrotérmico. Siempre basados en las mediciones y el uso del climograma de Givoni. Surgen así las siguientes pautas:

- a. Mayor aprovechamiento de la masa muraria mediante la incorporación de aislamiento térmico exterior.
- b. Reducir la carga térmica en el techo mediante aumento del nivel de aislamiento térmico o mediante una protección solar móvil.
- c. Introducir cambios en los aventanamientos para facilitar la implementación de ventilación selectiva que aproveche los vientos frescos nocturnos del cuadrante sur predominantes en la región.
- d. Facilitar la evacuación del aire sobrecalentado interior.
- e. Propiciar cambios de conducta de los habitantes en el modo de uso de la vivienda respecto a cuándo asolear o no asolear y ventilar, cuando y como.
- f. Otras soluciones económicas no invasivas para mejorar las condiciones de confort de la vivienda en verano pueden ser a partir de una correcta ventilación, permitiendo la ventilación cruzada durante la noche, evitando la entrada de vientos cálidos procedentes del NE y la creación de aberturas que permiten la circulación de aire desde SO.
- g. La otra medida de mejoramiento posible es incorporar una sobre cubierta liviana, de un tejido resistente a 30 cm de la cubierta de chapa de la vivienda.

Estas son todas recomendaciones para el período cálido.

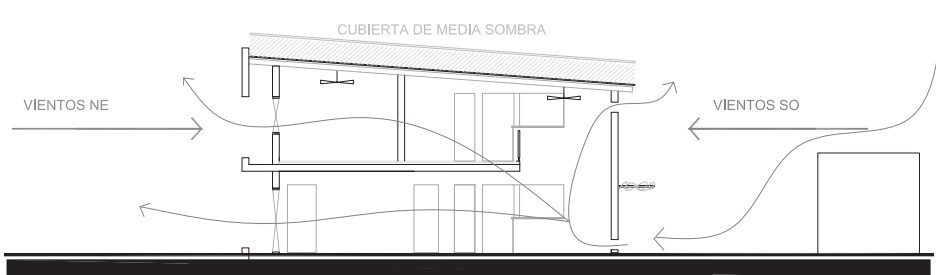


Figura 15. Esquema de propuestas de mejoramiento higrotérmico para verano: aberturas en la doble altura para recircular y sacar el aire caliente + aislamiento térmico + tejido tensado sobre la cubierta de chapa para sombrear y bajar la temperatura.

## 5. Conclusiones

Este trabajo permitió aplicar un protocolo de auditoría ambiental edilicia y obtener información del comportamiento real de una vivienda unifamiliar.

Se puede ver claramente la relación entre superficie expuesta y temperatura interior del los ambientes, como así también, la distribución del calor según el diseño de la vivienda ya que en este caso se registraron las mayores temperaturas en la doble altura. También se pudo comprobar que las temperaturas interiores varían en promedio 1.2 °C con una variación mínima de  $\pm 0.75$  en el dormitorio B y una variación máxima de  $\pm 2.4$  en el dormitorio C que registra las temperaturas más bajas y se encuentra expuesto en casi la totalidad de su envolvente. En cambio las temperaturas medias exteriores varían en  $\pm 4^{\circ}\text{C}$ .

A nivel de cumplimiento de normas, la vivienda no lo hace pero está cerca de hacerlo, si se redujeran las renovaciones de aire o se incorporará aislamiento térmico en los muros.

El trabajo permite mostrar también que el modo de construcción habitual en la región no es el más adecuado. No solo desde un enfoque bioclimático, ya que el proyecto no lo es, sino desde la eficiencia energética y el proyecto tecnológico que no responde adecuadamente a mantener condiciones adecuadas de confort higrotérmico.

Así mismo el análisis también muestra que las condiciones climáticas del sitio permitirían alcanzar un adecuado comportamiento térmico con algunas mejoras en el edificio. Estas mejoras debieran validarse con una simulación numérica para definir el nivel de aislamiento térmico adecuado desde un enfoque financiero y técnico-económico.

El método utilizado se muestra robusto para analizar el comportamiento higrotérmico de un edificio y la obtención de pautas de diseño para su mejoramiento.

## 6. Referencias

- Czajkowski Jorge (1999). *Desarrollo del programa AuditCAD para el análisis de edificios a partir de auditorías ambientales*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente N°3. ISSN 0329-5184.
- Czajkowski Jorge y Gómez Analía (2002). *Diseño Bioclimático y Economía Energética Edilicia*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. ISBN-978-987-05-4908-6
- Czajkowski Jorge et Al. (2003). *Análisis de la relación entre demanda de gas natural en calefacción según EnergoCAD y consumos reales en viviendas unifamiliares del gran La Plata*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente N°7. Formosa, Argentina. ISSN 0329-5184.
- Givoni, B. *Hombre clima y arquitectura*. Elsevier, Inglaterra, 1969.
- Filippín, Celina (2007). *Análisis del consumo de gas natural en viviendas multifamiliares en bloque en un clima templado frío de Argentina*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente N°11. Formosa, Argentina. ISSN 0329-5184. San Luis, Argentina.
- Norma IRAM 11604. *Aislamiento térmico de edificios. Coeficiente volumétrico de pérdidas térmicas G*. Buenos Aires, Argentina.
- CZAJKOWSKI ET AL. (2007). *Le Corbusier en La Plata. La casa y su desempeño ambiental*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente N°11. San Luis, Argentina. ISSN 0329-5184.

Artículo publicado en la revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Volumen 12, Año 2008; y en las Actas del X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído (X ENCAC / VI ELACAC). Natal, Brasil. Septiembre de 2009. Organizado por la Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC)





# Verificación del etiquetado energético de edificios a partir de mediciones en edificios construidos

Jorge D. Czajkowski.

## 1. Resumen

El país cuenta recientemente con una Norma IRAM sobre etiquetado de la eficiencia energética de calefacción para todo tipo de edificios. Esta norma solo es aplicable a edificios nuevos y no hay antecedentes de alguna metodología o protocolo que con error razonable permita evaluar edificios existentes. En el marco de los proyectos de investigación del LAYHS se tomó un caso de referencia que reúne múltiples soluciones constructivas y se diseñó un protocolo de mediciones y verificación del etiquetado para edificios en funcionamiento. Se presenta la metodología utilizada, resultados de las mediciones y se discuten los resultados obtenidos. Con esto se busca plantear una propuesta para que otros grupos del país se sumen hasta alcanzar un protocolo certero y de consenso.

Palabras Clave: etiquetado energético, ahorro energía; calefacción; eficiencia energética.

## 2. Introducción

El siguiente trabajo fue desarrollado en el LAYHS - FAU - UNLP. El mismo se encuentra enmarcado dentro de una de las líneas de investigación principales que se desarrollan en el laboratorio, orientados hacia la eficiencia energética edilicia en áreas urbanas. Forma parte de los objetivos del PICT 06 N° 956 *“Eficiencia energética edilicia en áreas metropolitanas”* y del proyecto acreditado por la UNLP denominado *“Eficiencia Energética y Sustentabilidad para la Materialización de Edificios en un Contexto de Adaptación al Cambio Climático”* sin dejar de mencionar al proyecto en red PAE *“Eficiencia Energética en el Hábitat Construido”*.

La Argentina cuenta con normativa relacionada con la calidad térmica edilicia desde principios de los '70, la cual es revisada y actualizada continuamente. Varios indicadores regulan la calidad de la envolvente edilicia en cuanto a la calidad térmica de edificios y el ahorro de energía en calefacción. Principalmente el coeficiente volumétrico de pérdidas de calor ( $G_{CAL}$  en  $W/m^3.K$ ) orientado al ahorro de energía en calefacción propuesto por la Norma IRAM 11604 y la transmitancia térmica ( $K$  en  $W/m^2.K$ ) para muros y techos según tres niveles de calidad propuestos por la Norma IRAM 11605. La implementación de los valores propuestos por estas normas permitiría regular la calidad térmica de las construcciones y ser instrumentos para la regulación de emisiones de gases de

efecto invernadero (GEI). A principios del 2010 se aprobó la Norma IRAM 11900 sobre etiquetado de eficiencia energética en calefacción de edificios y propone dos indicadores normativos el  $\tau'_m$  y el  $K'_m$ . El  $\tau'_m$  se define como la caída de temperatura media ponderada entre la superficie interior de los cerramientos de un local o edificio y la que se da en el centro del local. El valor mínimo será de 1°C para el nivel de eficiencia más elevado o Nivel A y valores mayores a 4°C definirán el nivel más bajo o Nivel H. En el cálculo intervendrán las paredes verticales en contacto con el exterior o hacia otro local no calefaccionado, techos, puertas y ventanas y pisos en contacto con el aire exterior. Se desprecian los pisos en contacto con el terreno natural y no se consideran las pérdidas por renovaciones de aire. El otro indicador propuesto para facilitar su interpretación es  $K'_m$  y se define como la transmitancia térmica media ponderada de la envolvente exterior del local o edificio. Tendrá un valor mínimo de cero y un máximo dado por el material de construcción de mayor conductividad térmica y serán usualmente el vidrio o metales; siendo en este caso cercanos a 6 W/m<sup>2</sup>.K.

La norma 11900 para facilitar su aplicación plantea importantes simplificaciones, entre las cuales se fija una resistencia térmica interior constante para cualquier condición (muro o techo) de 0,13 m<sup>2</sup>.K/W y una temperatura interior de confort de 20°C. Quedan como variables la temperatura exterior de diseño de las localidades, tomada de la IRAM 11603 y las características térmicas y formales del edificio.

En este punto surge la posibilidad de utilizar el protocolo aprobado en la norma y con leves modificaciones y mediante mediciones de temperaturas interiores y superficiales determinar los indicadores  $K'_m$  y  $\tau'_m$ .

### 3. Metodología

En las mediciones se utiliza una adaptación de la metodología desarrollada para la medición de temperaturas superficiales interiores en encuentros de cerramientos y que en su momento permitió demostrar la variación que se genera en la resistencia superficial interior generando condensaciones en paramentos por puentes térmicos geométricos (Czajkowski, 1999). Este trabajo facilitó un antecedente para la creación de la IRAM 11630 sobre riesgo de condensación en condiciones no usuales de cerramientos.

Dado que se busca utilizar el mínimo instrumental para facilitar el trabajo de posibles auditores se creyó conveniente usar una combinación de un termómetro infrarrojo *Marca Lutron* modelo TM-949 y un termómetro digital para la medición de las condiciones interiores de los locales. En este caso se utilizó un termómetro digital de bajo costo *marca "Multi" Mod. 9299C* con sensor exterior de punta y retención de máximas y mínimas. A fin de verificar otros comportamientos higrótérmicos en la vivienda se instalaron microadquisidores de datos Hobo U10-003 (temp y HR) y U12-012 (temp, HR, iluminación y exterior). En dos U12-012 se instalaron termistores TMC6-HA que se ubicaron en contacto con muros exteriores a fin de medir temperaturas superficiales. Se protegieron los terminales de los termistores con foil de aluminio pulido a fin de minimizar el efecto del ambiente interior. Para la temperatura exterior se utilizó la brindada por una estación meteorológica Davis Gro Weather, cercana.

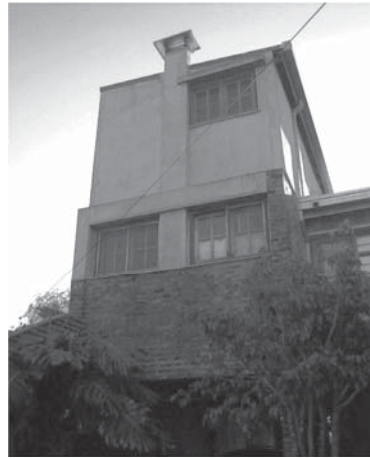


Figura 1. Frente (norte) y fondo (sur) de la vivienda auditada en los suburbios de La Plata.

A fin de reducir la carga térmica generada por el sol se realizaron las mediciones en un día frío de invierno tomando las lecturas entre las 6:30 AM y las 7:30 AM. Previamente se contó con un plano de la edificación y se dividieron los sectores a medir en función del sistema constructivo de cada cara del edificio. Mientras se tomaban y registraban las lecturas con el termómetro infrarrojo se dejaba que el termómetro digital alcanzara la temperatura del ambiente. En este caso el tipo de termómetro de punta metálica no resultó ser el más adecuado por la lentitud en que alcanza a darse una lectura estable. Las lecturas con el termómetro IR se tomaron al centro de cada cerramiento y a aprox. 300 mm de distancia cuando se buscó separar diferentes materiales o a 1 m de distancia cuando se buscó integrar temperaturas.

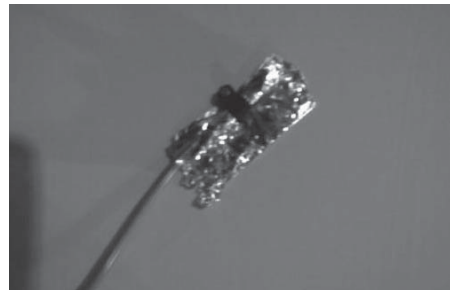


Figura 2. Imagen mostrando el Hobo U12-012 en el centro de la habitación y el termistor en la pared exterior oeste.

El edificio, desde un punto de vista tecnológico está dividido en tres fases de construcción en el tiempo y se encuentra completamente expuesto al aire exterior. El sector más antiguo de unos 32 m<sup>2</sup> construido con ladrillos huecos de 18 x 18 x 33 revocado en

ambas caras y techo de canalón de fibrocemento con cielorraso suspendido de madera machihembrada y 20 mm de EPS de baja densidad. Puertas y ventanas de madera de vidrios repartidos.

El segundo sector de dos plantas y 100 m<sup>2</sup> con muros dobles de ladrillos a la vista y 40 mm de EPS en su interior, techo de chapa con cielorraso de madera machihembrada y 100 mm de EPS de 20 kg/m<sup>3</sup>. Las aberturas son de madera con vidrios repartidos de doble contacto. Solamente las ventanas de dormitorios en planta alta poseen cortinas de enrollar plásticas. En todas las carpinterías se obtuvo una ponderación de la relación vidrio/madera y dio 0,5 en relación al vano. Esto permite inferir que para un  $K_{\text{vidrio}}=5,86$  W/m<sup>2</sup>.K y  $K_{\text{marcos}}=3,5$  W/m<sup>2</sup>.K la transmitancia ponderada será de  $K_{\text{aberturas}}=4,68$  W/m<sup>2</sup>.K.

La última ampliación de 54 m<sup>2</sup>, también en dúplex, está realizada con un sistema constructivo liviano compuesto por una estructura de madera de pino tratado con CCA con terminación interior de paneles yeso roca y exterior EIFS<sup>1</sup> con 20 mm EPS 20 kg/m<sup>3</sup> y película cementicia exterior. En el alma se encuentran 100 mm de lana de vidrio y refuerzos de tableros fenólicos de 18 mm. El techo es de chapa metálica galvanizada con cielorraso de madera machihembrada a la vista y en medio 50 mm de EPS 20 kg/m<sup>3</sup> y 50 mm lana de vidrio en contacto con la chapa. El piso de este volumen prismático que da a una cochera abierta posee varias capas de aislamiento térmico compuestas por 20 mm EPS 20 kg/m<sup>3</sup> + 50 mm contrapiso Isocrete + 3 mm espuma polietileno y piso flotante.

La Ecuación 1 muestra la expresión de  $\tau'_m$  de donde se despeja la transmitancia térmica, recordando que queda como resistencia superficial interior constante en 0,13 m<sup>2</sup>.K/m. Las temperaturas resultan de mediciones. Luego en una hoja de cálculo se determinan las transmitancias térmicas parciales de cada parte de la vivienda para luego calcular los indicadores resultantes  $K'_m$  y  $\tau'_m$ .

$$\tau_m = \frac{\sum_1^n (\tau_i \cdot S_i)}{\sum_1^n S_i} \quad \text{[Ecuación 1]}$$

$$\tau_i = R_{Si} \cdot K_i \cdot (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}) \quad \therefore K_i = \tau_i / R_{Si} \cdot (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}) \quad \text{[Ecuación 2]}$$

En la Ecuación 2 se despeja la transmitancia térmica  $K_i$  que surgirá del cociente entre la caída de temperatura en la cara interior de la envolvente analizada y el producto entre la resistencia superficial interior y la diferencia de las temperaturas del ambiente exterior y la temperatura interior del local.

Se presupone un régimen estacionario y se vigila que en el rango horario del monitoreo la variación de la temperatura exterior sea tendiente a cero.

---

1 EIFS External Insulation Finish System

Se realiza un análisis comparativo entre los resultados mediante auditoría y mediante cálculo aplicando la IRAM 11900 a la vivienda en base a documentación existente de detalles constructivos. Los resultados se muestran y discuten en dos partes: a. aplicación a la vivienda en su totalidad con independencia de que los espacios estén o no calefaccionados y b. se analiza cada fase de construcción como tres casas independientes. Esto debido a que la primer fase es de construcción convencional, la segunda contempla aislamiento térmico en la envolvente con valores superiores al Nivel B de la IRAM 11605, la tercera incluye un nivel de aislamiento térmico que supera ligeramente el Nivel A de la mencionada Norma.

## 4. Resultados

### 4.1. Análisis de la vivienda como totalidad

En el período de medición la temperatura exterior se mantuvo en  $-0,6^{\circ}\text{C}$  con una humedad relativa de 87%. El viento soplaba del sur con una velocidad de 0,9 m/s siendo la sensación térmica de  $-1^{\circ}\text{C}$ .

LOCAL	Tint	Temperaturas superficiales interiores [ $^{\circ}\text{C}$ ]									
		TECHO		NORTE		ESTE		SUR		OESTE	
		opaco	vidrio	opaco	vidrio	opaco	vidrio	opaco	vidrio	opaco	vidrio
Estar/comedor	17,4	17	--	13	10	14	--	16	9	15	--
Toilette	17,4	--	--	--	--	--	--	14	--	--	--
Cocina	16,6	17	--	--	--	15	--	15	--	15	11
Lavadero	14,6	14	--	--	--	18	--	13	--	15	12
Dormitorio 1	18,1	16	--	15	11	17	--	--	--	--	--
Dormitorio 2	18,0	17,8	--	16	11	--	--	--	--	18	--
Baño	11,8	16	--	--	--	15	--	14	6	--	--
Escalera	18,1	21	--	--	--	--	--	16	7	--	--
Estudio 1	17,2	17	--	--	--	--	--	15	6	16	--
Quincho (no calef)	9,5	6	--	5	3	7	--	6	--	6	3
Estudio 2	17,4	14	--	15	6	16	--	--	--	16	--
Baño 2	17,1	12	--	--	--	12	--	15	6	--	--
Office	17,0	14	--	--	--	--	--	15	6	15	--
Dormitorio 3	17,2	14	--	--	--	14	--	14	11	14	--
Cuarto anexo	17,3	15	--	15	10	15	--	--	--	15	--

Tabla 1. Valores de temperaturas medidas en la vivienda por local y cerramiento (solo cerramientos al exterior).

La Tabla 1 muestra el resultado de las mediciones en todas las partes de la envolvente en contacto con el exterior y puede verse en particular en vidriados una cierta disparidad en las lecturas.

Aplicando las Ecuaciones 1 y 2 a una hoja de cálculo pueden obtenerse los valores parciales y total de  $K'_m$  y  $\tau'_m$ , a fin de verificar el cumplimiento de la IRAM 11900.

Operando los valores parciales mostrados en las Tablas 2 y 3 se obtiene como resultado un  $\tau'_m = 2,75 \text{ }^\circ\text{C}$  que implicaría un Nivel E en cuanto a etiquetado energético. Como valor adicional se puede obtener la transmitancia térmica ponderada de  $K'_m = 1,39 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

LOCAL	Tint	Tau i [°C]									
		TECHO		NORTE		ESTE		SUR		OESTE	
		opaco	vidrio	opaco	vidrio	opaco	vidrio	opaco	vidrio	opaco	vidrio
Estar/comedor	17,4	0	0	4,4	7,4	3,4	0	1,4	8,4	2,4	0
Toilette	17,4	--	0	0	0	0	0	3,4	0	0	0
Cocina	16,6	0,1	0	0	0	0,1	0	0	0	1,6	5,6
Lavadero	14,6	0,6	0	0	0	0,6	0	1,6	0	0,1	2,6
Dormitorio 1	18,1	2,1	0	3,1	7,1	1,1	0	0	0	0	0
Dormitorio 2	18	0,2	0	2	7	0	0	0	0	0	0
Baño	11,8	0,8	0	0	0	0,3	0	1	5,8	0	0
Escalera	18,1	0,1	0	0	0	0	0	2,1	11,1	0	0
Estudio 1	17,2	0,2	0	0	0	0	0	2,2	11,2	1,2	0
Estudio 2	17,4	3,4	0	2,4	11,4	0	0	0	0	1,4	0
Baño 2	17,1	5,1	0	0	0	5,1	0	2,1	11,1	0	0
Office	17	3	0	0	0	0	0	2	11	2	0
Dormitorio 3	17,2	3,2	0	0	0	3,2	0	3,2	6,2	3,2	0
Cuarto anexo	17,3	2,3	0	2,3	7,3	2,3	0	0	0	2,3	0
Quincho (nocalef)	9,5	3,5	0	4,5	6,5	2,5	0	3,5	0	3,5	6,5

Tabla 2. Valores calculados de la caída de temperatura en las superficies interiores.

LOCAL	Tint	Ki [W/m²°C]									
		TECHO		NORTE		ESTE		SUR		OESTE	
		opaco	vidrio	opaco	vidrio	opaco	vidrio	opaco	vidrio	opaco	vidrio
Estar/comedor	17,4	0	0	1,88	3,16	1,45	0	0,60	3,59	1,03	0
Toilette	17,4	0	0	0	0	0	0	1,45	0	0	0
Cocina	16,6	0,04	0	0	0	0,04	0	0	0	0,72	2,50
Lavadero	14,6	0,30	0	0	0	0,30	0	0,81	0	0,05	1,32
Dormitorio 1	18,1	0,86	0	1,28	2,92	0,45	0	0	0	0	0
Dormitorio 2	18	0,08	0	0,83	2,89	0	0	0	0	0	0
Baño	11,8	0,50	0	0	0	0,19	0	0,62	3,60	0	0
Escalera	18,1	0,04	0	0	0	0	0	0,86	4,57	0	0
Estudio 1	17,2	0,09	0	0	0	0	0	0,95	4,84	0,52	0
Estudio 2	17,4	1,45	0	1,03	4,87	0	0	0	0	0,60	0
Baño 2	17,1	2,22	0	0	0	2,22	0	0,91	4,82	0	0
Office	17	1,31	0	0	0	0	0	0,87	4,81	0,87	0
Dormitorio 3	17,2	1,38	0	0	0	1,38	0	1,38	2,68	1,38	0
Cuarto anexo	17,3	0,99	0	0,99	3,14	0,99	0	0	0	0,99	0
Quincho (nocalef)	9,5	2,67	0	3,43	4,95	1,90	0	2,67	0	2,67	4,95

Tabla 3: Valores calculados de las transmitancias térmicas  $K_i$ .

	Auditado	Calculado	Diferencia %
$\tau'_m$	2,65	2,80	3,80
Calidad	E	E	
$K'_m$	1,34	1,39	3,80

Tabla 4. Comparación de valores auditados y calculados de  $\tau'_m$  y  $K'_m$

Un análisis detallado de resultados parciales para cada parte de la envolvente de la vivienda muestra una cierta disparidad pero que al obtener los resultados finales medios ponderados de caída de temperatura y transmitancia térmica alcanzan una razonable proximidad con una diferencia de 3,8% entre auditado y calculado. En ambos casos la vivienda como totalidad muestra un Nivel E de calidad térmica en un posible etiquetado de postconstrucción.

## 4.2. Análisis de la sub-casa 1

Como ya se mencionó este sector al fondo de la propiedad data del año 1985 de construcción tradicional de ladrillos comunes y ladrillos huecos, carpinterías de madera con techo en dos partes siendo una con canalón de fibrocemento y otra con chapa galvanizada en zona servicios. Originalmente funcionó como monoambiente de estudiante y en la actualidad como depósito aunque cuenta con baño y cocina completo y una superficie cubierta de 27,1 m<sup>2</sup>. En techos solamente cuenta con 0.02 m de EPS densidad 11 kg/m<sup>3</sup> y cielorraso de machimbre de ½" a la vista. Solo al muro este, con posterioridad y debido a la gran condensación superficial del muro de 0,12 m de ladrillos comunes, se le agregó por dentro 0,04 m de EPS 15 kg/m<sup>3</sup> + barrera vapor polietileno 200 micrones y un nuevo muro de ladrillo visto de 0,12 m espesor.

Los resultados que se obtienen de las mediciones corresponden a una temperatura interior de 9,5°C y es razonable ya que la media entre el interior calefaccionado y el exterior da 9.3°C. La temperatura superficial de techo es de 6°C siendo las caras norte, oeste y sur de 5°C, 6°C y 6°C respectivamente. Se diferencia ligeramente la cara este con un registro de 7°C. Los vidrios en todos los casos muestran una temperatura interior de 3°C. Resultado de esto la Casa 1 con el método propuesto alcanza un  $\tau'_m = 3,47$  °C y un  $K'_m = 2,65$  W/m<sup>2</sup>.K que se corresponde a un Nivel F.

## 4.3. Análisis de la sub-casa 2

Esta vivienda es una ampliación que data de 1996 en dúplex integrada a la anterior por un apéndice de 2,4 m de ancho, conteniendo éste la cocina y el lavadero. El cuerpo principal de la casa posee dos dormitorios, estudio, entrepiso baulera, baño en suite, estar-comedor y desayunador. Totalmente construida en ladrillos comunes sin revocar a junta cepillada tipo doble muro y en su interior 0,04 m de EPS 15 kg/m<sup>3</sup>. El techo a dos aguas de chapa prepintada color, espacio ventilado, 0.1m EPS 20 kg/m<sup>3</sup> difícilmente inflamable y madera de machimbre de pino de ¾" a la vista. La zona de cocina lavadero posee una losa compuesta por perfiles T de hierro PN8 y 0,05 EPS 30 kg/m<sup>3</sup> como bovedilla cada 50 cm. La capa de compresión con H° alivianado con ripiolita, la membrana hidráulica y un aislamiento térmico exterior tipo "techo invertido" con placas de EPS 0.025 m espesor y 20 kg/m<sup>3</sup> protegidas por 0.06 m ripiolita suelta. Todas las carpinterías son de madera cedro y vidrios repartidos. Solo las de dormitorios poseen cortina de enrollar de PVC y en todos los casos posee protecciones solares dimensionadas para cada orientación. La fachada principal da al mediodía solar con una ligera rotación de 12° al amanecer. La vivienda se encuentra calefaccionada con dos estufas tipo TBU a gas natural de 2752 W (3200 kcal/h) cada una y poseen termo estabilizador. La caja de escalera se encuentra tabicada con una puerta esclusa de cierre automático para minimizar la estratificación. Los puntos más alejados de los calefactores son la cocina y el lavadero, de hecho los lugares más fríos.

Los resultados que se obtienen de las mediciones corresponden a una temperatura media interior de 17,3°C con máximas de 18,1°C en dormitorios de planta alta y mínimas de 16,6°C en cocina. Dado que hay una puerta corrediza cerrada de noche el

lavadero solo se atempera con el calor emitido por un termotanque de 120 litros y quemador de 3956W alcanzando una temperatura de 14,6°C. Los techos de chapa alcanzan una temperatura de 18,6°C y para evitar obtener valores negativos se decidió restar un grado por la estratificación usual en calefactores por convección. Los muros opacos en planta baja muestran una temperatura media de 16°C cuando cuentan con aislamiento, salvo los bajo ventana de ladrillo de 0,12 m que muestran una temperatura de 13°C. En planta alta los valores son ligeramente superiores con temperaturas de 16 a 18°C. En el caso de las ventanas se tomaron las temperaturas de vidrios y marcos por separado a 0,20 m de distancia y luego se buscó una integración a 1 m de distancia al centro de las ventanas. Por cálculo y medición el resultado fue una temperatura de 11°C. Resultado de esto la Casa 1 con el método propuesto alcanza un  $\tau'_m = 2,26$  °C y un  $K'_m = 0,98$  W/m<sup>2</sup>.K que se corresponde a un Nivel D.

#### 4.4. Análisis de la sub-casa 3

Es un anexo pensado como departamento con acceso independiente desde la calle y construido sobre una cochera en forma de duplex. Se accede por puerta desde zona de dormitorios de casa 2. Está íntegramente construida en tecnología liviana y gran aislamiento térmico. Estructura de madera tratada con CCA, revestimiento interior de tableros de yeso roca y revestimientos en zona baño y cocina (office). En este caso el aislamiento es mayoritariamente con 0,10 m lana de vidrio y el EPS 30 kg/m<sup>3</sup> se uso para aislar piso hacia cochera en contacto con aire exterior y en el recubrimiento exterior EIFS. La transmitancia térmica  $K$  de techos es 0.30 W/m<sup>2</sup>.K, pisos  $K = 0,52$  W/m<sup>2</sup>.K y cerramientos verticales opacos  $K = 0,23$  W/m<sup>2</sup>.K. La relación vidriado opaco es baja y las carpinterías con vidrio simple son de madera con vidrio repartido a razón de 0,41 vidrio/madera y un  $K = 3,50$  W/m<sup>2</sup>.K (calculada) y cortinas interiores tela. El protocolo de la IRAM 11900 le asigna un nivel A con un  $\tau'_m = 1,00$  °C y un  $K'_m = 0,48$  W/m<sup>2</sup>.K. Se encuentra equipada con un calefactor TBU de 2752 W (3200 kcal/h) en planta baja y sin climatizadores en planta alta. A pesar de esto la temperatura instantánea en planta baja fue de 14°C y 16,3°C en planta alta remarcando que la estufa desde el día anterior se encontraba al mínimo.

En el caso de este sistema de construcción liviana las dispersiones en las mediciones fueron importantes y también la aplicación del método propuesto. Probablemente por la muy baja inercia térmica de la construcción. Resultado de esto, la caída de temperatura media ponderada resulta en  $\tau'_m = 2,48$  °C y un  $K'_m = 1,07$  W/m<sup>2</sup>.K que se corresponde a un Nivel D similar a Casa 2 con menor nivel de aislamiento y mayor superficie vidriada.

#### 4.5. Comparación sub casos y global

La Tabla 5 muestra una síntesis de los resultados obtenidos. El procedimiento muestra, en principio, un escaso margen de diferencia en el caso global y en la Casa 1 más convencional y de bajo aislamiento térmico general, al menos en la caída de temperatura media ponderada. En el caso de la transmitancia media ponderada de la Casa 1 la



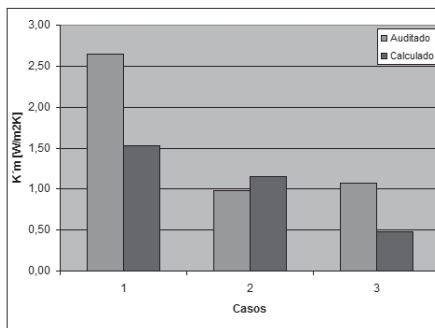
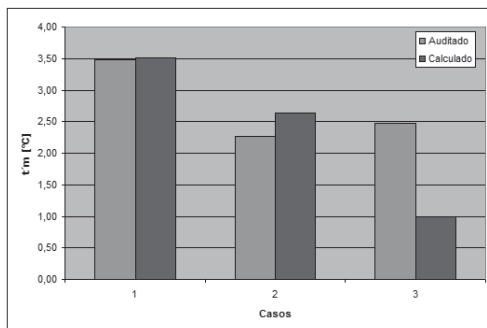
diferencia es significativa (-72.7%) al mostrar las mediciones mayor transmitancia térmica. No se midió humedad en paramentos para ver si esta mayor transmitancia térmica está afectada por un mayor tenor de humedad en los mismos.

		Auditado	Calculado	Diferencia %
CASO GENERAL	t'm	2,65	2,80	3,80
	Calidad	E	E	
	K'm	1,34	1,39	3,80
		Auditado	Calculado	Diferencia %
CASA 1	t'm	3,47	3,51	0,90
	Calidad	F	G	
	K'm	2,65	1,53	-72,70
CASA 2	t'm	2,26	2,63	14,00
	Calidad	D	E	
	K'm	0,98	1,15	14,90
CASA 3	t'm	2,48	1,00	-147,80
	Calidad	D	A	
	K'm	1,07	0,48	-124,60

Tabla 5. Comparación de vivienda global y por sub-casas.

Respecto a la Casa 2 que se encuentra calefaccionada la diferencia es razonable y similar (14%) en cuanto a caída de temperatura y transmitancia térmica media ponderada. Se recuerda que los casos anteriores cuentan con una envolvente capaz de retener calor en la masa de la envolvente.

En el caso de la última ampliación de la vivienda designada como Casa 3 de construcción liviana el método muestra diferencias muy significativas ya que las mediciones muestran un incremento de los indicadores entre 125 a 148% respecto del valor calculado con el protocolo de la IRAM 11900. Esto se ve en las Figuras 3 y 4.



Figuras 3 y 4. Comparación de  $t'_m$  y  $K'_m$  entre casos auditados y calculados mediante IRAM 11900.

#### 4.6. El comportamiento térmico en semana de medición

En la Figura 5 se muestra con claridad las diversas variaciones de temperatura en los ambientes interiores calefaccionados respecto de Casa 1 sin calefaccionar. Los adquirentes de datos Hobo se ubicaron a una altura entre 1 m a 1,5 m del nivel del suelo y lejos de fuentes de calor. Mientras Casa 1 varía con una amplitud térmica media de 5°C el exterior lo hace con 10°C. Las mínimas interiores de Casa 1 siguen la media exterior y las máximas no superan la máxima exterior. Las máximas exteriores sufren una “perturbación” en los registros por ingreso de sol al resguardo instalado entre las 3 y las 5 de la tarde.

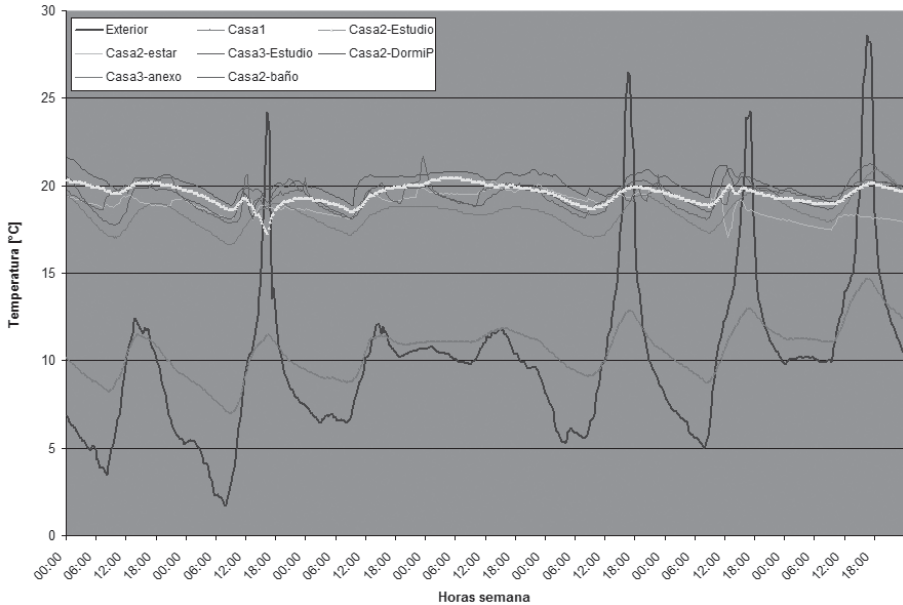


Figura 5. Variación de la temperatura de ambientes interiores en relación al exterior.

La media de las temperaturas interiores en Casa 2 y 3 se encuentran alrededor de los 18°C con una amplitud térmica cercana a los 3°C y muestra el razonable funcionamiento de los termo estabilizadores a gas del sistema de calefacción combinado con la masa térmica, en particular en Casa 2.

En la Figura 6 se muestra la variación de las temperaturas en la semana de medición respecto a la temperatura exterior en el dormitorio principal ubicado al norte donde se ubicó un termistor en el muro debajo de la ventana. Este muro sin revocar en ambas caras muestra importantes variaciones de temperatura aunque en relación al ambiente interior presenta un perfil similar en cuanto al comportamiento general. Mientras los datos registrados en el ambiente interior poseen una media de 20°C con escasa variación térmica; la superficie presenta temperaturas sensiblemente más bajas y algunos pocos registros “extrañamente” bajos en torno a los 7°C.

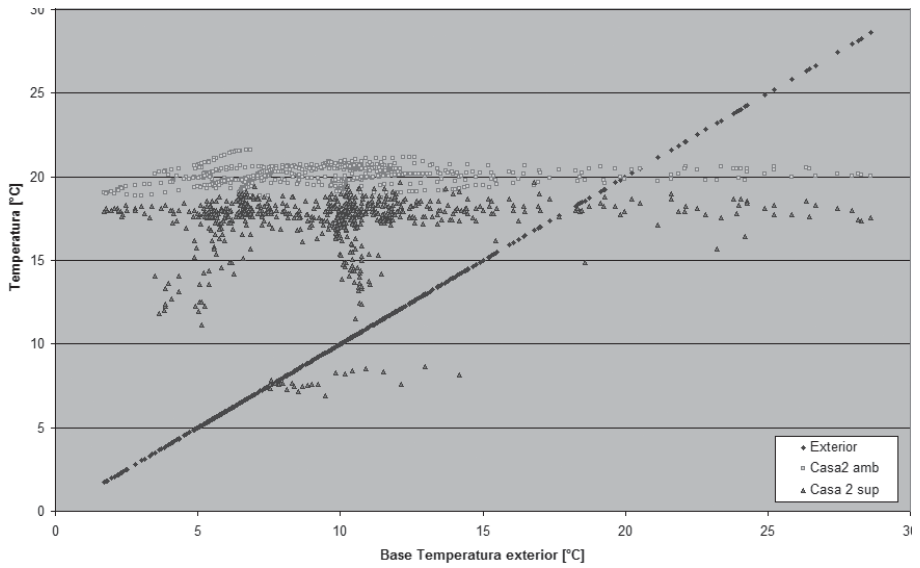


Figura 6. Relación entre las temperaturas exteriores respecto de las temperaturas del ambiente interior y en la superficie de un muro de 0,12 m espesor ( $K= 2,67 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ) orientado al norte.

