

SISTEMAS SOLARES PASIVOS EN LA ARGENTINA

Muros acumuladores de calor (MAC) como estrategia de climatización en los sectores residencial y agro-productivo

Carlos Alberto Discoli

Graciela Melisa Viegas

Juan Ignacio Jodra



IIPAC/CONICET-UNLP



Dr. Carlos Alberto Discoli. IIPAC/CONICET-UNLP. Investigador Principal del CONICET. Doctor en Ciencias de la Universidad Nacional de Salta. Máster en Ambiente y Patología Ambiental de la Universidad Nacional de La Plata en convenio con la Escuela de los Altos Estudios de Siena, Italia. Ingeniero Mecánico de la UTN, Regional la Plata. Director de proyectos de investigación CONICET, ANPCyT y UNLP; cuenta con 14 libros publicados de diferentes temáticas, y con más de 184 publicaciones científicas de carácter internacional, regional y nacional. Ha asistido como expositor a múltiples congresos desde 1984.

Dra. Graciela Melisa Viegas. IIPAC/CONICET-UNLP. Investigadora de CONICET. Doctora en Ciencias (Área Energías renovables) de la Universidad Nacional de Salta. Arquitecta de la Universidad Nacional de La Plata. Docente de grado y posgrado. Directora e integrante de proyectos de investigación CONICET, ANPCyT y UNLP. Cuenta con publicaciones en libros, capítulos de libros, y artículos científicos de carácter nacional e internacional, así como patentes de desarrollos tecnológicos. Ha desarrollado numerosos trabajos de extensión universitaria y transferencia de tecnologías. Ha asistido como expositora a múltiples congresos desde el año 2004.



Dr. Juan Ignacio Jodra. IIPAC/CONICET-UNLP. Ingeniero Mecánico. Doctor en Ciencias (Área Energías renovables) de la Universidad Nacional de Salta. Becario doctoral CONICET 2015-2020, periodo en el que desarrolló su tesis doctoral: “Sistema modular acumulador/amortiguador de calor –solar térmico- como alternativa de sustitución energética sobre espacios múltiples. Participó en proyectos de transferencia tecnológica en vinculación con el Instituto de la vivienda de la Pcia. De Buenos Aires, y la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la UNLP.

I I P A C

Instituto de Investigaciones y Políticas
del Ambiente Construido

CONICET



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

El Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC), es una unidad ejecutora de doble dependencia del CONICET y la UNLP cuya sede se encuentra emplazada en la Facultad de Arquitectura y urbanismo. Es una Unidad de Investigación científico-tecnológica especializada en: Arquitectura, Urbanismo, Diseño Bioclimático, Energía, Transporte, Desarrollo urbano, Sociología Urbana, Cambio climático, Producción Social del Hábitat y Sociología de las organizaciones, integrados en cinco líneas de investigación con intereses comunes, vinculados a la formación de recursos humanos de grado y postgrado • iipac.unlp.edu.ar



9 789874 956194

Sistemas solares pasivos en la Argentina

**Muros acumuladores de calor (MAC) como
estrategia de climatización en los sectores
Residencial y Agro-productivo.**

Carlos A. Discoli, Graciela M. Viegas, Juan I. Jodra

IIPAC/CONICET-UNLP

Díscoli, Carlos Alberto

Sistemas solares pasivos en la Argentina : Muros Acumuladores de Calor-MAC como estrategia de climatización en los sectores residencial y agro-productivo / Carlos Alberto Díscoli ; Graciela Melisa Viegas ; Juan Ignacio Jodra. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : MT Ediciones Memoria y Trascendencia, 2022.

200 p. ; 23 x 15 cm.

ISBN 978-987-4956-19-4

1. Arquitectura. 2. Tecnologías. 3. Energía Solar. I. Viegas, Graciela Melisa. II. Jodra, Juan Ignacio. III. Título.

CDD 720.4724

Fecha de catalogación: 30/11/2022

© 2022, Carlos Alberto Díscoli

ISBN: 978-987-4956-19-4

Hecho el depósito que indica la Ley 11.723

Diseño de interiores y tapa: Bruno Bazzan y Yael Rosenfeld

Impreso en Argentina. Printed in Argentina

Primera edición: marzo 2023

Todos los derechos reservados.

Esta publicación no puede ser reproducida, en todo ni en parte, ni registrada en ni transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia, o cualquier otro, sin el permiso previo por escrito del autor y/o editor.



A la memoria del Msc. Lic. Jorge Luis Guerrero, pionero en el desarrollo de los sistemas helio-energéticos en la Argentina. En tiempos muy difíciles del país logró preservar sus ideas y su trabajo, y sembró las semillas necesarias para que podamos darle continuidad. Su capacidad innovativa dio comienzo a esta aventura.

ÍNDICE

Introducción	9
1. Tecnologías solares pasivas	15
1.1. Estrategias pasivas que mejoran la eficiencia: orientación, envolvente y entorno	17
1.2. Ganancia solar directa	20
1.3. Ganancia solar directa y descarga diferida	22
1.4. Ganancia solar indirecta con captación remota	24
2. Antecedentes de los muros acumuladores de calor	27
2.1. Algunos antecedentes internacionales	27
2.2. Antecedentes de los desarrollos tecnológicos en la argentina	35
3. Las primeras tecnologías de mac en la argentina: ejemplos y principios básicos	41
3.1. Muros “desfasores” de la onda térmica con masa de acumulación sólida (mac tipo “a”)	44
3.2. Muros con acumulación en masa líquida con descarga controlada (mac tipo “d”)	51
4. Los mac con acumulación en agua: desarrollos para la plata, argentina	61
5. Primeras auditorías en los sistemas mac de la casa solar de la plata	69
5.1. Ensayos preliminares de los mac luego de finalizada la construcción de la vivienda prototipo	69
5.2. Ensayos de los mac con las modificaciones en su envolvente	71
5.2.1 Ensayos de carga de los mac y rendimientos	72
5.2.2 Ensayos de descarga de los mac y rendimientos	74

5.2.3	Ensayo de los mac en situación normal de funcionamiento de la vivienda prototipo	78
5.3.	Propuestas de mejoras de diseño de los mac tipo “d” originales	81
6.	Los mac mixtos y sus innovaciones	87
6.1.	Condicionantes climáticos que orientaron al desarrollo de los mac mixtos (hormigón + agua encriptada)	88
6.2.	Diseño de los mac mixtos y ensayos preliminares	92
6.2.1	Ensayos preliminares por simulación dinámica	93
6.2.2	Ensayos empíricos de verificación de los mac	98
6.2.3	Ensayos empíricos incluyendo pigmentos a la masa de acumulación de los mac.	106
6.2.4	Ensayos térmicos de laboratorio en el inti	111
6.3.	Proceso de diseño definitivo y registro tecnológico	116
6.3.1	Registro tecnológico y certificado de patentabilidad del mac mixto	118
6.4.	Implementación de los mac mixtos y sólidos en las viviendas bioclimáticas de tapalqué	120
6.4.1.	Primeras auditorías de habitabilidad en las viviendas bioclimáticas de tapalqué	122
7.	Nueva generación de mac: mac 2 como acumulador de calor y amortiguador térmico	127
7.1.	Diseño y registro tecnológico de los mac 2	128
7.2.	Informe de patentabilidad	130
7.2.1	Campo técnico de la invención	130
7.2.2	Registro tecnológico y certificado de patentabilidad del mac 2	132
8.	Desarrollo industrial y ensayos de los mac 2	135
8.1.	Proceso de industrialización de los mac 2	136
8.2.	Ensayos empíricos de los mac 2	143
8.2.1	Ensayos del mac 2 para el sector residencial	144
8.2.2	Ensayos del mac 2 para el sector agro-productivo	165
8.2.3	Aportes de los mac 2 como sistemas innovadores	180
9.	Epílogo tecnológico de los mac en sus diferentes versiones	183
	Bibliografía	189

INTRODUCCIÓN

El uso de la energía solar ha estado presente desde tiempos prehistóricos en la vida cotidiana de la humanidad, pero es a partir del siglo III a.C. que se conocen registros del uso de dispositivos para el aprovechamiento de la energía solar térmica. Los griegos utilizaron recipientes con forma parabólica y un material reflectante en su interior para concentrar la irradiación en un foco y encender fuego. Posteriormente relata la historia que fue Arquímedes quien diseñó un sistema de espejos para concentrar el “rayo de calor” utilizándolo para incendiar las naves romanas que sitiaban la ciudad de Siracusa en lo que es hoy la isla de Sicilia. Otros pueblos como los egipcios, junto a los fenicios, fueron los principales fabricantes de vidrio y descubrieron el efecto invernadero, fenómeno por el cual un objeto eleva su estado térmico dentro de un espacio acristalado cerrado en el que incide la irradiación solar. Dicha tecnología se trasladó a Roma cuando muchos vidrieros emigraron luego de la conquista de Egipto por dicho imperio.

En el ámbito de la arquitectura, 400 años a.C., Sócrates –según Jenofonte– enseñaba cómo construir de acuerdo al

clima para que las viviendas sean frescas en verano y abrigadas en invierno. En el siglo I a.C. en su tratado “*De Architectura*”, Vitruvio expone la disposición que debían tener los ambientes de una edificación para aprovechar las condiciones climáticas del sitio, en particular el aprovechamiento de la irradiación solar como forma de ganancia de calor. Durante el imperio Romano, con la llegada de los maestros vidrieros egipcios, se comenzó a utilizar el vidrio para la fabricación de diferentes utensilios, así como para el cierre de aberturas, favoreciendo la retención del calor en el interior de las villas. Fueron también los romanos quienes construyeron invernaderos para el cultivo de plantas exóticas y semillas llevadas desde tierras lejanas (Fleming, S. J., 1999.), (Stern, E. M., 1999). También existen múltiples ejemplos que permiten analizar la evolución tecnológica orientada a la climatización por medios naturales en regiones de oriente y África, pero en este caso nos focalizaremos en algunos desarrollos solares pasivos de Europa y América.