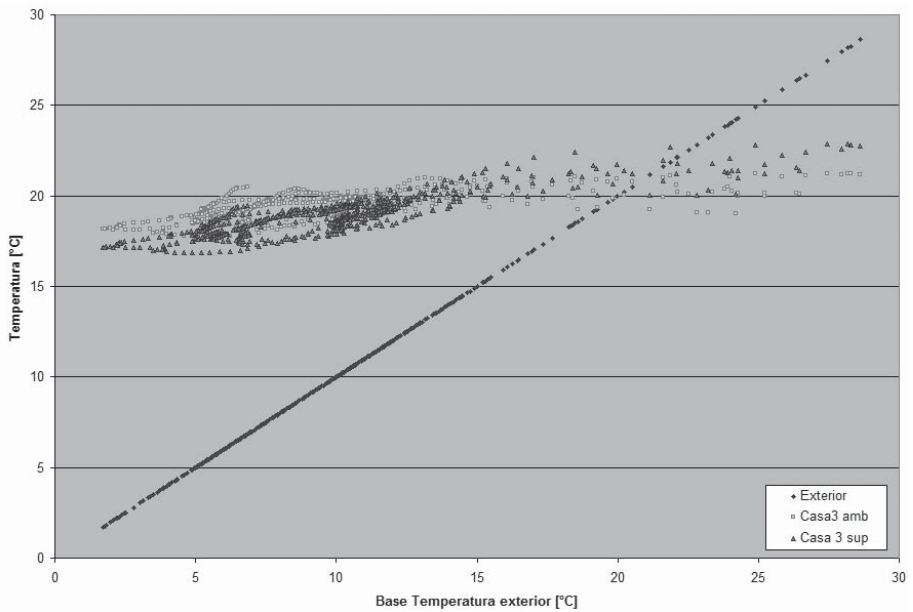


Figura 7. Relación entre las temperaturas exteriores respecto de las temperaturas del ambiente interior y en la superficie de un tabique liviano con fuerte aislamiento térmico ( $K= 0,23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ) y 0,12 m de espesor, orientado al oeste.

La Figura 7 con el tabique liviano muy bien aislado térmicamente prácticamente se confunde con el ambiente interior. Hay baja amplitud térmica con temperaturas en la superficie muy próximas a la temperatura interior. Es lo esperable en un edificio concebido con el Nivel A de la Norma de Etiquetado energético en calefacción. Mientras el caso 2 muestra una estabilidad en este caso hay una pendiente positiva posiblemente debida a la nula inercia térmica de este tipo de sistemas constructivos.

## **5. Conclusión**

El procedimiento se muestra de simple aplicación y requiere de instrumental por auditor que no supera los u\$s 300 en el mejor de los casos. La fiabilidad o resolución pareciera buena en el caso de edificios convencionales con deficiente nivel de aislamiento térmico en la envolvente y es independiente de si están o no climatizados. Esto al menos en el caso de viviendas que poseen una baja carga térmica por ocupación. Cuando el edificio posee mejoras térmicas en la envolvente correspondientes a niveles de etiquetado en torno al D todavía hay una razonable respuesta del método implementado. En ambos casos son edificios con envolventes semipesadas, particularmente en muros. En el caso de edificios con gran aislamiento térmico el método y el tipo de instrumental utilizado pareciera no responder y requiere de un mayor análisis y mayor cantidad de casos a analizar. Pero debemos reconocer que casos de nivel A o B son raros en el parque habitacional del país y mayoritariamente es más factible encontrar niveles inferiores a E. Es necesario encontrar un protocolo válido para servir de antecedente a una posible norma de etiquetado para edificios existentes basado en auditorías in situ.

## 6. Referencias

- Czajkowski, Jorge y Gentile, Carlos. (1999). *Evaluación de la variación en la resistencia superficial interior en encuentros de planos verticales y horizontales en viviendas*. Revista Avances en energías Renovables y Ambiente. Vol 3 Nro 2, pág. 08-9 a 08.12.
- IRAM 11601. (2002). *Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo*. IRAM. Buenos Aires.
- IRAM 11603. (1996). *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires.
- IRAM 11604. (1990). *Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires.
- IRAM 11605. (1996). *Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios*. IRAM. Buenos Aires.
- IRAM 11625 y 30. (2000). *Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Verificación del riesgo de condensación de vapor de agua superficial e intersticial en los paños centrales (25) puntos singulares (30) de muros exteriores, pisos y techos de edificios en general*.
- IRAM 11659-1. (2004). *Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Parte 1: Vocabulario, definiciones, tablas y datos para determinar la carga térmica de refrigeración*.
- IRAM 11659-2. (2007). *Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Parte 2: Viviendas*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires.

Artículo publicado en la revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Volumen 14, pp 08.191-08.198. Año 2010.



## Sección 04 | **Edificios en Altura**





# **Análisis del comportamiento energético-ambiental en torre de viviendas en La Plata.**

M. Belén Salvetti, Jorge D. Czajkowski, Analía F. Gómez.

## **1. Resumen**

En este trabajo se realiza un estudio del comportamiento energético-ambiental de una torre de viviendas en la Ciudad de La Plata (clima templado-cálido húmedo). Se partió del análisis particularizado de dos departamentos auditados en invierno y verano. Luego los resultados obtenidos del estudio de estos dos casos fueron extrapolados al total del edificio para su análisis global. En cuanto a la metodología, se utilizó el método del "Audit-CAD", el cual permite analizar el comportamiento térmico y energético del edificio mensualmente, mediante el ingreso de los datos auditados. A partir de analizar los consumos energéticos de los departamentos para ambos períodos, se busca conocer los valores para construir un indicador de consumo de energía real y mejorarlo; a fin de utilizarlo en un modelo de consumo a nivel urbano.

Palabras Clave: edificios; eficiencia energética; auditoría energética; confort.

## **2. Introducción**

El siguiente trabajo fue desarrollado en el LAYHS - FAU - UNLP. El mismo se encuentra enmarcado dentro de una de las líneas de investigación principales que se desarrollan en el laboratorio, orientada hacia la eficiencia energética edilicia en áreas urbanas. En el marco del PICT 2006 956 - BID1728/OC-AR denominado "*Eficiencia energética edilicia en áreas metropolitanas. Evaluaciones mediante auditorías y propuestas de estándares*".

La importancia del tema está relacionada con dos problemáticas actuales: la escasez de recursos y el calentamiento global. Aspectos en los cuales la construcción arquitectónica y urbana tiene un grado de incidencia significativo (IPCC, 2001). La industria de la construcción es una de las más importantes consumidoras de materias primas y recursos no renovables. La misma implica un gran impacto ambiental no sólo durante los procesos de extracción y elaboración de las materias primas, sino también durante la construcción de edificios, su utilización y aún después, cuando el edificio es demolido y reciclado (Edwards, 2008).

Los combustibles fósiles por su parte constituyen la principal fuente de energía empleada en el hábitat construido. En Argentina, por ejemplo, el 96% de la generación eléctrica es mediante centrales de ciclo combinado mientras que para calefacción es intensivo el uso de gas natural (Secretaría de Energía de la Nación; MECON, 2007).

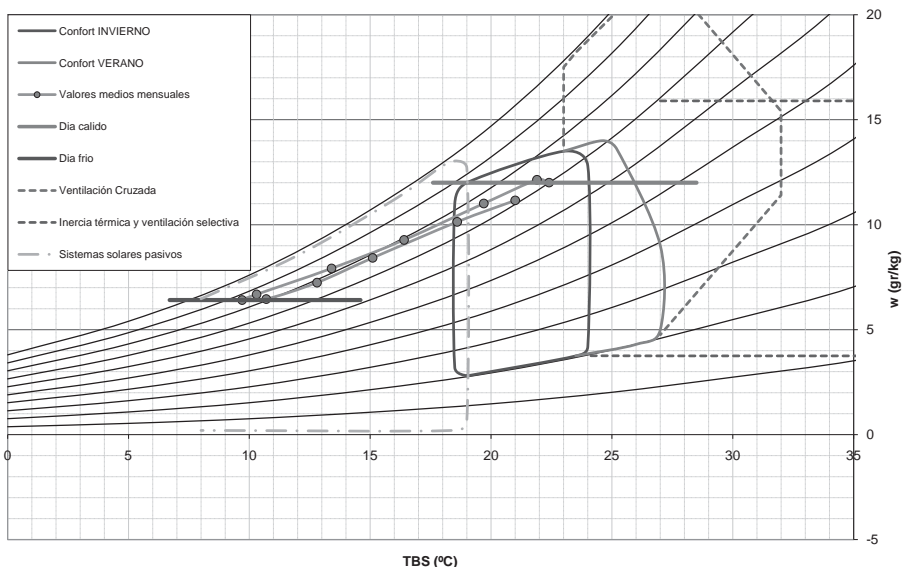


Figura 1. Climograma de Givoni para La Plata.

El edificio analizado se encuentra implantado en la ciudad de La Plata. Esta ciudad se encuentra en la Zona Bioclimática IIIb de la Argentina, clima templado-cálido húmedo.

A pesar de sus características particulares el clima templado en nuestro país se distingue por veranos e inviernos marcados pero no rigurosos. Su característica principal es el alto nivel de humedad durante todo el año, con amplitudes térmicas menores a 14°C. En verano las temperaturas medias varían entre los 20°C y los 26°C, con máximas que superan los 30°C. En invierno las temperaturas medias varían entre los 8°C y los 12°C, con mínimas entre los 5°C y los 8°C. Por su parte, la humedad relativa media varía entre el 70% y el 85%. En esta subzona se concentra casi el 60% de la población del país. La aglomeración que tiene lugar en las áreas metropolitanas favorece la generación del efecto de "Isla de calor", el cual implica una suba de 3°C a 4°C (Czajkowski, 2009).

Para esta zona se recomienda utilizar colores claros y doble aislamiento térmico en techos con respecto a los muros. Fachadas ventiladas en grandes edificios, y ventanas con DVH y protección solar móvil. Aprovechamiento de los vientos predominantes y protección de las carpinterías que dan al S-SE por las fuertes tormentas. La orientación óptima es la NNO-N-NNE porque facilita la protección solar en verano y el asoleamiento en invierno. Según el climograma de Givoni durante gran parte del año deberá tenerse en cuenta el uso de sistemas solares pasivos (Figura 1).

El edificio fue construido en el año 1999. Su tecnología constructiva es convencional con estructura de hormigón armado y muros de cerramiento exterior de ladrillos huecos



Figura 2. Cortes del edificio analizado.



Figura 3. Fachada del edificio analizado.

de 18x18x33 cm, sin aislamiento higratérmico adicional. Por su parte los cerramientos interiores se han materializado con ladrillos huecos de 12x18x33 cm, los que separan a los departamentos entre sí y con las áreas comunes, y con ladrillos de 8x18x33 cm aquellos que dividen los ambientes interiores de cada departamento. Como sistema de calefacción cada uno de los departamentos cuenta con una estufa de tiro balanceado de 4.000 Kcal de potencia. Por su parte el sistema de refrigeración de los distintos departamentos se ha dejado a criterio de cada uno de los habitantes. De los dos departamentos analizados uno (1°B) ha optado por un equipo de aire acondicionado tipo Split de 1.200W de potencia en la zona del estar-comedor y ventiladores de techo en la zona de dormitorios, mientras que el otro (3°B) ha optado por colocar ventiladores de techos en todos los ambientes principales. (Figuras 2 y 3).

### 3. Objetivo

El objetivo del trabajo es realizar un análisis del comportamiento energético-ambiental del edificio partiendo del estudio higratérmico de dos departamentos analizados. Asimismo constituyen parte del objetivo de este trabajo la modelización del edificio, la construcción de indicadores e índices y las propuestas de mejora del mismo.

### 4. Instrumentos y métodos

Para la realización del trabajo se analizó el edificio completo por medio del Audit-CAD (Czajkowski, 1999). Dicho programa permite analizar mensualmente el comportamiento térmico y energético del edificio, mediante el ingreso de los datos auditados al tiempo que determina indicadores formales basados en las Normas IRAM. Luego los resultados fueron exportados a Excel para su análisis.

Particularmente se estudiaron dos departamentos (1°B y 3°B) cuyos habitantes permitieron el acceso a los distintos ambientes. Al mismo tiempo se realizó una encuesta para determinar las variaciones en los consumos de gas natural y electricidad para calefacción y refrigeración respectivamente.

La campaña de medición comprendió los períodos de verano e invierno. Para la misma se utilizaron ocho micro-adquiridores de datos HOBO U10-003 para medir la temperatura y humedad de los ambientes interiores y una Estación Meteorológica HOBO ProV2 para medir la temperatura y humedad en el exterior. La radiación solar fue registrada por la estación meteorológica fija Davis "Vantage Pro2". Para el procesamiento de los datos generados por los HOBOS se utilizó el "HOBOWarePro" y el "BoxCarPro".

Durante estos períodos se tomaron mediciones de los consumos de gas natural y electricidad en todos los departamentos. Por otra parte se instalaron cuatro HOBOS en cada uno de los departamentos auditados. Se colocó uno en el dormitorio principal, otro en el estar-comedor, y los otros dos en el calefón y sobre el horno para poder discriminar el consumo de gas natural para agua caliente sanitaria y cocción respectivamente. El intervalo de tiempo en la toma de datos se fijó en quince minutos para los HOBOS

ubicados en los ambientes principales y en la Estación Meteorológica, y un minuto para los HOBOS ubicados sobre el calefón y sobre el horno (Figura 4). Los datos obtenidos fueron exportados a Excel para su análisis.



Figura 4. Plantas del edificio analizado.

## 5. Resultados y discusión

Para el estudio del comportamiento energético-ambiental del edificio se partió del análisis particularizado de los dos departamentos a los que pudo accederse. Luego los resultados obtenidos del estudio de estos dos casos fueron extrapolados al total del edificio para su análisis global.

### 5.1. Análisis del confort higrotérmico de los departamentos

Se tomaron mediciones en dos períodos para poder analizar el comportamiento de las viviendas en verano e invierno. Para el análisis de las variaciones de temperatura y humedad en los distintos ambientes se eligieron cinco horarios que relacionan las horas de mayor y menor ocupación de las viviendas (Figura 5) con la incidencia del sol sobre los diferentes ambientes que las conforman. El criterio de elección de esas bandas horarias fue el siguiente:

- 07.00hs: horario de salida del sol - comienzo de actividad dentro de la vivienda.
- 10.00hs: media mañana - los departamentos se encuentran vacíos.
- 13.00hs: primera hora de la tarde - los departamentos vuelven a ocuparse.

17.00hs: hora crítica de la tarde - cuando el sol tiene mayor incidencia sobre la fachada principal (orientación NO).

20.00hs: ausencia de sol - ocupación definitiva hasta el día siguiente.

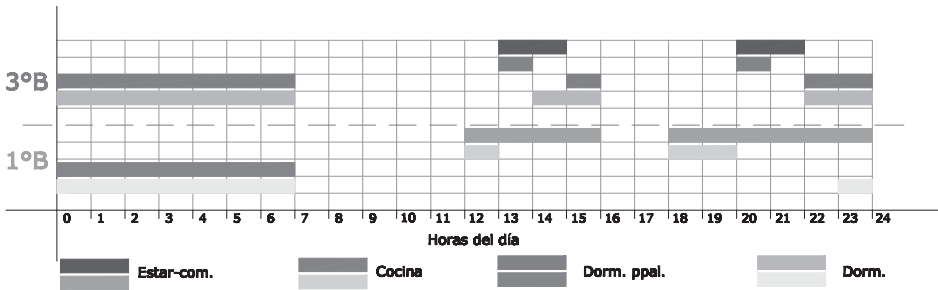


Figura 5. Ocupación de los departamentos, según encuesta socio-energética.

## 5.2. Comportamiento higrotérmico de Verano

La campaña de medición comprendió los días del 10 al 16 de marzo del año 2009. El gráfico de la Figura 6 muestra la evolución de la temperatura durante el período de medición estival. Los días abarcados por este período no presentaron temperaturas extremas de días típicamente cálidos. El mayor pico de temperatura se observa el día 14 de marzo con una máxima de 33.08°C; ese mismo día se registró una mínima de 19.37°C (amplitud térmica = 13.72°C). Puede verse en el gráfico como este descenso de la temperatura continúa y es así que al día siguiente se registra la temperatura más baja del período estudiado (13.31°C). Por su parte los ambientes interiores presentan variaciones en las temperaturas que siguen los picos producidos por las temperaturas exteriores. En general las temperaturas interiores se encuentran por encima de los límites de confort para verano con máximas que superan los 30°C y mínimas que rondan los 20°C. El 14 de marzo se registró una máxima de 31.47°C a las 15.30hs en el departamento del tercer piso, ese mismo día se registró una mínima de 25.22°C a las 23.45hs (amplitud térmica = 6.25°C). Por su parte en el departamento del primer piso ese día se registró una máxima de 29.35°C y una mínima de 26.68°C (amplitud térmica = 2.67°C). Durante el 16 de marzo se observaron las temperaturas mínimas interiores del período estudiado, 20.14°C en el departamento del tercer piso y 23.10°C en el del primer piso. En ambos casos las temperaturas máximas tienen lugar en la zona del estar-comedor y las mínimas en la zona de dormitorios.

Para un análisis más detallado del comportamiento higrotérmico de las viviendas se tomó el día crítico y se lo analizó con el programa PsiConf 1.4. El día 14 de marzo se registraron las mayores temperaturas, interiores y exteriores. Según el climograma de Givoni (Figura 7) puede verse como la mayor parte del día todos los ambientes se encuentran fuera de los límites de confort. Según este diagrama para lograr alcanzar dichos límites las viviendas deberían incorporar en su diseño ventilación cruzada, inercia térmica y ventilación selectiva, y sistemas solares pasivos. Por otra parte se observan

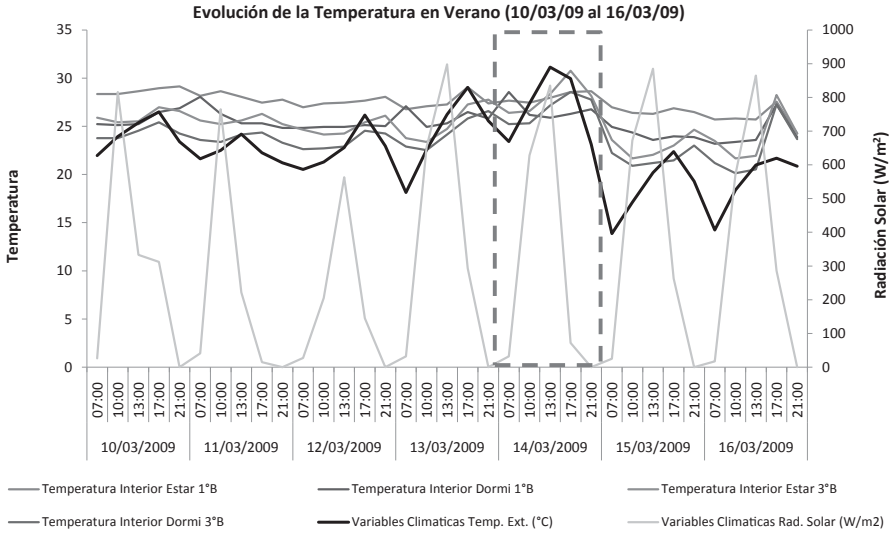


Figura 6. Evolución de la temperatura en el periodo estival (del 10/03/09 al 16/03/09).

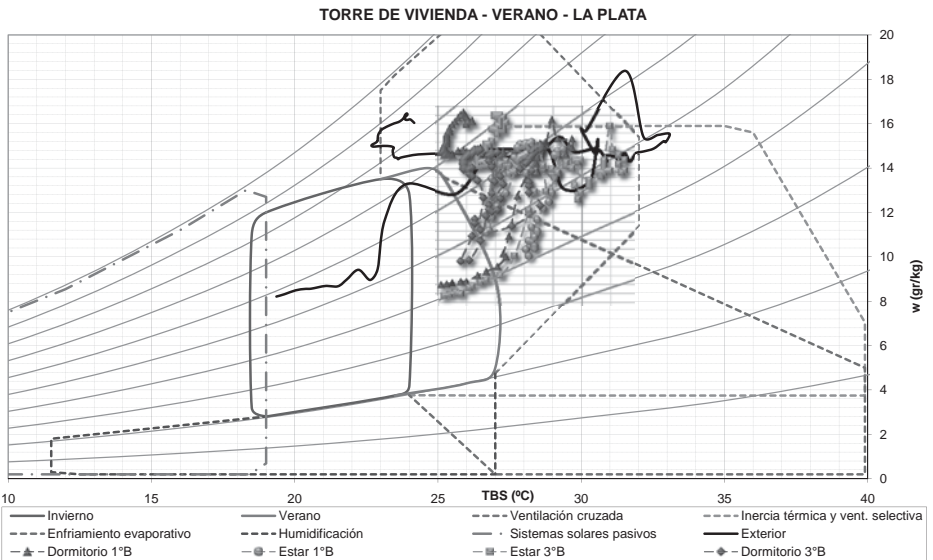


Figura 7. Análisis del comportamiento higrotérmico de los departamentos (14/03/09).

algunos puntos del dormitorio del tercer piso y algunos más del departamento del primer piso dentro de la zona de confort de verano, sin embargo puede verse que estos puntos coinciden con temperaturas exteriores por debajo de los 25°C.

### 5.3. Comportamiento higrotérmico de Invierno

La campaña de medición comprendió los días 18 al 24 de junio del año 2009. El gráfico de la Figura 8 muestra la evolución de la temperatura durante el período de medición invernal. Al igual que como ocurrió durante los días analizados en verano, los abarcados por este período no presentaron temperaturas extremas de días típicamente fríos. El 24 de junio se registra la menor temperatura del período (3.59°C); ese mismo día se registró una máxima de 18.25°C (amplitud térmica = 14.66°C). Por su parte los ambientes interiores presentan variaciones en las temperaturas que siguen las variaciones de la temperatura exterior. En este caso hay una notable diferencia entre las temperaturas interiores de ambos departamentos; mientras que en el departamento del primer piso las temperaturas oscilan entre los 18°C y los 25°C, en el departamento del tercer piso las mismas oscilan entre los 14°C y los 22°C. El 23 de junio se registraron las temperaturas interiores mínimas del período estudiado con 18.43°C para el departamento del primer piso y 14.23°C para el del tercer piso. Por su parte el 20 de junio se observaron las mayores temperaturas interiores con 25.42°C registrados en el departamento del primer piso y 22.33°C en el del tercer piso. En ambos casos las temperaturas máximas tienen lugar en la zona del estar-comedor y las mínimas en la zona de dormitorios.

Para un análisis más detallado del comportamiento higrotérmico de las viviendas se realizó un diagrama psicométrico en el cual se tomó como referencia el día 23 de junio, en el que se registraron las temperaturas más bajas, interiores y exteriores. Según el climograma de Givoni (Figura 9) puede verse como sólo los dormitorios se encuentran dentro de los límites de confort para invierno. Por su parte las áreas de estar-comedor se encuentran casi en su totalidad por debajo de dichos límites y sólo en algunas partes del día el estar del departamento del primer piso alcanza estas condiciones. Según este diagrama para lograr el confort de invierno las viviendas deberían incorporar en su diseño sistemas solares pasivos.



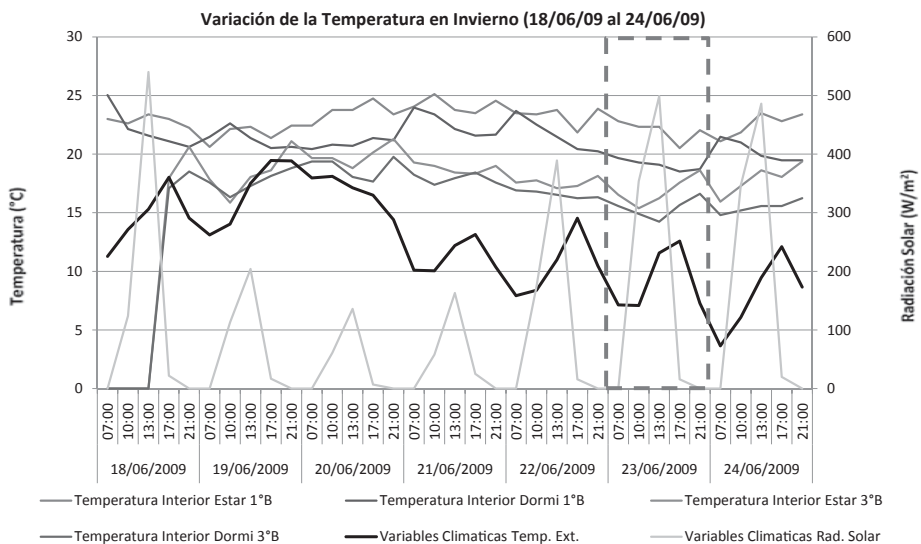


Figura 8. Evolución de la temperatura en el periodo invernal (del 18/06/09 al 24/06/09).

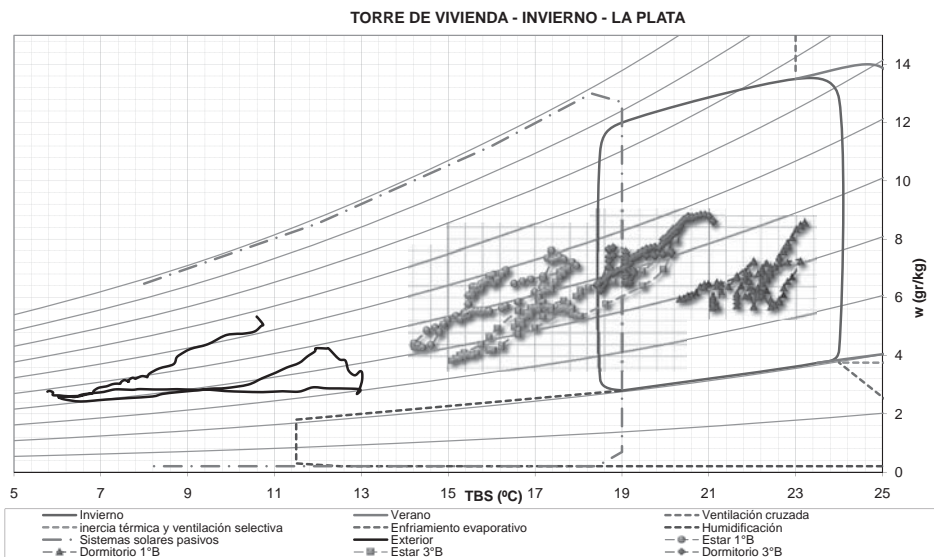


Figura 9. Análisis del comportamiento higrotérmico de los departamentos (23/06/09).

## 5.4. Análisis energético del edificio

Para el análisis energético global del edificio se adoptan los valores relevados. Respecto al modo en que se estudió la envolvente edilicia, el mismo se basó en el procedimiento establecido por la Norma IRAM 11604. Al analizar el edificio a través del AuditCAD se obtuvo una diferencia del 10,9% entre la demanda calculada en calefacción y la medida. La diferencia puede asumirse como la correspondiente al consumo de gas para calentamiento de agua y cocción. La Figura 10 muestra los datos que se utilizaron para el cálculo y los resultados que se obtuvieron del AuditCAD.

COMPARACION BALANCES ENTRE APORTES MEDIDOS Y CALCULADOS		
Días medición	6 días	
Horas medición	144,00 hs	
Cons gas natural	785,10 m <sup>3</sup>	
Cons En Elect	1708,00 KW/h	
Tmedia Ext.	12,90 °C	
Tmedia Int.	18,86 °C	
N° Ren aire	1,80 ra	
N° Personas	50,00 Hab	
Area Habitabile	1314,35 m <sup>2</sup>	
Vol Climatizado	3548,74 m <sup>3</sup>	
<b>NECESIDADES DE ENERGIA CALCULADAS</b> 6157,98 KW/h		
Aportes debidos al Gas Natural	4512,36 KW/h	65,30%
Aportes debidos a la Energía Eléctrica	1708 KW/h	24,70%
Aportes debidos a la ocupación	324 KW/h	4,70%
Aportes debidos a la insolación	368,55 KW/h	5,30%
<b>APORTES DE ENERGIA S/ MEDICIONES</b> 6912,91 KW/h		
<b>DIF PORCENTUAL E/ CONSUMO CALCULADO Y MEDIDO</b> -10,92%		

Figura 10. Comparación de balances energéticos entre aportes de energía medidos y calculados para la totalidad del edificio en la semana de medición.

En la Figura 11 puede verse que el mayor porcentaje de pérdidas es a través de muros, siguiéndole en importancia las pérdidas por renovaciones de aire y luego a través de las carpinterías. Las pérdidas a través de los techos son importantes, pero como la superficie analizada es menor a la de los demás elementos constructivos, la incidencia porcentual disminuye. El análisis termo-energético se basó en el procedimiento establecido por la Norma IRAM 11604 respecto al modo de tratamiento de la envolvente edilicia, y en lo que respecta a las rejillas reglamentarias el dato fue tomado de la Norma NAG-215 (ENARGAS, 2008). Por otra parte el gran porcentaje de pérdidas a través de muros y techos se debe a que los mismos no disponen de ningún tipo de aislamiento térmico adicional. Las carpinterías constituyen un caso especial ya que sólo aquellas sobre la cara Sur-Este disponen de protección solar mientras que las de la fachada principal, de orientación Noroeste, carecen de cualquier tipo de protección. En todos los casos se trata de carpinterías de aluminio corredizas de simple vidriado, con burletes.

ASIGNACION PORCENTUAL DE PERDIDAS TERMICAS SEGUN BALANCE			CARACTERISTICAS PRINCIPALES GENERALES DEL EDIFICIO																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>CONSUMO S/ PERDIDAS POR</th> <th colspan="2"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MUROS</td> <td>2981 W/°C</td> <td>38,51%</td> </tr> <tr> <td>TECHOS</td> <td>640 W/°C</td> <td>8,27%</td> </tr> <tr> <td>VENTANAS</td> <td>1303 W/°C</td> <td>16,83%</td> </tr> <tr> <td>PUERTAS</td> <td>231 W/°C</td> <td>2,98%</td> </tr> <tr> <td>PISOS</td> <td>351 W/°C</td> <td>4,53%</td> </tr> <tr> <td>REN. AIRE</td> <td>2236 W/°C</td> <td>28,88%</td> </tr> </tbody> </table>			CONSUMO S/ PERDIDAS POR			MUROS	2981 W/°C	38,51%	TECHOS	640 W/°C	8,27%	VENTANAS	1303 W/°C	16,83%	PUERTAS	231 W/°C	2,98%	PISOS	351 W/°C	4,53%	REN. AIRE	2236 W/°C	28,88%			
CONSUMO S/ PERDIDAS POR																										
MUROS	2981 W/°C	38,51%																								
TECHOS	640 W/°C	8,27%																								
VENTANAS	1303 W/°C	16,83%																								
PUERTAS	231 W/°C	2,98%																								
PISOS	351 W/°C	4,53%																								
REN. AIRE	2236 W/°C	28,88%																								
			AÑO DE CONSTRUCCION 1999																							
			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ASPECTOS TERMICOS</th> <th colspan="2">ASPECTOS DIMENSIONALES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>COEF. UA</td> <td>5382</td> <td>VOLUMEN</td> <td>3549</td> </tr> <tr> <td>COEF. G</td> <td>1,55</td> <td>COMPACIDAD</td> <td>0,07</td> </tr> <tr> <td>COEF. G<sub>adm</sub></td> <td>1,20</td> <td>F. FORMA</td> <td>0,65</td> </tr> </tbody> </table>			ASPECTOS TERMICOS		ASPECTOS DIMENSIONALES		COEF. UA	5382	VOLUMEN	3549	COEF. G	1,55	COMPACIDAD	0,07	COEF. G <sub>adm</sub>	1,20	F. FORMA	0,65					
ASPECTOS TERMICOS		ASPECTOS DIMENSIONALES																								
COEF. UA	5382	VOLUMEN	3549																							
COEF. G	1,55	COMPACIDAD	0,07																							
COEF. G <sub>adm</sub>	1,20	F. FORMA	0,65																							
			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">ASPECTOS ENERGETICOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Q(KWh/año)</td> <td>207018</td> <td>Q<sub>1</sub>(KWh/año/m<sup>2</sup>)</td> <td>199,75</td> </tr> </tbody> </table>			ASPECTOS ENERGETICOS			Q(KWh/año)	207018	Q <sub>1</sub> (KWh/año/m <sup>2</sup> )	199,75														
ASPECTOS ENERGETICOS																										
Q(KWh/año)	207018	Q <sub>1</sub> (KWh/año/m <sup>2</sup> )	199,75																							

Figura 11. Descripción básica del edificio.

## 5.5. Análisis del consumo de gas natural de los departamentos

Los gráficos de las Figuras 12 y 13 muestran los consumos de gas natural de los departamentos 1°B y 3°B respectivamente. En ellos puede verse la diferencia de consumo de los meses más fríos con respecto a los más cálidos, en los cuales se despreja el uso de gas natural para calefacción. Para el cálculo de estos valores se tomaron los consumos totales relevados con las encuestas a los cuales se les aplicó un criterio de conversión (Czajkowski et Al., 2003) de modo de distinguir el consumo de gas para calefacción, durante los meses de invierno, y para agua caliente y cocción, durante todo el año. El resultado fue satisfactorio puesto que si bien los departamentos manifiestan diferencias en sus consumos totales, en ambos puede apreciarse el incremento en la demanda de gas durante los meses más fríos. De este modo se estima que aproximadamente el 55% del consumo de gas natural total anual es utilizado en agua caliente y cocción mientras que el 45% restante es utilizado para calefaccionar. A partir de este análisis puede hablarse de un indicador de consumo de 1.5m<sup>3</sup> diarios para agua caliente y cocción, y de un indicador de consumo para calefacción para valores superiores a los 3.5m<sup>3</sup> diarios.

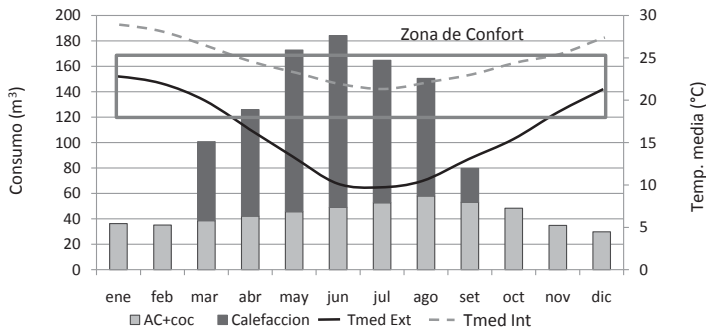


Figura 12: Análisis del consumo de gas 1°B.

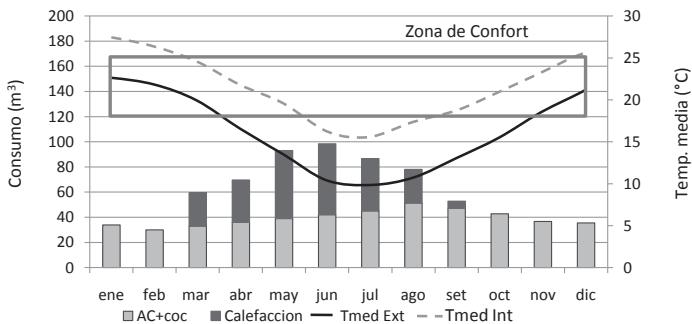


Figura 13. Análisis del consumo de gas 3°B.

## 5.6. Análisis del consumo de energía del edificio

Los gráficos de las Figuras 14 y 15 muestran la comparación entre los consumos diarios de gas natural y energía eléctrica para satisfacer la demanda de invierno y verano. Estos permiten comparar la intensidad energética entre los distintos departamentos del edificio.

Partiendo de la diferencia en la demanda de Energía Eléctrica (Figura 15) por metro cuadrado se puede inferir el uso de equipos de aire acondicionado para refrigeración (como es el caso del departamento 1°B) e incluso también para calefacción. Por su parte la diferencia en la demanda de Gas Natural (Figura 14) permite deducir la mayor o menor demanda de este tipo de energía para calefaccionar la vivienda, lo que puede depender de diversas razones. Asimismo se analizaron las frecuencias de consumos de energía lo que permitió obtener distintos índices y sus pesos.

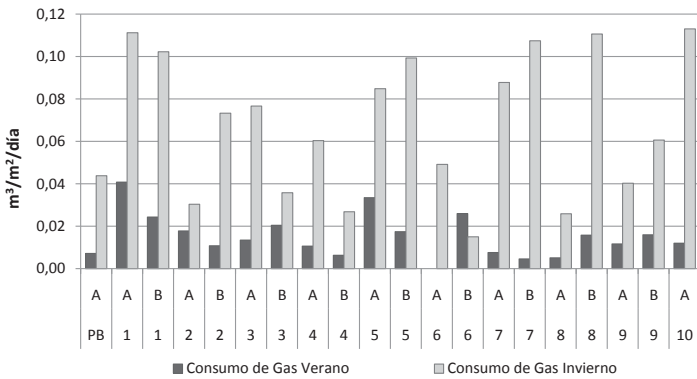


Figura 14. Comparación del Consumo de Gas (Invierno-Verano)

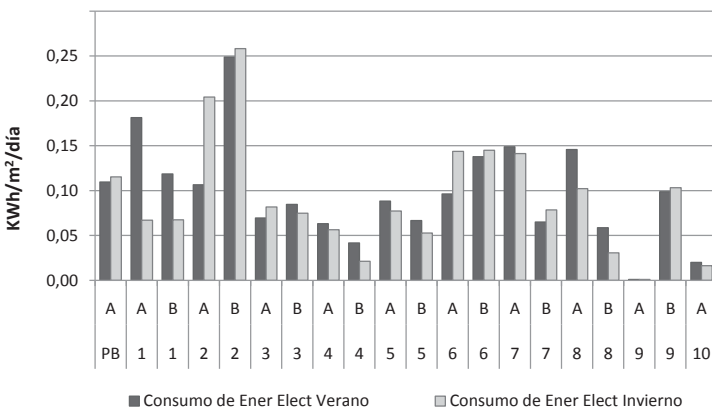


Figura 15. Comparación del Consumo de Energía Eléctrica (Invierno-Verano)

## 5.7. Comportamiento energético con mejoras térmicas

Partiendo del análisis de los diferentes aspectos estudiados se propuso una mejora en la calidad constructiva de aquellos elementos que mayor incidencia tenían en el total de las pérdidas. Para el análisis del edificio con DAC (Diseño Ambientalmente Conciente) se mejoraron los muros de ladrillos huecos de 18x18x33 cm ( $K= 1.82 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ) por muros compuestos con aislamiento térmico mediante 0,04 m de EPS [ $30 \text{ kg/m}^3$ ] ( $K= 0.5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ). Lo mismo se hizo con las carpinterías de vidrio simple ( $K= 6.08 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ) que fueron reemplazadas por otras con DVH y protección solar ( $K= 2.38 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ), y con el techo del edificio ( $K= 3.82 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ) al cual se le agregó 0.08 m. de EPS [ $30 \text{ kg/m}^3$ ], con la solución tipo “techo invertido” ( $K = 0.33 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ). Todo esto para llevar los cerramientos opacos a un grado intermedio entre los Niveles A y B de la Norma IRAM 11605. La reducción de las pérdidas térmicas implicó una mejora en el desempeño del 28,1 % con respecto a cómo está construido en la actualidad. Asimismo el G del edificio disminuyó de  $1.39 \text{ W/m}^3\text{K}$  a  $0.75 \text{ W/m}^3\text{K}$ , menor al  $G_{\text{adm}}$  ( $1.2 \text{ W/m}^3\text{K}$ ). La Figura 16 muestra cómo se reducirían las pérdidas a través de los diferentes elementos constructivos si se aplicasen las mejoras propuestas. Por su parte la Figura 17 muestra la redistribución de las pérdidas, al aplicar los criterios de DAC.

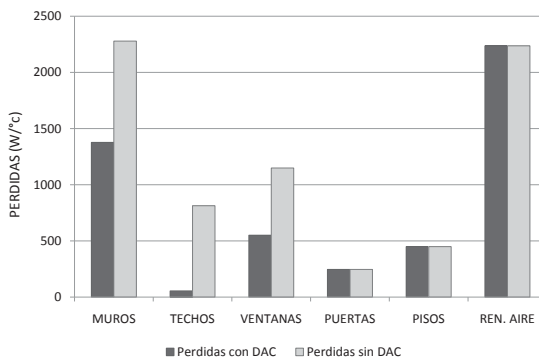


Figura 16. Comparación de pérdidas con y sin DAC.