Si bien las acciones descritas en estas regiones visualizan las potencialidades respecto al uso del sol, en lo cotidiano las fuentes energéticas principales seguían siendo la leña (biomasa), el guano, la turba, y el carbón que se incorporó a partir de la edad media. Este último se implementaba fundamentalmente en las herrerías y pequeñas industrias. Se tienen registros de fines del siglo XV de exportaciones de carbón de Inglaterra a los Países Bajos para tales fines. A partir del siglo XVI dicha fuente energética cobró relevancia para diferentes usos con un auge significativo en el siglo XIX, fundamentalmente para el desarrollo industrial en la era del vapor; y a fines del siglo, el carbón comenzó a ser sustituido de forma masiva por el petróleo.

Durante la transición entre el uso del carbón y el petróleo, coexistieron algunos desarrollos en energía solar térmica.

Podemos citar el invento de la “caja solar térmica” por parte del científico Horace Bénédicte de Sausurre, que data de 1767. Esta caja tenía una cara acristalada y un interior pintado de negro con lo que se generaba un efecto invernadero. Con este invento se sentaron las bases para la cocción solar de alimentos, así como el desarrollo posterior de colectores solares para calentamiento de agua y de aire. Luego, a fines del siglo XIX, existieron pioneros que reconsideraron nuevamente el uso de las “fuentes energéticas” ancestrales como el sol, hoy llamadas “limpias”, recuperando y sentando así los antecedentes de esta temática en los dos siglos venideros. Debemos aclarar que el término “limpias” responde a la actualidad, dado que en aquellos tiempos las perspectivas ambientales, así como sus causas y consecuencias no eran una preocupación. Uno de los pioneros ha sido Edward Sylvester Morse con su “Warming and ventilating apartments by the sun’s rays”, invención registrada en 1881, que ha sido un eslabón significativo en este largo y discontinuo recorrido de las tecnologías solares pasivas.

Sin embargo, el avance tecnológico de la época (fines del XIX y principios del XX) se basó en el uso del petróleo como fuente energética principal, generando en sus inicios grandes expectativas tanto en su prospección como en su extracción y explotación. El desarrollo de este recurso prontamente permitió fiabilidad en su uso, dado por su cantidad y densidad energética como variable fundamental, así como su oportunidad económica. Estas cualidades impulsaron fuertemente la industria de la extracción, permitiendo una implementación masiva en los ámbitos de producción y otros usos. Competir con algunas de sus cualidades no era fácil, si bien la energía solar estaba al alcance de todos; la densidad energética fue una cualidad sustantiva para consolidar el uso del petróleo, dado que en un volumen pequeño se concentraba

una cantidad significativa de energía útil. Esta condición, entre otros aspectos, permitió que el petróleo comenzara a tener protagonismo llevado de la mano de un negocio y de una comercialización prometedora. De esta manera los recursos energéticos de gran disponibilidad como el solar, pero de reducida densidad, continuaron sólo aplicándose marginalmente en usos muy específicos. Mientras tanto y por esos tiempos si bien en lo cotidiano se convivía con la leña y el carbón; los combustibles destilados se consolidaron fuertemente en el transporte y en las máquinas orientadas a la producción, todas ellas aprovechando invenciones motorizadas de combustión interna afines a los nuevos carburantes. La máquina a vapor empezó a ser desplazada rápidamente así como el resto de otros emprendimientos que implementaban el uso de otras fuentes de energía, como por ejemplo la solar. A pesar de ello, en la década del '60 del siglo XX, se retomó el uso de la energía solar a partir de algunos emprendimientos que mantuvieron vigentes los preceptos de Morse. Un ejemplo fueron los muros acumuladores de calor de la casa solar pasiva de Font-Romeau-Odelio-Via, Francia; diseñados por el Ing. Felix Trombe y el Arq. Jacques Michel (Trombe & Michel, 1971).

Si bien el petróleo se consolidó como fuente principal de abastecimiento energético en el mundo, su hegemonía persistió incuestionable hasta la década del '70, dado que por cuestiones geo-políticas y estratégicas, se comenzaron a generar grandes conflictividades entre los países productores y los principales países demandantes. La crisis petrolera instaló incertidumbre económica y de abastecimiento, desencadenando diferentes grados de precariedad en cuanto a disponibilidad y costos. Esta disputa cambió las relaciones de poder en el mundo, generando enfrentamientos bélicos entre regiones, que persisten hasta la actualidad. Dicha crisis se profundizó con una problemática

que había pasado desapercibida hasta la década de los '80. Nos referimos a los problemas ambientales producidos por las emisiones de gases de efecto invernadero consecuentes de la combustión masiva de petróleo, influenciando fuertemente en el cambio climático.

Nuevamente, dichas circunstancias reiniciaron la búsqueda de nuevas fuentes y la restitución de aquellas llamadas limpias, rescatando a la energía solar como una de las fuentes sustitutas en sus diferentes versiones de uso y explotación.

Concluida esta breve reseña, consideramos significativo recorrer una serie de temas y conceptos relacionados con el aprovechamiento del sol y las tecnologías desarrolladas en el tiempo. En particular nos referiremos a las solares pasivas, a los fines de describir una serie de aplicaciones orientadas en este texto a los aspectos térmicos aplicados a la climatización de espacios.

TECNOLOGÍAS SOLARES PASIVAS

1

Para comprender a qué nos estamos refiriendo, aclaremos primero qué queremos decir con el término tecnología para luego especificar sobre lo solar pasivo. Dicha palabra de origen griego, sintetiza en el término *téchnē* (τέχνη) lo que está relacionado con la *técnica, el arte u oficio*, y el término *logía* (λογία) que responde al tratamiento o estudio de algo. A partir del origen del término, nosotros la entendemos como ***un conjunto de dimensiones que involucran al conocimiento colectivo e individual; a las acciones; a los procesos; y a los objetos que en un principio transitan la frontera del saber, para luego formalizarse en conceptos, ideas y artefactos orientados a abordar desafíos, cubrir necesidades, así como comprender y resolver situaciones simples o complejas.***

Teniendo en cuenta los alcances descriptos, cuando nos referimos específicamente a la “*tecnología solar pasiva*”, nos referimos al conjunto de conceptos, estrategias, pautas, soluciones y sistemas que involucran e utilizan de manera integral a la energía irradiante proveniente del sol para usos directos e indirectos en la vida cotidiana. Su aprovechamiento

puede responder a un uso inmediato o diferido, sin requerir aportes de energía externos de otras fuentes para su uso o preservación, aunque puede complementarse para el uso de algún control y/o regulación en el caso que se requiera. El término “*pasivo*” lo acuñó Edward Mazria en su libro *Passive Solar Energy Book* de 1979, en el que describe ejemplos de viviendas que aprovechan el asoleamiento y los condicionantes climáticos, minimizando así el uso de sistemas convencionales de climatización.

La implementación de la energía solar puede ser muy diversa, ya que se puede utilizar para destilación, secado, climatización, algunos tipos de generación de EE, etc. En nuestro caso nos concentraremos fundamentalmente en los aspectos “térmicos” aplicados a la climatización de espacios, y en particular al aprovechamiento de la acumulación de calor para la climatización en diferentes zonas climáticas y geográficas. Estas zonas se sintetizan en bioclimas o zonas bioambientales de referencia, que cuentan con diferentes situaciones estacionales de las cuales muchas de ellas requieren de climatización. La diversidad de variables en juego, plasmadas en parámetros térmicos, amplitud, heliofanía, recurso solar, etc., habilita a la implementación de múltiples estrategias de diseño a tener en cuenta con resoluciones específicas. Algunas de ellas ya desarrolladas en el siglo XIX con total vigencia en cuanto a su aplicación, y otras recientes que incluyen esos viejos preceptos, pero que recrean y consideran una variedad significativa de condicionantes, así como de usos acordes a los parámetros actuales de climatización de los diferentes hábitat.

Aclarados algunos aspectos conceptuales referentes a las tecnologías solares pasivas, consideramos oportuno también describir estrategias habituales y complementarias de climatización a tener en cuenta con estos sistemas. Las principales son:

1.1. ESTRATEGIAS PASIVAS QUE MEJORAN LA EFICIENCIA: ORIENTACIÓN, ENVOLVENTE Y ENTORNO

1.2. GANANCIA SOLAR DIRECTA

1.3. GANANCIA SOLAR DIRECTA Y DESCARGA DIFERIDA

1.4. GANANCIA SOLAR INDIRECTA O REMOTA

1.1. ESTRATEGIAS PASIVAS QUE MEJORAN LA EFICIENCIA: ORIENTACIÓN, ENVOLVENTE Y ENTORNO

- i. La **orientación edilicia**. A partir de datos básicos como la latitud y la geografía del entorno tanto natural o artificial (nos referimos a obstrucciones), en climas templados y fríos se debe optar por emplazamientos cuyos espacios principales se orienten predominantemente hacia el ecuador. Esto permite recibir adecuadamente la irradiación en las superficies del edificio destinadas a aprovechar la ganancia directa y térmica. Se busca evitar sombreos propios y ajenos, así como maximizar para la estación fría el mayor tiempo de asoleamiento en los espacios principales y fundamentalmente en los sistemas helio-energéticos pasivos. En aquellos climas más cálidos, se debe evitar la irradiación directa, maximizando el sombreado a los efectos de reducir el sobrecalentamiento. Las estrategias en todos los casos pueden responder a composiciones de fachadas y sistemas que aprovechen las diferencias angulares de altitud y azimut para maximizar el asoleamiento o establecer protecciones

que beneficien o limiten el acceso al sol según sea el clima y la estacionalidad.

- ii. El **entorno mediato**. Es imprescindible considerar el contexto cercano e identificar las obstrucciones naturales y artificiales al recurso solar. Las mismas pueden modificar el asoleamiento esperado en los sistemas pasivos y/o aventanamientos, así como aprovecharse como protección al sol, siempre teniendo en cuenta el tipo de clima y la estacionalidad.

Ambos aspectos se ilustran en la figura 1, cuyas imágenes describen tipos de emplazamiento dando respuesta a la geometría solar.



Figura 1. Aspectos relacionados con el emplazamiento de los edificios, obstrucciones geográficas y respuestas a la orientación según la geometría solar, el asoleamiento y el sombreado.

- iii. La **envolvente edilicia**. Su eficiencia energética es determinante para que los sistemas solares entreguen sus máximas prestaciones. Nos referimos a las propiedades termo-físicas de los materiales que conforman la

envolvente opaca y transparente. Esto es la capacidad de conducir o aislar térmicamente, absorber, reflejar, preservar o disipar la energía irradiante incidente y captada por los componentes de la envolvente de manera directa o indirecta. De acuerdo a la configuración de la envolvente, la energía intercambiada en el balance térmico puede ser beneficiosa o contraproducente para la habitabilidad de un espacio. En consecuencia cuando nos referimos a una envolvente eficiente, esta tiene que ver con el aprovechamiento y/o protección selectiva de los flujos térmicos para el acondicionamiento edilicio, permitiendo utilizar convenientemente el recurso solar, a partir de regular su ingreso así como su preservación según la estacionalidad climática en curso. Esto implica por ejemplo, que en los componentes opacos, se debe tener en cuenta el rol de la masa térmica de los muros, pisos y techos en el balance térmico en cada espacio, haciéndola participar según se coloque y ubique la aislación térmica. De acuerdo a su posición en el conjunto constructivo, se puede hacer intervenir o no dicha masa en el balance energético y en la estabilización de los espacios a climatizar, según el tipo de clima o uso de ese espacio. En el caso de los componentes transparentes, son fundamentales si se requiere ganancia irradiante directa al local, o indirecta a través de algún dispositivo de carga térmica (Muro Trombe, MAC, Morse, etc.). Se debe tener en cuenta la posibilidad de ser regulada la irradiancia hacia el interior de los ambientes a los efectos de evitar sobrecalentamientos, o controlar las pérdidas nocturnas a través de los aventanamientos (vidrios dobles/triples, protecciones nocturnas, etc.). La figura 2 muestra sistemas constructivos de aislación por ejemplo en muros y techos; así como aventanamientos eficientes,

protecciones y la disipación térmica en fachadas según el aislamiento de la envolvente.



Figura 2: Sistemas constructivos de aislamiento por ejemplo en muros y techos; así como aventanamientos eficientes, protecciones y la disipación térmica en fachadas según el aislamiento de la envolvente.

1.2. GANANCIA SOLAR DIRECTA

La ganancia solar directa se refiere al aprovechamiento natural de la irradiación incidente del sol través de las superficies transparentes con relación a los espacios a iluminar y complementariamente a climatizar. Dichas superficies pueden estar conformadas por diferentes componentes constitutivos de la envolvente tales como ventanales, fachadas vidriadas, invernaderos, lucarnas, etc. La energía irradiante ingresa en el hábitat interior a través de las superficies transparentes

estableciéndose una dinámica compleja de transferencias de calor dependiendo de las transmitancias, absortancias y emitancias de los distintos elementos que constituyen el hábitat interior (envolvente transparente, aire, pisos, muros interiores, y otros materiales/objetos). Las superficies transparentes que actúan como interface entre el exterior y los ambientes de un edificio tienen diferentes eficiencias energéticas dependiendo de los materiales y la configuración constructiva de cada sistema. Las mismas pueden contar con vidrios simples, dobles o triples, tipo evacuados o con inyección de gases inertes entre las láminas (aire, gases inertes o vacío), o con regulación de sus características termo-físicas. También con tratamientos superficiales tales como películas que modifican la absorción, el reflejo y la transmisión neta. Si bien estos sistemas están difundidos, su implementación en la región es escasa debido a sus costos, lo que resulta en que, en la edilicia en general, las envolventes transparentes no siempre son las apropiadas. Por otro lado, las orientaciones inadecuadas agravan dicha situación ocasionando sobre-calentamientos o sobre-enfriamientos no deseados. Dichas deficiencias se encuentran en todo tipo de aventanamientos clásicos, curtain wall, invernaderos incluidos o adosados, etc.

La figura 3 muestra la importancia de la ganancia directa en el interior de los ambientes.



Figura 3. Ejemplos de la ganancia directa desde el interior de los ambientes.

1.3. GANANCIA SOLAR DIRECTA Y DESCARGA DIFERIDA

En estos casos, la irradiación incidente del sol atraviesa la vidriera e impacta en una superficie absorbente posterior cuya masa opaca transforma la energía radiante en energía térmica. Una porción de ella se transmite directamente por rejillas al ambiente interior por termo-convección del aire caliente existente entre la vidriera y la superficie absorbente, y gran parte se acumula en la masa opaca. Luego ese calor acumulado es transmitido de manera diferida hacia el interior del ambiente. De esta manera se establece una dinámica de carga y descarga del calor en consonancia con el ciclo diurno y nocturno. La cantidad de calor en juego dependerá del nivel y tiempo de irradiación, así como de la cantidad de masa y espesor de la superficie opaca ubicada por detrás de la vidriera. El sistema debe contar con un área expuesta al sol, que forme parte de la envolvente edilicia (vidriera); y una masa en la que incida la irradiación y permita acumular el calor, el cual será entregado transcurrido un tiempo al ambiente interior a climatizar (4, 6, 8 hs.). Se pueden implementar múltiples tecnologías en cuanto al aprovechamiento del calor, tipos de masa (sólida, líquida, etc.) y/o preservación de la energía directa ganada, permitiendo según sea el sistema diferirla entre ciclos diurnos/nocturnos o en más de uno de ellos si su descarga es controlada. Por ejemplo, una simple pared expuesta a la irradiación solar directa puede cargar naturalmente la energía incidente y descargar el calor acumulado en su masa entre el ambiente exterior e interior. Su masa adquiere una carga térmica diaria la que es transmitida por conducción e irradiación hacia el interior de la vivienda, y según el espesor de la pared será “más o menos diferida” en el tiempo. Si a esa pared se le interpone del lado exterior una superficie transparente (ventana o invernadero), dicho conjunto ya conformaría un sistema pasivo de captación solar.

La irradiación atraviesa la vidriera y es interceptada por la superficie opaca de la pared mejorando así su eficiencia en el proceso de carga. Luego a través de ella, dependiendo de las características de la masa (espesor y capacidad calorífica) y la conductividad térmica del material, se retransmite la energía calórica acumulada hacia el interior en forma diferida. Los elementos opacos naturalmente actúan como acumuladores térmicos dependiendo de las características termo-físicas del material. Pueden utilizarse diferentes elementos como sólidos o áridos con diferentes características y espesores; o configuraciones mixtas que incluyan sólidos no permanentes (sales con cambio de fase) o fluidos (agua), ambos encriptados. La masa de acumulación puede estar localizada próxima a la vidriera obteniendo una mayor eficiencia en el proceso de carga; o a cierta distancia de la misma, permitiendo el uso del espacio entre ambas (invernaderos o espacios de expansión).

Las tecnologías que implementan ganancia directa y descarga diferida corresponden básicamente a los muros acumuladores de calor tipo Morse, Trombe y MAC en sus diferentes versiones, dependiendo de las superficies captadoras, tipos de protección y masas de acumulación. La figura 4 ilustra diferentes tipos de sistemas con ganancia solar indirecta y descarga diferida con diferentes materializaciones (sólidos, Líquidos y Mixtos).

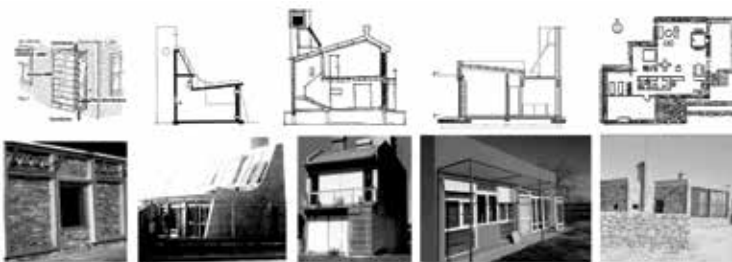


Figura 4. Diferentes tipos de sistemas con ganancia solar indirecta y descarga diferida con diferentes materializaciones (sólidos, Líquidos y Mixtos).

resueltos con diferentes materializaciones (Sólidos, Líquidos y Mixtos).

1.4. GANANCIA SOLAR INDIRECTA CON CAPTACIÓN REMOTA

Estos sistemas si bien pueden ser pasivos, activos o híbridos, en general cuentan con un sistema de captación de la irradiación solar apartado del ambiente a climatizar. Su accionar pasivo/ activo dependerá de la configuración de cada sistema, según su grado de apartamiento entre la superficie colectora, su masa de acumulación, y los ambientes. Cuanto más alejados estén los componentes del sistema entre la captación y los espacios a calefaccionar (colector, acumulador, ambiente) se requerirá necesariamente energía auxiliar para transferir el calor de un lugar a otro. El elemento de transmisión de calor en general es un fluido con diferentes capacidades de transporte (aire, agua, sales). Para que el sistema sea pasivo, la disposición de los componentes del sistema debe respetar configuraciones que permitan transferir el calor de manera natural (por ejemplo por cambio de densidad-termosifón-). Esto es aprovechar los cambios de densidad de los fluidos (por ejemplo aire o agua), que al calentarse se alivianan y establecen una circulación natural con el fluido más frío (desplazando al cálido por ser más pesado). De esta manera se produce una dinámica de intercambio térmico entre el fluido del colector en contacto con la masa de acumulación y con el ambiente a climatizar, retornando una vez frío al captador y/o acumulador. Estos sistemas en general han tenido poca difusión.

Dichas tecnologías responden en general a sistemas mixtos o activos que combinan colectores de aire o agua con una

masa de acumulación de calor localizada físicamente en sectores cercanos a la demanda, o en ámbitos destinados como reservorios de calor para ser usados ante una demanda definida. La Figura 5 presenta algunos sistemas típicos de ganancia solar indirecta con captación remota.