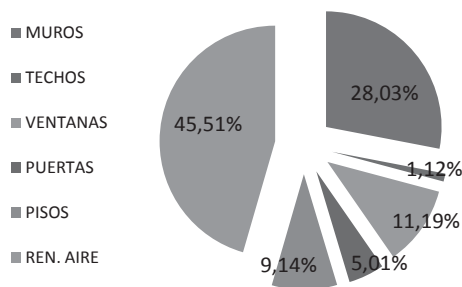


Figura 17. Pérdidas con DAC.

## 6. Conclusiones

Este trabajo permitió realizar un análisis del comportamiento energético-ambiental de un edificio de viviendas en la ciudad de La Plata, zona Bioclimática IIIb, con el fin de evaluar un posible reciclado energético.

Pudo analizarse el comportamiento higrotérmico de dos departamentos e inferir, según los resultados obtenidos de las mediciones y las encuestas realizadas, las diferencias entre los consumos y los cálculos de gas natural y electricidad para calefacción y refrigeración. Se encuentra que unidades funcionales similares presentan consumos de gas natural muy diferentes. Los de mayor consumo relativo, como se esperaba, se correlacionan con temperaturas medias interiores superiores a las de aquellas unidades funcionales que presentan consumos inferiores. Esto permite generar índices de consumos de energía y sus pesos relativos con fines estadísticos para luego poder caracterizar diferentes tipos edilicios.

En el caso estudiado, en lo que respecta a gas natural para los meses de invierno, se encontró que el 26% del total de las unidades funcionales muestra un consumo máximo que ronda los  $0.11\text{m}^3$  por metro cuadrado por día; otro 26% muestra un consumo medio que ronda los  $0.08\text{m}^3$  por metro cuadrado por día y el 48% restante muestra un consumo mínimo que ronda los  $0.03\text{m}^3$  por metro cuadrado por día. El mismo análisis pudo hacerse para los meses de verano, en este caso los índices variaron del siguiente modo; el 10% muestra un consumo máximo que ronda los  $0.04\text{m}^3$  por metro cuadrado por día, el 30% presenta un consumo medio que ronda los  $0.03\text{m}^3$  por metro cuadrado por día y el 60% restante muestra un consumo mínimo que ronda los  $0.01\text{m}^3$  por metro cuadrado por día.

Por otra parte, puede hablarse de un indicador de consumo de gas natural que ronda  $1.5\text{m}^3$  diarios para agua caliente y cocción, y de un indicador de consumo para calefacción para valores superiores a los  $3.5\text{m}^3$  diarios.

En lo que respecta al consumo de energía eléctrica para los meses de invierno se encontró que el 11% del total de las unidades funcionales muestra un consumo máximo que ronda los  $0.23\text{kW}$  por metro cuadrado por día; un 33% muestra un consumo medio que ronda los  $0.13\text{kW}$  por metro cuadrado por día y el 11% restante muestra un consumo mínimo que ronda los  $0.023\text{kW}$  por metro cuadrado por día. El mismo análisis pudo hacerse para los meses de verano, en este caso los índices variaron del siguiente modo; el 5% muestra un consumo máximo que ronda los  $0.25\text{kW}$  por metro cuadrado por día, el 45% presenta un consumo medio que ronda los  $0.13\text{kW}$  por metro cuadrado por día y el 50% restante muestra un consumo mínimo que ronda los  $0.06\text{kW}$  por metro cuadrado por día.

A través de la propuesta de mejorar diferentes elementos constructivos del edificio se alcanzó una mejora en el desempeño energético cercano al 30%, el cual se vio limitado por las infiltraciones debidas a las rejillas reglamentarias para ventilación y ductos de evacuación de gases de combustión. Al mismo tiempo pudo distinguirse cuáles son los elementos constructivos que tienen mayor influencia en el total de pérdidas del

edificio. La implementación de los conceptos de DAC al diseño del edificio produjo una gran reducción en las pérdidas a través de muros, techos y ventanas, incrementando el porcentaje de pérdidas a través de las renovaciones de aire.

Por último la diferencia entre el  $G$  del edificio y el  $G_{adm}$  determinado por la Norma IRAM 11605 nos lleva a reflexionar sobre la calidad de los edificios en materia energética, máxime si consideramos que el caso analizado constituye un claro ejemplo de construcción del hábitat urbano en la actualidad. La falta de preocupación en la elección de los materiales y los sistemas de acondicionamiento del aire interior permiten hablar de un deterioro de la calidad del ambiente construido. Tanto es así que puede plantearse a modo de hipótesis que los últimos ejemplos de la construcción arquitectónica constituyen un claro ejemplo de ineficiencia energética y en consecuencia de despreocupación por el ambiente.

## 7. Referencias

- Czajkowski, J. & Gómez, A. (2009). *Arquitectura Sustentable*. Arq. Clarín. Buenos Aires. ISBN 978-987-07-0603-8.
- Czajkowski, Corredera, Saposnik. (2003). *Análisis de la relación entre demanda de gas natural en calefacción según "EnergCAD" y consumos reales en viviendas unifamiliares del Gran La Plata*. Revista Avances en energías renovables y ambientales N°7. ISSN 0329-5184.
- Czajkowski, J. (1993). *Desarrollo del programa AuditCAD para el análisis de edificios a partir de auditorías ambientales*. Revista Avances en energías renovables y ambientales N°3. ISSN 0329-5184.
- Edwards, Brian. (2008). *Guía básica de la sostenibilidad*. Gustavo Gili, SL. Barcelona. ISBN 8425222087.
- ENARGAS. NAG-215. (2008). *Rejillas de ventilación permanente para instalaciones internas de gas*. Ente Nacional Regulador del Gas. Buenos Aires.
- IPCC. (2001). *Tercer informe de evaluación del Intergovernmental Panel on Climate Change: Cambio Climático*. Ginebra, Suiza. ISBN 0 52180770 0.
- IRAM. 11659-2. (2007). *Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Parte 2: Viviendas*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires.
- IRAM. 11601. (2002). *Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo*. IRAM. Buenos Aires.
- IRAM. 11603. (1996). *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires.
- IRAM. 11605. (1996). *Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios*. IRAM. Buenos Aires.
- IRAM. 11604. (1990). *Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires.
- Vergara, A. & De Las Rivas, J. (2004). *Territorios inteligentes. La ciudad sostenible*. Fundación Metrópoli. Madrid.

Artículo publicado en la revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Volumen 13, pp 05.127 - 05.134. Año 2009.



# Indicadores de eficiencia energética en edificios

## Comparación con estándares vigentes en Argentina

M. Belén Salvetti, Jorge D. Czajkowski, Analía F. Gómez.

### Resumen

En este trabajo se realiza un estudio comparativo del comportamiento energético de diferentes tipos edilicios. Se analizan tres casos de edificios de oficinas y tres de edificios de viviendas, y se los compara con una muestra anterior. Se busca encontrar correlaciones o diferencias de comportamiento energético en cuanto a pérdidas y ganancias potenciales de energía, y valores de  $G$  comparándolos con estándares de Normas Argentinas a fin de verificar el grado de eficiencia energética. En cuanto a la metodología, se utilizó el procedimiento del "AuditCAD", basado en balances en estado estacionario. Se concluye que los indicadores utilizados se muestran claros para "calificar" energéticamente edificios y facilitar comparaciones. Por su parte, los edificios de menor tamaño se muestran relativamente menos eficientes energéticamente que aquellos de mayor volumen. Al mismo tiempo se destaca el crecimiento de la ineficiencia energética con el correr de los años. Finalmente se observa que ninguno de los casos analizados cumple con las Normas Nacionales.

Palabras Clave: eficiencia energética, edificios, estándares, indicadores.

### 1. Introducción

El siguiente trabajo fue desarrollado en el LAYHS – FAU – UNLP. El mismo se encuentra enmarcado dentro de una de las líneas de investigación principales que se desarrolla en el laboratorio, orientada hacia la eficiencia energética edilicia en áreas urbanas. En el marco del PICT 2006 956 – BID1728/OC-AR denominado "*EFICIENCIA ENERGÉTICA EDILICIA EN ÁREAS METROPOLITANAS. Evaluación mediante auditorías y propuesta de estándares*".

La importancia del tema está relacionada con dos problemáticas actuales: la escasez de recursos y el calentamiento global. Como es sabido, estas dos problemáticas son responsables del deterioro ambiental que viene sufriendo el mundo, y en los cuales la construcción arquitectónica y urbana tiene un grado de incidencia significativo. (IPCC, 2001).

Durante mucho tiempo se confió en el desarrollo de tecnologías adecuadas para el manejo de los recursos naturales a gran escala de modo que sea posible satisfacer las necesidades de la población mundial. Sin embargo la actualidad demuestra que esto

no es así; que los recursos se agotan y que el riesgo que esto acarrea para la vida de millones de personas así como para el ambiente, es cada vez mayor. (VEGARA; DE LAS RIVAS, 2004)

La industria de la construcción es una de las más importantes consumidoras de materias primas y recursos no renovables, y representa una fuente de contaminación muy importante durante las diferentes fases en el ciclo de vida de un edificio. Esta implica un gran impacto ambiental no sólo durante los procesos de extracción y elaboración de las materias primas, sino también durante la construcción de edificios, su utilización y aún después, cuando el edificio es demolido y reciclado. (EDWARDS, 2008).

Los combustibles fósiles por su parte constituyen la principal fuente de energía empleada en el hábitat construido. En Argentina el gas es un insumo fundamental en la generación eléctrica y la calefacción. (SECRETARIA DE ENERGIA, 2008). La escasez y el riesgo potencial que representan las emisiones de carbono que el empleo de los mismos genera, hace que sea necesaria la discusión de un empleo intensivo.

En Europa y en otras partes del mundo se están llevando a cabo numerosos ejemplos de construcciones sustentables, conscientes de la problemática actual de la escasez de recursos. Cada día diversos medios gráficos especializados en arquitectura muestran más ejemplos de edificios corporativos que buscan mejorar su imagen ambiental apelando al diseño sustentable. Es conveniente aprovechar esta creciente ola de interés por el medioambiente, que viene ganando espacio en el ámbito de la construcción, para desarrollar edificios que no sólo sean eficientes en cuanto al consumo de energía, sino que además muestren respeto por el medioambiente.

Por su parte los últimos setenta años de la historia de la arquitectura urbana de la Argentina muestra la aparición y el desarrollo de edificios que crecieron en las limitaciones de los solares urbanos. Los códigos de edificación favorecieron el crecimiento en altura, aumentando la rentabilidad del suelo y junto al simbolismo que representaban estos edificios crecieron utilizando los últimos desarrollos tecnológicos (LIERNUR, 2004). Sin embargo, *“en el período 1900-1990 la calidad térmica de los edificios, en particular de los residenciales, fue descendiendo a pesar de que la oferta tecnológica crecía. Por otra parte y a pesar de existir desde fines de los `70 normas de calidad térmica edilicia, la producción privada no cesaba de bajar los estándares de calidad al punto que en 1986 se aprueba una revisión de nuestras normas que bajaba aún más los requerimientos de calidad”* (CZAJKOWSKI, 1990).

En los últimos años se ha avanzado en la creación de indicadores de eficiencia energética para torres de vivienda. Ya existen en la Argentina Normas sobre ahorro de energía en calefacción y refrigeración de edificios de viviendas (IRAM 11659-2; 11604). Sin embargo resta generar antecedentes para otros usos tal como lo son los edificios de oficinas, públicas o privadas. Al mismo tiempo tampoco se ha consensado en el país cuál es el indicador de eficiencia adecuado para contener la demanda de energía y tender hacia propuestas de edificios de “baja energía” o “energía cero”.

## 2. Objetivo

El objetivo del trabajo es realizar un análisis comparativo del comportamiento energético de diferentes casos de edificios -tanto de viviendas como de oficinas- teniendo en cuenta las diversas variables que entran en juego para su materialización.

## 3. Método

Para la realización del trabajo se tomó una muestra de seis edificios –tres de vivienda y tres de oficina- con características constructivas diversas. La elección de los ejemplos se hizo al azar entre diversos medios gráficos especializados en arquitectura. Se buscó que los distintos ejemplos elegidos presentaran diversidad en las formas de aventanamiento y de constitución de la fachada, en la relación de superficies acristaladas y opacas, en los sistemas de protección solar, entre otras.

Al mismo tiempo se tomó como parte de la muestra para realizar un análisis comparativo un trabajo previo (ver Tabla 1).

Reunida la muestra; se determinaron las características de la envolvente a partir de documentación gráfica y de las memorias técnicas de los edificios. Al mismo tiempo se profundizó en el análisis del diseño formal de los distintos ejemplos y su relación con la calidad térmica edilicia, y el uso racional de la energía entre otros aspectos.

Para el análisis energético de los casos se utilizó el programa AuditCAD (CZAJKOWSKI, 1999). Dicho programa permite analizar en estado estacionario el comportamiento térmico y energético del edificio, mensualmente. Asimismo determina indicadores formales basados en las Normas IRAM. Luego los resultados son exportados a Excel para su análisis estadístico.

Posteriormente se procedió con la realización de planillas síntesis (Figuras 1 a 6), las cuales contienen toda la información básica de los casos analizados para poder emplearla en los distintos gráficos.

Edificio	Area env. (m <sup>2</sup> )	Superficie (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	F. forma (adim)	G (W/°C)	Q <sub>cal</sub> (KWh/año)	Q <sub>s,cal</sub> (KWh/m <sup>2</sup> /año)
Comega	19045	13357	40072	0,48	4,00	909212	68
Chacofi	16975	10736	32208	0,52	4,23	972647	91
Conurban	22776	15118	45354	0,50	4,14	1377589	91
Esmeralda 116	9358	26555	79666	0,12	4,14	1966292	74
IBM	32642	18067	54201	0,60	6,48	1799576	100
Libertad 565	3848	1323	3970	0,97	3,64	213527	161
Madero	24153	25142	75426	0,32	4,77	1815493	72
Malecom	8761	5045	15136	0,58	4,16	532326	106
Corrientes 1427	7451	4219	12656	0,59	4,48	403810	96
Libertad 731	7582	5619	16858	0,45	2,52	544560	97
La Plata	14479	12681	38043	0,38	4,20	1018820	80

Tabla 1. Cuadro síntesis muestra previa. Fuente: Corredera, C.; Czajkowski, J. (2003).

## 4. Análisis de resultados

Como consecuencia del procesamiento de la información se obtuvieron los siguientes resultados que pueden ser agrupados de la siguiente forma:

### 4. 1. Edificio de oficinas

Se tomaron tres ejemplos de edificios de oficinas (Figuras 1 a 3) con características constructivas diversas. Los mismos cuentan con distintas situaciones de aventanamiento, de tratamiento de fachada, de relación de planos opacos y vidriados, de protección solar, etc.

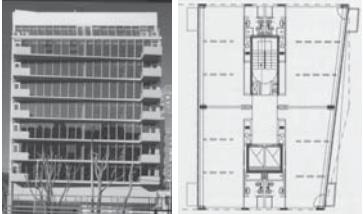
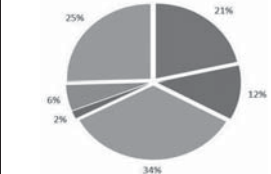
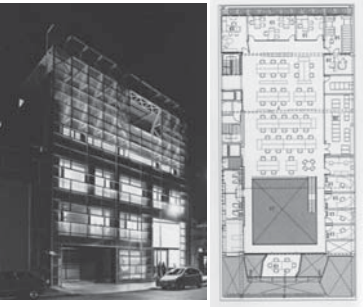
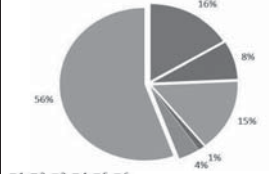
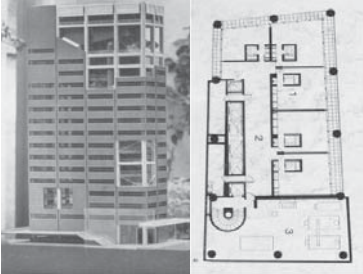
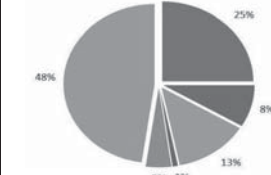
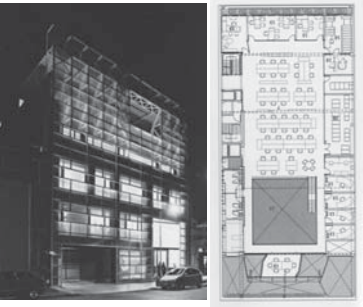
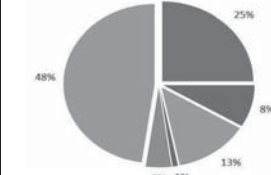
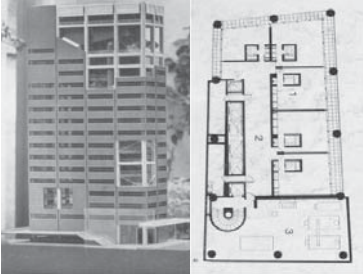
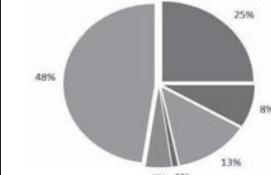
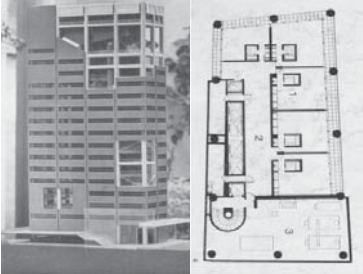
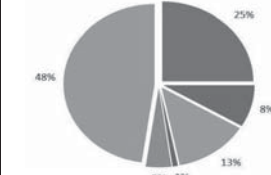

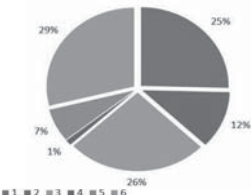
Edificio 11 de Septiembre		Aspectos Dimensionales:		
Proyecto:	Busnelli	Superficie (m <sup>2</sup> ):	2104	
Año:	2007	Volumen (m <sup>3</sup> ):	5138	
 <p>■ 1 muros // 2 techos // 3 ventanas // 4 puertas // 5 pisos // 6 ren. aire</p>		Compacidad (adim):	0,71	
		F. de forma (adim):	0,58	
		<b>Aspectos Térmicos</b>		
		Coef. UA (W/°C):	14100	
		Coef. G (W/°C):	2,74	
		Coef. G adm.(W/°C):	1,16	
<b>Aspectos Energéticos</b>				
 <p>■ 1 muros // 2 techos // 3 ventanas // 4 puertas // 5 pisos // 6 ren. aire</p>		Q (KWh/año)	417496	
		Qs(KWh/m2/año)	198	
Edificio Fox LA Channel		Aspectos Dimensionales:		
Proyecto:	Alberto Varas	Superficie (m <sup>2</sup> ):	2690	
Año:	2005	Volumen (m <sup>3</sup> ):	7262	
 <p>■ 1 muros // 2 techos // 3 ventanas // 4 puertas // 5 pisos // 6 ren. aire</p>		Compacidad (adim):	2,19	
		F. de forma (adim):	0,17	
		<b>Aspectos Térmicos</b>		
		Coef. UA (W/°C):	9150	
		Coef. G (W/°C):	1,26	
		Coef. G adm.(W/°C):	1,13	
<b>Aspectos Energéticos</b>				
 <p>■ 1 muros // 2 techos // 3 ventanas // 4 puertas // 5 pisos // 6 ren. aire</p>		Q (KWh/año)	270926	
		Qs(KWh/m2/año)	101	
Edificio de la ANSES		Aspectos Dimensionales:		
Proyecto:	M SG S S V	Superficie (m <sup>2</sup> ):	12784	
Año:	1974	Volumen (m <sup>3</sup> ):	42389	
 <p>■ 1 muros // 2 techos // 3 ventanas // 4 puertas // 5 pisos // 6 ren. aire</p>		Compacidad (adim):	1,15	
		F. de forma (adim):	0,26	
		<b>Aspectos Térmicos</b>		
		Coef. UA (W/°C):	62006,00	
		Coef. G (W/°C):	1,46	
		Coef. G adm.(W/°C):	1,11	
<b>Aspectos Energéticos</b>				
 <p>■ 1 muros // 2 techos // 3 ventanas // 4 puertas // 5 pisos // 6 ren. aire</p>		Q (KWh/año)	1835917	
		Qs(KWh/m2/año)	144	

Figura 1 - 2 - 3. Descripción básica del edificio.

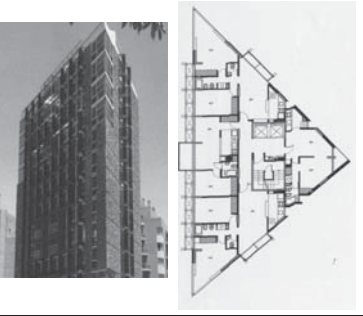
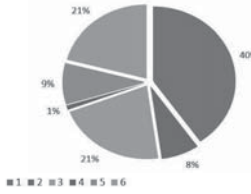
## 4. 2. Edificio de Viviendas

En este caso se tomaron como ejemplo tres casos de edificios de viviendas (Figuras 4 a 6) también, como en los casos anteriores, presentan características constructivas diversas; cuentan con distintas situaciones de aventanamiento, de relación de planos opacos y vidriados, de protección solar, etc.

La Figura 7 muestra la relación entre el volumen a climatizar y la carga térmica de los edificios analizados en este trabajo. Se observa una gran diferencia dimensional entre el edificio de la ANSES (Figura 3) y el resto de los edificios analizados, como así también de la carga térmica necesaria para su climatización.

Edificio Glamis		Aspectos Dimensionales:		
Proyecto:	Mardones - Viviani	Superficie (m <sup>2</sup> ):	1442	
Año:	2003	Volumen (m <sup>3</sup> ):	3894	
 <p>■1 ■2 ■3 ■4 ■5 ■6 1. muros // 2. techos // 3. ventanas // 4. puertas // 5. pisos // 6. ren. aire</p>		Compacidad (adim):	0,72	
		F. de forma (adim):	0,52	
		Aspectos Térmicos		
		Coef. UA (W/°C)	9415	
		Coef. G (W/°C):	2,42	
		Coef. G adm.(W/°C):	1,18	
		Aspectos Energéticos		
		Q (KWh/año)	278776	
		Qs(KWh/m2/año)	193	

Edificio Gernika		Aspectos Dimensionales:		
Proyecto:	Miguel A. Roca	Superficie (m <sup>2</sup> ):	1468	
Año:	2004	Volumen (m <sup>3</sup> ):	3963	
 <p>■1 ■2 ■3 ■4 ■5 ■6 1. muros // 2. techos // 3. ventanas // 4. puertas // 5. pisos // 6. ren. aire</p>		Compacidad (adim):	0,36	
		F. de forma (adim):	1,03	
		Aspectos Térmicos		
		Coef. UA (W/°C):	13307,00	
		Coef. G (W/°C):	3,36	
		Coef. G adm.(W/°C):	1,18	
		Aspectos Energéticos		
		Q (KWh/año)	393998	
		Qs(KWh/m2/año)	268	

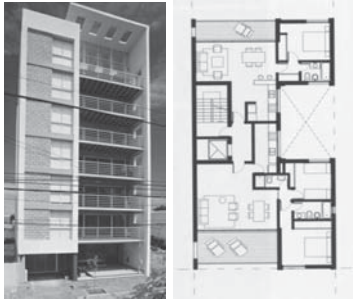
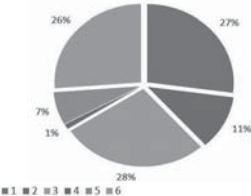
Edificio Terrazas		Aspectos Dimensionales:		
Proyecto:	Queixalos -Trull	Superficie (m <sup>2</sup> ):	1187	
Año:	2007	Volumen (m <sup>3</sup> ):	3360	
 <p>■1 ■2 ■3 ■4 ■5 ■6 1. muros // 2. techos // 3. ventanas // 4. puertas // 5. pisos // 6. ren. aire</p>		Compacidad (adim):	0,59	
		F. de forma (adim):	0,60	
		Aspectos Térmicos		
		Coef. UA (W/°C):	8973	
		Coef. G (W/°C):	2,67	
		Coef. G adm.(W/°C):	1,20	
		Aspectos Energéticos		
		Q (KWh/año)	265676	
		Qs(KWh/m2/año)	224	

Figura 4 - 5 - 6. Descripción básica del edificio.

Por su parte la Figura 8 muestra la relación entre el volumen a calefaccionar y la carga térmica de los edificios analizados, y los compara con los edificios de un trabajo previo. Las líneas de tendencia de cada uno de los trabajos son *similares*. Las expresiones resultantes permiten conocer la demanda anual de energía en calefacción a partir del volumen calefaccionado con un  $R^2=0,98$  para la muestra actual y  $R^2=0,94$  para la muestra previa.

$$Q_{cal}=39,749 \times \text{volumen} + 139849(\text{KWh/año}) \quad [1]$$

$$Q'_{cal}=23,788 \times \text{volumen} + 155940(\text{KWh/año}) \quad [2]$$

La mayor pendiente de la expresión [1] que se corresponde con casos de construcción reciente, muestra un crecimiento en la demanda de energía en calefacción que implica un aumento de la ineficiencia energética en los últimos años.

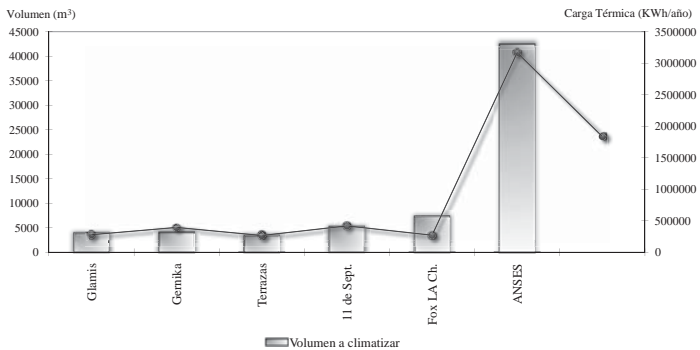


Figura 7. Relación entre el volumen a climatizar y la carga térmica. Cuadro síntesis.

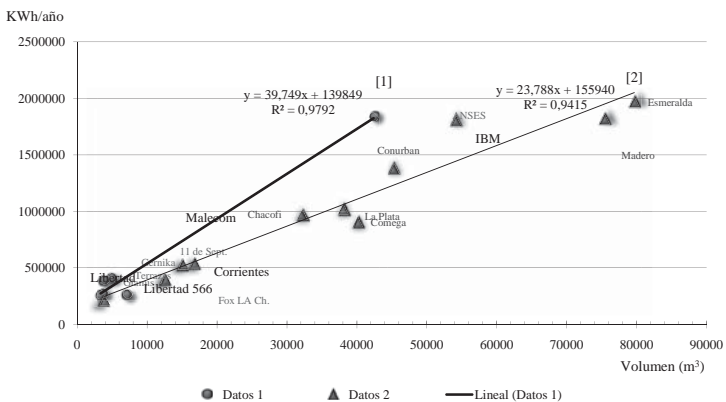


Figura 8. Relación entre el volumen a calefaccionado y la carga térmica anual en calefacción. Comparación con un trabajo previo.

Entre los casos analizados en este trabajo se distinguen el edificio Fox LChannel (Figura 2) y el de la ANSES (Figura 3). El primero se encuentra por debajo de la línea de tendencia (Figura 8), mientras que el edificio de la ANSES presenta valores muy superiores al resto. Al mismo tiempo este último puede ser comparado con el edificio IBM (Tabla 1). El volumen a calefaccionar en el IBM es superior al del edificio de la ANSES, sin embargo las cargas térmicas necesarias para la climatización de ambos es similar.

La Figura 9 muestra la carga térmica por metro cuadrado para los distintos casos analizados. El sector "A" distingue aquellos edificios con un volumen a climatizar inferior a los tres mil metros cúbicos. Los mismos presentan una gran dispersión en la carga térmica por metro cuadrado que requieren. A modo de hipótesis se plantea que los edificios pequeños implican sistemas de calefacción que no impactan significativamente

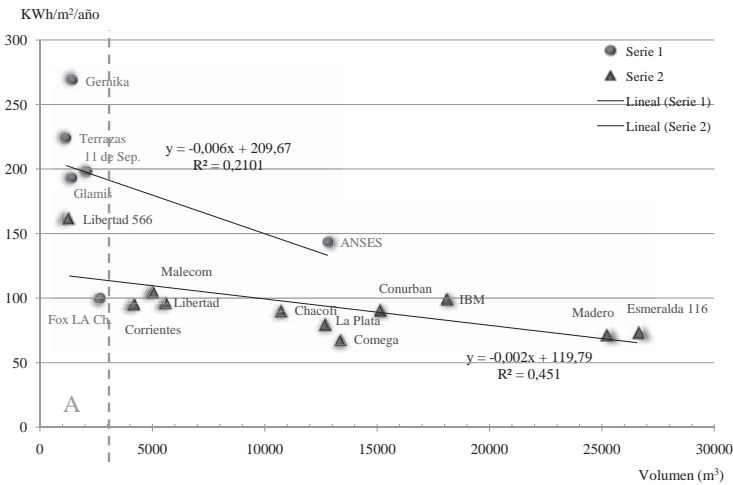


Figura 9. Carga térmica por m² de los distintos edificios analizados. Comparación con un trabajo previo.

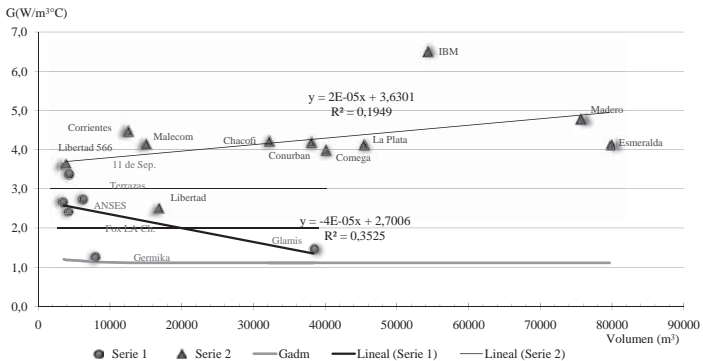


Figura 10. Relación entre el volumen a climatizar y el Coeficiente G. Comparación con un trabajo previo.

te en el costo inicial y demuestran una menor preocupación por el ahorro energético. Por su parte los edificios con un volumen mayor a los tres mil metros cúbicos muestran una correlación con pendiente negativa, donde a medida que se incrementa el tamaño del edificio decrece la carga térmica por m<sup>2</sup>.

La Figura 10 por su parte relaciona el volumen de los diferentes edificios con el coeficiente  $G_{cal}$  [W/m<sup>3</sup>.K] de los mismos (IRAM 11604). Puede verse como en todos los casos el  $G_{cal}$  del edificio es superior al  $G_{adm}$ , con lo cual ningún caso de la muestra edilicia presente o previa cumple con las Normas nacionales que de hecho no son de cumplimiento obligatorio. La correlación entre el volumen calefaccionado y el  $G_{cal}$  es bajo en la muestra actual ( $R^2=0,352$ ) y en la muestra previa es aún más baja ( $R^2=0,195$ ). Esto muestra la falta de regulación de la calidad energética edilicia en los Códigos de Edificación. Por otra parte la muestra actual tiene la particularidad que la relación vidriado/opaco es menor a las torres de oficina del trabajo de comparación y esto lleva a que los  $G_{cal}$  sean sensiblemente más bajos y cercanos a los valores admisibles de la Norma IRAM.

### 4.3. Comparación en implantaciones correspondientes a ciudades intermedias en clima templado

Se realizó un análisis a través del cual se busca mostrar el comportamiento energético de los distintos edificios en algunas de las ciudades más importantes de la Argentina (Tabla 2), con características climáticas diferentes; aunque todas dentro del clima templado (Norma IRAM 11603).

La Figura 11 muestra el comportamiento energético del edificio Gernika (Figura 5), y las pérdidas y ganancias anuales del mismo para su localización en distintas ciudades de la Argentina.

Puede verse como para la localización en la ciudad de Córdoba el edificio muestra la posibilidad de obtener ganancias de aproximadamente 2.000.000 KWh/año, muy superiores a las que podría obtener en las otras localizaciones.

Simultáneamente se observa que en la mayoría de los casos las pérdidas no llegan a los 500.000 KWh/año, lo que marca una diferencia importante entre ambos valores. Mientras que en otras ciudades como La Plata, Mar del Plata y Bahía Blanca las pérdidas

Ciudad, Provincia	Latitud (°)	Tamaño (hab.*)	Grados Día (°D**)
Paraná, Entre Ríos	-39,8	237.000	591
Córdoba, Córdoba	-31,4	1.316.000	608
La Plata, Buenos Aires	-35	563.000	992
Bahía Blanca, Buenos Aires	38,7	318.000	1369
Mar del Plata; Buenos Aires	38,1	542.000	1653

\* INDEC 2001      \*\* IRAM 11603 (18°C)

Tabla 2. Cuadro Síntesis de las ciudades analizadas.



y ganancias no presentan grandes diferencias. Sin embargo no ocurre lo mismo con Paraná; para esta localización el porcentaje de pérdidas anuales es menor al de las otras ciudades analizadas y en este caso las posibles ganancias no son tan importantes como en el caso de Córdoba.

Por su parte, la Figura 12 muestra el comportamiento energético del edificio de la ANSES (Figura 3). Para su localización en la ciudad de La Plata el edificio manifiesta pérdidas de aproximadamente 1.800.000 kWh/año mientras que las ganancias no alcanzan los 1.000.000 kWh/año. Contrariamente a lo que ocurre para las localidades de Córdoba y Paraná donde el edificio presenta un número equilibrado de pérdidas y posibles ganancias, para las ciudades de Mar del Plata y Bahía Blanca el número de pérdidas es ampliamente superior a las posibles ganancias.

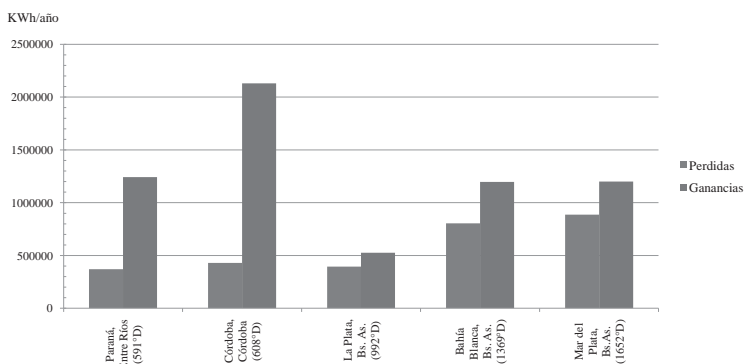


Figura 11. Pérdidas y ganancias del edificio Gernika (Figura 5) en diferentes ciudades de la Argentina.

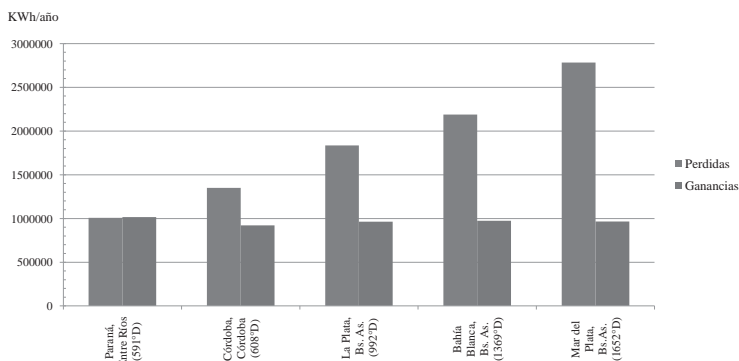


Figura 12. Pérdidas y ganancias del edificio de la ANSES (Figura 3) en diferentes ciudades de la Argentina.

## 5. Conclusiones

Este trabajo permitió realizar un análisis comparativo de diferentes edificios y su comportamiento energético.

Pudo observarse la relación entre la carga térmica necesaria para climatizar un edificio y el volumen del mismo. A modo de hipótesis se concluye que los edificios pequeños demuestran una menor preocupación por el ahorro energético; éstos implican sistemas de calefacción que no impactan significativamente en el costo inicial. Por su parte en los edificios con un volumen mayor a los tres mil metros cúbicos se observa que a medida que se incrementa el tamaño del edificio decrece la carga térmica.

El análisis de los distintos casos y la comparación con la muestra previa permitió observar el crecimiento en la demanda de energía en calefacción en los últimos años, lo que implica un aumento de la ineficiencia energética.

Al mismo tiempo pudo observarse el comportamiento energético de un mismo edificio para distintas ciudades con características climáticas diversas, aunque todas dentro del clima templado. Resultó interesante observar la diferencia de resultados en la relación entre pérdidas y ganancias que se obtuvo a partir de la supuesta localización de un mismo ejemplo en distintas ciudades de la Argentina.

Por otra parte, la diferencia entre el  $G_{cal}$  de los edificios y el  $G_{adm}$  determinado por la Norma IRAM 11604 -en todos los casos el valor de  $G_{cal}$  se halla muy por encima de los valores admisibles por las normas- nos lleva a reflexionar sobre la baja calidad de los edificios en materia de eficiencia energética.

Respecto a los indicadores de eficiencia energética en edificios el  $G_{cal}$  resulta adecuado para caracterizar la calidad térmica de edificios y facilitar comparaciones, mientras la carga térmica anual por unidad de superficie permite mostrar el comportamiento que presentarán en el sitio que se implanten. Las Normas IRAM prevén valores admisibles de carga térmica en refrigeración pero resta incorporar dicho indicador en calefacción.

## 6. Referencias

- CORREDERA, C.; CZAJKOWSKI, J. *Evolución en el diseño de torres de oficinas en la Argentina desde un enfoque ambiental*. ENCAC. Curitiba. 2003.
- CZAJKOWSKI, J. *Desarrollo del programa AuditCAD para el análisis de edificios a partir de auditorías ambientales*. Revista Avances en energías renovables y ambientales 3/1999. ISSN 0329-5184.
- CZAJKOWSKI, J.; ROSENFELD, E. *Resultados del análisis energético y de habitabilidad higrotérmica de las tipologías del sector residencial urbano del Área Metropolitana Buenos Aires*. Actas de la 14va ASADES. Mendoza. 1990. Págs. 131-136.
- EDWARDS, BRIAN *Guía básica de la sostenibilidad*. Gustavo Gili, SL. Barcelona. 2008.
- IPCC. *Tercer informe de evaluación del Intergovernmental Panel on Climate Change: Cambio Climático 2001*. Ginebra, Suiza. ISBN 0 52180770 0.
- IRAM. 11659-2. *Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Parte 2: Viviendas*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. 2007.
- IRAM. 11603. *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. 1996.
- IRAM. 11604. *Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. 1990.
- LIERNUR, J.F. *Voz "Torre"*. En Diccionario de Arquitectura en la Argentina. Edit. Clarín. Buenos Aires, 2004. ISBN: 950-782-428-6.
- SECRETARIA DE ENERGÍA. *Informe de auditoría de gestión del programa de políticas energéticas*. Ministerio de Planificación Federal Inversión Pública y Servicios. Buenos Aires. 2008.
- VERGARA, A.; DE LAS RIVAS, J. *Territorios inteligentes. La ciudad sostenible*. Fundación Metròpoli. Madrid. 2004.