Figura 5. Algunos sistemas típicos de ganancia solar aislada.

Descriptas las estrategias principales aplicadas en los sistemas pasivos básicos de climatización, nos enfocaremos en aquellos sistemas que ganan energía en forma directa y acumulan energía en su masa para ser entregada de manera mediata o diferida. Nos referimos a los **Muros Acumuladores de calor (MAC)** en sus diferentes versiones. Si bien son referenciados frecuentemente en la literatura como muros Trombe, los **MAC** pueden contar con diversas configuraciones y materialidades dependiendo sus tecnologías de los requerimientos de climatización, de los recursos solares disponibles y del bioclima en el cual serán emplazados.

ANTECEDENTES DE LOS MUROS ACUMULADORES DE CALOR (MAC)

2

2.1. ALGUNOS ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Dentro de los sistemas solares pasivos, los muros acumuladores de calor (MAC) tienen un rol protagónico dado que hacen un uso natural de la energía solar aprovechando la irradiación incidente, sin la implementación de energía auxiliar para su funcionamiento. Como ya hemos adelantado en el punto introductorio, dicho aprovechamiento se remonta formalmente al siglo XIX, siendo hoy en día todavía una tecnología vigente y muy aplicada. De hecho si analizamos su evolución en el tiempo, actualmente esta tecnología cuenta con una gran diversidad de opciones y desarrollos, dependiendo de la disponibilidad del recurso solar; de los sistemas constructivos vigentes; y de la diversidad climática relacionada con la amplitud térmica y grado de heliofanía del sitio. En todos los casos los sistemas cuentan con una vidriera orientada al ecuador, y por detrás de ella se emplaza una masa en la que incide la irradiación solar y se transforma en energía térmica. La energía puede ser acumulada, preservada

y diferida según el tipo de configuración y requerimiento de climatización.

Entre los antecedentes más difundidos se registran tecnologías con diferentes tipos de transferencia térmica y niveles de acumulación, diversificando así las capacidades de carga, retardo y amortiguamiento de la onda térmica. Las variaciones dependen de los materiales utilizados para la acumulación de calor; del estado de fase de la materia; calores específicos; características superficiales como coloraciones y en algunos casos texturas. En cuanto a sus prestaciones también se han diferenciado por su dinámica en el proceso de carga y descarga de energía; en el retardo; y en el amortiguamiento de la onda térmica. Los tipos de muros diseñados y experimentados hasta la actualidad han partido, como ya hemos mencionado, de los preceptos enunciados por Edward S. Morse explicitados en el punto introductorio. Su registro se referencia en la US Patent 246626 de 1881, en la que se describe el uso de la energía radiante del sol como fuente calórica, la que es captada por una superficie y transformada en energía térmica. Dicha energía es transferida al interior del ambiente a través de los materiales sólidos expuestos a la irradiación. La figura 6 muestra el esquema presentado por E. S. Morse en la planilla de registro (1881).

Si bien esta tecnología fue desplazada por el petróleo como fuente principal de energía en el siglo XX, las restricciones en el uso de los combustibles luego de la pos-guerra y la crisis económica del '30 en Estados Unidos, permitieron que dichas tecnologías se reactivaran en esa década. Entre los ejemplos más incipientes podemos citar a la casa del mañana (House of Tomorrow) del arq. Fred Keck de 1933 con su amplia vidriera; la Casa Solar MIT #1 realizada en 1939 en Massachusetts (EE. UU.) bajo la dirección de H.C. Hottel del MIT (figura 7); entre otras. Luego, terminadas las restricciones, los combustibles

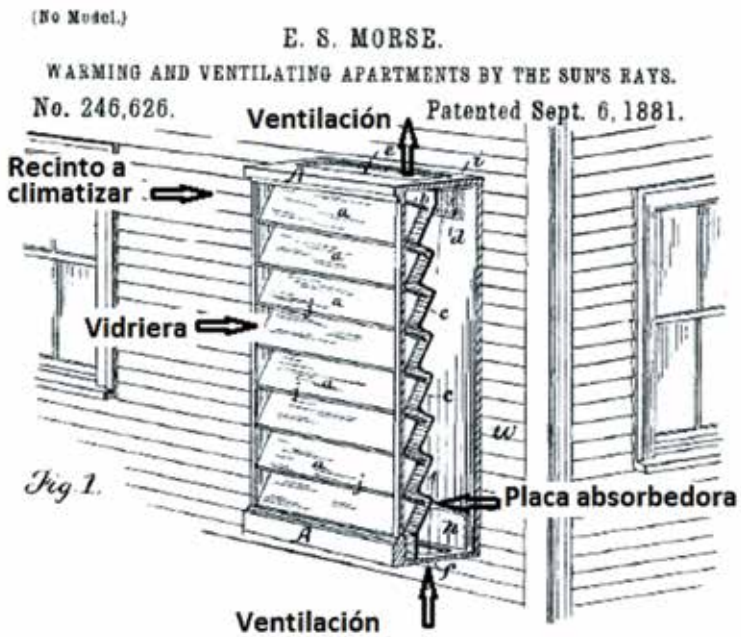


Figura 6. Esquema presentado por E. S. Morse en la planilla de registro (1881).



Figura 7. Casa del mañana (House of Tomorrow) del arq. Fred Keck, 1933; Casa Solar MIT #1 realizada en 1939 en Massachusetts (EEUU) bajo la dirección de H.C. Hottel

fósiles mantuvieron su protagonismo y prevalencia alcanzando una gran expansión en el mercado energético. A pesar de ello entre 1956 y 1960 se retomaron algunas aplicaciones con energía solar, un ejemplo fueron los trabajos realizados por Ing. Felix Trombe y el Arq. Jacques Michel en las casas pasivas de la localidad francesa Font-Romeu-Odeilo-Via, localizada en los Pirineos Orientales (Figura 8). Estas intervenciones mantuvieron la temática solar pasiva, reinstalando los preceptos de E. S. Morse con el nombre hoy difundido como «muros Trombe-Michel», dejando en el olvido sus orígenes reales. En simultáneo, en 1958 Peter Van Dresser, en Santa Fe, New México, EE.UU. construyó un sistema sencillo por aire en una vivienda de adobe. Ya entonces los libros de Aronin (1953) y los de Olgyay (1957 y 1963) se difundieron entre arquitectos e ingenieros. Otro ejemplo es el de 1961, donde el arquitecto Emslie A. Morgan finalizó en Wallasey, Inglaterra, la escuela secundaria St. George's School, con el primer sistema pasivo de alta eficiencia para climas desfavorables.

Durante la década del '70, como ya hemos mencionado en la introducción, la industria petrolera experimenta nuevamente una crisis mundial de carácter geopolítico y económico entre países productores. El alza de costos y la escasez ocasionada por dicho conflicto, llevó a muchas naciones a la necesidad de implementar un uso racional de los combustibles y pensar nuevamente en fuentes sustitutas. En consecuencia se retomaron los desarrollos iniciados por Morse y visibilizados en el '60

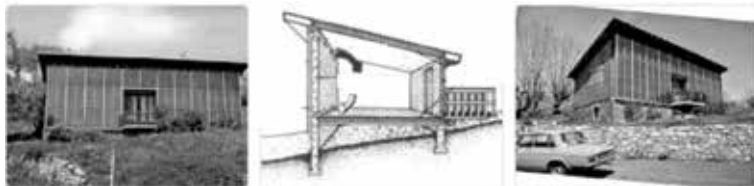


Figura 8. Casa Solar de Odeillo (Fuente: E. Mazria, 1980).

por Trombe y Michel. Dicho contexto reinstaló el tema de las fuentes renovables complementariamente con la necesidad de trabajar con la eficiencia energética. Esta problemática desencadenó a nivel mundial y regional la necesidad de profundizar e iniciar múltiples desarrollos que se orientaron al estudio y aplicación de diferentes fuentes renovables. En particular podemos mencionar los sistemas de climatización solar pasiva, cuyas variantes dependían fundamentalmente de su localización, de la disponibilidad del recurso solar, de la amplitud térmica, de la masa necesaria de acumulación. Existen ejemplos en diversas regiones de Europa y EE.UU. con aplicaciones fundamentalmente en el sector residencial. Estos desarrollos permitieron explicitar los sistemas pasivos, definir criterios básicos para su diseño e implementación en edificios, así como establecer algunas pautas aplicables a la construcción y a la utilización cotidiana de dichos sistemas (Balcomb, et al 1980, 1981 y 1998). Otros profundizaron sobre la acumulación, su materialidad y capacidades de carga en sus diferentes aspectos termo-físicos (A. Di Vecchia, et al, 1979). También se exploraron combinaciones en la conformación de la masa de acumulación térmica haciendo uso de diferentes materiales a los efectos de aprovechar el calor sensible y el calor latente interviniente en los cambios de fase. Otros ejemplos son los trabajos que aplicaron el concepto de diodo térmico cuya masa es climatizada en forma indirecta a través de un flujo de aire caliente sin que incida la irradiación solar directamente sobre la acumulación (L. Bourdeau, et al, 1979).

Todos estos desarrollos en la mayoría de los casos se orientaron a la climatización de edificios de baja densidad o unifamiliares. En los edificios de mayor complejidad (multifamiliares) los sistemas solares pasivos requerían de un diseño más complejo y una composición de fachada que integre los diferentes

requerimientos arquitectónicos y de habitabilidad. Para ello se comenzó a pensar en superficies colectoras en galería o grandes fachadas que contengan a los sistemas de climatización, conocidos con el nombre de fachadas solares. Ejemplos de ello se observan en la figura 9 con el edificio de Odelio de Trombe en La Blanchetais, Francia (G. Yañez, 1982); o como ya hemos mencionado, la escuela solar de Wallasey en Liverpool, Inglaterra de A.E. Morgan (S.V. Szokolay, 1978), entre otros.

Estas tecnologías se difundieron fundamentalmente en los países desarrollados de América del Norte y Europa, y las mismas se intensificaron fundamentalmente en aquellos países que comenzaban a sentir las consecuencias de la crisis petrolera y contaban con algún recurso solar. Por ejemplo, se realizaron una cantidad de viviendas en New México y Arizona, Estados Unidos (es.wikipedia.org/wiki/Casa_pasiva); emplazadas en un clima árido con gran amplitud térmica y alto nivel de irradiación solar. Estos ejemplos sirvieron para afirmar algunas tecnologías pasivas con gran aporte solar, con muros resueltos en adobe, incorporación de aislación térmica, y bajos costos. Las estrategias tenidas en cuenta fueron ganancia directa (GAD), convección natural, acumulación térmica en los muros, ventilación y protección solar. También se pueden mencionar algunas innovaciones como la vivienda “Zome” de Steve Baer en Nuevo México, que incorpora un muro acumulador compuesto por grandes tambores de agua



Figura 9. Edificio de Odelio de Trombe, La Blanchetais, Francia, con Fachada y detalle de muros Trombe, Fuente: (Yañez, 1982); escuela solar de Wallasey de Morgan en Liverpool, Inglaterra (S.V Szokolay 1978).

que captan la energía solar e intercambian calor por radiación y convección de manera mediata con el ambiente a climatizar. En este caso el agua al tener mayor calor específico (alrededor de cuatro veces más que los materiales áridos) permite acumular la misma cantidad de calor en una menor cantidad de masa de acumulación, reduciendo sustantivamente el volumen a la cuarta parte. La figura 10 muestra ejemplos de viviendas pasivas.

Entre otros ejemplos, podemos mencionar la casa de Chauvency-le-chateau, Francia, proyectada en 1972 por J. Michel y A.f. Trombe y F. Trombe como asesor; así como las ya mencionadas casas de Odeillo, Francia, proyectadas en 1973 por J. Michel, ambas implementando muros Trombe.

Simultáneamente se desarrollaron otras tecnologías, también relacionadas con el uso del agua, pero en este caso utilizando colectores solares planos en techos y tanques de acumulación

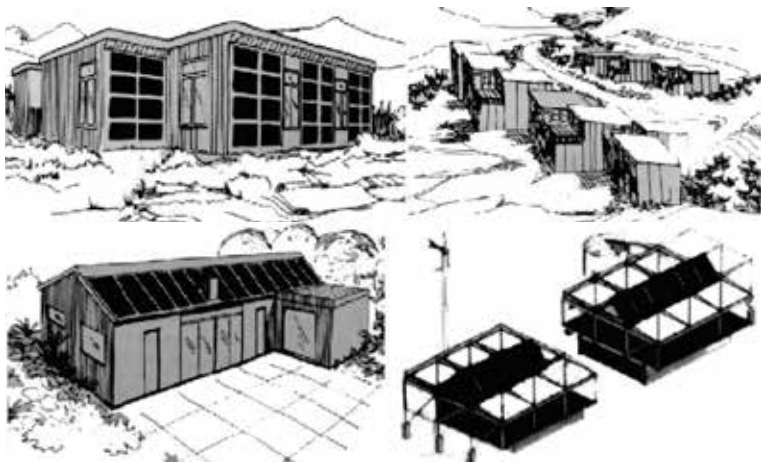


Figura 10. Ejemplos de viviendas pasivas, con ganancia directa, muros de adobe, y con muros acumuladores en agua como los de la Casas solares de Corrales house I: Casa solar de Zome, de Steve Baer en Nuevo México, 1970- 1972.

Fuente: (Szokolay, 1975).

colindantes o enterrados. Un ejemplo son la casa de Anglesey, Inglaterra de 1974, proyectada por S.V. Szokolay; y la casa de Avignon, Francia en 1975 proyectada por D. Michaelis, en donde se observa la implantación de dichos colectores solares para el agua caliente de climatización. La figura 11 muestra los ejemplos citados.

También podemos mencionar para aquellos que quieran consultar otros casos y otras tecnologías, la recopilación de viviendas residenciales realizada por la Agencia Francesa para el Manejo de la Energía (AFME) bajo el título “5000 maisons solaires” (J.P. Franca y J. P Baillon, 1983). En dicha publicación se detallan múltiples proyectos edilicios y desarrollos de sistemas mayoritariamente pasivos con diferentes grados de implementación, demostrando diversidad en su aplicabilidad. En latitudes más frías, los sistemas más difundidos respondían a muros que implementaban superficies captadores livianas, sin masa de acumulación ni retardo térmico, dado que el



La figura 11. La casa de Chauvency-le-chateau, Francia de 1972; las casas de Odeillo, Francia en 1973; la casa de Anglesey, Inglaterra de 1974; y la casa de Avignon, Francia de 1975.

tiempo de exposición y la baja radiación no permiten una carga térmica sostenida en su masa. Nos referimos a un aporte térmico bajo el principio de un colector de aire con entrega directa de calor al ambiente. En estos casos la envolvente del edificio debe estar fuertemente aislada térmicamente para que justifique el aporte calórico del sistema. Como ejemplo se pueden consultar los desarrollos de muros captadores ventilados realizados en Estocolmo (Bo Adamson, Bengt Hidemark, 1986).

Simultáneamente a los antecedentes descriptos en los países centrales, en la Argentina existieron importantes desarrollos aplicando energía solar pasiva, cuyos antecedentes fueron muy significativos dado que los mismos sentaron las bases de las tecnologías actuales en la región.

2.2. ANTECEDENTES DE LOS DESARROLLOS TECNOLÓGICOS EN LA ARGENTINA

En consonancia con los antecedentes internacionales expuestos, en la Argentina existieron a partir de la década del '30, algunos desarrollos pioneros. Estos analizaban y aprovechaban el recurso solar aplicando tecnologías pasivas básicas relacionadas con el asoleamiento, la ganancia directa el sombreado, la ventilación natural y la masa edilicia. Cada estrategia dependía del lugar en el que se emplazaba el proyecto y su climatología. Entre los ejemplos, podemos mencionar:

- i. Los diseños de Wladimiro Acosta con su casa en La Falda donde aplica el sistema "Helios", localizada en Córdoba, con un clima mediterráneo templado cálido, en el que aprovecha la masa térmica, el asoleamiento y

las protecciones a partir de la orientación y la geometría arquitectónica, diferenciando fachadas para el aprovechamiento del sol según la estacionalidad estival/invernal.

- ii. El proyecto del hospital de Mburucuyá de Amancio Williams, en Corrientes con clima muy cálido y húmedo, con sus techos sombrilla, sombreado y ventilación natural.
- iii. O las obras de Eduardo Sacriste en Tucumán con climas templados fríos de montaña o cálidos, implementando respectivamente buenas orientaciones, asoleamiento, aleros cortos de sombreado estival y masa térmica en la casa Torres Posse en Tañí del Valle, o generando expansiones profundas con balcones, sombreado y ventilación natural en la ciudad en la casa Shujman de Tucumán. La figura 12 muestra ejemplos desarrollados para diferentes latitudes. Algunos antecedentes de los pioneros se registran en diferentes proyectos y publicaciones (Wladimiro Acosta, 1947), (Wladimiro Acosta, 1984),



Figura 12. Arriba proyecto del Hospital en Mburucuyá, Provincia de Corrientes, 1948-53, Arq. Amancio Williams. Abajo de izquierda a derecha: Casa en la Falda, Provincia de Córdoba, 1930-40, Arq. Wladimiro Acosta. Casa Shujman en Tucumán y Casa Torres Posse en Tañí del Valle, 1940-50, Eduardo Sacriste. Tecnologías pasivas básicas aplicadas a la arquitectura tales como orientación, asoleamiento, protección solar, ventilación natural y masa térmica.

y (Amancio Williams, 1948-53), (Eduardo Sacriste '40-'50) y (E. Rosenfeld, et al. 2007).

Al igual que en el resto del mundo, el uso intensivo del petróleo como fuente energética básica y económica del siglo XX, desplazó por décadas a los preceptos proto-solares desalentando sus aplicaciones. Los desarrollos tecnológicos de climatización afines al petróleo permitieron sustituir con facilidad las tecnologías pasivas y cubrir las demandas esenciales de habitabilidad en la arquitectura. Esto llevó a un diseño arquitectónico menos comprometido con los recursos naturales, desaprovechando las lógicas solares pasivas, y delegando en los sistemas activos convencionales los compromisos de habitabilidad y climatización (sistemas de iluminación, calefacción y aire acondicionado). Ante la crisis petrolera del '74, la Argentina también sufrió sus consecuencias y se vio en la necesidad de abordar el uso de fuentes de energía relacionadas con las renovables como posibles sustitutos. Estas iniciativas necesariamente se complementaron con el uso racional y la eficiencia energética a los efectos de que dichas fuentes sean eficaces. Estas acciones generaron una cantidad de proyectos de investigación asociados a las distintas temáticas.

Ante este nuevo contexto energético, y al igual que en los países centrales, a fines de los '70 se emprendieron en nuestra región numerosos desarrollos tecnológicos que aprovechaban la energía solar aplicada a diferentes problemáticas. Teniendo en cuenta que nuestro territorio cuenta con una gran diversidad climática y solar, se llevaron a cabo múltiples estudios y emprendimientos relacionados con la aplicación de sistemas solares térmicos pasivos. Se registran importantes antecedentes desarrollados en diferentes centros de investigación emplazados en distintas regiones del país. Entre ellos podemos mencionar los grupos de investigación en energía solar de San Miguel en Buenos Aires, Salta, Rosario en Santa Fe, San Luis,

Tucumán, San Juan, Mendoza y La Plata, Provincia de Buenos Aires. También se funda la Asociación Argentina de Energía Solar (ASADES) en 1974, con reuniones anuales en las que participaron los referentes de todas las disciplinas desarrolladas en el país. Dicho ámbito posibilitó la discusión abierta de múltiples temáticas hasta la actualidad, registrando en sus publicaciones los desarrollos realizados en diferentes áreas del conocimiento, entre ellas la relacionadas con la aplicación de tecnologías solares pasivas en la arquitectura y otros espacios.