Artículo publicado en las Actas del X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído (X ENCAC / VI ELACAC). Natal, Brasil. Septiembre de 2009. Organizado por la Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC)



# **Análisis del comportamiento energético-ambiental de un modelo de edificio de oficinas en altura, de baja energía, para la ciudad de La Plata**

M. Belén Salvetti, Jorge D. Czajkowski, Analía F. Gómez.

## **Resumen**

En el siguiente trabajo se realiza un estudio del comportamiento energético de un modelo de edificio de oficinas en altura, de baja energía (low-energy) a implantarse en la Ciudad de La Plata (clima templado - cálido húmedo). En el diseño del edificio se involucran conceptos de Diseño Ambientalmente Consciente (DAC) con el fin de favorecer el bajo consumo energético. Para ello se proponen valores de “K” (coeficiente de transmitancia térmica) que cumplen con el “Nivel A” de la Norma IRAM 11605 para muros, techos y carpinterías, los cuales son considerados los elementos más importantes de la envolvente del edificio en cuanto a pérdidas. Asimismo se verifica el cumplimiento de la Norma IRAM 11900 sobre etiquetado de eficiencia energética de calefacción para edificios. Se utiliza el programa “AuditCAD”, el cual permite analizar el comportamiento térmico y energético del edificio mensualmente, teniendo en cuenta las pérdidas y ganancias del mismo a través de la envolvente, con y sin sol.

Palabras Clave: edificio en altura, eficiencia energética, confort.

## **1. Introducción**

El siguiente trabajo fue desarrollado en el LAYHS - FAU - UNLP. El mismo se encuentra enmarcado dentro de una de las líneas de investigación principales que se desarrollan en el laboratorio, orientada hacia la eficiencia energética edilicia en áreas urbanas. En el marco del PICT 2006 956 - BID1728/OC-AR denominado “*EFICIENCIA ENERGÉTICA EDILICIA EN ÁREAS METROPOLITANAS. Evaluaciones mediante auditorías y propuestas de estándares*”.

La importancia del tema está relacionada con dos problemáticas actuales; la escasez de recursos y el calentamiento global. Aspectos en los cuales la construcción arquitectónica y urbana tiene un grado de incidencia significativo (IPCC, 2001). La industria de la construcción es una de las más importantes consumidoras de materias primas y recursos no renovables. La misma implica un gran impacto ambiental no sólo durante los procesos de extracción y elaboración de las materias primas, sino también durante la construcción de edificios, su utilización y aún después, cuando el edificio es demolido y reciclado (Edwards, 2008).

El edificio fue diseñado para ser implantado en la ciudad de La Plata, capital de la provincia de Buenos Aires. La misma se encuentra en la Zona Bioclimática IIIb de la Argentina (Norma IRAM 11603, 1996), clima templado - cálido húmedo (Figuras 1 y 2).



Figura 1. Pcia. de Bs. As. (zona Bioclimática IIIb).

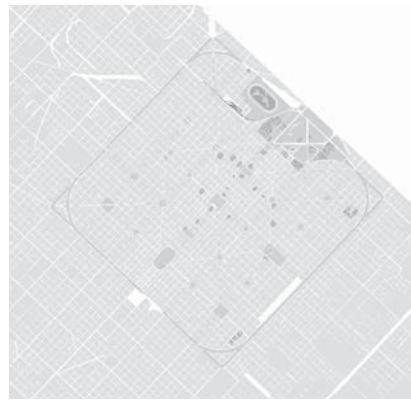


Figura 2. Plano Casco Ciudad de La Plata.

A pesar de sus características particulares el clima templado en nuestro país se distingue por veranos e inviernos marcados pero no rigurosos. Su característica principal es el alto nivel de humedad durante todo el año, con amplitudes térmicas menores a 14°C. En verano las temperaturas medias varían entre los 20°C y los 26°C, con máximas que superan los 30°C. En invierno las temperaturas medias varían entre los 8°C y los 12°C, con mínimas entre los 5°C y los 8°C. Por su parte, la humedad relativa media varía entre el 70 y el 85%. Por otra parte en esta subzona se concentra casi el 60% de la población del país. La aglomeración que tiene lugar en las áreas metropolitanas favorece la generación del efecto de “Isla de calor”, el cual implica una suba de 3°C a 4°C con respecto a las zonas circundantes (Czajkowski, 2009).

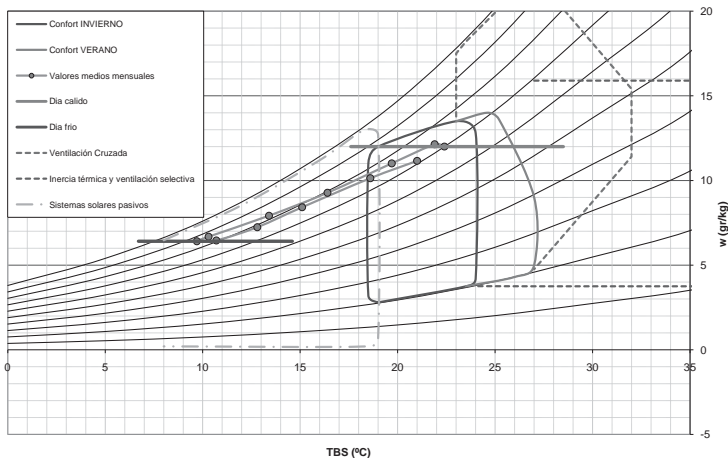


Gráfico 1. Climograma de Givoni para La Plata.

Para esta zona se recomienda utilizar colores claros y doble aislamiento térmico en techos con respecto a los muros. Fachadas ventiladas en grandes edificios, y ventanas con DVH y protección solar móvil. Aprovechamiento de los vientos predominantes y protección de las carpinterías que dan al S-SE por las fuertes tormentas. La orientación óptima es la NNO-N-NNE porque facilita la protección solar en verano y el asoleamiento en invierno. Según el climograma de Givoni durante gran parte del año deberá tenerse en cuenta el uso de sistemas solares pasivos (Gráfico 1).

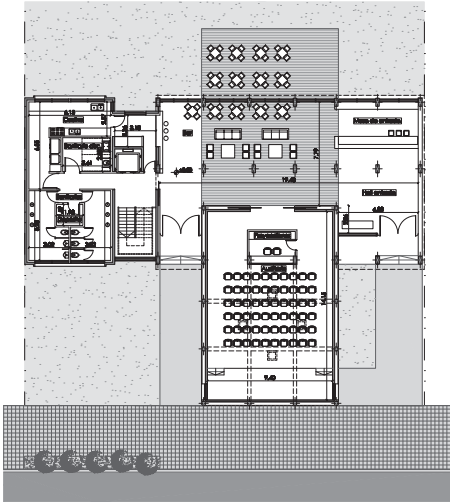


Figura 3. Planta baja del edificio. ^

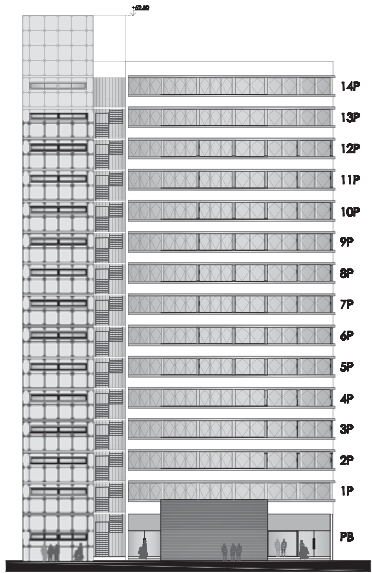


Figura 4. Vista frente Norte del edificio. >

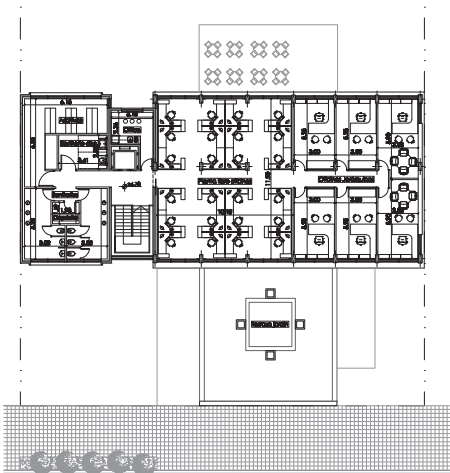


Figura 5. Planta tipo del edificio. ^

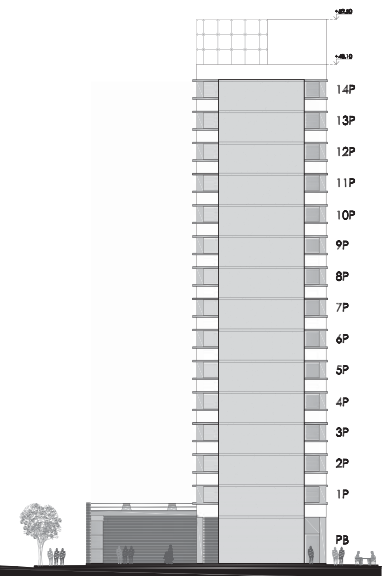


Figura 6. Vista lateral Oeste del edificio. >

El edificio se compone de planta baja y catorce pisos de oficinas con veinticuatro boxes y seis oficinas para jerárquicos. Cada nivel funciona en forma independiente y admite un armado flexible, pudiendo destinar alguna de las oficinas jerárquicas o parte del espacio para boxes, para el armado de una sala de reuniones. La planta baja se compone de un hall longitudinal que alberga las funciones de sala de exposición y bar, que sirven de apoyo a la sala principal, un auditorio con capacidad para sesenta personas (Figuras 3 a 6).

## **2. Objetivo**

El objetivo del trabajo es realizar un análisis comparativo del comportamiento energético de un modelo de edificio de oficinas en altura materializado según dos modos constructivos diferentes. Uno teniendo en cuenta los criterios que se utilizan en la actualidad en Argentina para construir este tipo de edificios y otro utilizando los conceptos del DAC. Asimismo constituyen parte del objetivo de este trabajo la verificación del cumplimiento de la Norma IRAM 11900 sobre etiquetado de eficiencia energética de calefacción para edificios y la comparación con los niveles propuestos por la Norma IRAM 11605 sobre acondicionamiento térmico en edificios.

## **3. Metodología**

Para la realización del trabajo el modelo edilicio se analizó en dos situaciones distintas; una que considera al edificio como si estuviese diseñado según los criterios que se utilizan en la construcción de este tipo de construcciones en la actualidad en Argentina -sin aislamiento higrotérmico adicional tanto en muros como en cubiertas y con carpinterías de aluminio con simple vidriado-. Para la toma de decisiones acerca de los materiales a utilizar para este modelo se tomaron como referencia los datos obtenidos en relevamientos y auditorías energéticas realizadas con anterioridad. (Salveti et Al, 2009). La otra situación analizada se basa en los conceptos del DAC, se plantea la utilización de materiales aislantes en muros y techos, y carpinterías compuestas. Para la toma de decisiones acerca de los materiales a utilizar y del grado de aislamiento térmico requerido se tomó como referencia el Nivel A de la Norma IRAM 11605 para techos y muros. Al mismo tiempo se tuvieron en cuenta los parámetros propuestos por el Nivel A de la Norma IRAM 11900 sobre etiquetado energético de edificios.

Para el edificio diseñado según los conceptos del DAC los cerramientos laterales son materializados con ladrillos cerámicos huecos de 18x18x33 con quince centímetros de aislación térmica colocados sobre la cara exterior, de modo de mejorar la inercia térmica de la envolvente. Al mismo tiempo se prevé la colocación de rejillas de ventilación sobre las dos fachadas principales de modo de favorecer la circulación de aire en el interior del edificio. El sistema de aventanamientos está compuesto por dos aberturas por módulo (con una cámara de aire de pocos centímetros entre ambas) que permiten la ventilación cruzada de la planta al mismo tiempo que reducen las pérdidas a través de la superficie vidriada. Los cielorrasos de cada nivel cuentan con un aislamiento de diez centímetros



de lana de vidrio para evitar las pérdidas de calor de un nivel hacia el que se encuentra inmediatamente por encima. La cubierta del último piso de oficinas se materializa también con estructura de hormigón armado que hace de sostén a una azotea construida según la solución “techo invertido”. Por debajo de la estructura de hormigón se cuelga un cielorraso compuesto por placas de yeso con veinte centímetros de lana de vidrio. Asimismo se dispone de caños de ventilación de modo de evitar la acumulación de vapor en el último piso (Figura 7). Sobre la estructura de la cubierta del auditorio se coloca una placa rígida también de lana de vidrio protegida mediante la solución constructiva “techo jardín”, en este caso también debajo de la estructura de hormigón se cuelga un cielorraso compuesto por placas de yeso con veinte centímetros de lana de vidrio. Los muros del auditorio por su parte fueron pensados para ser materializados con ladrillos cerámicos huecos de 12x18x33; en este caso se coloca aislamiento térmico a ambos lados del ladrillo, que en la cara externa está recubierto por listones de madera. La cara interna por su parte esta cubierta por placas acústicas.

En lo que respecta a la orientación del edificio este fue diseñado de forma tal que la fachada principal estuviese orientada al norte, de modo de favorecer el asoleamiento durante todo el día. Sin embargo se prevé la construcción de un alero que acompañe toda la longitud del cerramiento para la protección solar, permitiendo de este modo el asoleamiento en los meses más fríos al tiempo que evita la entrada de sol durante los meses estivales (Figura 7). Asimismo para favorecer la iluminación natural del espacio interior se previó una profundidad de planta acotada, de doce metros de ancho.

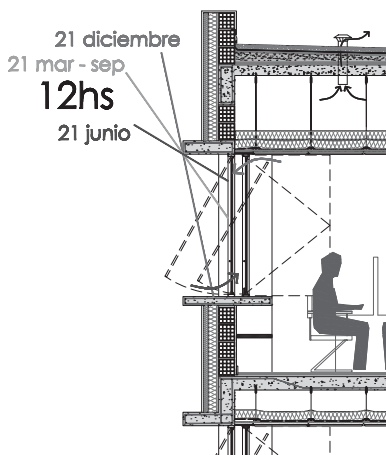


Figura 7. Detalle corte de oficinas (planta tipo).

Para el análisis del comportamiento energético-ambiental del edificio se partió del estudio particularizado de las plantas baja, primer piso, tipo y decimocuarto piso, que presentan diferentes condiciones de contacto con el exterior.

Sin embargo para obtener un análisis global se estudió particularmente la planta tipo, que se considera las más representativa en estos tipos de construcciones debido a la repetitividad de la tipología. Esta se analizó por medio del AuditCAD (Czajkowski,

1999). Dicho programa permite analizar mensualmente el comportamiento térmico y energético del edificio, mediante el ingreso de los datos auditados al tiempo que determina indicadores formales y energéticos. A partir de las características del edificio y grado de ocupación (iluminación, personas, equipamiento) determina cuanta energía será requerida para mantener al edificio en temperatura de termostato. Los resultados devueltos son la demanda de energía eléctrica, gas natural y gas licuado de petróleo, distinguiendo la demanda con sol y sin sol (días nublados).

Para el análisis de las ganancias internas por ocupación, iluminación y equipos se consideró cada planta según las posibilidades de uso que podía admitir. Para ello se diseñaron las plantas de luminotecnía en base a las cuales pudo calcularse el consumo energético de cada nivel, esto teniendo en cuenta las horas de uso, nivel de ocupación e intensidad de uso de los artefactos y equipos en cada planta. Para la elección de los artefactos y equipos se tuvo en cuenta el consumo energético de cada uno; en algunos sectores se optó por la colocación de lámparas tipo led, mientras que en otros que requerían más iluminación se optó por lámparas de bajo consumo. La demanda total de energía eléctrica para iluminación y artefactos eléctricos fue de 46 kWh por día (sin tener en cuenta el uso de electricidad para acondicionamiento del aire).

## **4. Análisis de resultados**

### **4.1. Análisis energético del edificio con y sin DAC**

En el caso del edificio diseñado sin tener en cuenta los conceptos del DAC las pérdidas a través de los muros ( $K= 1.82 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) representaron el 10.28% (2285  $\text{W}/^\circ\text{C}$ ) del total; por otra parte las pérdidas a través de la cubierta del edificio ( $K= 3.82 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) constituyeron el 9.84% (1717  $\text{W}/^\circ\text{C}$ ) del total. Asimismo las pérdidas a través de la superficie vidriada ( $K= 6.08 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) fueron, junto con las pérdidas por renovaciones de aire, las más significativas sobre el total de la envolvente; representaron el 33.44% (7431  $\text{W}/^\circ\text{C}$ ) y el 41.39% (9199  $\text{W}/^\circ\text{C}$ ) respectivamente. Por su parte las pérdidas por pisos y por puertas exhibieron los valores más bajos, 3.66% y 1.42% respectivamente.

Al aplicar los conceptos de DAC las pérdidas a través de la envolvente del total del edificio se redujeron notablemente. En lo que respecta a las pérdidas a través de los cerramientos opacos ( $K= 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) éstas representaron el 3.73% (241  $\text{W}/^\circ\text{C}$ ). En este caso las pérdidas a través de la cubierta ( $K= 0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) del edificio implicaron sólo el 2.76% (179  $\text{W}/^\circ\text{C}$ ) y junto con las pérdidas a través de las puertas, 1.23% (79  $\text{W}/^\circ\text{C}$ ), constituyeron el porcentaje más bajo en el total del edificio. Por su parte las pérdidas a través de la superficie vidriada representaron el 17.24% (1116  $\text{W}/^\circ\text{C}$ ) del total. Sin embargo el porcentaje más significativo lo tienen las pérdidas por renovaciones de aire, 71.05% (4599  $\text{W}/^\circ\text{C}$ ).

Mediante el AuditCAD se realizó el balance energético de invierno para el cual se consideró un día de medición con ocho horas de ocupación.

El Gráfico 2 muestra los datos cargados en el programa. Para la opción diseñada sin tener en cuenta los conceptos de DAC, el consumo de gas natural para calefacción de la planta analizada representa el 81% del total de las ganancias, con un consumo necesario de 80 m<sup>3</sup> por día por planta tipo para alcanzar una temperatura interior media de 20°C.

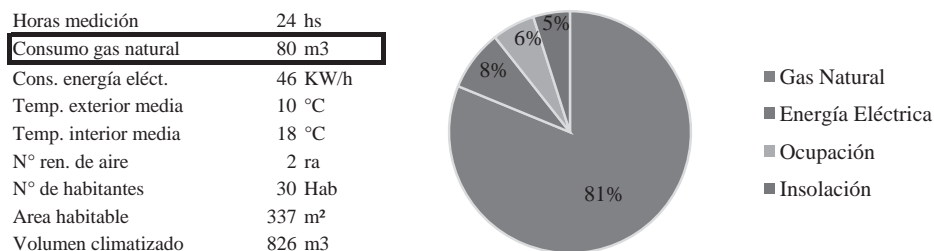


Gráfico 2. Datos cargados en el AuditCAD para el edificio modelado sin DAC.

El Gráfico 3 muestra los aportes energéticos necesarios para la opción diseñada según los conceptos del DAC. Aplicando estos conceptos el consumo de gas natural se redujo a 10 m<sup>3</sup> por día por planta tipo, esto manteniendo fijos los demás parámetros. Es decir que la aplicación de aislamiento térmico al total de la envolvente y la incorporación de un sistema de carpinterías compuesto por dos aberturas por módulo según lo muestra la Figura 7, facilitó la reducción de pérdidas de calor aportado por el consumo de energía eléctrica (para iluminación y equipos), como así también por la ocupación y la insolación incidente sobre el total de la envolvente.

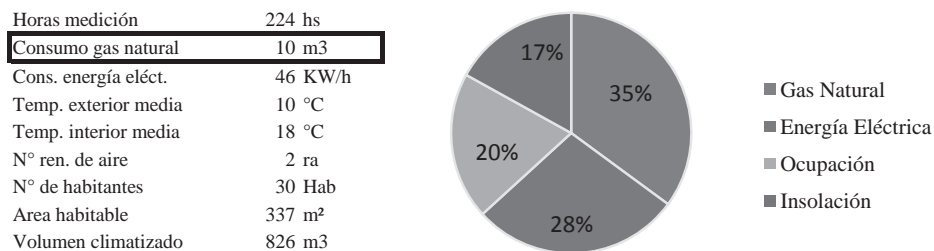


Gráfico 3. Datos cargados en el AuditCAD para el edificio modelado con DAC.

En el Gráfico 4 puede verse una gran reducción de la demanda de energía para calefacción la cual puede considerarse despreciable en los meses más fríos si se tienen en cuenta las ganancias aportadas por el aprovechamiento de la incidencia del sol sobre el total de la envolvente.

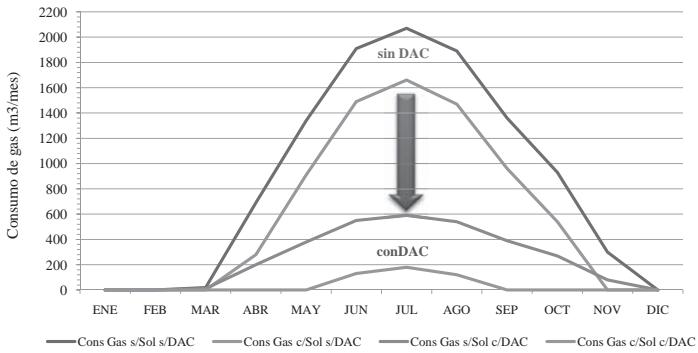


Gráfico 4. Comparación consumo de gas natural (m³) con DAC y sin DAC, con y sin sol.

#### 4.2. Comparación con casos auditados

En el Gráfico 5 se confrontan dos muestras de edificios en altura considerados modelos representativos de diferentes épocas de la construcción en Argentina; dichos ejemplos fueron extraídos de un trabajo realizado con anterioridad (Salveti et Al., 2009). En dicho gráfico se relaciona el volumen de los edificios con el coeficiente “G” [W/m³K] de los mismos. Asimismo se incorpora el modelo de edificio propuesto en sus dos versiones, esto es teniendo en cuenta la incorporación o no de criterios de DAC. Como puede verse el modelo simulado según las técnicas de construcción que se utilizan actualmente en la Argentina para erigir este tipo de edificios (sin DAC) sitúa al modelo en una zona cercana a la línea graficada por la muestra más antigua (Corredera et Al., 2003), esto es muy por encima de la línea que marca el “ $G_{adm}$ ” (Norma IRAM 11604) según el volumen del edificio. Al aplicar los conceptos de DAC el “G” del edificio disminuye de 3.7 W/m³K a 0.68 W/m³K, muy por debajo del “ $G_{adm}$ ”.

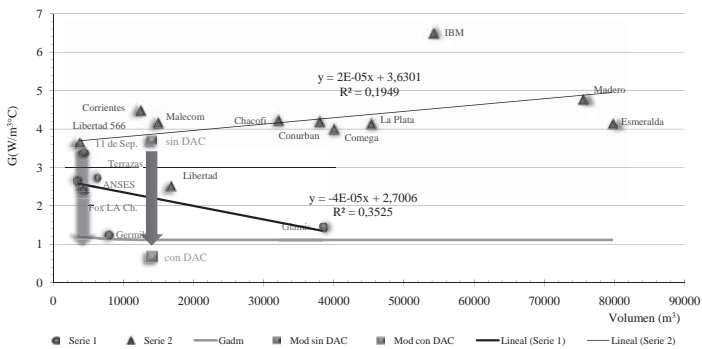


Gráfico 5. Relación entre el volumen a climatizar y el Coeficiente G. Comparación con trabajo previo.

El Gráfico 6 muestra la carga térmica [kWh] por metro cuadrado por año para las muestras seleccionadas en el trabajo previo (Salveti et Al., 2009) e incorpora, al igual que el gráfico anterior, el modelo de edificio propuesto en sus dos versiones (con y sin DAC). Puede verse como el edificio modelado sin tener en cuenta los criterios del DAC presenta una carga térmica por metro cuadrado elevada, lo que lo sitúa entre los ejemplos más recientes de la construcción en Argentina. Por su parte al aplicar los criterios del DAC al edificio simulado, puede verse como disminuye la carga térmica posicionando al modelo por debajo de aquellos edificios que corresponden a ejemplos más antiguos, con una menor carga térmica por metro cuadrado.

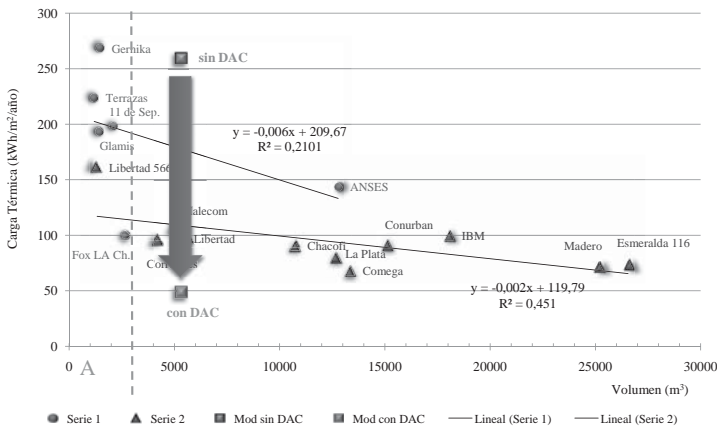


Gráfico 6. Carga térmica por metro cuadrado. Comparación con trabajo previo.

El sector "A" distingue aquellos edificios con un volumen a climatizar inferior a los tres mil metros cúbicos. Los mismos presentan una gran dispersión en el consumo de energía para calefacción por metro cuadrado que requieren. En general, implican consumos por metro cuadrado elevados. Por su parte los edificios con un volumen mayor a los tres mil metros cúbicos muestran una correlación con pendiente negativa, donde a medida que se incrementa el tamaño del edificio decrece el consumo por metro cuadrado (Salveti et Al., 2009).

## 4.2. Etiquetado energético en calefacción

Se realizó el cálculo del nivel de eficiencia energética del modelo de edificio en sus dos versiones (con y sin DAC). El modelo diseñado según las técnicas constructivas en la Argentina en la actualidad (coeficiente "K" similar al propuesto por el "Nivel C" de la Norma IRAM 11605) alcanzó el nivel más bajo de la Norma IRAM 11900 que se obtiene a partir del cálculo del  $\tau_m$  [Ecuación 1], que es la variación media ponderada entre la superficie interior de la envolvente y la temperatura interior de diseño, en grados

Celsius. En este caso el “ $\tau_m$ ” arrojó un valor de 6.97°C, muy por encima de los 4°C que propone como valor mínimo la Norma IRAM 11900 para alcanzar el “Nivel H”, que es el de menor eficiencia. Por su parte el “ $K_m$ ” [Ecuación 2], que es la transmitancia térmica media ponderada, arrojó un valor de 2.58 W/m<sup>2</sup>K.

$$\tau_m = \frac{\sum(\tau_i \cdot S_i)}{\sum S_i}$$

[ Ecuación 1 ]

$$K'_m = \frac{\sum_1^n(K_i \cdot S_i)}{\sum_1^n S_i}$$

[ Ecuación 2 ]

La Figura 8 muestra el resultado obtenido al aplicar los conceptos de DAC al diseño de la envolvente del edificio. Si bien pudo alcanzarse el “Nivel A” (de mayor eficiencia) de la Norma IRAM 11900, cabe destacar que para obtener este nivel debió incrementarse en un porcentaje muy elevado el grado de aislamiento térmico de los elementos que componen la envolvente edilicia, con valores de coeficiente “ $K$ ” muy por debajo de los propuestos por el “Nivel A” de la Norma IRAM 11605, y aún así el “ $\tau_m$ ” arrojó un valor de 1°C, que es el valor máximo que exige la Norma para este nivel de eficiencia. Por su parte el “ $K_m$ ” arrojó un valor de 0.41 W/m<sup>2</sup>K.

Energía de calefacción	
Dirección Postal Identificación Catastral	Envolvente edilicia
Más eficiente	
<b>A</b>	<b>A</b>
B	
C	
D	
E	
F	
G	
H	
Menos eficiente	
$\tau_m$	1.00 °C
$K'_m$	0.41 °C
Temperatura de diseño mínima exterior, según IRAM 11603	2.44 °C
Temperatura de diseño interior	20.00 °C
Superficie cubierta	345 m <sup>2</sup>
Profesional responsable	
Certificado N°	
Fecha evaluación	
Fecha emisión certificado	
IRAM 11900	

Clases de eficiencia energética	Condición <sup>1)</sup>
A	$\tau_m \leq 1 \text{ °C}$
B	$1 \text{ °C} < \tau_m \leq 1,5 \text{ °C}$
C	$1,5 \text{ °C} < \tau_m \leq 2 \text{ °C}$
D	$2 \text{ °C} < \tau_m \leq 2,5 \text{ °C}$
E	$2,5 \text{ °C} < \tau_m \leq 3 \text{ °C}$
F	$3 \text{ °C} < \tau_m \leq 3,5 \text{ °C}$
G	$3,5 \text{ °C} < \tau_m \leq 4 \text{ °C}$
H	$\tau_m > 4 \text{ °C}$

<sup>1)</sup>  $\tau_m$  es la variación media ponderada de la temperatura, entre la superficie interior de la envolvente y la temperatura interior de diseño, en grados Celsius.

Figura 8. Etiqueta de eficiencia energética de calefacción para el edificio diseñado con DAC (Nivel A) y tabla de eficiencia energética.

A continuación, el cuadro de la Figura 9 muestra una síntesis de diferentes parámetros que caracterizan el comportamiento energético del modelo de edificio en sus dos versiones, con y sin DAC.

	Unidad	con DAC	sin DAC
$\tau_m$	°C	1	6,97
$K_m$	W/m <sup>2</sup> *K	0,44	2,58
G	W/m <sup>3</sup> *°C	0,68	3,7
Energía	kWh/m <sup>2</sup> /año	49	260

Figura 9. Cuadro síntesis de las características energéticas del modelo edilicio en sus dos versiones, con y sin DAC.

## 5. Conclusiones

Este trabajo permitió realizar un análisis del comportamiento energético-ambiental de un modelo de edificio de oficinas para la ciudad de La Plata, zona Bioclimática IIIb.

A partir del análisis de la planta tipo pudo inferirse cuales son los elementos de la envolvente edilicia que más contribuyen a mejorar el funcionamiento térmico global del edificio.

La incorporación de aislamiento térmico adicional en muros y techos, como así también la incorporación de sistemas de aventanamiento con un coeficiente “K” muy por debajo de los que se emplean actualmente en Argentina, favoreció la reducción de pérdidas de calor a través de la envolvente. Esto significó una reducción en el consumo de gas natural necesario para calefacción diez veces menor que para el caso analizado sin tener en cuenta los conceptos del DAC.

Al mismo tiempo el “G” del edificio disminuyó de 3.7 W/m<sup>3</sup>K a 0.68 W/m<sup>3</sup>K, menor al “G<sub>adm</sub>” que para este volumen tiene un valor de 1.11 W/m<sup>3</sup>K.

Cabe destacar que para alcanzar el “Nivel A” propuesto por la Norma IRAM 11900 debieron utilizarse niveles muy altos de aislamiento térmico, incluso superiores a los propuestos por el “Nivel A” de la Norma IRAM 11605. Sólo de este modo logró reducirse el “ $\tau_m$ ” de 6.97°C a 1°C, que es el valor máximo que exige la Norma IRAM 11900 para alcanzar dicho nivel.

## 6. Referencias

- CORREDERA, C.; CZAJKOWSKI, J. *Evolución en el diseño de torres de oficinas en la Argentina desde un enfoque ambiental*. ENCAC. Curitiba. 2003.
- CZAJKOWSKI, J. & GÓMEZ, A. *Arquitectura Sustentable*. Arq. Clarín. Buenos Aires. ISBN 978-987-07-0603-8. 2009.
- CZAJKOWSKI, J. (1999). *Programa AuditCAD para el análisis del comportamiento energético edilicio basado en auditorías energéticas y de confort*. Anais del V Encontro de Conforto no Ambiente Construído.
- EDWARDS, BRIAN. *Guía básica de la sostenibilidad*. Gustavo Gili, SL. Barcelona. ISBN 8425222087. 2008.
- IPCC. *Tercer informe de evaluación del Intergovernmental Panel on Climate Change: Cambio Climático*. Ginebra, Suiza. ISBN 0 52180770 0. 2001.
- IRAM. 11601. (2002).
- IRAM. 11603. *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. 1996.
- IRAM. 11604. *Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. 1990.
- IRAM. 11605. *Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios*. IRAM. Buenos Aires. 1996.
- IRAM. 11900. *Etiqueta de eficiencia energética de calefacción para edificios. Clasificación según la transmitancia térmica de la envolvente*. Buenos Aires. 2010.
- SALVETTI, M. B.; CZAJKOWSKI, J. & GÓMEZ, A. *Indicadores de eficiencia energética en edificios. Comparación con estándares vigentes en Argentina*. X Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Natal. 2009.

Artículo publicado en las Actas del XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC 2010). Canela, Brasil. Octubre de 2010. Organizado por la Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC).



Sección 05 | **Edificios Culturales**  
Evaluación y Diagnóstico



# Una aproximación al diseño ambientalmente consciente en espacios de guarda. Estudio de casos.

Analía F. Gómez

## 1. Resumen

La posibilidad de climatización no mecánica en instituciones, que guardan bienes de interés histórico y cultural, debe ser un parámetro a tener en cuenta en las adaptaciones u obras nuevas a realizar.

En la mayoría de las intervenciones se plantean costosos proyectos de climatización que se van desvaneciendo en la vida útil por el alto costo de mantenimiento, acompañando a este desvanecimiento la pérdida de bienes.

El trabajo continuo de análisis ambientales en una decena de museos, tomando al edificio como el principal contenedor, ha posibilitado estudiar las circunstancias climáticas (interiores y exteriores) para poder aplicar en nuevas intervenciones pautas de Diseño Ambientalmente Consciente (DAC).

En este trabajo se analizarán los casos de estudio de proyectos para edificios existentes, en los cuales se han planteado pautas de DAC y los conceptos básicos de la Conservación Preventiva, se han volcado en estos proyectos el resultado de las investigaciones desarrolladas en la última década.

Palabras Claves: Condiciones ambientales; Diseño Ambientalmente Consciente; Conservación preventiva.

## 2. Introducción

El trabajo de investigación base de estas intervenciones ha sido posible gracias al análisis de bases de datos meteorológicas, estudio climático a partir de la regionalización bioambiental de la República Argentina, cruzando estos datos con los de condiciones en los que se deben encontrar los bienes a guardar.

Este cúmulo de información se ha volcado en el desarrollo de nomogramas bioambientales y nomogramas según material constitutivo de la colección, para la conservación de bienes de interés histórico y artístico.

### 3. Materiales y métodos

#### 3.1. Tratamiento de los datos meteorológicos

Se elaboró una base de datos reducida con los datos provenientes del SMN<sup>1</sup> y base de datos de la CNIE<sup>2</sup>. Como esta información solo contenía la HR media, correspondiente a la temperatura media mensual, así se determinaron las humedades correspondientes a las temperaturas mínimas y máximas, considerando constante la humedad absoluta y con la utilización de un diagrama psicrométrico. Quedaron así conformados los datos para volcar en los diagramas.

En la Figura 1 podemos observar el resumen del análisis de los valores anuales de temperatura y humedad relativa para todas las zonas bioambientales (IRAM 11603) y valores límites según materiales de la colección (UNI 10829) para cuatro localidades de la Provincia de Buenos Aires.

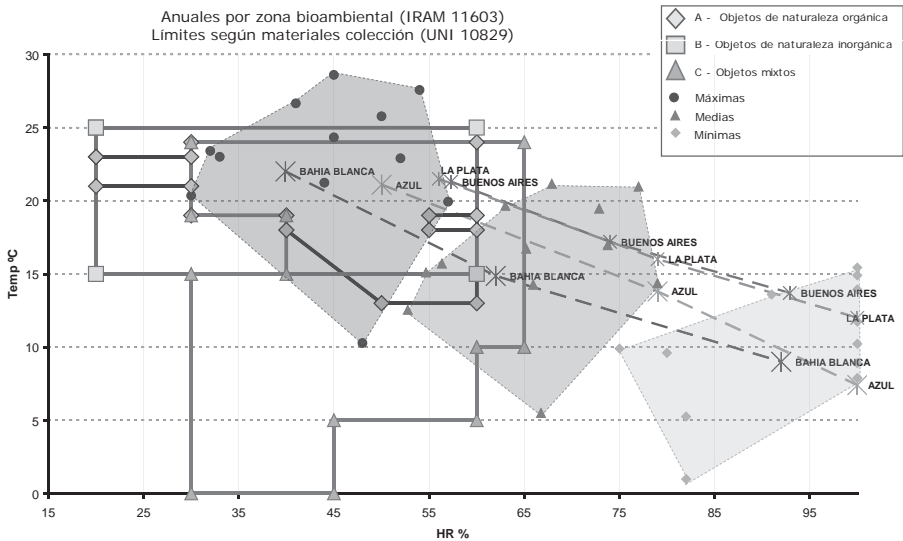


Figura 1. Resumen de análisis de valores anuales de T y HR

#### 3.2. Modelo ambiental

Para el proceso de medición y evaluación de los espacios se ha requerido de varias fases y una frecuencia más intensa que en otras auditorías ambientales en las que se trabajó previamente.

1 Servicio Meteorológico Nacional. [www.smn.gov.ar](http://www.smn.gov.ar)

2 Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales

En una primera etapa se procede al relevamiento de la totalidad del edificio y las situaciones particulares que se presentan y se realiza una evaluación a priori de los principales sectores en riesgo. Se observan modos de uso de los espacios y mobiliario de almacenaje, se releva el equipamiento de climatización y el sistema de iluminación natural y artificial, se observa el sistema de ventilación natural y se entrevista a los responsables del establecimiento y de la conservación de bienes para registrar opiniones y observaciones.

En una segunda etapa se planifica qué se va a medir, para qué y cómo, en función de las libertades y restricciones que impongan las características del edificio y del modo de exposición y tipos de bienes conservados. Además la medición debe circunscribirse al instrumental disponible.

Se ha venido utilizando para la realización de las mediciones el Protocolo que marca la Norma Italiana UNI 10829 del Ente Nazionale Italiano di Unificazione, dado que en nuestro país no se cuenta con normativa similar. Esta norma propone una metodología para la medición de las condiciones ambientales relacionadas con el comportamiento higrotérmico y de iluminación teniendo como centro la conservación de los bienes de interés históricos y artísticos. Suministra indicaciones relativas a la modalidad de elaboración y síntesis de los datos relevados para una valoración final del comportamiento del proceso de degradación.

Para esto se establece la ubicación del instrumental de medición de temperatura, humedad relativa e iluminación. Se han utilizado en las campañas de mediciones microadquisidores de datos HOBO de 3 y 4 parámetros en el interior del los establecimientos y un HOBO WaterProof en resguardo meteorológico en el exterior (Figura 2). Con este instrumental se registran las variaciones de temperatura, humedad relativa e iluminación en períodos de siete días. De ser posible y de acuerdo al tratamiento a realizar, se toman datos en cuatro campañas anuales de mediciones, para poder corroborar las situaciones a las que se encuentran expuestas los bienes dadas las condiciones del edificio, relevando características formales y constructivas del mismo. Dejando establecido que siempre se trabaja en la relación: edificio <-- confort ambiental --> bien



Figura 2. HOBOS utilizados.