En esta etapa, se iniciaron desarrollos tecnológicos específicos aplicando criterios solares pasivos, con resoluciones concretas. Entre los relevantes podemos mencionar los que implementan ***Ganancia solar Directa/Indirecta con transferencia de calor Mediata y Diferida***, denominados **Muros Acumuladores de Calor (MAC)**.

Dentro del universo tecnológico de los MAC diseñados en esa época, existió una diversidad de desarrollos que se diferenciaron en función de los tipos de aplicación, principios térmicos e implementaciones de uso; así como de los climas en donde se emplazan y el recurso solar disponible. Nos referimos a las prestaciones específicas; a las necesidades de acumulación de calor requeridas según cada demanda; a las capacidades de carga térmica; y a los tipos de descarga (continua o discontinua/controlada). A partir de estos criterios, la clasificación adoptada oportunamente se agrupó en ***muros con desfase de la onda térmica (desfasores); muros de descarga continua (sin desfase); y muros con acumulación en masa sólida o con acumulación en fluidos, ambos con descarga controlada*** (Alanis et al, 1978 a); (Guerrero et al, 1979); (Guerrero et al, 1984); (Alanis et al, 1978b). La figura 13 muestra los primeros esquemas simplificados originales (J.L. Guerrero et al, 1979), diferenciando algunas de las alternativas de muros acumuladores de calor (MAC) desarrollados en esa época. Los

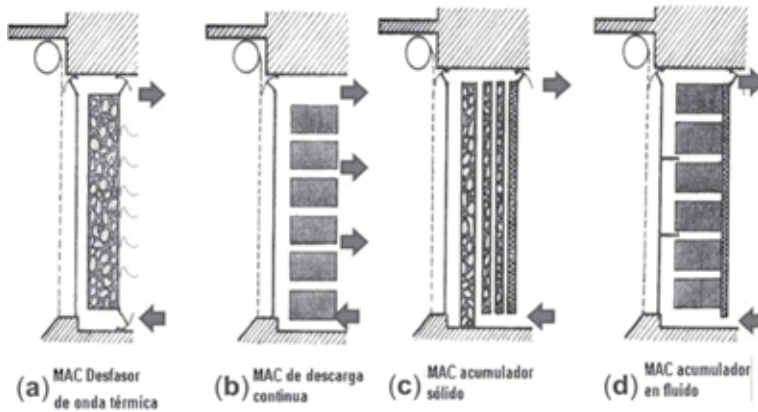


Figura 13. Tipos de Muros acumuladores de calor (MAC). (J. L. Guerrero et al 1979).

ejemplos presentados en la figura son una réplica original de los desarrollos pensados por el Físico J.L. Guerrero en 1977 y 1979, que no incluían los MAC con acumulación mixta, ya que se trata de tecnologías posteriores. Más adelante profundizaremos sobre estos últimos y sus configuraciones.

Reiteramos que dicha diversidad tecnológica depende básicamente del tipo de aplicación, de los tipos de clima (templados y fríos), del recurso solar disponible y de sus condiciones de contexto; todas tecnologías orientadas en este caso a climatizar viviendas y otros espacios.

De los sistemas descritos, los que se han desarrollado y difundido son los MAC “desfasores” con masa de acumulación sólida (tipo “a”) y los MAC con acumulación en fluido con descarga controlada (tipo “d”). En la actualidad se realizaron nuevos desarrollos de MAC que modificaron su masa de acumulación incorporando una materialización Mixta (sólidos+agua) con descarga directa y/o controlada

(MAC mixtos 1 y 2). En todos los casos se han realizado diferentes aplicaciones y transferencias tecnológicas, las que desarrollaremos en los siguientes puntos.

LAS PRIMERAS TECNOLOGÍAS DE MAC EN LA ARGENTINA: EJEMPLOS Y PRINCIPIOS BÁSICOS

3

A partir de los esquemas conceptuales que representan las diferentes tecnologías de MAC (figura 13), describiremos con mayor detalle algunos ejemplos emblemáticos desarrollados y construidos en diferentes regiones de la Argentina a partir de la década del '70. Se muestran en la figura 14 los primeros sistemas MAC implementados en diferentes viviendas y regiones climáticas a partir de sus emplazamientos geográficos, sus características tecnológicas y funcionales.

Los ejemplos expuestos en la figura 14 muestran en sus dos primeras columnas las implementaciones de muros sólidos desfases de la onda térmica, del tipo “a”, como es el caso de la casa de Mendoza y la de Abra Pampa emplazada en Jujuy. En la tercer columna se muestra un ejemplo de muros acumuladores de calor con acumulación en agua del tipo “b” o “d”, según sea su diseño posterior de descarga directa o descarga controlada. En el caso concreto de la casa solar de La Plata se implementó un sistema de descarga controlada (tipo “d”), incorporando en su parte posterior un panel aislado, con rejillas reguladoras del flujo de aire caliente. Las dos

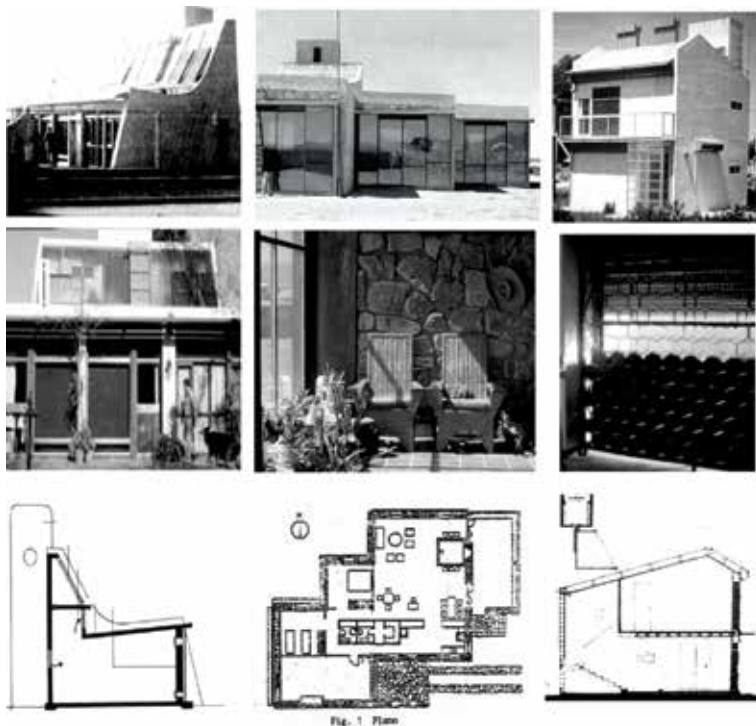


Figura 14: Casa Tedeschi de Mendoza. IADIZA; Casa de Abra Pampa, Salta. INENCO; y Casa de La Plata. IAS/FABA.

primeras viviendas responden a climas secos y fríos, con gran amplitud térmica y alto recurso solar diario; mientras que el ejemplo de La Plata responde a un clima templado húmedo, con heliofanías intermedias y recurso solar medio. Estas restricciones requerían en consecuencia una acumulación térmica con alto calor específico en su masa, mayor capacidad de acumulación en un mismo volumen y descarga controlada dada la cantidad de días nublados consecutivos.

Si profundizamos y tenemos en cuenta los emplazamientos de cada vivienda de la figura 14, observamos que las tecnologías

de MAC propuestas responden específicamente a los bioclimas de cada localización. La figura 15 y la tabla 1 muestran las características climáticas y el recurso solar para cada una de ellas. Los desarrollos llevados adelante por los diferentes institutos de investigación de la República Argentina (IADIZA, INENCO, IAS) consideraron las condiciones climáticas del período invernal de cada zona bioclimática (Norma IRAM 11.603), y los recursos solares locales (H. Grossi Gallegos, R. Righini, 2007). En la figura 15 se muestran los emplazamientos de cada vivienda y su bio-región correspondiente; las zonas corresponden a los bioclimas templado frío (Zona IV), frío (Zona V), y templado húmedo (Zona III), y la irradiación promedio. Según el diagrama bioclimático de Givoni, en todos los casos se requiere climatización de invierno dependiendo de las temperaturas y humedades máximas promedio de cada emplazamiento (Zona 7 del diagrama de Givoni).

La tabla 1 sintetiza los datos climáticos del Servicio Meteorológico Nacional expresados en la norma IRAM 11603 de cada localidad, observando diferencias sustantivas

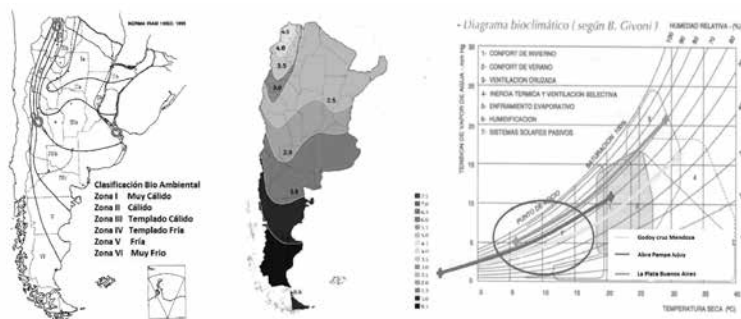


Figura 15. Emplazamiento de los sistemas MAC en diferentes bio-climas; distribución del recurso solar registrando el promedio de irradiación global diaria kW/h m2, (H. Grossi gallegos, Righini.2007); y diagrama bioclimático de B. Givoni, 1969, temperaturas y humedades relativas para cada localización.