## 4. Casos de estudio

### 4.1. Reserva del Museo de la Shoá

#### Montevideo 919. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

El Museo del Holocausto –Shoá– es una institución creada en 1999, depende administrativamente de la Fundación Memoria del Holocausto. Su colección comprende aproximadamente unas 2.000 piezas, que narran la historia de la comunidad judía de la preguerra, durante la misma y la posguerra. La colección se ha ido acrecentando por medio de donaciones realizadas por sobrevivientes de la Shoá. La misma comprende pasaportes, billetes, cartas, fotografías y objetos relacionados con la religión judía y el cotidiano.

En Junio del 2001 se comenzó a desarrollar el Proyecto de Revalorización Ambiental del área de Guarda, Conservación y Biblioteca. Este proyecto incluyó no solo la parte edilicia, sino también todo lo referente a la conservación y guarda del acervo. A finales del 2001 se comenzó con la construcción que fue inaugurada en julio del 2002.

El proyecto se basó en la adecuación bioclimática del segundo piso del Edificio. Este edificio centenario presentaba graves problemas ocasionados por la falta de mantenimiento. Es así que se plantearon sistemas pasivos de acondicionamiento del aire.

La propuesta se planteó en dos niveles: a) a nivel edilicio se buscó lograr a través del diseño pasivo una adecuada climatización con parámetros no agresivos a los bienes y b) a nivel conservación realizar los acondicionamientos para la puesta en valor de la colección.

Se realizaron mediciones en el espacio para determinar los trabajos a realizar para llevar los parámetros a los estipulados para los bienes a conservar. Surgiendo así el proyecto de refuncionalización.

Se trató de llevar a cabo esta propuesta de adecuación bioambiental poniendo énfasis en la utilización de sistemas pasivos para llegar a los parámetros estipulados, con el uso de aislaciones, ventilación, iluminación natural.



Figura 3. Museo del Holocausto.

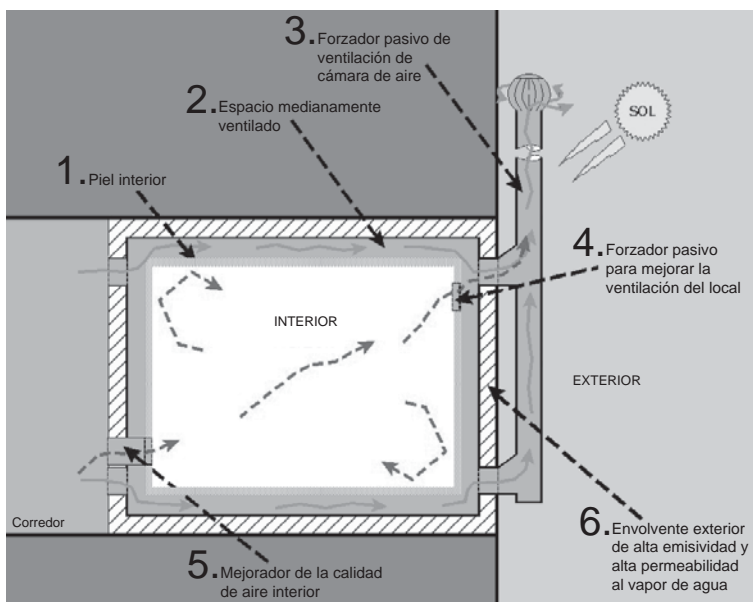


Figura 4. DEV - Doble Envoltura Ventilada.

Para la aplicación de esta propuesta edilicia, se diseñó un sistema denominado SISTEMA DEV (Doble Envoltura Ventilada). Figura 4.

Tiene como objetivo reducir la carga higrotérmica del local a fin de acondicionar el aire mediante técnicas pasivas, está compuesto de seis partes:

1. Piel interior
2. Espacio medianamente ventilado de baja emisividad en la cara interior
3. Forzador pasivo de ventilación de cámara de aire
4. Forzador pasivo para mejorar la ventilación del local
5. Mejorador de la calidad del aire interior
6. Envoltorio exterior de alta emisividad y alta permeabilidad al vapor de agua

Esta propuesta fue construida, medida y monitoreada para poder corregir y/o regular las condiciones, tratándose de un sistema que no requería aporte mecánico y los beneficios del ahorro energético que una solución tradicional hubiera ocasionado.

Poder construir este espacio ha servido de demostración y verificación de que con sistemas pasivos podemos regular los parámetros.

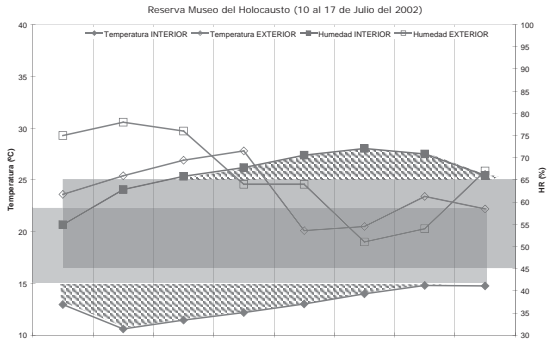


Figura 5.  
Mediciones anteriores  
a la intervención.

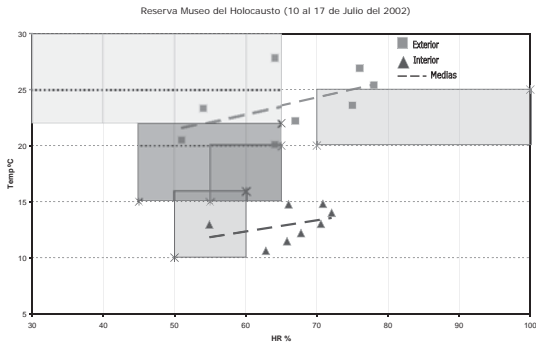
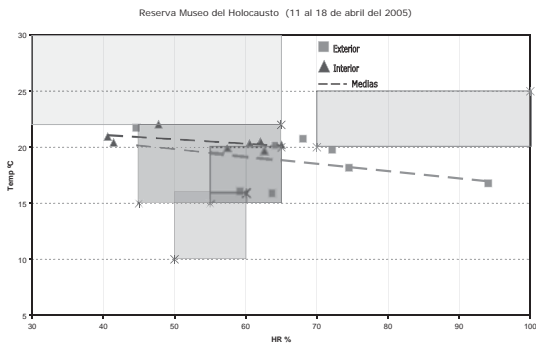
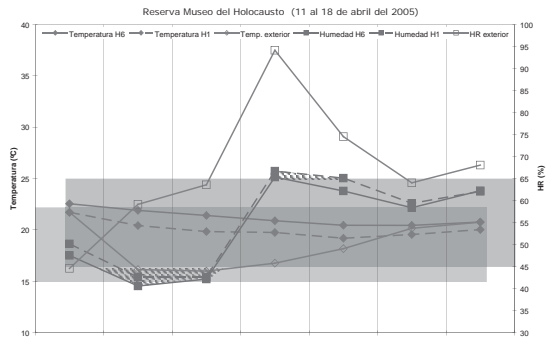


Figura 6.  
Mediciones posteriores  
a la intervención.





## 4.2. Reservas y Biblioteca del Museo de Instrumentos Musicales Dr. Emilio Azzarini. La Plata, Buenos Aires.

Inaugurado el 9 de diciembre de 1985, es uno de los museos universitarios perteneciente a la Red de Museos de la UNLP. Posee una valiosa colección de instrumentos musicales, único en Argentina por sus características y temática, la base de su acervo está integrada por la colección del Dr. Emilio Azzarini, prestigioso profesional de la ciudad de La Plata, que coleccionó a lo largo de su vida una amplia e interesante variedad de partituras, manuscritos e instrumentos musicales. Legó su colección a la Universidad Nacional de La Plata, la misma fue donada por sus descendientes en 1963. Asimismo cuenta con una valiosa Biblioteca que reúne, entre otros, primeras ediciones que datan del siglo XVIII, manuscritos de Juan Pedro Esnaola, "Missa Solemnis" de Beethoven y el único ejemplar conocido del "Boletín musical" del impresor Ybarra que data del año 1837. También cuenta con una Fonoteca.



Figura 7. Museo Azzarini.

A partir de un proyecto financiado por la Secretaría de Cultura de la Nación con la contraparte de la UNLP, se están llevando a cabo la puesta en valor de las salas de reserva. Estas fueron monitoreadas y se obtuvieron los parámetros para plantear las intervenciones.

El parámetro a controlar, el de mayor inconveniente en nuestra ciudad es la Humedad Relativa, para ello se realizaron ventilaciones continuas a las zonas de circulación a través de las carpinterías, reemplazando paneles de las puertas por rejillas. Se busca con esto una baja de aproximadamente 15 % en el tenor de humedad.

En la biblioteca, separada del edificio principal, se ha realizado el proyecto que se espera concretar el próximo año. Se ha aplicado el mismo sistema DEV que se utilizó en la Reserva del Holocausto, lo que nos garantizaría una baja importante en el grado de humedad.

Los resultados de las mediciones en el análisis de diagnóstico de las Reservas (Figuras 8 y 9); y de la Biblioteca (Figuras 10 y 11). Planta y corte de la Biblioteca en la Figura 12.

Figura 8.  
Medición inicial Reserva 1.  
(1º 2003)

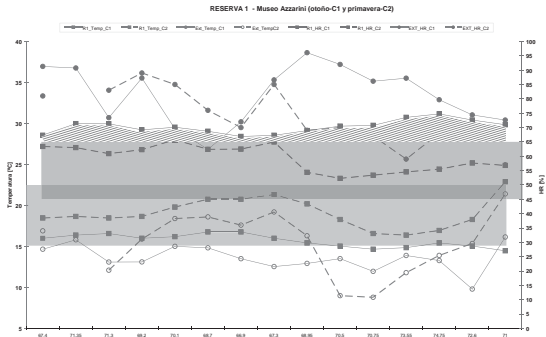


Figura 9.  
Medición Inicial Reserva 2.  
(1º 2003)

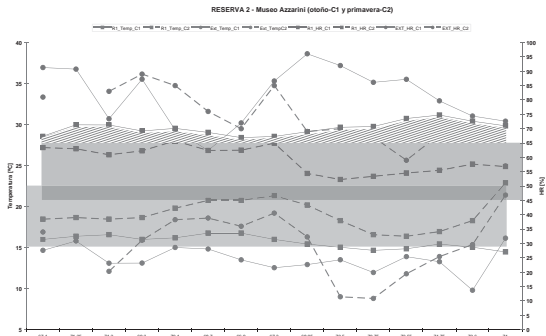


Figura 10.  
Medición Biblioteca  
(1º 2003)

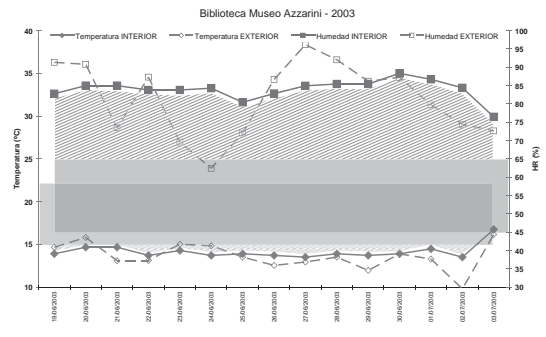
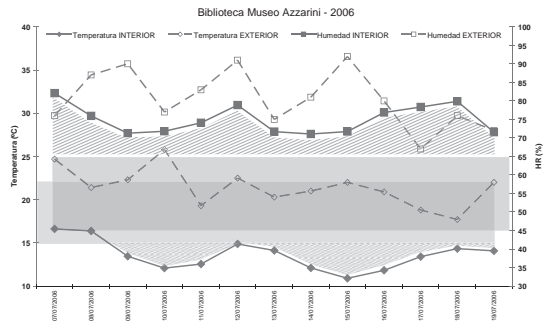


Figura 11.  
Medición Biblioteca  
(2º 2006)



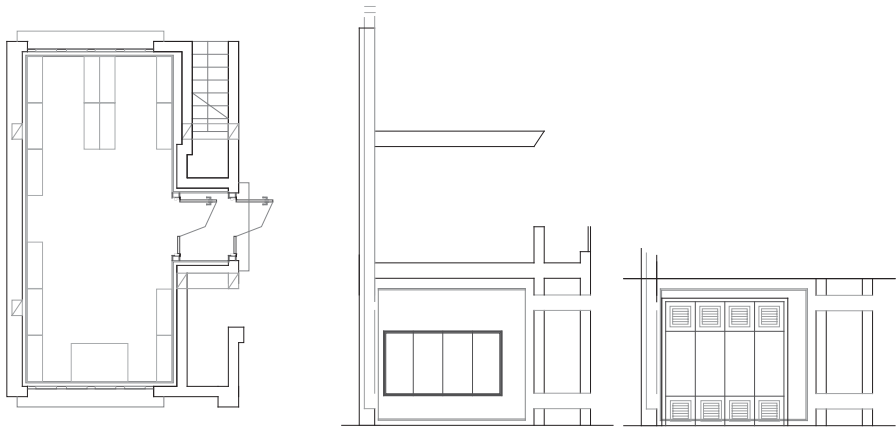


Figura 12. Planta y corte del proyecto con Sistema de Doble Envolvente Vetilada para la Biblioteca.

### 4.3. Biblioteca de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UNLP. Calle 47 N°162, La Plata, Buenos Aires.

La Facultad ha emprendido desde el 2004 una serie de refuncionalizaciones y nuevos edificios. Dentro del Plan de Obras se construyó una nueva Biblioteca. Esta posee un acervo bibliográfico de 7.027 títulos, 381 publicaciones periódicas, 9.975 diapositivas en proceso de digitalización, 13.600 artículos de publicaciones, 1.000 folletos, 100 Cd, 95 videos y 97 tesis de becarios.

A su vez la Biblioteca de la FAU forma parte de la Red Arquisur (bibliotecas del MERCOSUR) entre otras y tiene acceso a diferentes bases de datos.

El 1º de marzo del 2007, una precipitación extrema anegó el depósito y unido a que se estaban terminando obras dentro del edificio, produjo que el subsuelo de la biblioteca, donde se encuentra el depósito de préstamos, se inundara hasta 15 cm.

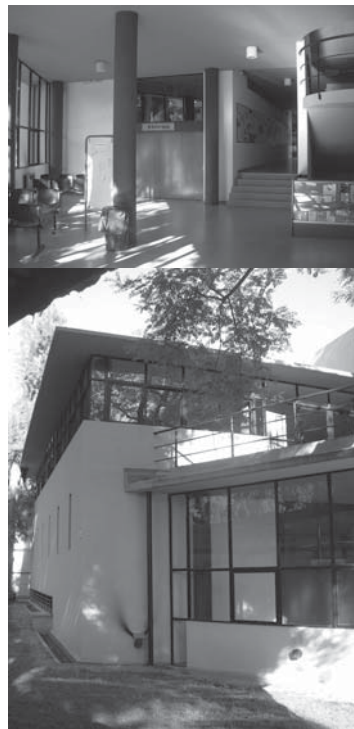


Figura 13. Biblioteca FAU.

a pesar de lo denodado del personal para poder controlar el episodio fortuito, el agua ingresó y dejó su huella.

A las pocas horas el incidente estaba controlado, el agua se había retirado manualmente, pero el daño oculto quedaba. Es así que a los pocos días se notó en algunos ejemplares la aparición de moho. En este sentido se realizaron toma de muestras las cuales en una sola de las 5 mostró la especie *Penillium Spp.* Preventivamente se decidió la limpieza de toda la colección correspondiente a los libros de préstamo y se realizó vigilancia diaria en los otros niveles, donde no aparecieron problemas.

Ante esta circunstancia se procedió a realizar mediciones y tratar de paliar lo más rápido posible el daño que ya había comenzado.

La determinación de parámetros de temperatura, humedad relativa e iluminación, resultan fundamentales para evaluar la calidad del medio ambiente de este recinto.

El edificio consta de tres plantas: subsuelo (depósito de libros de préstamo), entrepiso (administración y colecciones especiales) y 1º piso (sala de lectura, revistas y libros de consulta). El entrepiso y subsuelo con una superficie de 87 m<sup>2</sup> cada piso y la sala de lectura con 128 m<sup>2</sup>. (Figuras 14 y 15)



Figura 14.  
Vista exterior.

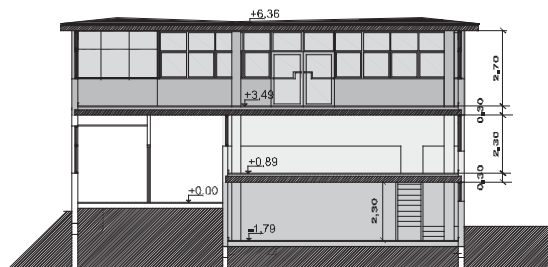


Figura 15.  
Corte del Edificio.

Para el monitoreo inicial se colocaron cinco adquirentes en el subsuelo y seis en el entresuelo. Éste se realizó entre los días 18 y 24 de abril del 2007, permitiendo control para la adopción de medidas. (Figuras 16 a 19)

Figura 16.  
Ubicación Data Logger  
en subsuelo.

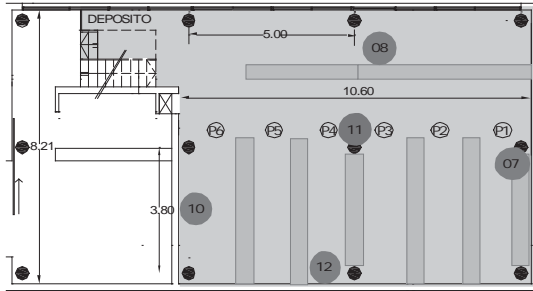


Figura 17.  
Primeras mediciones  
en subsuelo.

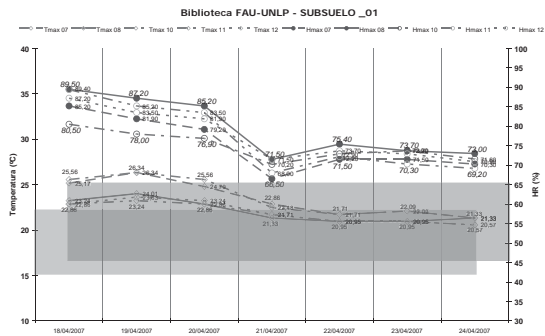


Figura 18.  
Ubicación Data Logger  
en entresuelo.

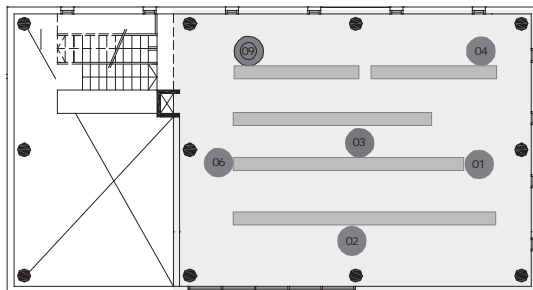
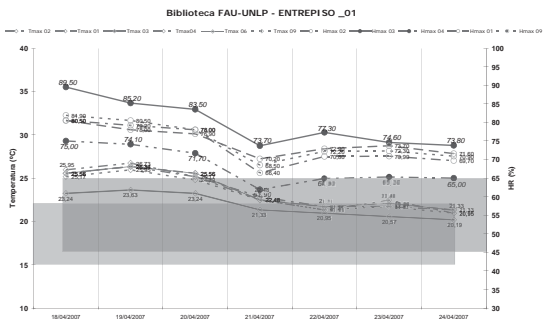


Figura 19.  
Primeras mediciones  
en entresuelo.



La primer intervención consistió en retirar dos paños fijos vidriados que dan al corredor central a nivel de entrepiso y la colocación de ventilaciones (rejas con registro del tipo AA de 20 x 40 cm) hacia el pasillo en el muro en subsuelo (Figura 20). Con las ventilaciones realizadas en los dos niveles analizados, se consiguió reducir al 76% el tenor de HR pero sin alcanzar lo recomendable (50%).

Como las medidas “pasivas” no permitieron restaurar la condición de equilibrio, se colocó un deshumidificador en el subsuelo. Con el fin de poder continuar bajando y estabilizar el tenor de humedad a valores aceptables, para la conservación del papel. La condición de la estabilización se observa en la Figura 21.

Figura 20.  
Esquema de Ventilaciones.

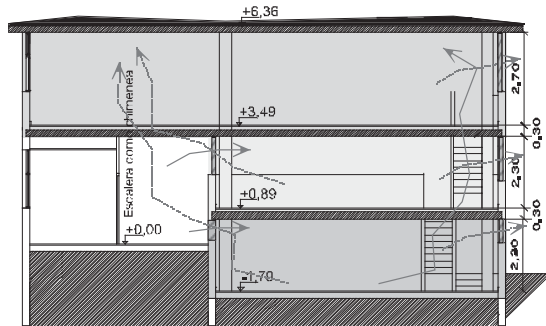
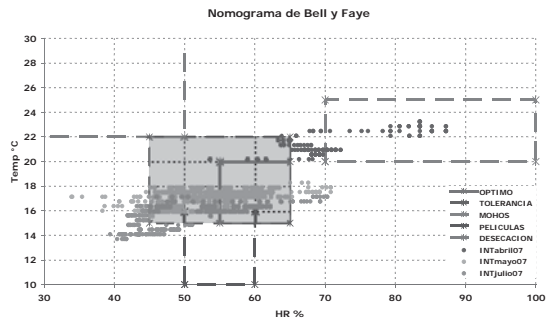


Figura 21.  
Evolución de las Mediciones.



## 5. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos, vemos que las medidas de diseño pasivo pueden equilibrar el comportamiento a valores admisibles. Un deshumidificador electrónico de costo inicial moderado y bajo costo de funcionamiento es suficiente para alcanzar condiciones ideales para los edificios analizados, en climas con alto nivel de humedad como donde se han realizado y propuesto las intervenciones.

Creemos que vamos por buen camino y que nuestras propuestas han comenzado a ser analizadas como soluciones alternativas a las tradicionales. Esto se nota en la solicitud de diferentes instituciones de poder realizar este tipo de intervenciones y pensar un poco más allá.

Mucho se habla del Cambio Climático, mientras notamos que nuestro clima templado va cambiando a paso sostenido. Comienza a hacerse notoria la separación en estaciones seca y húmeda. Las lluvias caen en pocas horas con el volumen que hasta hace no mucho tiempo tenían como frecuencia mensual. Que algunos especialistas denominan “subtropicalización”.

Esta situación hace que debamos estar preparados para las manifestaciones que pueden, no solo atacar nuestras instituciones, sino nuestra vida cotidiana.

## 6. Referencias Bibliográficas

- Bell, Ly Faye, B (1980) *La concepción de los edificios de archivos en países tropicales*. Colección Documentación, bibliotecas y archivos. Estudios e investigaciones. UNESCO.
- Cassar, May. (1994): *Museum Environment Energy*. Museums & Galleries Commission. Energy Efficiency Office. HMSO. London.
- de Guichen, Gaël y de Tapol, Benoit. (1998) *Climate Control in Museums*. ICCROM, Roma.
- Gómez, A. (2006) *Desarrollo de nomogramas aplicados a la conservación de Bienes de Interés Cultural según los materiales constitutivos de la colección*. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Pág. 123 a 129. Salta, Argentina. Editorial: ASADES. URL: <http://www.asades.org.ar>
- Gómez, A.; Czajkowski, J. (2006) *Modelización Bioambiental aplicada a la Conservación de Bienes Culturales. Caso Provincia de Buenos Aires. Argentina*. ENTAC 2006. Pág. 440 a 445. Porto Alegre, Brasil. Editorial: ANTAC
- Padfield T y Borchsenen K. (editors). (2007) *Museum Microclimates*. National of Denmark.

- Thomson, Gary. (1998). *El museo y su entorno*. 2ª edición. Akal ediciones. Madrid, España

- UNI 10586:1997. *Documentazione. Condizioni climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti*. UNI. Ente Nazionale Italiano di Unificazione-Milano.

- UNI 10829:1999. *Beni di interesse storico e artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi*. UNI. Ente Nazionale Italiano di Unificazione-Milano.

- UNI 10969:2002. *Beni culturali - Principi generali per la scelta e il controllo del microclima per la conservazione dei beni culturali in ambienti interni*. UNI. Ente Nazionale Italiano di Unificazione-Milano.

- UNI 11120:2004. *Beni culturali - Misurazione in campo della temperatura dell'aria e della superficie dei manufatti*. UNI. Ente Nazionale Italiano di Unificazione-Milano.

- UNI 11131:2005. *Beni culturali - Misurazione in campo dell'umidità dell'aria*. UNI. Ente Nazionale Italiano di Unificazione-Milano.

- Vaillant Callol M., Valentín Rodrigo N. (1996) *Principios básicos de la conservación documental y causas de su deterioro*. Ministerio de Educación y Cultura. Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales. Instituto del Patrimonio Histórico Español. Madrid. España.

## **Agradecimiento**

Al los responsables y personal de la guarda de las diferentes instituciones analizadas en estos años de estudio, que ya suman 20, sin su colaboración este trabajo no se hubiese podido realizar.

Artículo publicado en las Actas del I Seminario de Investigación en Museología de los Países de Habla Portuguesa y Española. Porto, Portugal. Octubre de 2009. Vol. 2, pp. 19-33.



# **Evaluación de las necesidades de control del entorno para la conservación de los museos de la Red de Museos de la UNLP. Adecuación del procedimiento del Getty Conservation Institute (GCI)**

Analía F. Gómez, Jorge D. Czajkowski.

## **1. Resumen**

El fundamento de este proyecto fue la evaluación para la conservación de los museos de la Red de Museos de la UNLP, marcando los beneficios de mantener el acervo museológico y arquitectónico controlado para poder aplicar programas de conservación acordes a las necesidades.

Se buscó con esta aplicación: evaluar, identificar y priorizar problemas para luego implementar soluciones sostenibles y apropiadas a nuestro medio. Tomando las experiencias que se vienen realizando en distintos proyectos de investigación del grupo. Su concreción implica trabajo interdisciplinario en la aplicación y adecuación del modelo GCI a nuestra realidad.

### **Grupo de trabajo**

Dra. Cecilia Von Reichenbach, Museóloga Elida Reissig, Museóloga Alicia Loza, Arq. María de la Paz Diulio, Lic. Museóloga Valeria Ugarte, Arq. Javier Cercatto, Estud. Arquitectura Mauro García Santa Cruz, Estud. Diseño Brenda Czajkowski.

## **2. Introducción y estado de la cuestión**

En la versión aplicada de Evaluación para la conservación se ha recurrido tanto a las lecciones de éste y otros modelos anteriores (The conservation assessment: A Tool for Planning, Implementing and Fundraising), como a la experiencia producida por colegas en los campos museístico y arquitectónico.

La versión aplicada se elaboró con el fin de servir a museos de regiones del mundo en los que la implementación de sistemas mecanizados de control climático en los edificios no representa una opción práctica.

### 3. Objetivos e hipótesis principales

Objetivo Principal de la evaluación para la Conservación en un museo

- Evaluar sus necesidades ambientales
- Identificar y priorizar las situaciones problemáticas
- Establecer regímenes apropiados de mantenimiento y administración
- Implementar soluciones sostenibles y apropiadas cuando sea necesario

Universo de análisis: de los doce museos de la Red Museos UNLP, se tomaron como unidades de análisis los siguientes: Museo de Instrumentos Musicales Dr. Azzarini; Museo de Física; Museo de Historia de la Medicina S. Gorostiague; Museo de Astronomía y Geofísica y Museo de Calcos de la FBA (Facultad de Bellas Artes).

### 4. Metodología

Las colecciones están expuestas a riesgos ambientales inducidos que pueden producir deterioros en las mismas.

Algunos de los factores que pueden contribuir a la aparición de estos deterioros son:

- Los materiales inherentes a la colección
- La situación climática tanto interior como exterior del edificio
- La respuesta que brinda el edificio a estos cambios climáticos
- Las pautas de mantenimiento de las colecciones y del edificio
- Las amenazas ocasionadas por el hombre

Se tratará de describir con la evaluación realizada:

- El carácter de las colecciones de acuerdo a su vulnerabilidad
- El comportamiento ambiental-edificio
- Riesgos producidos por el uso y administración de las colecciones e instalaciones edilicias
- Riesgos relacionados con el mantenimiento, visitas, etc.

La metodología utilizada por el GCI toma un enfoque estratégico en el control del medio ambiente abarcando tanto los aspectos de conservación tanto de la colección como del edificio. Esta metodología ayuda a establecer patrones y relaciones existentes entre la institución, su colección, el sitio y la estructura por una parte y las condiciones ambientales internas y externas por la otra.

Los evaluadores arquitectónicos y de las colecciones se basan en la educación, experiencia, habilidad, investigaciones, razonamiento deductivo, colaboración y análisis cualitativo para llegar a las estrategias recomendadas para el control del entorno. Esto

conlleva que un mismo profesional siga procesos diferenciados al realizar la evaluación de diferentes museos.

La esencia de una evaluación exitosa conlleva un proceso por medio del cual se consiga a través del análisis, descripción y lineamientos, un orden de prioridades de las condiciones, factores y causas de riesgos.

Las estrategias recomendadas que surjan del análisis de una evaluación deben servir como base del plan de conservación de la colección, tomando en cuenta los requerimientos de la misma y los del edificio que la contiene.

## **5. Resultados alcanzados**

El resultado de esta interacción es un cuerpo ordenado de conocimientos e información, sumado a la metodología e instrumentos que se desarrollen en el proyecto. Este aporte metodológico sería de utilidad para otras áreas de conocimiento de la interacción arquitectura-conservación, mejorando el proceso de control museístico realimentando el modelo para nuestra realidad.

Para facilitar que los responsables de cada museo, en coordinación con el grupo de trabajo, contestaran el cuestionario se desarrolló un formulario en Adobe Acrobat que posibilitó el envío por e-mail de los mismos.

Una vez que los museos recibían los mismos, podían abrirlos, llenar con la información que contaban, grabarlos y reenviarlos.

Una vez recibidos los formularios se puede realizar una base de datos y comparaciones de las distintas situaciones de los establecimientos analizados. A continuación se muestran las planillas en el modo llenado.

Projecto Acreditado UNLP - 11/U079  
 Evaluación de las necesidades de control del entorno para la conservación de los museos  
 de la Red de Museos de la UNLP, Aplicación del procedimiento del Getty Conservation Institute (CGI)  
 Directora: Arq. Analia Fernanda Gómez  
[www.mouseion.com.ar](http://www.mouseion.com.ar) / [afgomez@mouseion.com.ar](mailto:afgomez@mouseion.com.ar)

Enviar por e-mail    Imprimir

---

**1. ANTECEDENTES DE LA INSTITUCIÓN**

1. Nombre de la institución:

2. Datos de la institución:

2.1. Domicilio:

2.2. Núm. de teléfono:

2.3. Fax:

2.4. Correo electrónico:

Figura 1. Formulario 1: Antecedentes de la Institución.

Projecto Acreditado UNLP - 11/U079  
 Evaluación de las necesidades de control del entorno para la conservación de los museos  
 de la Red de Museos de la UNLP, Aplicación del procedimiento del Getty Conservation Institute (CGI)  
 Directora: Arq. Analia Fernanda Gómez  
[www.mouseion.com.ar](http://www.mouseion.com.ar) / [afgomez@mouseion.com.ar](mailto:afgomez@mouseion.com.ar)

Enviar por e-mail    Imprimir

---

**2. MACRO AMBIENTE DEL MUSEO**

**Descripción del clima**

*Es posible que el clima sea la principal influencia, y la más difícil de controlar, que afecta a un museo. Los patrones y cambios climatológicos también pueden ofrecer oportunidades para mejorar el medio ambiente interior. De todas maneras, se deben entender bien los patrones climatológicos típicos.*

**1. Temperatura**

Figura 2. Formulario 2: Macro ambiente del museo.

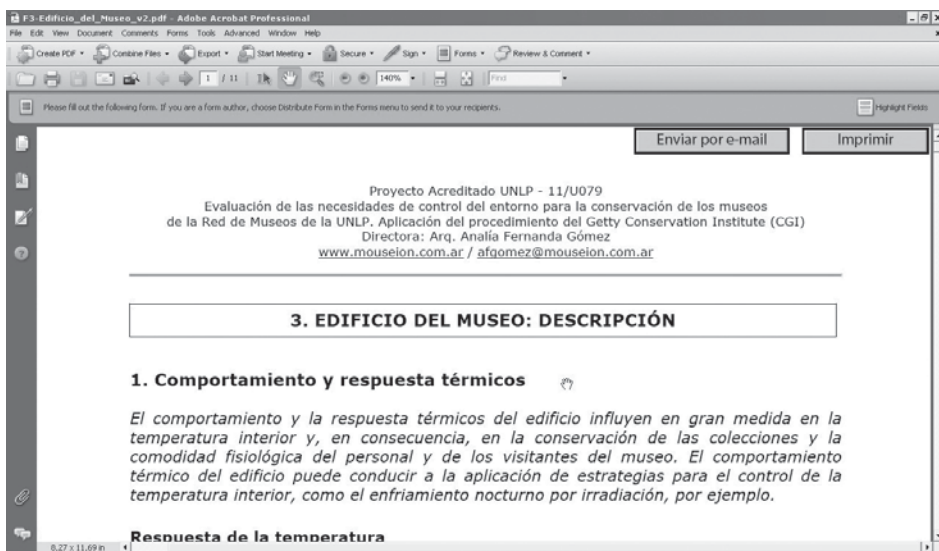


Figura 3. Formulario 3: Edificio del museo.

## 6. Bibliografía

- Avrami Erica, Kathleen Dardes, Marta de la Torre, Samuel Y. Harris, Michael Henry, and Wendy Claire Jessup, contributors. *“Evaluación Para la Conservación: Modelo Propuesto Para Evaluar las Necesidades de Control del Entorno Museístico.”* The Getty Conservation Institute. 1999.
- BELL, L y FAYE, B. *La concepción de los edificios de archivos en países tropicales.* Colección Documentación, bibliotecas y archivos. Estudios e investigaciones. UNESCO. 1980.
- Biblioteca Nacional de Venezuela. *CONSERVAPLAN. Documentos para Conservar.* Coordinación y revisión: Centro Nacional de Conservación de Papel Centro Regional IFLA/PAC para América Latina y el Caribe. Editorial EX LIBRIS, Caracas, Venezuela.
- CASSAR, MAY. *Museums Environment Energy.* Museums & Galleries Commission; London. 1994.
- DE GUICHEN, GAËL y DE TOPOL, BENOIT. *Climate control in museums.* ICCROM. Roma. 1998.
- NPS, National Park Service. Conserve O Gram. NPS Curatorial Services, Division, Washington, D.C. con NPS Harpers Ferry Center Division of Conservation.
- NPS, National Park Service. *The Museum Handbook.* 1990 y revisiones 1994, 1996, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003 y 2005.
- *Manual de Preservación de Bibliotecas y Archivos del Northeast Document Conservation Center.* Editor Sherelyn Odgen. DIBAM, Santiago de Chile. 2000.
- UNI. (1999). *Beni di interesse storico e artistico. Condizioni ambientali di conservazione.* Misurazione ed analisi. UNI10829. UNI-Milano.
- Revista Museum. UNESCO.
- THOMPSON, GARY. *El museo y su entorno.* Madrid, Akal, 1998.

Artículo publicado en las Actas de las Jornadas de Investigación de la FAU 2009 (IV Jornadas de Proyectos de Investigación). La Plata, Argentina. Noviembre de 2009. Organizadas por la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de La Plata (FAU UNLP).

# Simulación numérica del funcionamiento de Doble Envolvente Ventilada en la refuncionalización de la Biblioteca del Museo de Instrumentos Musicales Dr. Emilio Azzarini

María de la Paz Diulio, Mauro García Santa Cruz, Analía F. Gómez.

## Resumen

El presente trabajo muestra los resultados de la simulación numérica de las condiciones higrotérmicas realizada con el Programa EnergyPlus aplicadas al análisis para el desarrollo de un proyecto de refuncionalización de la Biblioteca del Museo de Instrumentos Musicales Dr. Emilio Azzarini de la UNLP.

Dicha biblioteca es objeto de estudio del grupo de trabajo desde el año 2003. Utilizando los principios de la *Conservación Preventiva* se pretende alcanzar las condiciones óptimas para perpetuar las colecciones que guarda. El proyecto PIP 2010-12 GI, *Diseño, construcción y Monitoreo de reserva de patrimonio cultural sustentable*, financiará parte de la realización de la reforma basada en el sistema de doble envolvente ventilada (DEV), ya utilizado en otros proyectos acordes.

La finalidad de este sistema es generar corrientes de aire a través del espacio de cámara generado, retirando el exceso de humedad relativa que existe hoy en la biblioteca, eliminando así uno de los factores más perjudiciales que atentan contra la conservación del papel.

Se modeliza la doble envolvente en EnergyPlus para así obtener una simulación del comportamiento higrotérmico de la DEV.

Palabras clave: Doble Envolvente Ventilada, Conservación Preventiva, simulación numérica.

## 1. Introducción

El Museo de Instrumentos Musicales Dr. Emilio Azzarini, dependiente de la Universidad Nacional de La Plata, es miembro de la Red de Museos de la UNLP.

La base principal de su acervo la constituye la colección del Dr. Emilio Azzarini, legada a la Universidad por sus familiares después de su fallecimiento ocurrido en 1963. Desde esa fecha, hasta su creación como Museo el 9 de diciembre de 1985, funcionó dentro del ámbito de la Universidad, como Colección de instrumentos musicales Dr. Emilio Azzarini.

Reúne material de relevante importancia, podemos encontrar: manuscritos de Juan Pedro de Esnaola, “Missa Solemnis” de Beethoven y el único ejemplar conocido del “Boletín Musical” del impresor Ybarra que data de 1837.

Dentro de la clasificación que hace Santi Romero (Romero, S. 2003), la presente se encuadra dentro de lo que se denomina “Biblioteca Especializada”, es decir, que tiene un fondo centrado principalmente en un campo específico del conocimiento.

## 1. 1. Caracterización del sitio

La biblioteca estudiada se encuentra en la ciudad de La Plata, al noroeste de la Provincia de Buenos Aires. Esta ciudad es un centro administrativo y universitario, capital de la provincia y sede de la Universidad Nacional de La Plata.

Se encuentra a 34°55’ de latitud sur y 57°57’ de longitud oeste en la zona bioambiental III subzona B (IRAM 11603) caracterizada por un clima templado cálido húmedo. La temperatura promedio anual es de 16.1 °C con una amplitud térmica en invierno de 8°C y 10.6 °C en verano.

Por su cercanía al Río de La Plata la humedad relativa es elevada, siendo la media anual del 79%, con un promedio en invierno de 84.3 % y de 72.3 % en verano. El viento dominante es del sudeste. Las precipitaciones medias anuales están calculadas en 1023mm.



Figura 1. Ubicación de la Ciudad de La Plata (Fuente: Google Maps) dentro de la Provincia de Buenos Aires y su zonificación bioambiental.

## 1.2. Situación actual de la biblioteca

La Biblioteca es una pequeña construcción de 25 m<sup>2</sup>, en lo que era el garaje de la antigua casa donde funciona el museo. Una de sus caras longitudinales está apoyada sobre la medianera NE del terreno, mientras que la otra, orientada al SO está limitada por un sector de servicios. Las caras pequeñas, frente y fondo del local, están en con-



tacto con el exterior. La cubierta constituye una terraza accesible con una pérgola que no es de uso habitual.

Las dimensiones del espacio estudiado son 3,00 m de ancho por 6,50 m a lo largo. La altura del cielorraso es de 2,70 m con un volumen de aire interior de 52,65 m<sup>3</sup>.

La envolvente está constituida por muros de ladrillo macizo de 0,20 m de espesor con revoque en ambas caras y la cubierta es de losa de hormigón armado con contrapiso y solado en su parte exterior y cielorraso de yeso aplicado en el interior. Tiene dos aberturas localizadas en el frente y el contrafrente de 2,50 m x 2,00 m sin protección, con marcos y hojas de madera. Una de ellas funciona como acceso principal y la otra permanece bloqueada por estanterías. Sobre los vidrios se colocaron cortinas de lona vinílica para impedir el ingreso de radiación solar directa (Figura 2).

El funcionamiento de la biblioteca es intermitente, ya que no posee personal que trabaje de forma permanente en el lugar, al momento de este trabajo, hay una asistencia de 3 horas semanales de una museóloga que está realizando la revisión general del estado de conservación de los documentos que se encuentran en la biblioteca, climatizando el espacio con una estufa de cuarzo de dos velas (~1800 W). Fuera de este tiempo, no se efectúa ningún tipo de climatización.



Figura 2. Fachada del Museo y biblioteca en patio interior. Planta de la biblioteca.

### **1.3. Parámetros de conservación**

La documentación alojada está constituida básicamente por papel, material muy vulnerable a los daños generados por el ambiente. Estos deterioros son producidos por las fluctuaciones en la temperatura y la humedad relativa, en especial en los cambios de esta última; los picos extremos producen reacciones químicas nocivas, fomentando procesos biológicos como aparición de hongos, alteración de los colores y desintegración progresiva de los materiales orgánicos. El papel es un material altamente higroscópico, es decir, es capaz de absorber y liberar humedad muy rápidamente. Esto produce cambios físicos al contraerse y expandirse con la consecuente disgregación de sus fibras. (Ogden, S; 1988) (Michalski, S; 2007)

Un medio cálido y húmedo permite la germinación de las esporas. Una humedad relativa que sobrepase el 70% manteniendo su nivel por varios días, temperaturas altas, falta de circulación de aire, entre otras situaciones, ayudan a acelerar el proceso de enmohecimiento (Gómez, A. 2009), por lo que el clima en nuestra localidad es ideal para el desarrollo de agentes de deterioro.

En la Figura 4 se muestra un Climograma que reúne las condiciones de conservación de documentos (Bell, L. Faye, B. 1980) y de las condiciones de confort (Olgay, V. 1963).

Si analizamos la situación de la ciudad de La Plata, graficando sus medias anuales veremos un polígono desplazado hacia una zona de mayor HR que la óptima, mientras que la temperatura se encuentra dentro del rango apropiado para el papel y levemente inferior al confort de personas.

Los datos medidos en la auditoría realizada durante el invierno de 2003 muestran que la biblioteca permanece en un estado térmico apto para la conservación del papel, sin embargo sus valores de HR son demasiado elevados (Figura 5). Recordemos aquí que debemos trabajar con la relación de los dos parámetros: HR y Temperatura.

Es por eso que se realiza una adecuación al edificio para ser utilizada como prototipo de modelo para resolver este tipo de situaciones. Esta resolución ya fue utilizada con muy buenos resultados en el Museo de la Shoá (Gómez, A., 2005)

### **1.4. Descripción de la Doble Envolvente Ventilada DEV**

La solución tecnológica a utilizar es la Doble Envolvente Ventilada (DEV) y consiste en crear una nueva piel interior separada de la existente, generando una cámara de aire que permita una circulación permanente de aire a baja velocidad bajando así el contenido de humedad. Este espacio intersticial se comunica al ambiente interior a través de rejillas correctamente protegidas situadas tanto en la franja superior como inferior de los nuevos tabiques, para ser utilizado de ser necesario como renovación de aire. Asimismo se comunicará de forma indirecta con el ambiente exterior, a través de conductos situados en el muro existente. El hecho de atravesar una cámara de aire

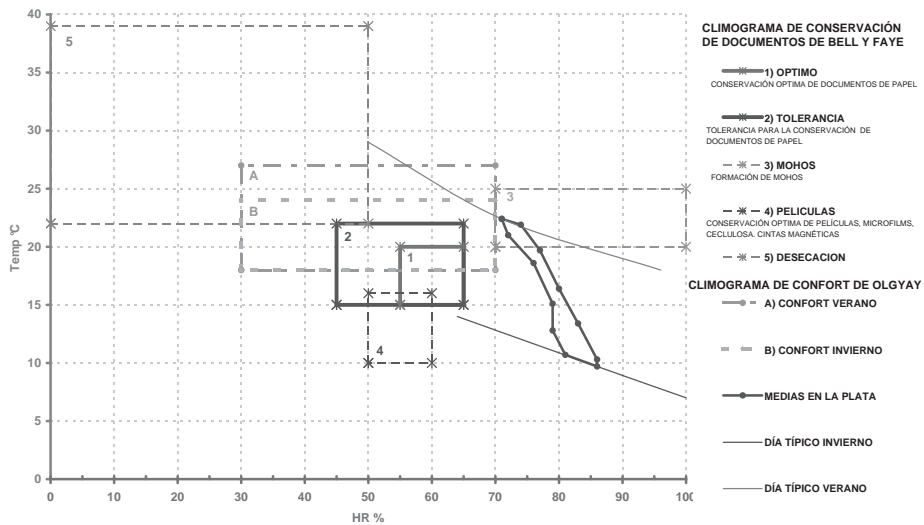


Figura 4. Comparación de climogramas. Condiciones óptimas para la conservación de papel de Bell y Faye; Confort de Olgay y la situación higrotérmica de la Ciudad de La Plata.

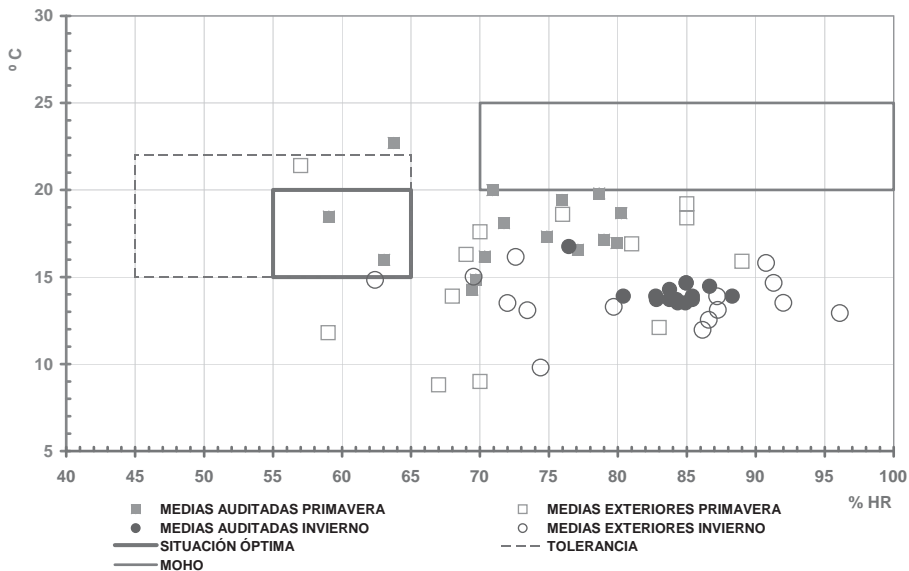


Figura 5. Ubicación de la temperatura y humedad relativa media diaria del período respecto de las condiciones óptimas de conservación de papel (nomograma Bell y Faye).

intermedia le otorga al aire la capacidad de estabilizarse amortiguando picos en su temperatura y HR.

La finalidad de este trabajo es simular el comportamiento higrotérmico del edificio para entender su funcionamiento en las distintas etapas, la primera sin ningún tipo de ventilación representando la situación actual, y la segunda como funcionaría la doble envolvente propuesta. Una simulación detallada del edificio en etapas de diseño nos permitirá detectar futuros problemas higrotérmicos que pongan en riesgo la conservación de los bienes alojados. Es por esto que constituye una herramienta fundamental para proponer soluciones que corrijan o minimicen estos problemas.

La resolución se compone de 6 capas (ver Figura 6):

a) Piel interior: el objetivo de esta piel es absorber parte de la humedad interior, amortiguando picos, para cederlo al aire en movimiento de la cámara de aire. Para esto se usa un doble emplacado de roca de yeso de 25 mm de espesor en muros y 12,5 mm en cielorraso. La terminación interior debe realizarse con pintura difícilmente inflamable de mediana a alta permeabilidad al vapor de agua ( $\mu$  20 a 70 g/m<sup>2</sup>h<sup>0</sup>KPa). La cara que da a la cámara de aire debe ser de baja emisividad materializada con una membrana aluminizada tipo "Harvi Foil". Esta membrana debe ser micro perforada para facilitar la migración del vapor de agua del interior del local al aire que circula por la cámara. La superficie aluminizada reduce la emisión de calor en invierno y rechaza el calor emitido por muros, techos y el aire circulante en verano. Con bajo espesor se logra un aceptable nivel de aislamiento térmico ( $K= 0,9$  W/m<sup>2</sup>K), donde se prioriza el mantenimiento de niveles de humedad interior adecuados a los bienes conservados. La cara interior se concreta con pintura difícilmente inflamable y placa de yeso de roca resistente al fuego.

b) Espacio medianamente ventilado: el prisma interior queda separado de los cerramientos exteriores por una cámara de aire continua de 60 mm de espesor. El aire circula desde el interior del edificio al exterior de manera continua y sin interrupciones. El aire que circula por la cámara toma humedad de la piel interior y del cerramiento existente de mampostería desecándolo con el paso del tiempo y evitando la acumulación de humedad en éstos.

c) Forzador pasivo de ventilación de cámara de aire: éste se materializa mediante dos conductos de sección rectangular ubicados en el espacio de aire entre el tabique interior del local y la medianera norte. Los conductos una vez en el exterior continúan hasta sobresalir 1 m en la terraza terminando con sendos extractores de aire pasivos.

Esta tubería de ventilación materializada en chapa galvanizada N<sup>o</sup> 18 debe pintarse de negro para favorecer el calentamiento del aire y mejorar la extracción. Este sistema no requiere de motores eléctricos ya que es accionado por el viento y las diferencias de presión y temperatura entre el interior del edificio y el exterior. Es silencioso, eficaz y no consume energía.

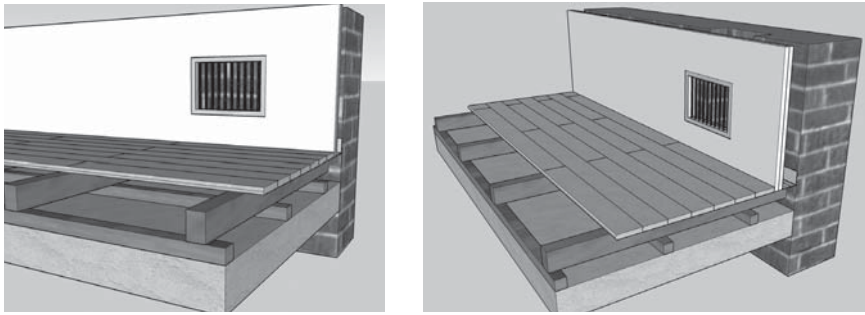


Figura 6. Detalle constructivo de la resolución de la DEV.

d) Forzador pasivo para mejorar la ventilación del local: la ventilación del local se restringirá a la doble puerta de ingreso. Se prevén cuatro aberturas de 500 cm<sup>2</sup> en la parte baja y alta del local. La abertura baja toma aire del espacio intersticial y la abertura alta lo expulsa al mismo mediante los extractores pasivos de la cámara de aire.

e) Mejorador de la calidad del aire interior: el aire interior tiene una primera fase de acondicionamiento materializada con una toma desde el espacio entre la doble puerta de entrada con filtro de carbón activado para retener partículas y ciertos componentes orgánicos en suspensión. Se ubica en la parte inferior del local. Queda previsto que en esta toma se adicione un equipo desecante (silicagel) del aire que ingresa al local. La salida de aire de sección similar se ubicará en la parte alta del local y contará con una reja semiautomática que se cierra en caso de incendio.

f) Envoltente exterior de alta emisividad y alta permeabilidad al vapor de agua: los paramentos interiores preexistentes se dejarán con la mampostería a la vista para aumentar la permeabilidad al vapor de agua.

## 2. Metodología

La biblioteca es estudiada por este equipo de trabajo desde el año 2003, a través de relevamientos y mediciones. Las mediciones fueron realizadas en dos campañas: una en 2003 y otra en 2006. Los resultados muestran el estado crítico del ambiente en el que permanece la colección ya que si bien la temperatura oscila cerca de la mínima admisible, la humedad excede ampliamente las condiciones óptimas.

El objetivo principal de esta simulación es conocer los resultados que arrojarán las mediciones luego de finalizada la ejecución de la DEV. Esto nos daría la oportunidad de hacer modificaciones al proyecto si los resultados no fueran satisfactorios.

## 2.1. Datos auditados

Se colocaron tres microadquisidores de datos HOBO H08-004-02 en el interior y un HOBO WaterProof en resguardo meteorológico en el exterior que registraron cada 10 minutos información referente a temperatura, humedad relativa, punto de rocío e iluminación.

Los datos obtenidos mediante los microadquisidores fueron clasificados, analizados y graficados con Excel®. Se grafican tanto la HR como la temperatura interior y exterior. Los datos se muestran comparados con la situación óptima de conservación (de Guichen, G. 1984).

## 2.2. Datos simulados

Para llevar a cabo las simulaciones se realizó un modelo en Energy Plus (EP) mediante el complemento de Open Studio en Google ScketchUp que permite visualizar una maqueta virtual del local a simular (Figura 7).

Luego se procedió a incorporarle al programa información externa necesaria para evaluar los resultados. Los datos incorporados se resumen de la siguiente manera:

a) Ubicación del edificio en su contexto, coordenadas, período del año a simular y cantidad de días, agendas de uso y ventilación, materiales que conforman la envolvente, espacios de ventilación, sombras arrojadas sobre el volumen a evaluar, contenido de agua de los materiales, sistemas constructivos de los materiales utilizados, grado de exposición de cada zona al viento y al sol, renovaciones de aire, y por último las variables de los datos de salida que en este caso fueron temperatura en °C, humedad relativa en % y humedad específica en gramos de agua por m<sup>3</sup> de aire seco. Estos datos se solicitan tanto para el interior como para exterior.

b) El EnergyPlus (EP) cuenta con una base de datos climática de los últimos 20 años de la que selecciona los períodos extremos de cada mes para conformar un archivo de clima anual representativo de la localidad. Es con esta información con la que se deduce el comportamiento del clima exterior. Como se contaba con datos auditados para condiciones climáticas externas correspondientes a las mediciones interiores y en el sitio, se incrustaron estos datos en el archivo del clima utilizado por EP para el período seleccionado. De esta manera se buscó que la respuesta del edificio para el modelo simulado corra bajo las mismas condiciones que el modelo real (US Department of Energy, 2009) (Melo, A. P. et al, 2008).

Para realizar la simulación de los datos se establece el mismo periodo auditado pero anticipando el inicio un mes para permitir que el edificio alcance estado de régimen. También se le incorpora una carga de humidificación de 45,86 gr/m<sup>3</sup> generada por la diferencia de contenido de agua que posee el aire interior respecto al exterior. Este volumen de humedad absoluta queda contenido en el ambiente al no haber recirculación de aire suficiente, y por eso debemos considerarlo como una fuente adicional de

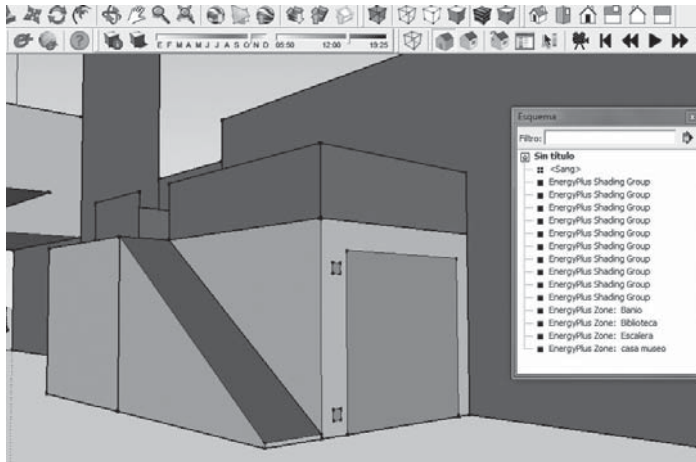


Figura 7. Maqueta en Google ScketchUp para interacción con Energy Plus.

humedad. Para modelizar esta situación se calculó la diferencia de volumen de agua y su correspondiente acumulación diaria.

En el caso de la simulación con DEV se suprime la carga de humidificación que aporta el ambiente exterior por quedar ésta fuera del ambiente a simular (queda en el espacio intersticial). Hasta el presente grado de avance del trabajo se ha logrado simular un ambiente totalmente cerrado dentro de un ambiente ventilado. Es decir, quedan excluidos por el momento los conductos que recorren la cámara de aire.

### 3. Análisis de resultados

La simulación realizada sobre la situación actual, muestra una razonable aproximación a los datos auditados. Ha resultado más simple manejar la temperatura, sin embargo la humedad relativa se ve afectada por situaciones de ventilación mucho más sensibles y difíciles de manejar.

Se observa que los datos obtenidos al incorporar la doble envolvente ventilada arrojan resultados que tienden a cumplir con los valores admisibles de temperatura y humedad relativa, sin embargo, la no utilización de los conductos de ventilación otorga una falta de precisión en los resultados. Puede inferirse que una vez incorporado este dato, los valores se elevaran con motivo del intercambio de aire con el exterior.

#### 3.1. Humedad Relativa

Se puede observar en la Figura 8 que el edificio amortigua muy bien las oscilaciones de HR exterior. Si bien supera en exceso la máxima admisible es una característica positiva el hecho que permanezca razonablemente estable. De acuerdo con las premisas de

conservación, es preferible obtener condiciones constantes a condiciones óptimas con grandes oscilaciones, ya que es justamente en éstas cuando se generan los daños en los documentos, ya sea por deformaciones físicas o alteraciones químicas.

En la simulación se observa una leve tendencia a acompañar con cierto retardo la situación exterior. El hecho que las mediciones coincidan con los datos reales auditados nos da la seguridad que el modelo creado es válido para proceder con la etapa siguiente de simulación con DEV.

Al incorporar la DEV a la simulación se detecta un fuerte descenso de la HR con valores extremos de 25% y 45%, muy por debajo de los parámetros esperados. Esto puede atribuirse a que se considera la envolvente interior exenta de las ventilaciones.

### **3.2. Temperatura**

El edificio se encuentra con una temperatura promedio de 1,2 °C por debajo de los valores ideales de temperatura, sin embargo es también una ventaja que las variaciones sean menores a 1,5 °C en todo el período ya que la estabilidad, como se ha observado, es un aspecto positivo.

Podrían alcanzarse valores óptimos de temperatura incorporando aislamiento térmico en los muros exteriores, en la cubierta, y mejorando la estanqueidad de aberturas. Por otra parte si se alcanzara la temperatura óptima sin resolver previamente el exceso de HR se caería dentro de las condiciones adecuadas para el florecimiento de mohos y otros agentes de deterioro del papel.

### **3.3. Análisis de un día típico de invierno**

Promediando los datos horarios de la semana estudiada obtenemos un esquema que nos representa la tendencia de temperatura hora a hora.

Se puede observar claramente que durante el pico de máxima temperatura se registra la mínima humedad relativa; y que a su vez esto ocurre entre las 13 y las 16 horas.

## **4. Conclusiones**

En esta etapa de avance de la simulación no se ha podido ajustar el EP para analizar las variaciones que otorgarían las ventilaciones internas. Los resultados obtenidos en el Museo de la Shoá en 2005 llevan a afirmar que se alcanzarán valores ideales, sin dispositivos mecánicos ni eléctricos, utilizando simplemente corrientes de aire protegidas.

Lo que sí verificamos es que este programa brinda la posibilidad de realizar los estudios necesarios para este tipo de espacios, donde la HR es el parámetro mas importante a controlar para la conservación de los bienes.



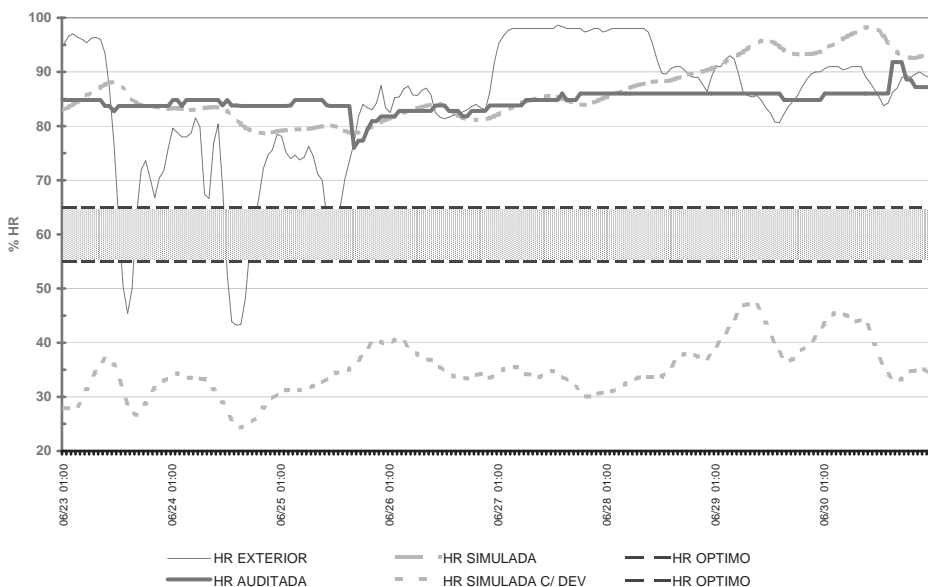


Figura 8. Humedad relativa en el transcurso del período estudiado para datos exteriores, de auditoría, simulados en las condiciones actuales y simulados con DEV.

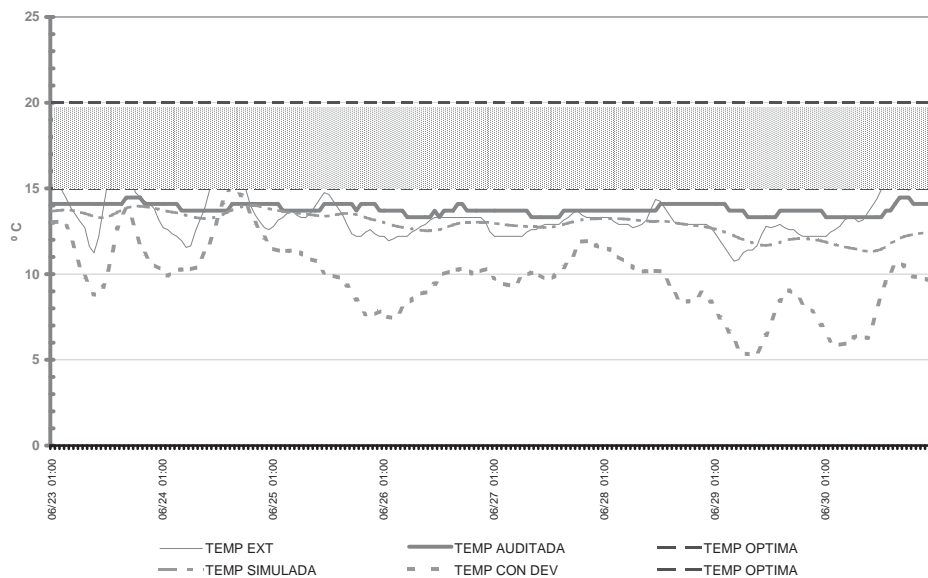


Figura 9. Temperatura en el transcurso del período estudiado para datos exteriores, de auditoría, simulados en las condiciones actuales y simulados con DEV.

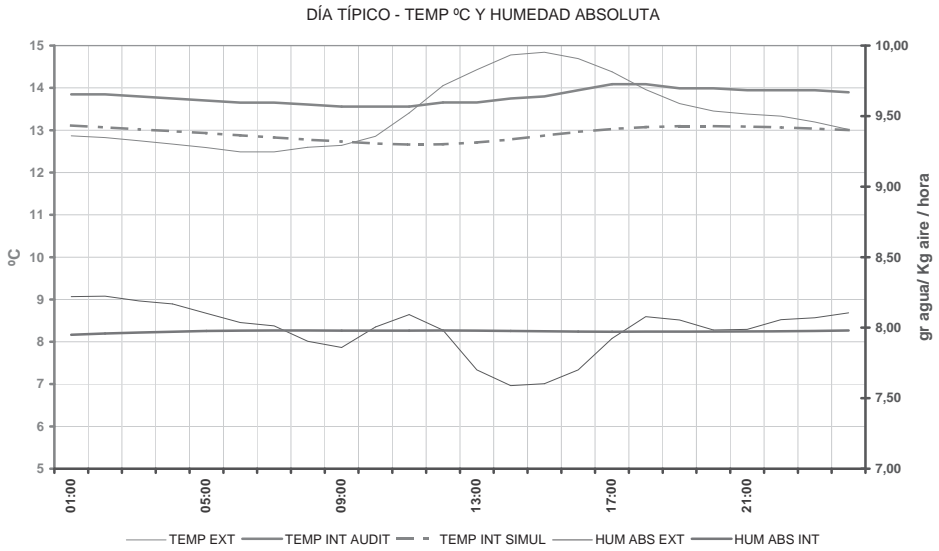


Figura 10. Análisis de la temperatura y la humedad absoluta de un día típico de invierno promedio.

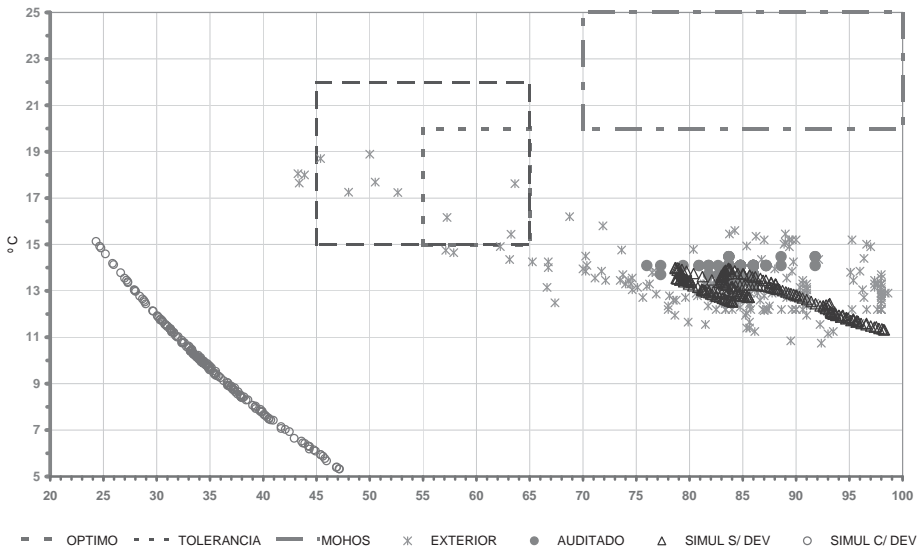


Figura 11. Comparación de los datos exteriores, auditados y simulados con y sin doble envoltura ventilada con las condiciones óptimas de conservación de Bell y Faye.

Por otra parte, analizando la situación de un día típico de invierno se puede concluir que es durante las primeras horas de la tarde cuando es conveniente abrir los cerramientos y permitir el ingreso franco de aire exterior.

En el gráfico (Figura 11) podemos observar la ubicación de los puntos simulados con DEV alineados en el ángulo izquierdo inferior y vemos un exceso en la reducción de HR.

## 5. Referencias bibliográficas

- Bell, L; Faye, B. (1980) *La concepción de los edificios de archivos en países tropicales*. UNESCO. París.
- Romero, S. (2003) *La arquitectura de la biblioteca. Recomendaciones para un proyecto integral*. Pág. 16. 2º edición. Ed. Escola Sert. Barcelona.
- Ogden, S. (editora) (2000) *Temperatura, humedad relativa, luz y calidad del aire: pautas básicas para la preservación. Manual de preservación de bibliotecas y archivos del Northeast Document Conservation Center*. DIBAM-Chile.
- Olgyay, V. (1963) *Desing with climate. Bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton University Press.
- Filipin, C. (2005). *Uso Eficiente de la energía en edificios*. 1º ed. Amerindia. La Pampa.
- Michalski, S. (2007) *Cómo administrar un museo: manual práctico*. Capítulo 4: "Preservación de las Colecciones"
- IRAM, Instituto Argentino de Normalización (2002). Serie de normas sobre acondicionamiento térmico de edificios. *Norma 11603 – Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*.
- Gómez, A. (2009) *"Una aproximación al diseño ambientalmente consciente en espacios de guarda. Estudio de casos"*. Seminario de Investigación en Museología de los países de habla portuguesa y española. Porto, Portugal. ISBN: 978-972-8932-61-9. Editor: Universidade do Porto / Faculdade de Letras / Biblioteca Digital.
- Gómez, A. et al (2005) *Museo del Holocausto (Shoa) Fundación Memoria del Holocausto de la Ciudad de Buenos Aires, Argentina. Mediciones higrotérmicas en la Reserva*. ENCAC – ELACAC 2005.
- Osborne, A et al (2010) *Simulation Prototyping of an Experimental Solar House*. Energies 2010. ISSN 1996-1073
- Energy Plus manual del programa. [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus\\_documentation.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_documentation.cfm)

- De Guichen, Gaël. (1984) *Climate in museums. Measurement*. Centre International pour la Conservation, ICCROM, Roma, 1998
- Melo, A. P; Lamberts, R (2008) *Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa EnergyPlus*. Laboratorio de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina. Brasil.
- US Department of Energy (2009) *Input output reference. The encyclopedic reference to EnergyPlus input and output*. EE.UU.

### **Agradecimiento**

Agradecemos al Dr. Jorge D. Czajkowski por sus comentarios en la fase de modelización e interpretación de la simulación.

Artículo publicado en la revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Volumen 14, pp 08.167-08.174. Año 2010.

# Estrategias de diseño pasivo para una biblioteca

María de la Paz Diulio, Analía F. Gómez.

## 1. Resumen

El trabajo desarrolla las propuestas de sucesivas acciones sobre el edificio de la Biblioteca de la FAU-UNLP, respetando el diseño original, cuyo resultado es un edificio con un funcionamiento climáticamente acorde a las necesidades de los bienes que guarda tanto en los depósitos como en la sala de lectura y en las áreas comunes.

El estudio y propuestas surgen a partir de los datos arrojados por una campaña de mediciones que se realizó en 2007, después de que la biblioteca sufriera una inundación. Los valores de humedad relativa (HR) fueron alarmantes y se mitigaron sus efectos con soluciones a corto plazo. Al estabilizarse la situación no se consiguieron valores de HR óptimos sin el uso de un deshumidificador electromecánico, lo que impulsa a realizar mejoras en el edificio, esta vez en todos los campos concernientes a las condiciones de conservación, teniendo en cuenta asimismo la necesidad imperante de limitar el uso de recursos de energías no-renovables.

Se proponen mejoras tecnológicas de la envolvente, mediante diseño pasivo sin necesidad de adquirir costoso equipamiento, apuntando a obtener un edificio que requiera el mínimo de energía para mantener en condiciones de confort de estudiantes y personal y las condiciones de conservación básica de la colección.

Palabras clave: Biblioteca, condiciones ambientales, eficiencia energética, conservación preventiva.

## 2. Introducción

*“Los libros, las fotografías y otros objetos con base de papel son muy vulnerables al daño provocado por el ambiente. La temperatura elevada, la humedad, la luz y los contaminantes producen reacciones químicas destructivas, en tanto que el calor y la humedad fomentan procesos biológicos como hongos e infestación de insectos.*

*Las fluctuaciones en la temperatura y la humedad relativa también son perjudiciales. Las colecciones de bibliotecas y archivos son higroscópicas, rápidamente absorben y liberan humedad. Ellas responden a cambios diurnos y estacionales en la temperatura y humedad relativa expandiéndose y contrayéndose. Estos cambios dimensionales aceleran el deterioro y conducen a daños tan visibles como la deformación del papel y de las cubiertas de libros”.* (OGDEN, S; 1988)

Aunque no podemos eliminar todas las causas de destrucción de nuestros registros culturales sin negar acceso a las colecciones, se puede retardar el deterioro en gran

medida moderando el ambiente. Es relativamente fácil y económico controlar algunos factores, como la luz. Sin embargo controlar el clima exterior, y los cambios de temperatura y humedad relativa interior que se generan, constituye una tarea mucho más ardua. (PATKUS, B. 1988)

La crisis energética de la década del setenta produjo bruscos cambios en la disponibilidad y precio de los combustibles convencionales, en especial del petróleo. Esta situación inestable, que subsiste hoy en día, tiene repercusiones en todos los sectores de la economía incluyendo la industria de la construcción. Por otra parte, el costo actual de la energía utilizada para alcanzar niveles óptimos de temperatura y humedad no representa el verdadero costo ambiental del calentamiento global, producido por las emisiones de dióxido de carbono, residuo del uso de combustibles fósiles entre otros. Frente a este cuadro es necesario desarrollar una conciencia energética que permita formular políticas y estrategias, como así también cuantificar la energía que se utiliza en la construcción y mantenimiento del hábitat. Con estos parámetros es importante evaluar la calidad del hábitat construido en relación con los recursos utilizados para su realización y acondicionamiento.

### **3. Objetivos**

Los objetivos planteados fueron:

- Redactar un proyecto de acondicionamiento ambiental de los depósitos y sala de lectura en sintonía con el proyecto arquitectónico, especialmente el higrotérmico por un lado y el lumínico por otro, que facilite la permanencia del público lector y del personal, las condiciones de conservación de los libros, el confort de los visitantes y la eficiencia energética.
- Pautar acciones que puedan ser realizadas a corto plazo, con un mínimo de intervención, sin necesidad de privar a la institución del uso de su biblioteca durante tiempos prolongados.
- Establecer normas de reacondicionamiento de edificios de bibliotecas que puedan ser potencialmente generalizadas para su aplicación en otros edificios de uso análogo en la región de La Plata, o con situación climática similar.

### **4. Metodología**

#### **4.1. Estado de situación**

La biblioteca estudiada se encuentra en la ciudad de La Plata, Provincia de Buenos Aires. Esta ciudad es un centro administrativo y universitario por tratarse de la capital de la provincia y por ser sede de la Universidad Nacional de La Plata, unas de las más prestigiosas del país.

Se encuentra en latitud de 34,97º SUR en la zona bioambiental IIIB<sup>1</sup> caracterizada por un clima templado cálido húmedo. La temperatura promedio anual es de 16.1 °C con una amplitud térmica en invierno de 8 °C y de 10.6 °C en verano.

La humedad relativa anual es de 79%, con un promedio en invierno de 84.3 % y de 72.3 % en verano.

Un medio cálido y húmedo permite la germinación de las esporas. Una humedad relativa que sobrepase el 70% manteniendo su nivel por varios días, temperaturas altas, falta de circulación de aire, entre otras situaciones, ayudan a acelerar el proceso de enmohecimiento (GÓMEZ, A; 2009), por lo que el clima en esta localidad es ideal para el desarrollo de agentes de deterioro.

La Biblioteca Universitaria<sup>2</sup> está definida como el servicio que integran los fondos bibliográficos, documentales y audiovisuales de las facultades, garantizando la información científica y técnica al servicio de la docencia, la investigación y la extensión universitaria. Sus funciones son facilitar el estudio y la investigación; producir y difundir información científica y técnica; formar a los usuarios en el manejo de las nuevas tecnologías de acceso a la información; y cooperar con el resto de las redes bibliotecarias. (ROMERO, S; 2003)

En este caso particular, nos referimos a una biblioteca con estantes cerrados al público, un catálogo de libros para préstamo (acceso entrepiso) y uno exclusivo para libros y revistas que sólo podrán utilizarse en sala de lectura (acceso sala de lectura 1º piso). El horario de atención es de 9 a 18hs de lunes a viernes y el staff está compuesto por 8 personas por turno.

El trabajo se plantea luego de los hechos sucedidos el 1º de marzo del 2007, cuando las precipitaciones producidas a las 11.00 hs. superaron ampliamente lo esperado para la época, esto unido a que se estaban terminando obras dentro del edificio, produjo que el subsuelo de la biblioteca se inundara hasta 15 cm. A las pocas horas el incidente fue controlado, el agua se había retirado manualmente, pero quedaba un daño oculto. Es así que a los pocos días se notó en algunos ejemplares la aparición de moho. Ante esta circunstancia se procedió a realizar mediciones y tratar de paliar lo más rápido posible el daño que estaba poniendo en riesgo la colección.

## **4.2. Análisis climático**

Hemos confeccionado un climograma que reúne las condiciones de conservación de documentos (BELL y FAYE, 1980) y de las condiciones de confort (OLGYAY, 1963).

---

1. Norma IRAM 11603: Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina.

2. La Biblioteca FAU – UNLP pertenece a la RED ROBLE (Red de Bibliotecas de la Universidad Nacional de La Plata) <http://difusion.roble.biblio.unlp.edu.ar/index.html>

Planteamos esta situación ya que el organigrama de la biblioteca contempla la convivencia de los volúmenes tanto con el personal como con la consulta.

Si planteamos la situación de la ciudad de La Plata, con sus medias anuales veremos un polígono desplazado hacia una zona de mayor HR que la óptima, mientras que la temperatura se encuentra, a grandes rasgos, dentro del rango apropiado para el papel y levemente inferior al confort de personas (Figura 1).

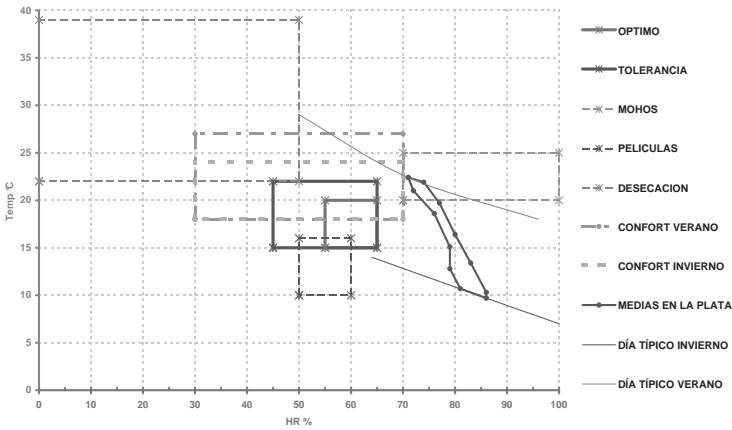


Figura 1. Comparación de climogramas.