	Godoy Cruz		Abra Pampa-Jujuy		La Plata-Buenos Aires	
	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano
ASNM	704m		3459m		15m	
T Med	8.3	24.2	4.7	12.4	11.4	21.8
T Max	16.8	31.7	15.8	20.4	16.1	27.8
T Min	1.7	16.9	-6.6	6.8	5.5	16.1
HR	61%	50%	29%	63%	82%	72%
GG20	1556	-	1063	-	1668	-
Precip.	2mm	23mm	-	70mm	68mm	85mm
V. Viento	11km/h	-	7.3km/h	8km/h	10km/h	13km/h

Tabla 1: Datos del Servicio Meteorológico Nacional

de temperatura y humedad entre los casos de Mendoza y Jujuy respecto al de La Plata. Estas diferencias son las que definen las estrategias tecnológicas de cada MAC.

En el marco de los ejemplos mencionados, a continuación desarrollaremos sus características generales:

3.1. MUROS “DEFASORES” DE LA ONDA TÉRMICA CON MASA DE ACUMULACIÓN SÓLIDA (MAC TIPO “a”)

Estos muros responden tecnológicamente a los muros acumuladores de calor tradicionales (MAC tipo Trombe-Michel). Dichos sistemas son aptos para climas estables con ciclos diurnos/nocturnos continuos, gran amplitud térmica, mediana/baja humedad, alta heliofanía, importantes niveles de irradiación, y alta exposición horaria asegurando un buen ciclo de carga (recordemos que se trata de una masa de acumulación de gran espesor, inercia térmica e importante

retardo de la onda térmica). Constan de una vidriera y una masa sólida emplazada por detrás de la misma con orientación al ecuador a los efectos de que esté expuesta a la irradiación solar la mayor cantidad de horas posible. Cada sistema se instala en los diferentes ambientes a climatizar formando parte de la envolvente de la edificación. Su función se identifica principalmente por “desfasar” la energía térmica acumulada en su masa sólida entre el ciclo diurno (con sol) y el ciclo nocturno (sin sol).

Esta tecnología permite que, durante el período de carga, se establezcan en simultáneo dos instancias de transferencia térmica predominantes. Una es la radiativa-conductiva, a partir de la irradiación incidente sobre la masa sólida, absorbiendo energía a través de la superficie expuesta al sol (etapa radiativa), la que luego se acumula en el sólido y se transfiere por conducción al ambiente interior (etapa conductiva). La energía acumulada dependerá del estado térmico alcanzado. Luego dicha energía es entregada con posterioridad (desfasada) al ambiente interior nuevamente por radiación. El otro mecanismo de transferencia es directo y mediato, y responde al efecto invernadero de la vidriera y a una transferencia del tipo convectiva por cambio de densidad del aire que se encuentra entre la superficie transparente y la masa de acumulación expuesta al sol. En este caso el aire caliente establece un proceso termosifónico entre el MAC y el ambiente a climatizar utilizando para su intercambio ventanillas superiores e inferiores insertas en la masa de acumulación conectando ambos espacios. Si bien no es común en estos muros desfasores, el flujo de aire caliente puede ser regulado por medio de registros que controlan la circulación. Lo que no podemos regular es el calor conductivo/radiativo procedente de la masa de acumulación que dependerá de su estado térmico.

En síntesis las instancias de transferencia de los muros “desfasores” responden a las acciones básicas de exposición, carga, *inercia térmica/amortiguamiento/retardo*, y descarga del calor. Esta diversidad de instancias conforman la lógica de funcionamiento de estos muros y su dinámica dependerá de las características termo-físicas de los materiales (en este caso sólidos). Iniciado el proceso de carga del sistema, el aire entre la vidriera y la masa de acumulación eleva su temperatura estableciéndose una transferencia convectiva directa con el ambiente interior. Simultáneamente la irradiación incide sobre la masa de acumulación adquiriendo temperatura, y dicha onda térmica avanza hacia el interior de la misma de manera conductiva (del lado caliente hacia el lado frío). En un tiempo discreto la energía acumulada será diferida, estableciendo así un ciclo completo (diurno-nocturno). Si bien esa secuencia prácticamente es invariante, dicho proceso responde a múltiples aspectos relacionados con el recurso solar, el clima en el cual están instalados, los materiales utilizados, el espesor de la acumulación y el tipo de demanda.

La capacidad de carga requerida “Q” dependerá de la demanda calórica del ambiente a climatizar y de las variables externas (recurso solar y clima). Está relacionada fundamentalmente con: la cantidad de masa destinada a acumular calor ($M = \text{Kg}$); el calor específico del material utilizado en la misma ($C_p = \text{J/Kg K}$, $\text{Kcal/Kg } ^\circ\text{C}$); y con el incremento térmico logrado en su exposición al sol (Δt en $^\circ\text{C}$). En consecuencia, la cantidad de calor en juego “Q” responde al producto de dichas variables (1):

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (1)$$

donde:

“m” corresponde a la masa [kg] del material de acumulación,

“C” corresponde al calor específico [kCal/kg°C] o [J/kg.K] del material

“ ΔT_i ” a su incremento de temperatura [°C] o [K].

Es claro que el calor “Q” obtenible debe tender al demandado, y el nivel de aproximación definirá el *grado de aporte* o de fracción solar entregado por el sistema.

En consecuencia los sistemas deben contar con una superficie expuesta al sol cuya dimensión nominal y dinámica de carga térmica dependerá de la *potencia solar* (I_G w/m²); el nivel de heliofanía (% de nubosidad); el tiempo de exposición (h/día); las características de la *superficie* expuesta a partir de su *absortancia* superficial (coloración de la superficie expuesta, a/d entre 0-1), *textura* superficial (grado de rugosidad de la superficie, % de aumento de la superficie expuesta); su morfología relacionada con su geometría (mayor o menor disponibilidad de superficie expuesta respecto a la fachada), y en particular su espesor (m). Tanto la superficie expuesta como el espesor serían las dimensiones generales que se modificarían en función de la demanda de calor necesaria para climatizar.

La materialidad de los MAC y su dinámica también incluyen otras cualidades intrínsecas de la masa relacionadas con los conceptos de *inercia térmica, retardo térmico, y nivel de amortiguamiento* (J. L. Guerrero, et al 1977).

La *inercia térmica* I (h/m²) refiere a la dinámica que tiene el avance de la onda de calor en el material sólido, o el tiempo que tarda la masa de acumulación para lograr un estado de equilibrio térmico. La onda térmica iniciada con el salto de temperatura de la superficie expuesta a la irradiación no avanza instantáneamente hacia el interior de la masa, esto se debe a

la capacidad que tiene el material de “frenar o retardar” dicha onda. Si esta dinámica en vez de analizarla por su retardo, la analizamos en función de cuánto avanza o con qué rapidez avanza la onda térmica (con un Δt determinado), podemos definir esta situación como la capacidad que tiene el material para que avance el tren de ondas, o la rapidez que tiene en alcanzar el equilibrio térmico. Esa capacidad está definida por la *difusividad térmica* α (m^2/h), que es la inversa de la inercia térmica (I). En este caso la expresión (2) puede ser:

$$\text{Inercia térmica}(I) = \frac{1}{\alpha} = \frac{C_p \cdot \rho}{\lambda} \quad [h/m^2] \quad (2)$$

donde:

“ α ” corresponde a la difusividad térmica [m^2/h] del material

“ c_p ” corresponde al calor específico [$kCal/kg^\circ C$] o [$J/kg.K$] del material

“ ρ ” corresponde a la densidad [kg/m^3] del material, y

“ λ ” a la conductividad térmica [W/mK] o [$kCal/hm^\circ C$]

Este concepto, que se usa habitualmente en estas tecnologías, responde directamente a las características del material y es directamente proporcional al Calor específico ($C_p = Kcal/kg^\circ C$) y a la densidad ($\rho = kg/m^3$); e inversamente proporcional a la conductividad térmica ($\lambda = W/mK$ o $Kcal/hm^\circ C$), teniendo en cuenta el espesor δ de la masa (m).

El *retardo térmico o desfasaje* ($\varphi = hs$), refiere a la capacidad de diferir la onda térmica en horas logrando desfasar la entrega de calor al ambiente interior en función de las necesidades de transferir calor del ciclo diurno al ciclo nocturno en un

período (P) completo de 24 hs. En este concepto participa el espesor (δ) del MAC, y la difusividad térmica α (inversa de la inercia térmica $1/\alpha = C_p \cdot \rho / \lambda$), y la expresión (3) es:

$$\varphi = \frac{\delta}{2} \cdot \sqrt{P / \pi \cdot \alpha} \quad [\text{h}] \quad (3)$$

donde:

“ δ ” corresponde al espesor [m] del MAC

“P” corresponde a la duración [h] del periodo

“ π ” corresponde al número irracional 3.1416... y

“ α ” corresponde a la difusividad térmica [m²/h] del material

El **amortiguamiento** (μ) por un lado responde al nivel de atenuación que existe entre ambas caras de la masa de acumulación. Esto es el pico de temperatura entre la onda térmica de la superficie expuesta al sol de la masa de acumulación y el pico de la alcanzada en la superficie interior de la misma. En este caso se puede medir a partir del cociente entre el ΔT de la superficie interior del MAC que da al ambiente a climatizar dentro del ciclo diurno/nocturno, y el ΔT de la temperatura alcanzada por la superficie exterior asoleada. O sea podemos decir que el coeficiente de amortiguamiento expresa la disminución de la amplitud de la onda térmica en la cara interior respecto de la cara exterior de la masa de acumulación, y este decrece rápidamente al aumentar el retardo térmico o desfase (φ). La expresión (4) expresa el coeficiente de amortiguamiento (μ):

$$\mu = \frac{\Delta T_i}{\Delta T_e} \quad [\text{s/d}] (*) \quad (4)$$

donde:

ΔT_i corresponde a la variación térmica en la superficie interior del MAC, y

ΔT_e corresponde a la variación térmica en la superficie exterior del MAC.

(*) en forma teórica el coeficiente de amortiguamiento puede tomar valores entre 0 y 1.

Las figuras 16 y 17 muestran los diferentes casos y su dinámica. (Originales realizados por el Lic. Jorge Luis Guerrero, extraídos de los Apuntes de transferencia de calor y de masa, D5 IAS/FABA 1977, inéditos).