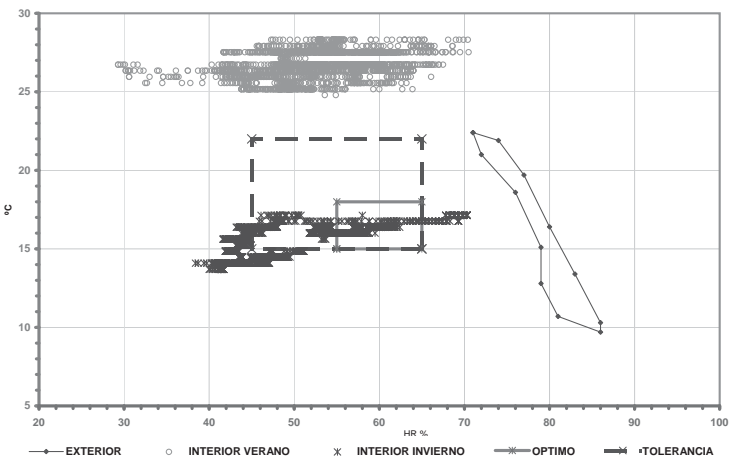


Figura 2. Datos climáticos relevados en el sitio. Temperatura y HR exterior mensual; temperatura y HR interior de verano; temperatura y HR interior de invierno.



La Figura 2 muestra la información obtenida mediante micro adquiredores de datos HOBO H08-004-02 durante las campañas realizadas en 2008 y 2009. Los recuadros 1 y 2 señalan los límites de las zonas de conservación del papel. Los datos recogidos en verano -anaranjado- muestran que los niveles de humedad son aceptables pero la temperatura es excesiva. Si llevamos los datos a un diagrama psicrométrico, veremos que bajando la temperatura se percibirá un sensible aumento en la humedad relativa del aire. Esto sucede porque a humedad absoluta constante, el aire a menor temperatura es capaz de captar menos cantidad de agua. Lo que nos indica que al mismo tiempo de refrescar debemos aumentar la ventilación.

Analizando la información de las mediciones de invierno -azul- observamos que las condiciones son apropiadas para la conservación, salvo excepciones en días con muy baja temperatura y HR. El edificio ofrece barreras arquitectónicas adecuadas para evitar que el aire húmedo alcance los depósitos.

### 4.3. Morfología

El edificio está situado en el centro del bloque administrativo de la facultad, compartiendo el acceso principal. Gran parte de la planta baja y subsuelo está en contacto con otros edificios; solo la sala de lectura se alza exenta con sus cuatro caras libres. Está con-

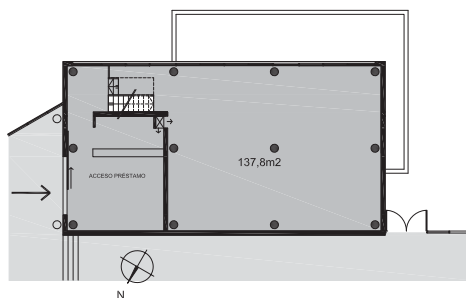


Figura 3. Acceso. Depósito de libros.

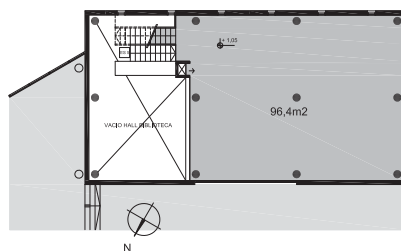


Figura 4. Entrepiso. Depósito de libros.

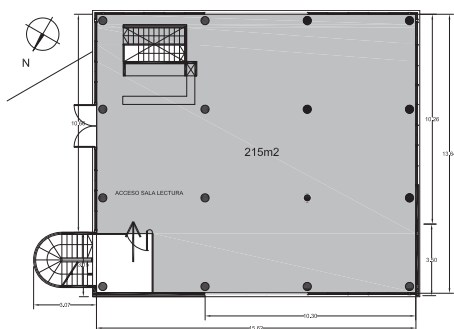


Figura 5. Sala de lectura. Guardado de revistas.



Figura 6. Vista sudeste del edificio.

formado por una estructura independiente de Hº Aº y cerramientos de mampostería de bloques cerámicos y aberturas de marcos de aluminio con simple vidriado.

La biblioteca consta de tres plantas: subsuelo (depósito de libros de préstamo, Figura 3), entrepiso (administración y colecciones especiales, Figura 4) y 1º piso (sala de lectura, revistas y libros de consulta, Figura 5). El entrepiso y subsuelo con una superficie de 87 m<sup>2</sup> cada piso y la sala de lectura con 128 m<sup>2</sup>. Los accesos se encuentran, uno en la planta de nivel cero, desde el hall principal y otro a nivel +3,60 m.

## 5. Análisis de Resultados

Los tres puntos desarrollados en la propuesta de estudio y análisis del comportamiento energético ambiental fueron:

- *Temperatura:* al estar localizada en la región templada, deben considerarse períodos de calefacción y refrigeración, y al no existir un sistema centralizado se producen diferencias notables entre los sectores donde permanece el personal y donde se encuentran los depósitos.

- *Humedad relativa:* controlar que no se produzcan cambios bruscos en sus niveles, ya que por tratarse de papel, material altamente higroscópico, cualquier oscilación genera una variación de volumen con la consiguiente degradación de sus fibras.

- *Iluminación:* transformar el asoleamiento directo en iluminación natural para bajar el nivel de exposición a los rayos UV de la colección, y asimismo evitar el deslumbramiento del lector en la sala de lectura.

### 5.1. Temperatura

El cerramiento exterior está compuesto por un muro de ladrillos cerámicos huecos de 18x18x33 revocado en ambas caras, con terminación de pintura al látex. Con esta conformación, el muro posee un *coeficiente de transmitancia térmica* (K) de 1,95 W/m<sup>2</sup>K (Figura 7). La zona de depósitos está construida con muro doble de ladrillo cerámico hueco de 12x18x33 cuyo K es 0.93 W/m<sup>2</sup>K.

La propuesta para mejorar el sistema existente consistió en adicionar partes en obra seca, sin necesidad de demoler ni alterar por demasiado tiempo la actividad del local. Para esto se coloca sobre el revoque interior 7 cm de lana de vidrio que se sujeta al muro existente por medio de perfiles de chapa que sirven a la vez como fijación para la terminación. Ésta consiste en placas de roca de yeso para exterior de manera que su parte impermeable quede en contacto con la aislación térmica y haga las veces de barrera de vapor. Una segunda capa de placa de yeso da la terminación final. Las placas se colocan alternando los parantes de la primera capa para evitar los puentes térmicos. La mejora se realiza en las cuatro caras de la envolvente por igual, ya que el aislamiento funciona evitando tanto las pérdidas en invierno de las caras frías como las ganancias en verano de las caras expuestas a la radiación.

Toda esta composición mejora el “K” del muro simple inicial de 1,95 W/m<sup>2</sup>.K a 0,35 W/m<sup>2</sup>.K (Figura 8), es decir que se aplica una mejora de un 80%. Mientras que el muro doble de K= 0,93 W/m<sup>2</sup>.K pasa a 0,29 W/m<sup>2</sup>.K. En este caso la mejora es del 31%.

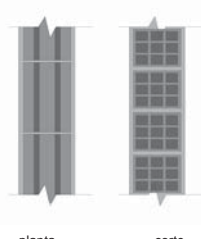
COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN TÉRMICA "K" DE CERRAMIENTOS (Norma IRAM 11 601 y 11 605)				
1	ELEMENTO muro	 <p>planta      corte</p>		
2	FORMA CONSTRUCTIVA simple 18cm + revocos			
3	ORIENTACIÓN N, S, E, O			
4	SENTIDO FLUJO DE CALOR Horizontal			
5	ZONA BIOAMBIENTAL IIIB			
6	Resistencia superficiales, capas de materiales y resistencias de cámaras de aire	7	8	9
		espesor de cada capa e [ m ]	coeficiente de conductividad λ [ W / m . K ]	resistencia térmica e / λ [ m <sup>2</sup> . K / W ]
RSI (resistencia superficial interna)		—	—	0.120
REVOQUE EXTERIOR		0.020	1.160	0.017
LADRILLO CERÁMICO HUECO		0.180	—	0.310
REVOQUE INTERIOR		0.020	0.930	0.022
RSE (resistencia superficial externa)		—	—	0.043
12	Resistencia total		[ m <sup>2</sup> . K / W ]	0.51
13	Coeficiente "K" de proyecto K = 1 / R		[ W / m <sup>2</sup> °C ]	1.95

Figura 7. Muro exterior inicial.

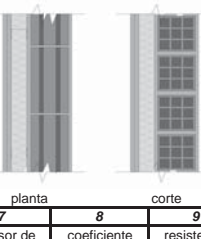
COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN TÉRMICA "K" DE CERRAMIENTOS (Norma IRAM 11 601 y 11 605)				
1	ELEMENTO muro	 <p>planta      corte</p>		
2	FORMA CONSTRUCTIVA simple 18cm + revocos + aislamiento + emplacado			
3	ORIENTACIÓN N, S, E, O			
4	SENTIDO FLUJO DE CALOR Horizontal			
5	ZONA BIOAMBIENTAL IIIB			
6	Resistencia superficiales, capas de materiales y resistencias de cámaras de aire	7	8	9
		espesor de cada capa e [ m ]	coeficiente de conductividad λ [ W / m . K ]	resistencia térmica e / λ [ m <sup>2</sup> . K / W ]
RSI (resistencia superficial interna)		—	—	0.120
REVOQUE EXTERIOR		0.020	1.160	0.017
MURO CERÁMICO HUECO		0.180	—	0.310
REVOQUE INTERIOR		0.020	0.930	0.022
LANA DE VIDRIO 46 a 100 Kg/m3		0.075	0.033	2.273
PLACA DE YESO		0.020	0.370	0.054
PLACA DE YESO		0.020	0.370	0.054
RSE (resistencia superficial externa)		—	—	0.043
12	Resistencia total		[ m <sup>2</sup> . K / W ]	2.89
13	Coeficiente "K" de proyecto K = 1 / R		[ W / m <sup>2</sup> . K ]	0.35

Figura 8. Muro exterior mejorado.

El cerramiento de aluminio con vidrio simple tiene un K de 5,8 W/m<sup>2</sup>.K. Es esta la parte del edificio de mayor problema para plantear mejoras por los cambios que deberían realizarse, teniendo en cuenta esto analizamos distintas posibilidades.

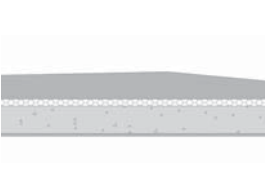
COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN TÉRMICA "K" DE CERRAMIENTOS (Norma IRAM 11 601 y 11 605)				
1	ELEMENTO			
2	FORMA CONSTRUCTIVA			
3	ORIENTACIÓN			
4	SENTIDO FLUJO DE CALOR			
5	ZONA BIOAMBIENTAL			
6	Resistencia superficiales, capas de materiales y resistencias de cámaras de aire	7 espesor de cada capa e [ m ]	8 coeficiente de conductividad λ [ W / m.K ]	9 resistencia térmica e / λ [ m <sup>2</sup> .K / W ]
RSI (resistencia superficial interna)		—	—	0.120
CIELORRASO YESO APLICADO		0.020	0.490	0.041
LOSA DE Hº Aº		0.200	0.970	0.206
POLIESTIRENO EXPANDIDO		0.010	0.037	0.270
CONTRAPISO ALIVIANADO		0.100	0.500	0.200
CARPETA CONCRETO		0.040	0.890	0.045
MEMBRANA CON FOIL		—	—	—
RSE (resistencia superficial externa)		—	—	0.030
12	Resistencia total	[ m <sup>2</sup> . K / W ]		0.91
13	Coefficiente "K" de proyecto $K = 1 / R$	[ W / m <sup>2</sup> .K ]		1.10

Figura 9. Cubierta inicial.


COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN TÉRMICA "K" DE CERRAMIENTOS (Norma IRAM 11 601 y 11 605)				
1	ELEMENTO			
2	FORMA CONSTRUCTIVA			
3	ORIENTACIÓN			
4	SENTIDO FLUJO DE CALOR			
5	ZONA BIOAMBIENTAL			
6	Resistencia superficiales, capas de materiales y resistencias de cámaras de aire	7 espesor de cada capa e [ m ]	8 coeficiente de conductividad λ [ W / m . K ]	9 resistencia térmica e / λ [ m <sup>2</sup> . K / W ]
RSI (resistencia superficial interna)		—	—	0.120
CIELORRASO YESO APLICADO		0.020	0.490	0.041
LOSA DE Hº Aº		0.200	0.970	0.206
POLIESTIRENO EXPANDIDO		0.010	0.037	0.270
CONTRAPISO ALIVIANADO		0.100	0.500	0.200
CARPETA CONCRETO		0.040	0.890	0.045
BARRERA HIDRÁULICA		0.007	0.700	0.010
SUSTRATO		0.300	0.310	0.968
RSE (resistencia superficial externa)		—	—	0.030
12	Resistencia total	[ m <sup>2</sup> . K / W ]		1.89
13	Coefficiente "K" de proyecto $K = 1 / R$	[ W / m <sup>2</sup> . K ]		0.53

Figura 10. Cubierta mejorada.

Modificando la composición de las hojas a doble vidriado hermético (DVH) el valor de transmitancia desciende a  $K= 2,8\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ . Pero implicaría reemplazar el sistema actual en su totalidad. Dado que una condición de la propuesta fue aplicar modificaciones a lo existente, descartamos la idea de sustituir las aberturas. Es por esto que el aumento en la resistencia térmica de los paños vidriados residirá en la colocación de una segunda piel de vidrio, compuesta por marcos y hojas de aluminio.

Una parte importante del cerramiento lo constituye la cubierta principal responsable de las ganancias y pérdidas térmicas en verano e invierno respectivamente. Esta fue construida por una losa de hormigón armado. Al igual que en los muros, toda acción deberá ser aditiva a lo existente. La propuesta consistió en transformar esta en un techo verde, que implica colocar una barrera hidráulica aislante, una barrera “anti raíz” protectora, un sustrato de tierra y la vegetación como cubierta. Tomando las precauciones de crear buenos desagües para evitar la excesiva sobre carga que puede generar la acumulación de agua, la resolución es óptima principalmente en verano ya que aísla por masa retardando la llegada de calor; y en invierno la mejora radica en evitar la pérdida por convección que pueden generar los vientos en invierno así como por conducción por la gran diferencia de temperatura entre interior y exterior. Con esta solución obtenemos un valor de “K” de  $0,53\text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$  contra los que teníamos de la solución inicial de  $1,10\text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ .

Con estos datos, aplicados a la superficie y el volumen, se obtiene el *coeficiente global de pérdidas térmicas* (G). Por tratarse de volúmenes con diferentes características formales, se analizarán por una parte la sala de lectura y por otra los depósitos. La sala de lectura, con sus cuatro caras libres y gran superficie vidriada tiene en la actualidad una pérdida de  $2.54\text{ W}/\text{m}^3 \cdot \text{K}$ ; y en los depósitos, con accesos protegidos, mínimo aventanamiento y muros bajo nivel del suelo el “G” es de  $1,43\text{ W}/\text{m}^3 \cdot \text{K}$ . Aplicando las mejoras, los valores de “G” descienden a  $1,62\text{ W}/\text{m}^3 \cdot \text{K}$  en sala de lectura y a  $1,20\text{ W}/\text{m}^3 \cdot \text{K}$  en los depósitos.

Pérdida "G"	Envolvente Inicial ( $\text{W}/\text{m}^3 \cdot \text{K}$ )	Envolvente Mejorada ( $\text{W}/\text{m}^3 \cdot \text{K}$ )	Ahorro (%)
Sala Lectura	2,54	1,62	36,1
Depósitos	1,43	1,19	16,8

Tabla 1. Valores obtenidos de coeficiente global de pérdidas térmicas.

Esto refleja que el edificio está perdiendo gran parte de la energía aportada para mantener la temperatura constante que requiere la biblioteca. Ya que la Norma IRAM 11604 no establece valores de “G” admisibles para este tipo de edificios, utilizaremos este valor sólo a modo de referencia.

## 5.2. Humedad Relativa

Aunque no la veamos el agua está en todas partes. Plantas y animales contienen gran cantidad de agua, y por ende los productos extraídos de ellos conservan humedad. Los productos orgánicos laminados como el papel, el pergamino, el cuero y los tejidos naturales, cuando se secan pierden flexibilidad y sus fibras se rompen. Mientras que en condiciones de excesiva humedad se da la situación idónea para el desarrollo de hongos y moho. Por ello los cambios de humedad son un desastre potencial. (THOMSON, G; 1998)

La humedad se expresa como humedad absoluta (HA) o humedad relativa (HR). El aire a 100% de HR contiene toda el agua que puede; por lo tanto, está saturado. El aire saturado a 10°C contiene una humedad de aproximadamente 8g/m<sup>3</sup>, a 20°C será de unos 17g/m<sup>3</sup>, y a 30°C unos 30g/m<sup>3</sup>. La HR es una medida de porcentaje de saturación del aire. El aire a 50% de HR a cualquier temperatura, contiene la mitad de agua que es capaz. (DE GUICHEN, G. 1984)

El nomograma de Belle y Faye nos muestra las condiciones higrométricas óptimas para la conservación de documentos de papel y fotografías. En el caso del papel la HR debería estar en un valor entre 55% y 65% y la temperatura entre 15° y 20° C. Con este parámetro podemos comparar las mediciones realizadas con la situación ideal.

Es necesario en cualquier caso controlar las oscilaciones tanto diarias como estacionales y especialmente evitar cualquier cambio brusco y rápido.

Una ventilación adecuada, especialmente en los locales de almacenamiento de las colecciones es imprescindible para evitar estancamientos localizados de aire que pueden favorecer por un lado la proliferación de microorganismos y por otro, fenómenos de condensación, ya sea sobre las paredes de la sala o sobre los mismos objetos. (HERRÁEZ, RODRÍGUEZ LORITE 1989)

Es por esto que la propuesta consiste en mejorar la ventilación realizando perforaciones en las losas que se cubren con rejillas y permiten la circulación vertical del aire con mayor contenido de humedad. El sentido del flujo deberá ser siempre ascendente para extraer el aire de la zona más húmeda, que es la zona de depósito y de préstamos.

Esta estrategia funciona de manera diferente en invierno y en verano:

Durante el verano se genera en la sala de lectura una corriente convectiva en sentido noreste-sudoeste es decir, el sentido de los vientos más frecuentes. Esa corriente es resultado de la apertura de ventanas de tipo oscilobatiente correctamente protegidas.

El flujo de aire refresca la sala de lectura y a su vez provoca una depresión y la consiguiente succión de aire a través de las rejillas del piso. De esta manera ingresa aire fresco a la sala de lectura y se renueva el aire en los depósitos. El ingreso de aire a los mismos será por el acceso interior, por lo que será más seco que el aire exterior.

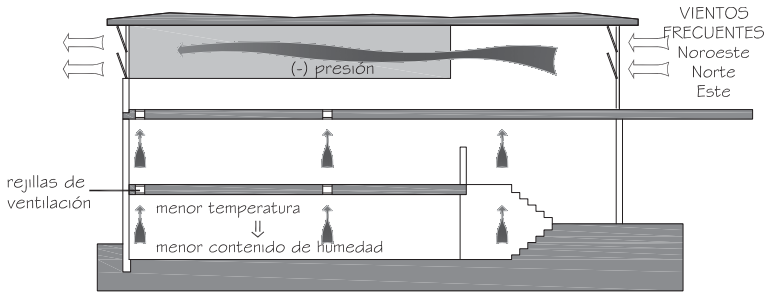


Figura 11. Estrategia de verano.

En invierno la sala de lectura permanece calefaccionada a una temperatura de 21°C, en los depósitos la temperatura ideal debe situarse entre 15°C y 20°C con la menor variación posible. Como el aire a mayor temperatura es capaz de contener mayor cantidad de agua, en una situación donde no hay intercambio de aire con el exterior, a humedad absoluta constante, el agua contenida en el aire se eleva hacia la zona de lectura.

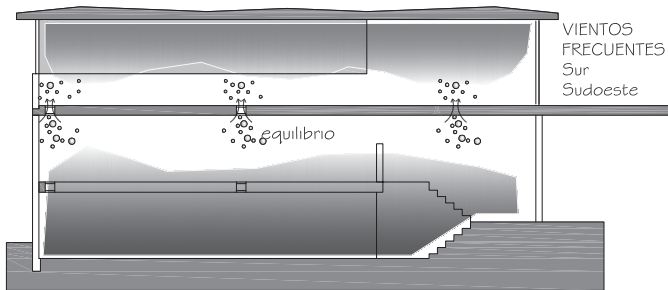


Figura 12. Estrategia de invierno.

Bajando la humedad relativa los materiales guardados van perdiendo su alto contenido de humedad y así el moho deja de crecer o se inactiva, hay que poner especial atención en esta situación, ya que una suba de la HR puede producir una activación y crecimientos no deseados.

### 5.3. Iluminación

Las dos funciones que se llevan a cabo en la biblioteca, guardado de libros por una parte y sala de lectura por otra implican condiciones de iluminación totalmente diferentes. La sala de guardado funciona correctamente ya que tiene pequeñas ventanas orientadas al sur por las que solo ingresa luz difusa con un promedio de 79.50 lux en mediciones realizadas sobre los estantes cercanos a las aberturas y 24.83 lux en los pun-

tos más alejados de las mismas. Como referencia, el valor de iluminancia recomendado para depósito de libros es de 50 a 100 lux (MAGÁN WALLS, J. A. 2001).

Sin embargo la sala de lectura con ventanas corridas recibe luz directa por la mañana y por la tarde generando disconfort y deslumbramiento.

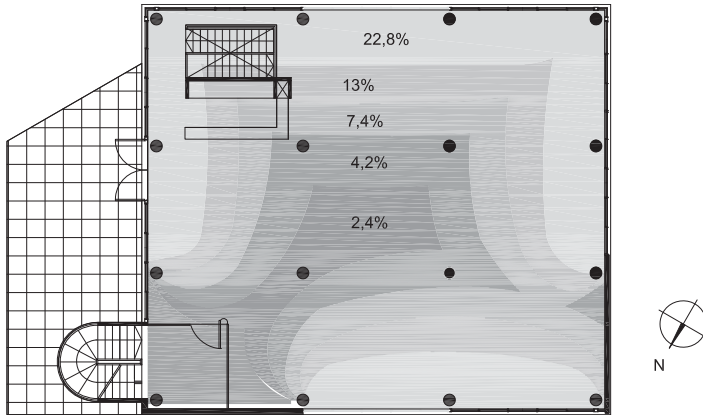


Figura 13. Incidencia de luz solar indirecta.

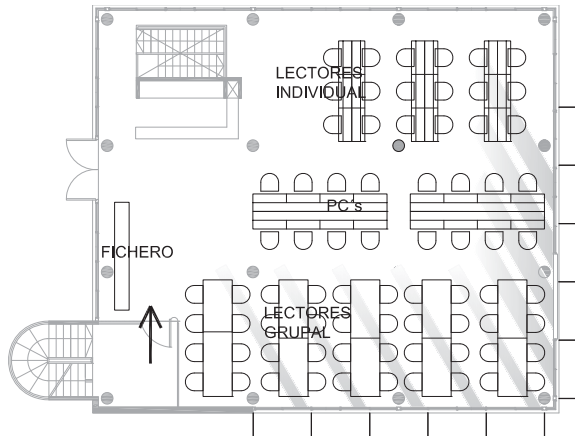


Figura 14. Reordenamiento de acuerdo al asoleamiento.

La parte más perjudicada por la incidencia del sol es el ángulo orientado hacia el noroeste, es por esto que se plantea proteger esa cara con parasoles verticales colocados con la modulación de la carpintería conformados por lamas de aluminio micro perforado, sujetadas tanto al muro como a la parte inferior del voladizo de la cubierta. El aluminio será de color natural gris claro para evitar el recalentamiento, con acabado satinado para que no emitan reflejo; y las microperforaciones permitirán obtener una visión difusa a través.



También es objeto de estudio la iluminación artificial. Se propone el reordenamiento de circuitos en anillos concéntricos individualizados. Así se pretende regular con independencia su accionamiento según su proximidad al paño de la fachada de vidrio. De esta manera existe la opción de ir encendiendo las luces a medida que se requiera, fomentando el ahorro energético con esta medida, entre otras que ya hemos mencionado.

El requerimiento para planos de trabajo o lectura, monitores de PC o mostradores de atención es de 500 lux a 90cm del suelo. Ésta necesidad será satisfecha mediante una iluminación general de 200 lux complementada en sectores localizados individualmente de 300 lux. De esta manera se reduce drásticamente el gasto en iluminación en gran parte de la franja horaria donde no se ocupa la totalidad de las mesas.

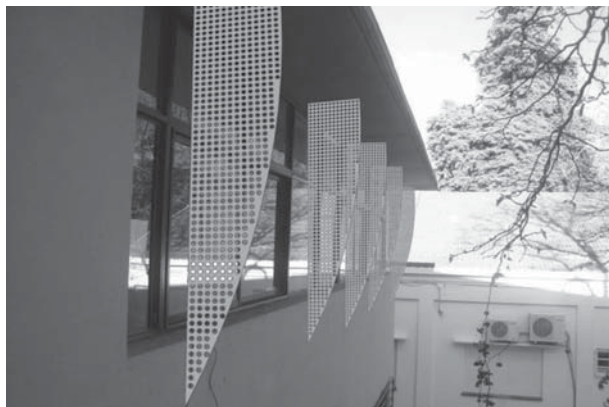


Figura 15. Montaje protección solar propuesta.

## 6. Conclusiones

Es posible obtener una biblioteca que funcione con los valores higrotérmicos que verifiquen normas internacionales utilizando pautas de diseño sustentable.

Obtener condiciones de confort globales depende, además del control del aire y la luz, de las acciones del personal y del público. Es indispensable contar con su colaboración para que estas medidas funcionen correctamente.

El aspecto de la iluminación para lectura se analiza, a diferencia de la humedad y la temperatura, desde un aspecto teórico. Las acciones llevadas a cabo en la sala de lectura generan una mejora sustancial en las condiciones de lectura y un ahorro considerable en el consumo de electricidad. Esta afirmación, si bien es real y probable a partir de experiencias análogas en trabajos de retrofit, es difícilmente mensurable en términos cuantitativos en ésta etapa de evolución del trabajo.

## 7. Referencias

- BELL, L; FAYE, B. *La concepción de los edificios de archivos en países tropicales*. UNESCO 1980.
- D'AGOSTINO, V. *Condizioni microclimatiche e di qualità dell'aria negli ambienti museali*. Tesis doctoral ciclo 2002/2005 Università Degli Studi di Nápoli Federico II.
- DE GUICHEN, G; DE TOPOL, BENOIT. *Climat dans le musee*. ICCROM, Roma, 68p.
- GÓMEZ, A. *Una aproximación al diseño ambientalmente consciente en espacios de guarda. Estudio de casos*. Seminario de Investigación en Museología de los países de habla portuguesa y española. Porto, Portugal. ISBN: 978-972-8932-61-9. Editor: Universidade do Porto / Faculdade de Letras / Biblioteca Digital. Año 2009.
- HERRÁEZ, J A; RODRIGUEZ LORITE, M A. *Manual para el uso de aparatos y toma de datos de las condiciones ambientales en museos*. Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Ministerio de Cultura. Madrid 1989.
- IRAM, Instituto Argentino de Normalización (2002). Serie de normas sobre acondicionamiento térmico de edificios. Norma 11603 – *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*; Norma 11601 – *Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario*; Norma 11604 – *Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites*; Norma 11605 – *“Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos”*.
- MAGÁN WALLS, J. A. *Temas de biblioteconomía universitaria y general*. Ed. Complutense, 2001. Pág. 170.
- OGDEN, S. (editora). *Temperatura, humedad relativa, luz y calidad del aire: pautas básicas para la preservación*. Manual de preservación de bibliotecas y archivos del Northeast Document Conservation Center. DIBAM-Chile, 2000.
- OLGAY, Victor. *Desing with climate. Bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton University Press. 1963.
- PATKUS, B. L. *Registro de la temperatura y la humedad relativa*. El manual de preservación de bibliotecas y archivos del northeast document conservation center. DIBAM-Chile, 2000.
- ROMERO, S. *La arquitectura de la biblioteca. Recomendaciones para un proyecto integral*. Barcelona, 2003. Pág. 16.

- SENDRA, J. J; *La investigación arquitectónica, el proyecto de arquitectura y el acondicionamiento ambiental en el proyecto de adecuación de la planta principal del Palacio de Carlos V de Granada*. 2006.
- THOMPSON, G. *Planning and design of library buildings*. 3rd ed. Architectural press library of planning and design. Butterworth & Co (Publishers) Ltd., 1989.
- THOMSON, G. *El museo y su entorno*. Akal Ediciones. Madrid 1998. Pág. 71.

Artículo publicado en las Actas del XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construido (ENTAC 2010). Canela, Brasil. Octubre de 2010. Organizado por la Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC).



# Desarrollo de herramientas para la evaluación del entorno ambiental en museos y edificios afines

Analia F. Gómez, Mauro García Santa Cruz, María de la Paz Diulio.

## 1. Resumen

Se presentan las estrategias y herramientas desarrolladas en el marco de un proyecto de I+D de la UNLP, donde se planteó la adecuación del procedimiento del Getty Conservation Institute (GCI).

El principal objetivo fue evaluar las necesidades ambientales e implementar soluciones sustentables. Uno de los primeros pasos en el proceso para establecer una estrategia de control ambiental es la evaluación de los diversos factores que pueden afectar la conservación y cuidado de las colecciones, con el propósito de desarrollar las soluciones apropiadas.

Las colecciones de los museos pueden deteriorarse debido a una serie de riesgos: la sensibilidad inherente de las colecciones debido a sus materiales, el clima y la respuesta del edificio a las condiciones climatológicas.

Con la evaluación se trata de describir la sensibilidad de las colecciones, el comportamiento del edificio, los riesgos que representa el medio ambiente y el hombre.

La evaluación para la conservación se realiza por medio de observaciones de las condiciones existentes y de la revisión de documentación adicional sobre el edificio, la colección y el entorno, además de una encuesta a ser realizada al personal del museo. La información recopilada permite el análisis de los riesgos presentes y potenciales para el edificio y su colección.

Para la realización de la encuesta se desarrolló un formulario virtual que nos permitió mejorar el nivel de participación a partir de la interactividad, y un manejo más ágil y simple de la información volcada en los distintos campos.

Palabras clave: Condiciones ambientales, Diseño Ambientalmente Consciente, Conservación preventiva, Patrimonio.

## 2. Introducción

Este trabajo se realizó en el marco de un proyecto de I+D de la UNLP, el principal objetivo fue evaluar las necesidades ambientales de los distintos espacios de los museos estudiados y de sus colecciones, para luego determinar e implementar las soluciones sustentables necesarias.

La evaluación se realizó a través de observaciones de las condiciones existentes y de la revisión de documentación adicional sobre el edificio, la colección y el entorno. Además se realizó una encuesta al personal del museo, que permitió detectar, luego de los primeros casos de estudio, la necesidad de generar una herramienta que nos permitiera mejorar el nivel de participación, y un manejo más ágil y simple de la información surgida de la encuesta.

Considerando estos requerimientos desarrollamos un formulario virtual que nos permite el acceso a la información a través de distintos formatos según el análisis que necesite realizarse. Pudiendo trabajarse en forma digital, con salida en formato impreso o en forma remota a través de un servidor.

### 3. Metodología

Se utilizó como guía la metodología aportada por el Getty Conservation Institute en el documento “Modelo propuesto para evaluar las necesidades de control del entorno museístico” (GCI-GETTY, 1999). El modelo se organiza en cinco puntos: antecedentes de la institución; macro ambiente del museo; edificio del museo; entorno de la colección; amenazas a la colección del museo y al edificio debidas a emergencias naturales u ocasionadas por el hombre.

La evaluación se organizó a partir de los siguientes pasos: primero se envió por e-mail la guía de preguntas a la persona que coordina las actividades en el museo, luego

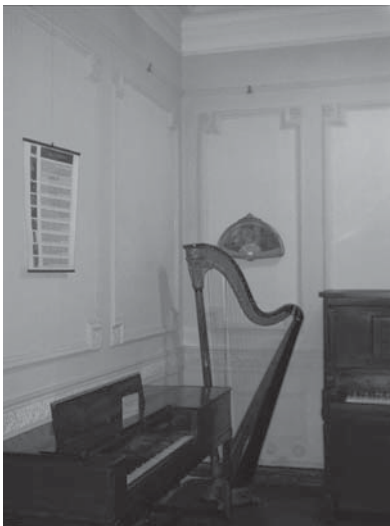


Imagen 1. Sala de Exposición.



Imagen 2. Espacio de Reserva.

**Relevamiento Museo de Instrumentos Musicales Dr. Azzarini UNLP.**

se pauteó una entrevista en la que se fueron abordando los temas propuestos por esta guía, en una tercera etapa se recorrió y relevó el museo con personal del mismo, tomando notas y fotografías.



Imagen 3. Galería de Acceso.



Imagen 4. Sala de Exposición.

#### **Relevamiento Museo de Física UNLP.**

## **4. Resultados**

Como resultado de este trabajo surge la encuesta virtual formada por cinco formularios en formato PDF que pueden ser completados con el programa gratuito Adobe Reader (versión 7 o superior). A continuación sintetizamos el contenido de los distintos formularios que componen la encuesta.

### **4.1. Formulario 1: Antecedentes de la Institución**

Contiene el nombre de la institución y datos de contacto. El tipo de institución (si se trata de un museo, biblioteca, archivo, casa histórica) y entidad administradora, además de la misión o propósito de la institución.

### **4.2. Formulario 2: Macro Ambiente del Museo**

Se describe el clima a partir de la temperatura, humedad relativa, precipitaciones, viento y radiación solar. Se analiza la calidad del aire, la presencia de gases contaminan-

**1. ANTECEDENTES DE LA INSTITUCIÓN**

1. Nombre de la institución:

2. Datos de la institución:

2.1. Domicilio:

2.2. Núm. de teléfono:

2.3. Fax:

2.4. Correo electrónico:

2.5. Pagina Web:

3. Tipo de institución:

A. Museo    B. Casa histórica    C. Biblioteca-archivo  
 D. Sitio histórico-arqueológico    E. Otro tipo

4. Fecha de fundación de la institución:

5. Entidad administradora (propietario de la institución y las colecciones):

A. Organización no gubernamental sin fines de lucro:  1. Pública  2. Privada  
 B. Gobierno nacional  
 C. Gobierno estatal/condal/provincial

Imagen 5: Sector de Pantalla del Formulario 1. Antecedentes de la Institución.

tes, macropartículas e insectos. Además se consideran la vegetación y construcciones cercanas al edificio.

### 4.3. Formulario 3: Edificio del Museo: Descripción

Se describe el comportamiento térmico del edificio a partir de las características de los materiales utilizados en la construcción. Se analizan las fuentes de humedad exteriores e interiores, la existencia de ventilación natural y mecánica, las aberturas que permiten el ingreso de luz natural. Se describen las características de la estructura, resistencia al viento, respuesta a actividades sísmicas. Además se evalúan la seguridad física del edificio y la protección contra incendios, considerando la existencia de sistemas de detección, alarma y extinción.

### 4.4. Formulario 4: Entorno de la Colección

Se detallan el tipo, uso, y las normas para el cuidado, exposición y almacenamiento de las colecciones. Se indican los materiales predominantes de la colección y las condiciones generales de su estado. Además se analizan los principales factores de riesgo para la colección, como la humedad relativa, radiación, contaminantes, agentes de biodeterioro.



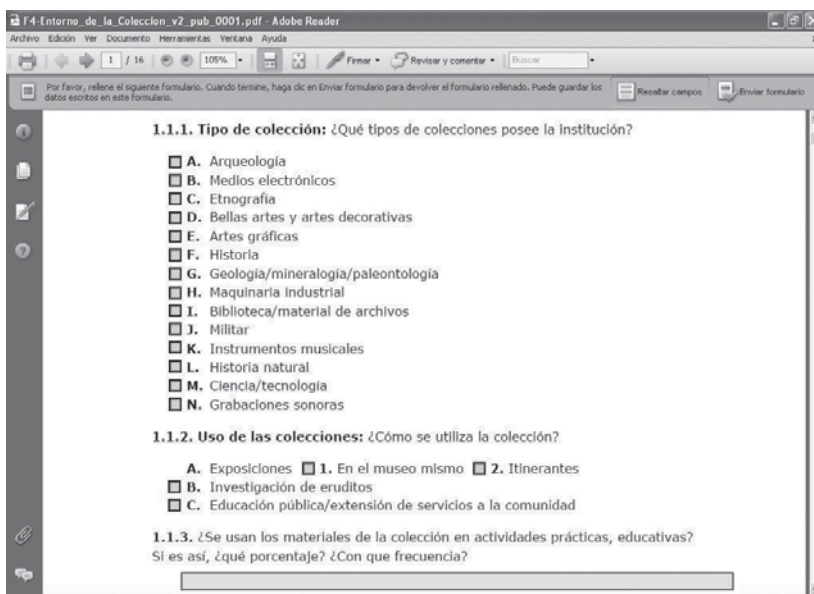


Imagen 6: Sector de Pantalla del Formulario 4. Entorno de la Colección.

#### 4.5. Formulario 5: Amenazas a la Colección del Museo y al Edificio debidas a Emergencias Naturales y ocasionadas por el Hombre

Se analiza el nivel de preparación de la institución y las posibles amenazas: incendios, vientos fuertes y huracanes, rayos, inundaciones, sismos, niveles de seguridad.

### 5. Conclusiones

La utilización de las estrategias y herramientas desarrolladas nos permitieron cumplir con el objetivo propuesto, esto es: mejorar el nivel de participación de las personas encuestadas a partir de la interactividad, y un manejo de la información de forma más ágil y simple, eliminando el tiempo dedicado a la transcripción de los datos en formato papel y la posibilidad de errores.

Si bien estas estrategias y herramientas fueron concebidas en un principio para ser utilizadas en la evaluación de museos, creemos que pueden utilizarse para analizar edificios que alberguen otros usos, teniendo en cuenta que la información detallada en los formularios macro-ambiente, características del edificio y amenazas tienen elementos comunes a distintos edificios como bibliotecas, archivos y centros culturales existentes en la región.

## 6. Bibliografía

- Avrami, E.; Dardes, K.; De la torre, M.; Harris, S.; Henry, M.; Jessup, W. contributors. 1999. *Evaluación para la Conservación: Modelo Propuesto para evaluar las Necesidades de Control del Entorno Museístico*. GCI, GETTY, USA.
- Bell, L; Faye, B. 1980. *La concepción de los edificios de archivos en países tropicales*. UNESCO
- Gómez, A. 2009. *Una aproximación al diseño ambientalmente consciente en espacios de guarda. Estudio de casos*. Seminario de Investigación en Museología de los países de habla portuguesa y española. Porto, Portugal. ISBN: 978-972-8932-61-9. Editor: Universidade do Porto / Faculdade de Letras / Biblioteca Digital.
- Gómez, A. et al. 2005. *Museo del Holocausto (Shoa) Fundación Memoria del Holocausto de la Ciudad de Buenos Aires, Argentina. Mediciones higrotérmicas en la Reserva*. ENCAC – ELACAC 2005.
- De Guichen, Gaël. 1984. *Climate in museums. Measurement*. Centre International pour la Conservation, ICCROM, Roma, 1998
- Michalski, S. 2007. *Cómo administrar un museo: manual práctico*. Capítulo 4: “Preservación de las Colecciones”
- Artim, Nick. 2000. *Introducción a la detección y alarmas de incendios*. En: Ogden, Sherelyn (editor). *El Manual de Preservación de Bibliotecas y Archivos del Northeast Document Conservation Center*. Santiago de Chile. Dibam Chile. Pp. 121–140.
- Lindblom Patkus, Beth; Motylewski, Karen. 2000. *Planificación para enfrentar desastres*. En: Ogden, Sherelyn (editor). *El Manual de Preservación de Bibliotecas y Archivos del Northeast Document Conservation Center*. Santiago de Chile. Dibam Chile. Pp. 141–148.
- Brown, Karen E. 2000. *Hoja de trabajo para esbozar un plan ante desastres*. En: Ogden, Sherelyn (editor). *El Manual de Preservación de Bibliotecas y Archivos del Northeast Document Conservation Center*. Santiago de Chile. Dibam Chile. Pp. 149–157.
- Subsecretaría de Patrimonio Cultural. Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. 2005. *Instructivo sobre pautas básicas de seguridad en el desarrollo de las distintas actividades*. Argentina.

Artículo publicado en las Actas de las VI Jornadas Técnicas sobre Conservación, Exhibición y Extensión Educativa en Museos. Trelew, Argentina. Noviembre de 2010. Organizadas por el Museo Histórico Policial, la Universidad Nacional de la Patagonia, la Secretaría de Cultura de la Provincia del Chubut y la Municipalidad de Trelew.

Sección 06 | **Edificios Educativos**  
Evaluación y Diagnóstico



# Modelo de escuela rural en microclima platense a partir de diseño ambientalmente consciente y simulación con EnergyPlus

Mariela I. Marcilese, Jorge D. Czajkowski, Mauro García Santa Cruz.

## 1. Resumen

En el presente trabajo se recurre a un modelo edilicio ideal para la educación escolar básica, aplicable a zonas rurales de la ciudad de La Plata que se base en principios de diseño ambientalmente consciente (DAC). El objetivo es conocer el comportamiento térmico del modelo escolar mediante simulación numérica con el programa EnergyPlus. A partir del análisis de los resultados obtenidos, se procederá con las modificaciones pertinentes en el diseño del modelo a fin de conseguir mejorar su comportamiento frente a las variaciones climáticas a las que el mismo estaría sujeto. Este edificio escolar no sólo propone dar respuesta a necesidades funcionales sino que intenta colaborar con el cuidado del ambiente, además de funcionar como un objeto de aprendizaje-estudio en sí mismo.

Palabras clave: modelo edilicio, escuela, simulación térmica, sustentable.

## 2. Introducción

El presente trabajo se encuentra bajo las líneas de investigación que se desarrollan en el Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UNLP, orientada hacia la eficiencia energética edilicia en áreas urbanas. La relevancia del tema tiene que ver con dos problemáticas actuales que no pueden obviarse: la escasez de recursos y el cambio climático. Estas dos problemáticas son responsables del deterioro ambiental que se viene padeciendo, y en donde la construcción arquitectónica y urbana tiene un grado de incidencia significativo (IPCC, 2007). Teniendo en cuenta la gran repercusión que la industria de la construcción tiene sobre el ambiente, la arquitectura no puede quedar sólo limitada a ordenar espacios. Forma y diseño, uso racional de los recursos, compatibilidad entre tecnología y naturaleza deberían complementarse en función de edificios que minimicen su huella en el ambiente natural (FILIPPIN, 2005). Un edificio sería “inteligentemente diseñado, construido y utilizado” si utilizara recursos renovables, materiales reciclados, no contaminantes, envolventes que ahorren al máximo la energía, etc. En el mejor de los casos, que produzca su propia energía, que utilice equipos de alto rendimiento y que a lo largo de su vida útil no produzca un gasto mayor al de su costo inicial (CZAJKOWSKI & GÓMEZ, 2007). Existen profesionales que han incursionado en la construcción de escuelas sustentables dentro del contexto internacional así como en el territorio argentino. En el caso de las residencias estudiantiles de la Universidad de Strathclyde, en Glasgow, Inglaterra, que datan del año 1987, se utiliza un sistema solar pasivo como fuente de calor para conseguir el confort térmico en el interior de los locales. En la Argentina se han construido escuelas

que buscan integrar principios de respeto por el ambiente a los sitios pedagógicos tratando el contexto rural con el fin de reducir el impacto e incursionando en estrategias de acondicionamiento climático que reduzcan la demanda de energía para calentar o enfriar el edificio (FILIPPIN, 2005).

En base a los antecedentes, consideramos posible pensar en la posibilidad de colaborar con la mitigación del calentamiento global a partir de considerar al edificio escolar sustentable como instrumento de educación para las nuevas generaciones de ciudadanos. Para tener noción de la eficiencia de estos edificios en etapa de proyecto se han realizado simulaciones numéricas con diversos softwares. Para ello, es importante tener en cuenta el factor de ocupación del edificio, las actividades que sus ocupantes desarrollan y en qué momento. Al tratarse de una escuela, la ocupación es de carácter intermitente y funcionamiento discontinuo. Estos datos son relevantes a la hora de pensar en los sistemas de acondicionamiento térmico del establecimiento y a su vez respecto de los sistemas de iluminación, ya que el ciclo diario de actividad escolar coincide con las horas de luz natural. Esto hace factible pensar que las necesidades de iluminación artificial son considerablemente bajas. Por otro lado, se trata de espacios muy densamente ocupados. Esto es proporcional al calor generado en el interior y hace necesario pensar que mantener la calidad del aire requiere ser renovado un mayor número de veces (SAN JUAN Y HOSES, 2001).

## **2.1. Transformación de las escuelas rurales a nivel local**

Los dos primeros modelos de escuelas rurales en la ciudad de La Plata datan de la época de su fundación, año 1882. Se trató de dos tipos arquitectónicos: la Escuela Rural Ambulante, pensando en la movilidad de la población campesina y la Escuela Rural Fija, para construir en pueblos establecidos. Hacia fines de los años '30 se incorporan otras tipologías de escuelas, tanto urbanas como rurales, adaptadas a las nuevas tecnologías de la época: estructuras de H<sup>2</sup>A<sup>2</sup> (hormigón armado), amplios paños de vidrio y estética depurada (LONGONI, 2009). En los años '50 luego de un relevamiento del parque escolar existente, se planificó la construcción de casi mil escuelas rurales bajo el Plan Mercante (PANELLA, 2005). Según datos del Ministerio de Educación, desde ese momento hasta la actualidad, no hubo plan alguno de parte del Estado Nacional para la construcción de escuelas rurales. Existe un programa Nacional referido al ámbito educativo rural -Proyecto de Mejoramiento de las Escuelas Rurales- vigente desde 2008, el cual no apunta a la construcción de nuevos establecimientos sino a la refacción, ampliación, y mejoramiento de los existentes. Teniendo en cuenta lo referente a los planes impulsados por el Estado y que la provincia de Buenos Aires cuenta con 2783 escuelas rurales, según un relevamiento realizado por el Ministerio de Educación de la Nación en el año 2009, se podría pensar que el parque educativo rural se encuentra desactualizado. Por otro lado, resulta corriente en la obra pública de nuestro país la construcción de edificios prototípicos (con un mismo sistema constructivo y misma expresión formal) que se repiten indiscriminadamente en las variadas zonas bioclimáticas que ofrece nuestro territorio pudiendo no resultar eficientes en todos los casos (FILIPPIN, 2005). Para el desarrollo de este trabajo, se tomó como ejemplo a intervenir una escuela rural existente en la

región bonaerense. Se trata de la EGB N°8 localizada en Gral. Rodríguez y es uno de los ejemplos de escuelas del Plan Mercante antes mencionado. Este establecimiento no parece tener en cuenta orientación ni factores climáticos ya que se encuentra construido de manera uniforme en toda su extensión. En lo que a sistemas constructivos se refiere, en Argentina, estos pueden sintetizarse en unos pocos: estructura independiente de HºAº y muros de ladrillo cerámico hueco (entre 12 cm y 18 cm de espesor) revocado en ambas caras. Las cubiertas inclinadas se resuelven con chapa acanalada y si se trata de cubiertas planas, se utilizan losas de HºAº in situ o prefabricadas. Estas soluciones han sido impulsadas por la progresiva desaparición de “especialistas de obra”, figuras que han sido reemplazadas por operarios que manejan sistemas constructivos relativamente simples y así abarcan gran parte de la construcción de una obra.

### **3. Objetivo**

El propósito de este artículo es plantear un modelo edilicio ideal para la educación escolar básica, basado en principios de diseño ambientalmente consciente y teniendo en cuenta los sistemas constructivos de mayor aplicación en el país. Por otro lado, se realiza la simulación térmica del mismo mediante el programa EnergyPlus. A partir del análisis de los resultados obtenidos, se procederá a realizar las correcciones necesarias en el diseño a fin de conseguir mejorar su comportamiento frente a las variaciones climáticas a las que el mismo estaría sujeto, pretendiendo así que estas modificaciones pudieran servir como un ejemplo aplicable a la realidad tecnológica de nuestro país.

### **4. Metodología**

#### **4.1. Propuesta de modelo ideal de edificio para la educación básica en el microclima rural platense en base a diseño ambientalmente consciente**

Al plantear un proyecto ambientalmente consciente se pretende que sea sensible a su entorno, que responda a las condicionantes climáticas y de emplazamiento, que utilice materiales de bajo contenido energético, consumo racional del agua, uso eficiente de la energía e incorporación de energías renovables y cuidado de la calidad del ambiente interior, entre otras cosas.

Se propone un modelo de escuela localizado en el área rural de La Plata, provincia de Buenos Aires. Esta región está clasificada como III-Templada cálida, subzona III-b cálida-húmeda (Norma IRAM 11603), correspondiente a Cwb en la clasificación de Koppen. Se caracteriza por el alto nivel de humedad (entre 70% y 85%) y amplitudes térmicas menores a 14°C. Para esta zona, existen ciertas recomendaciones de diseño a tener en cuenta (CZAJKOWSKI Y GÓMEZ, 2009):

- Orientación óptima NNO-N-NNE / Aprovechar los vientos predominantes.
- Utilizar colores claros. En techos, el doble de aislamiento térmico que en muros.

- Terrazas jardín, techos invertidos, fachadas ventiladas, carpinterías con protección solar móvil.
- Verificar que en invierno se cumplan dos horas mínimas de sol en los locales principales.
- Materiales recomendados con una masa térmica media de 200 a 300kg/m<sup>2</sup>.

Las escuelas rurales se implantan generalmente en espacios abiertos con baja densidad de población, donde una gran proporción del área no se encuentra habitada y esa tierra es utilizada para producción. Suelen contar con 2 a 4 aulas, un salón de usos múltiples con un área de servicio de apoyo, sanitarios y una habitación para el maestro. (MECyT, 2007). El programa concreto para este trabajo comprende: dos aulas, un salón de usos múltiples (SUM), habitación para el maestro, cocina, sanitarios, depósito y una zona de huerta al aire libre. La escuela se organiza en una planta de forma lineal y recibe la mejor orientación en la fachada longitudinal, hacia donde se ubican aulas y SUM. Según funciones, la planta del proyecto se puede analizar en cuatro sectores:

- Circulación: es de doble crujía, con posibilidad de abrirse en sus extremos para lograr corrientes de ventilación que refresquen todo el edificio. Está iluminado naturalmente en forma cenital.
- Zona de servicios (sanitarios, cocina, depósitos): orientados al sur. Posee una superficie de ventanas mínima y una protección de tierra natural que funciona como masa térmica. Sobre la cubierta, se ubican paneles de ACS, fotovoltaicos y tanques de agua.
- Aulas y SUM: poseen ganancia solar directa y sistemas solares pasivos para calentamiento del aire interior. Las carpinterías tienen incorporado un medio de ventilación independiente en la zona superior que permite regular las condiciones del aire interior. El control de la temperatura así como de la iluminación se consigue a través de una galería a lo largo de la fachada norte.
- Espacios exteriores y patio interno: los espacios exteriores tienen en cuenta el confort visual general del edificio y favorecen el confort térmico interior. Hacia el E y S se plantea vegetación de baja altura que no interfiere en el paso de los rayos de sol de la mañana y no den sombra. Al O y N se proponen árboles de mayor altura que protejan del sol y refresquen el área en épocas de calor, y actúen contrariamente en épocas frías. En el centro de la planta se propuso un patio interno para airear el corazón del edificio, además permite integrar los espacios adyacentes en forma física y visual.



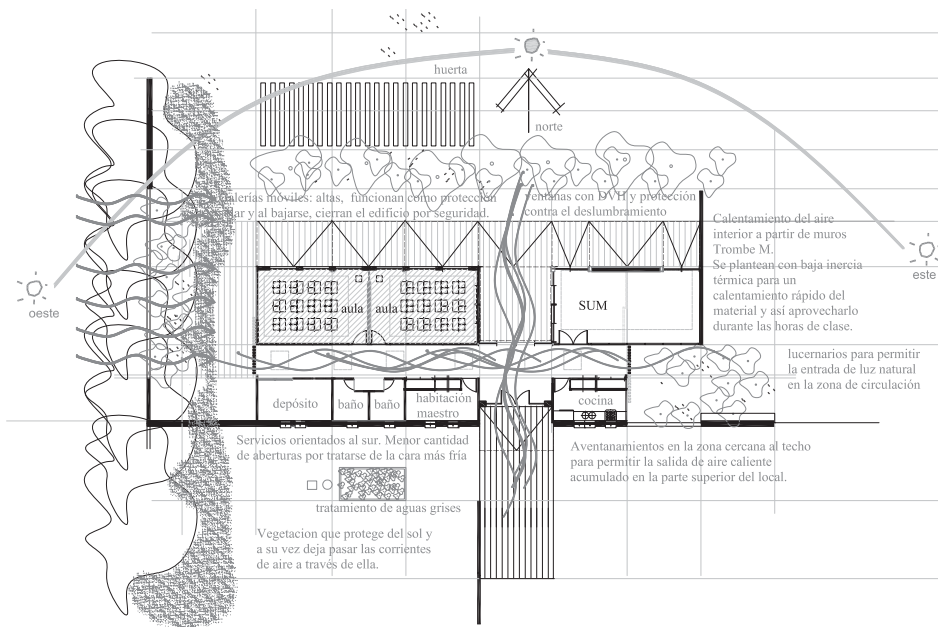


Imagen 1. Modelo de planta de escuela ideal con principios de diseño ambientalmente consciente.

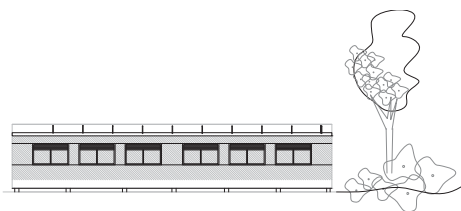


Imagen 2. Modelo de fachada norte del sector de aulas.  
Relación vidrio/opaco= 0.22. Relación vidrio/sup. de local=0.13

## 4.2. Propuesta de dos sistemas constructivos aplicables al modelo de escuela ideal

### 4.2.1. Sistema de construcción tradicional local

La elección de materiales se hizo en base al relevamiento del parque educativo actual a partir de documentación gráfica facilitada por el Ministerio de Educación de la Provincia de Buenos Aires.

- Estructura: HºAº (bajo contenido energético, parte del hormigón puede ser reciclado)  $K=2,64 \text{ W/m}^2\text{K}$

- Cerramientos opacos: revoque exterior + mampostería de ladrillo hueco de 18cm + revoque interior:  $K=1,63 \text{ W/m}^2\text{K}$

- Cerramientos vidriados: vidrio simple 5mm:  $K=5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$

Cubierta: chapa + aislación térmica con EPS esp. 2,5 cm + machimbre madera pino:  $K=0,72\text{W/m}^2\text{K}$

Coefficiente global de transmitancia térmica de esta envolvente:  $K'm =1,50\text{W/m}^2\text{K}$  (IRAM 11900) Este coeficiente se calcula según la siguiente fórmula:

$$K'_m = \frac{\sum_1^n (K_i \cdot S_i)}{\sum_1^n S_i} \quad [\text{Eq. 01}]$$

(S= superficie, en m<sup>2</sup>)

Según la Norma IRAM 11549, el coeficiente K de transmitancia térmica indica el flujo de calor a través de la unidad de superficie de un elemento constructivo sujeto a una diferencia de temperatura del aire en ambos lados del elemento de 1°C, y se calcula de acuerdo con el método y las características térmicas de materiales y capas constructivas indicados en la norma IRAM 11601.

#### 4.2.2. Sistema de construcción propuesto

En cuanto a la elección de los materiales y sistemas constructivos, un edificio ambientalmente consciente busca aquellos con menor contenido energético y mayor rendimiento térmico (THERMIE, 2007). Estas propiedades se encuentran a partir del análisis de su proceso de fabricación. En base a esto se hizo la elección para cada parte del edificio:

- Estructura: Hº Aº (bajo contenido energético, parte del hormigón puede ser reciclado):  $K=2,64 \text{ W/m}^2\text{K}$

- Cerramientos opacos: revoque exterior + mampostería de ladrillo hueco de 18cm + aislamiento térmico con EPS esp. 5cm + mampostería de ladrillo hueco de 18cm + revoque interior:  $K=0,41\text{W/m}^2\text{K}$

- Cerramientos vidriados: doble vidriado hermético (DVH):  $K=2,85\text{W/m}^2\text{K}$

- Cubierta: chapa + aislamiento térmico con EPS esp. 10cm + cámara de aire:  $K=0,39\text{W/m}^2\text{K}$

Coefficiente global de transmitancia térmica de esta envolvente:  $K'm =0,60\text{W/m}^2\text{K}$

### **4.3. Simulación**

La simulación del comportamiento térmico de un edificio es fundamental para comprender cómo funcionan cada uno de los elementos que lo componen (paredes, ventanas, puertas, etc) y predecir de antemano qué puede esperarse del mismo bajo determinadas condiciones climáticas (FILIPPIN, 2005).

Se realizó el modelo escolar ideal aplicando en la envolvente tanto el sistema constructivo tradicional como el propuesto. Ambos casos se simularon en periodos de actividad escolar: durante una semana en época de calor (del 1° al 8° de marzo) y durante una semana en época de frío (del 1° al 8 de julio), sin considerar sistemas de calefacción ni refrigeración. Bajo estas condiciones se manejaron las variables con y sin alumnos, es decir, con y sin ganancias internas de calor. Los valores correspondientes a las cargas por alumnos son aproximadamente de 3640W (104W por alumno) y 150W para iluminación. Por otro lado, se regularon las tasas de ventilación para que durante el invierno hubiera 1 renovación por hora del volumen a calefaccionar de manera continua durante todo el día. En verano se aplicaron 100 renovaciones para el horario de 19hs a 7hs (momento donde no hay alumnos) y luego 5 renovaciones en horario escolar.

#### **4.3.1. Resultados de simulación sin considerar cargas internas**

Durante el período de marzo analizado se observa que la temperatura exterior comienza su evolución y alcanza el punto máximo el día 4, llegando a un  $\Delta T=10$  °C. Las temperaturas interiores registradas con el sistema constructivo propuesto acompañan esa pendiente con diferencias de temperatura que oscilan entre 3°C y 4°C mientras que con el sistema tradicional, el  $\Delta T$  es tan significativo que prácticamente no existe amortiguación respecto del exterior (Figura 3). En la semana de julio se observan amplitudes térmicas exteriores cercanas a los 13°C, mientras que en el interior de las aulas las curvas no superan los 7°C independientemente del sistema constructivo (Figura 4).

#### **4.3.2. Resultados de simulación que consideran cargas internas**

En este caso, se tuvieron en cuenta las cargas internas para el análisis. En la semana de marzo, las curvas comienzan ascendentes y en forma simultánea hasta el día 3. Para el día crítico (día 4) las máximas registradas exteriores son de 33°C y las interiores entre 33°C y 35°C, y luego logran estabilizarse hasta el final del período, independientemente de las variaciones que transcurren fuera del edificio (Figura 5). En los resultados de julio, se alcanzan temperaturas interiores cercanas a lo que podría ser considerada Temp. de confort (22°C) con ambos sistemas constructivos. Se mantiene además, un  $\Delta T=10$  °C constante entre los días 2 y 5, mientras que las temperaturas exteriores descienden a partir del día 4 y en adelante (Figura 6).

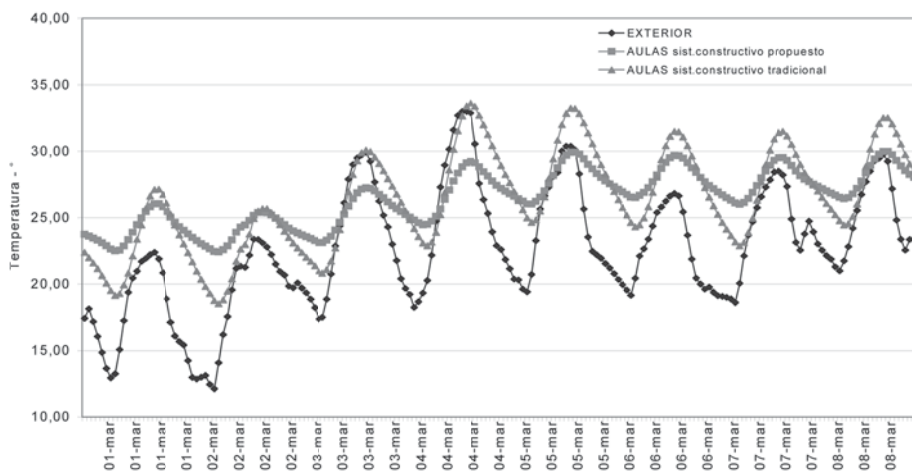


Figura 3. Comportamiento térmico verano en aulas resueltas con sistemas constructivos tradicionales y con sistemas constructivos propuestos sin tener en consideración las cargas internas. Entre el 1° y el 8 de marzo.

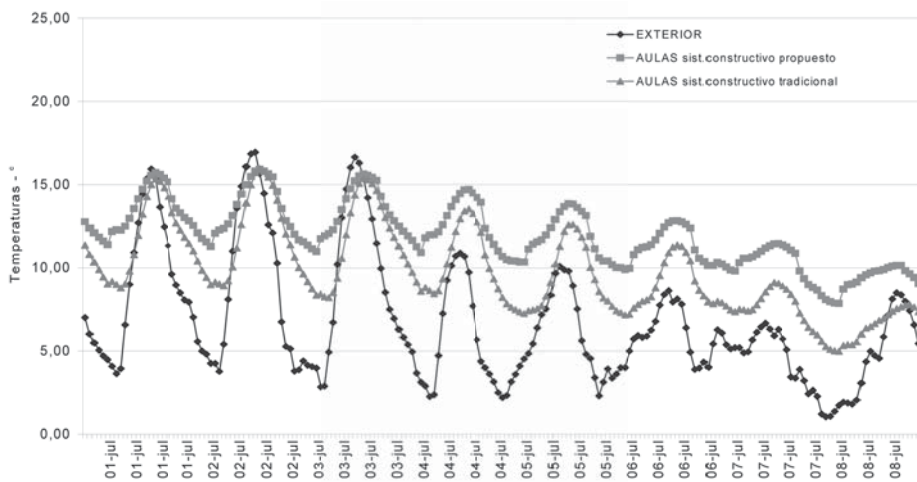


Figura 4. Comportamiento térmico invierno en aulas resueltas con sistemas constructivos tradicionales y con sistemas constructivos propuestos sin tener en consideración las cargas internas. Entre el 1° y el 8 de julio.

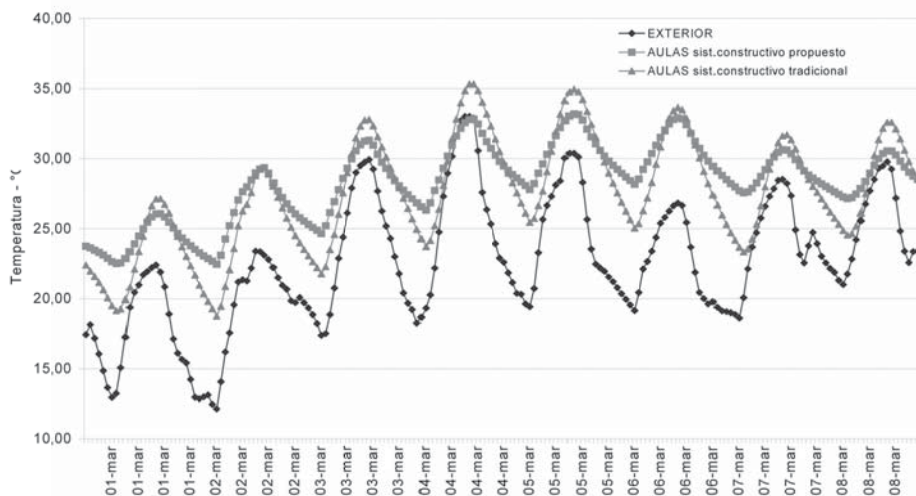


Figura 5. Comportamiento térmico verano en aulas resueltas con sistemas constructivos tradicionales y con sistemas constructivos propuestos teniendo en consideración las cargas internas. Entre el 1° y el 8 de marzo.

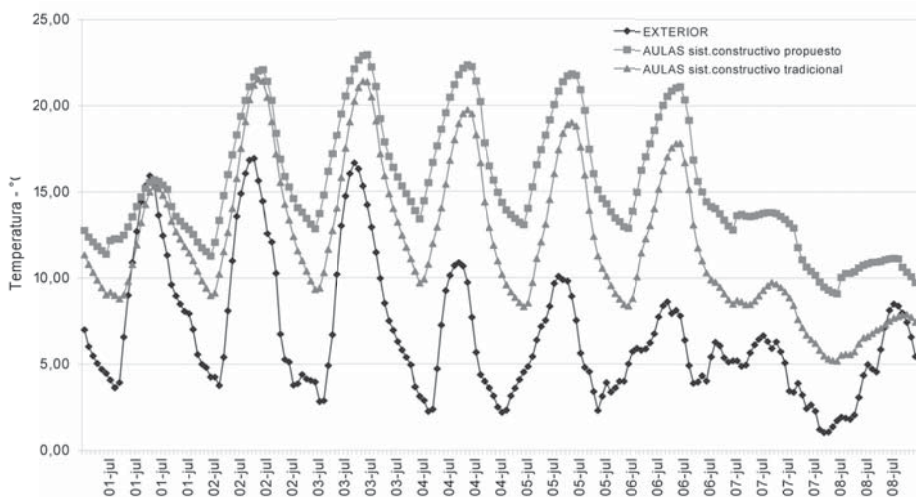


Figura 6. Comportamiento térmico invierno en aulas resueltas con sistemas constructivos tradicionales y con sistemas constructivos propuestos teniendo en consideración las cargas internas. Entre el 1° y el 8 de julio

#### 4.4. Propuesta de mejoras para una escuela rural existente

Según una publicación del diario Clarín, mediante un acuerdo entre la Secretaría de Energía de la Nación y la provincia de Buenos Aires, se prevee incorporar energía solar para iluminación, bombeo de agua y electrodomésticos en 238 establecimientos educativos rurales de 44 distritos bonaerenses que están aislados de los sistemas convencionales. Teniendo en cuenta estos factores y que el Estado Nacional esta llevando a cabo el plan ProMer antes mencionado, se podría pensar en el mejoramiento de las escuelas rurales a partir de varias alternativas tanto vinculadas a las técnicas constructivas como al diseño DAC.

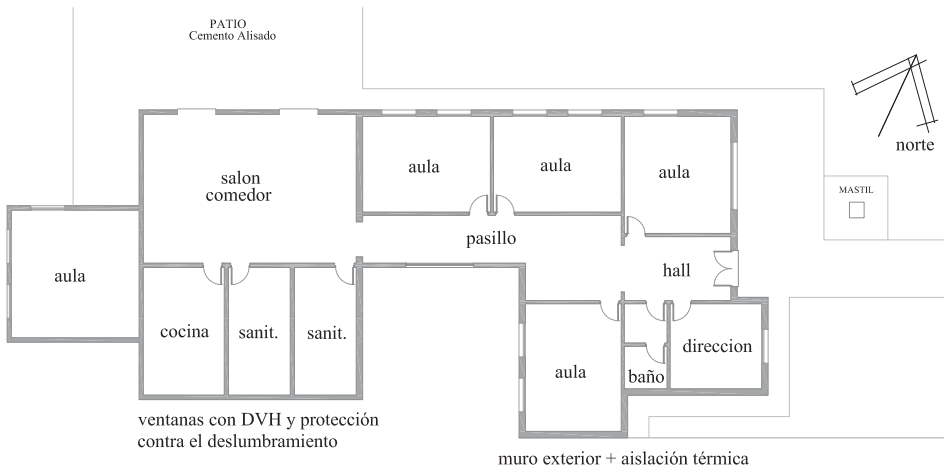


Figura 7. Escuela Nº 8 en Gral. Rodríguez, Buenos Aires. Documentación facilitada por el Dto. de Hábitat Escolar del Ministerio de Educación de la Provincia de Buenos Aires.

Tomando cuestiones de diseño DAC ejemplificadas en el modelo ideal escolar mencionado y aplicando las técnicas constructivas analizadas con EnergyPlus, se proponen modificaciones en la escuela que podrían mejorar su desempeño desde el punto de vista energético en base a los siguientes conceptos:

- Dotar de protección solar en verano: la fachada NO es la más afectada por el sol en épocas de calor, por lo que se busca su amortiguación a través de un sistema de galerías. La optimización del control solar es la técnica que permite no proyectar más sombra de la necesaria y asegurar que dicha sombra se proyecte en el punto y momento requerido (TRUJILLO, 2007). Además, los árboles y arbustos pueden reducir las temperaturas en épocas de calor hasta 3°C (THERMIE, 2007), por lo que se justificaría la incorporación de una pantalla verde paralela a la fachada. También funcionan como barreras reductoras de velocidad de vientos.

- Garantizar asoleamiento en invierno: considerando al ángulo de incidencia solar en invierno y la extensión de la galería, se garantiza el ingreso de iluminación natural y calor en el interior de las aulas.

- Mejoramiento de la envolvente edilicia: se propone la incorporación de un muro con aislamiento térmico por el exterior del muro existente, de manera que mejore el comportamiento del edificio sin restar superficie útil en el interior. Las pérdidas de calor a través de las cubiertas son considerables debido a la amplia superficie y su relación directa con la bóveda celeste por lo que debería aumentarse la aislación. Además, en el muro nuevo se colocaría una segunda carpintería con DVH con el fin de que la nueva envolvente mantenga un nivel de K coherente tanto en muros opacos como en superficies vidriadas y en cubierta.



Figura 8. Fotomontaje de la fachada NO, con la galería y la pantalla verde.

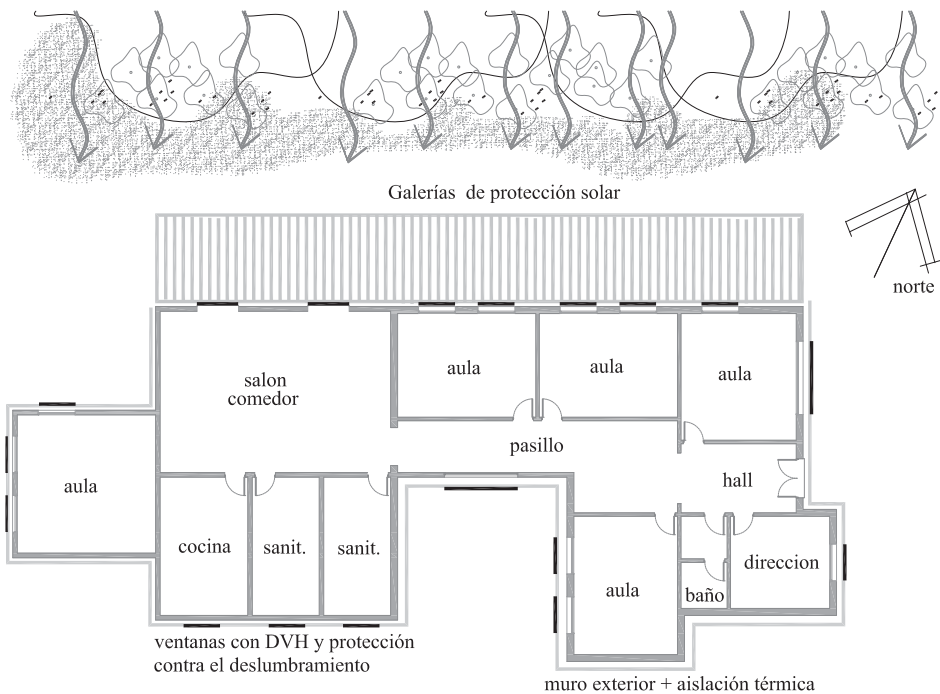


Figura 9. Planta de la escuela con las modificaciones propuestas.

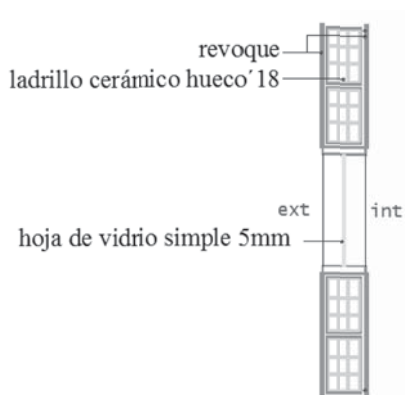


Figura 10.A. Detalle del muro y carpintería originales.

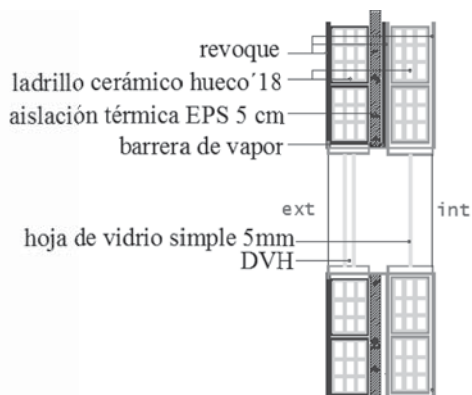


Figura 10.B. Detalle del muro exterior con aislamiento térmico y carpintería DVH.



## 5. Análisis de Resultados

Las simulaciones realizadas manifiestan que el aislamiento térmico logra mejoras relativamente significativas pero que éstas podrían mejorarse aún más con sistemas pasivos de climatización y con la incorporación de materiales de mayor inercia térmica. A modo indicativo, los materiales utilizados para este trabajo poseen una relación masa x unidad de superficie de aproximadamente  $100 \text{ kg/m}^2$  a  $200 \text{ kg/m}^2$ ; resultando insuficiente.

## 6. Conclusiones

Debido al continuo crecimiento de la población en las ciudades, las escuelas rurales tienden a ser absorbidas por la mancha urbana y es frecuente que se encuentren ante la necesidad de ampliar su establecimiento de manera de poder albergar a los nuevos alumnos, además de las necesidades de mantenimiento habituales. El tratarse de una obra pública, generalmente, cuenta con un presupuesto restringido tanto en la fase de construcción como en el futuro mantenimiento. A esto se suma que se está interviniendo en áreas despobladas y alejadas de los centros urbanos, razón por la cual el acceso de mano de obra y materiales se dificulta. Un cerramiento de mayor calidad puede resultar costoso, pero mejora el equilibrio entre las pérdidas y ganancias de calor y reduce las necesidades de calefacción y refrigeración, por lo que ese sobre costo inicial se compensa. Este trabajo propone una alternativa relativamente eficiente desde el punto de vista energético con la que se podrían llegar a edificar dichas escuelas.

A partir de las simulaciones se deduce que el modelo edilicio requiere de mayor masa térmica interior (entre  $300 \text{ kg/m}^2$  y  $500 \text{ kg/m}^2$ ), principalmente en verano, además de mejoras en los sistemas pasivos de ventilación. Para invierno es necesario agregar muros colectores acumuladores. Es factible pensar que con pocas modificaciones en la envolvente y en su entorno inmediato, las escuelas rurales de la región bonaerense tienen posibilidades de mejorar significativamente su comportamiento energético a un costo razonable.

## 7. Bibliografía

- Czajkowski, J.; Gómez A. (2009). *Arquitectura Sustentable*. Edit. Clarín, Buenos Aires, Argentina. ISBN 978-987-07-0603-8.
- Czajkowski, J.; Gómez A. (1994). *Diseño Bioclimático y Economía Energética Edilicia*. Edit. UNLP, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Filippín, C. (2005). *Energía Eficiente. Uso Eficiente de la Energía en Edificios*. Ediciones Amerindia. Argentina. ISBN 987-95213-3-1
- Goulding, J; Lewis, J. (1999) *European Directory Of Sustainable and Energy-Efficient Building*. James and James. Londres.
- INTERGOBERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the IPCC*. Disponible en < <http://ipcc.ch/index.htm>>.
- IRAM Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Serie de normas sobre acondicionamiento térmico de edificios, 1990-1999. IRAM 11549: "Aislamiento Térmico de Edificios". IRAM 11601: "Método de cálculo de la resistencia térmica de muros y techos". IRAM 11603: "Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina". Buenos Aires. IRAM 11900: "Etiqueta de Eficiencia Energética de Calefacción para Edificios"
- Longoni, R (2005). *Notas Sobre la Evolución de la Arquitectura Escolar Bonaerense entre 1849-1952*. Buenos Aires, Argentina.
- Mazria, E. (1983). *El Libro de la Energía Solar Pasiva*. Ed. Gili. ISBN 968-6085-76-9
- Ministerio de Educación de la Provincia de Buenos Aires. Dirección de Infraestructura. Disponible en < <http://168.83.82.109/infra/lineasdeaccion/promer.php>>. Acceso en: 12 mar. 2010
- Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación (1998). *Criterios y Normativa Básica de Arquitectura Escolar*. Argentina.
- Panella, C. (2005). *El gobierno de Domingo Mercante en Buenos Aires. Un caso de peronismo provincial*. Argentina. ISBN 987-21809-3-8
- Salazar Trujillo, J. (2007). *Fachadas de Doble Piel y Optimización del Control Solar. Edificio de Aulas en Medellín, Colombia*. En: IX ENCONTRO NACIONAL E LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO. Ouro Preto, Brasil ENCAC p. 1887-1896.
- San Juan, G; Hoses, S. (2001). *Arquitectura Educacional. Investigación y Transferencia*. Buenos Aires, Argentina. ISBN 950-34-0227-1

- Thermie. (2007). *Un Vitruvio Ecológico. Principios y Práctica del Proyecto Arquitectónico Sostenible*. Barcelona. ISBN 978-84-252-2155-2

## **8. Agradecimientos**

Los autores queremos agradecer al Arq. René Longoni, Investigador del Instituto de Investigaciones en Historia, Teoría y Praxis de la Arquitectura y la Ciudad (HITEPAC-FAU-UNLP), al personal del Dto. de Hábitat Escolar del Ministerio de Educación de la Prov. de Buenos Aires y a los integrantes del Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable (LAyHS- FAU – UNLP).

Artículo publicado en las Actas del XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construido (ENTAC 2010). Canela, Brasil. Octubre de 2010. Organizado por la Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC).

Se terminó de imprimir en Impresiones Dunken  
Ayacucho 357 (C1025AAG) Buenos Aires  
Telefax: 4954-7700 / 4954-7300  
E-mail: [info@dunken.com.ar](mailto:info@dunken.com.ar)  
[www.dunken.com.ar](http://www.dunken.com.ar)  
Abril de 2012