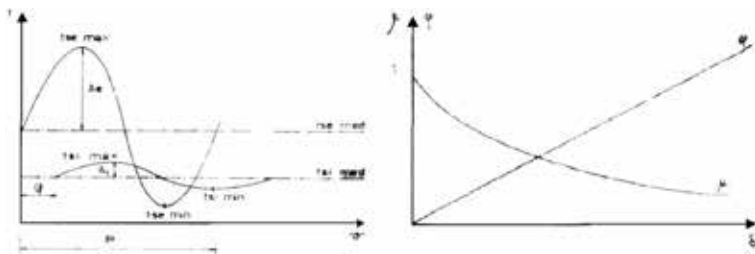


Figura 16 y 17. (Izquierda) Régimen periódico teórico. Muestra el ciclo térmico de ambas caras de la masa de acumulación, el retardo ϕ entre curvas, y el amortiguamiento μ entre sus picos ($t_{se \max.}$ y $t_{si \max.}$). (Derecha). Coeficiente de retardo y de amortiguamiento en función de los espesores δ de la masa de acumulación. **Fuente: Lic. Jorge Luis Guerrero. Croquis originales.**

Como hemos mencionado en la figura 14, dos de los ejemplos citados (Casa Tedeschi de Mendoza. IADIZA; y Casa de Abra Pampa, Jujuy, INENCO) cuentan con muros Tipo “a”, definidos como “desfasores” de la onda térmica y con masa de acumulación sólida. Los mismos responden tecnológicamente a climas fríos, rigurosos y estables, con gran amplitud térmica, baja humedad y alta irradiación solar. En estos climas dicha

tecnología se complementa preferentemente con una evolvente edilicia másica en su interior, muy buena aislación térmica, y un apropiado control de ventilación e infiltraciones. La casa Tedeschi cuenta con muros Trombes construidos en hormigón, y la casa de Abra Pampa con muros Trombes construidos con piedra autóctona y mortero; ambas con rendijas superiores e inferiores de ventilación (G. Lesino et al. 1978); (G. Lesino et al. 1981); (E. Tedeschi et al., 1997).

En el caso de querer profundizar sobre dicha tecnología y analizar otros casos, existen múltiples bibliografías del tema tales como (J. Kreider; F. Kreith, 1981), (S. V. Szokolay, 1978); (G. Yañez 1982); (Instituto Torrojas, 1983); Balcomb, J. D.; Hedstrom, J.C. (1980); Balcomb, J. D. 1981); entre otras.

3.2. MUROS CON ACUMULACIÓN EN MASA LÍQUIDA CON DESCARGA CONTROLADA (MAC TIPO “d”)

Estos tipos de muros pueden presentar cierta diversidad en cuanto a la configuración de su masa de acumulación y respecto a las capacidades termodinámicas de los fluidos y su calor específico (agua, aceites, etc.). Esta tecnología fue utilizada a principios de los '70 en EE.UU. en climas similares a los requeridos para los muros sólidos (ver figura 10). Pero en la Argentina dicha tecnología fue analizada y desarrollada para dar respuestas a la climatización de ambientes emplazados en climas con un mayor grado de inestabilidad higrotérmica, y con un recurso solar intermedio. Por ejemplo los climas templados húmedos de la zona costera de la región Centro de la provincia de Buenos Aires cuentan con mayor frecuencia de días nublados en la temporada invernal y niveles de irradiación media. Estos condicionantes climáticos requieren que los

materiales destinados a acumular calor cuenten con una mayor dinámica de carga y alto calor específico (esto permite una mayor capacidad de carga térmica en un mismo volumen). Al contar con una mayor capacidad de carga térmica, el calor acumulado puede responder a una demanda térmica de una serie de días nublados sucesivos, y ser diferido de manera controlada. Algunos fluidos cumplen eficazmente con estos requisitos, y en particular el agua, dado que cuenta con el *mayor calor específico*, el menor costo, y es *ambientalmente neutro*. Estas propiedades permiten concentrar una mayor cantidad de calor en un mismo volumen respecto a los materiales sólidos; y cuentan con una significativa agilidad en los procesos de carga térmica ante la exposición del sol. En síntesis, dichos atributos permitieron considerar al agua como una estrategia posible y viable para utilizarse como masa de acumulación térmica en los MAC a implantar en climas templados húmedos y de mayor inestabilidad.

Teniendo en cuenta los aspectos descritos, vemos que los componentes del MAC tipo “d”, si bien modifican el material de acumulación de calor (líquidos por sólidos) y su forma de contenerlo (recipientes), coinciden tecnológicamente con los tipo “a” en cuanto a otros aspectos, ya que también requieren de vidrieras expuestas al sol y un habitáculo destinado a colocar la masa de acumulación. Pero dadas las características convectivas del agua encriptada en sus recipientes y las mayores temperaturas alcanzadas, se dinamiza el proceso de transferencia de calor; en consecuencia la estructura transparente y el recinto que la contiene deben ser protegidos térmicamente, fundamentalmente la vidriera durante el período nocturno. Es esencial minimizar las pérdidas térmicas y las infiltraciones, ya que existe un mayor Δt entre la acumulación del MAC y el exterior, potenciando la dinámica de descarga. Teniendo en cuenta estas circunstancias, y recordando que la capacidad

de carga de calor es cuatro veces mayor a la de los materiales sólidos, el recinto del MAC debe estar fuertemente aislado y estanco a los efectos de minimizar las fugas térmicas. Esto incluye a su estructura lateral y posterior, y a las rejillas regulables que controlan la descarga de calor hacia el ambiente a climatizar. Esta incorporación tecnológica específica de los MAC tipo “d” (protecciones externas + aislación del recinto + estanqueidad + descarga controlada) permite retener y asegurar la mayor cantidad de calor acumulado en la masa, preservarlo, diferirlo y descargarlo con cierto grado de control a voluntad según la demanda.

En síntesis el MAC tipo “d” cuenta con una cara exterior expuesta al sol conformada por una vidriera transparente de vidrio simple o doble, con un sistema aislante para la protección nocturna; un recinto aislado térmicamente y estanco en el que se incluye la masa de acumulación, que en sus inicios usó cápsulas metálicas distribuidas en tresbolillo para encriptar el agua; en su cara posterior el MAC cuenta con un panel fijo y aislado térmicamente, que se encuentra conectado con el ambiente a climatizar a través de rejillas que permiten regular la salida del aire caliente. Estas compuertas regulables para la descarga de calor, una vez abiertas permiten por convección natural establecer un intercambio térmico entre las celdas de agua y el aire circulante entre el recinto del MAC y el ambiente a climatizar (ver figuras 13 “d” y 14).

La transferencia de calor entre el aire que circula por el interior del MAC y las cápsulas con agua es principalmente por convección natural y rigen las expresiones físicas habituales de dicho intercambio. El flujo natural del aire en la parte inferior del MAC, es laminar; pero en su ascenso entre cápsulas, alrededor de los 70 cm de altura, se inicia cierto desorden tendiente a un régimen turbulento (J. L. Guerrero, et al 1979). El movimiento ascendente del aire (flujo entre

celdas) es provocado por la diferencia de temperaturas y su consecuente cambio de densidades (aire más liviano). Como ejemplo se pueden observar algunos ensayos sobre la mesa de flujo laminar a los efectos de visualizar el comportamiento del fluido respecto a las cápsulas. Si bien en la simulación se sustituye el aire por agua como fluido circulante, dicho ejemplo ilustra una aproximación de la dinámica del aire circulante. La figura 18 muestra un ensayo empírico representando las cápsulas y los cambios de flujo.

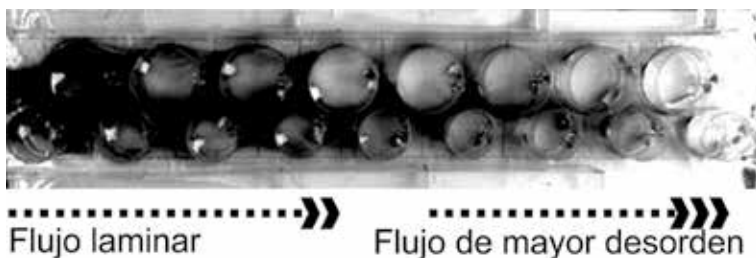


Figura 18. Ensayo empírico en una mesa de flujo representando las cápsulas y los cambios de flujo.

Dada la predominancia convectiva en el proceso de transferencia de calor, con una fuerte vinculación entre el aire y las superficies de disipación de las cápsulas con agua, las expresiones genéricas 5, 6, 7, 8, 9 y 10 se aproximarían a dicha dinámica básicamente superficial, siendo estas:

Calor por convección

$$Q_c = h_c \cdot A \cdot \Delta T \quad [\text{J}/^\circ\text{Cm}^2\text{s}] \text{ o } [\text{W}/\text{m}^2\text{C}] \quad (5)$$

donde:

Q_c = Radiación directa $[\text{J}/^\circ\text{C m}^2 \text{ s}]$ o $[\text{W}/\text{m}^2\text{C}]$

h_c = Coeficiente de Transferencia de calor por convección $[\text{W}/\text{m}^2\text{C}]$ (*);

$A = \text{Área de Transferencia [m}^2\text{]}$

$\Delta T = \text{Diferencia de temperaturas [}^\circ\text{C]}$

(*) (Convección natural $h_c = 6\text{-}30$; y convección turbulenta $h_c = 30\text{-}300$)

Fuente: J. Kreider y F. Kreith. Solar Energy Handbook. Convection heat transfer, Tablas 4.6, pag 4-17. 1981.

Debemos aclarar que un coeficiente convectivo (h_c) alto mejora significativamente la transferencia, de calor dado que el flujo turbulento acentúa el intercambio térmico por una mayor cercanía entre las partículas de aire y las celdas de agua. La diferencia entre un proceso natural o turbulento está dada por la velocidad del fluido circulante, su desorden molecular y la capacidad de irrupción que tiene dicho flujo sobre la capa límite entre el fluido y la superficie de las celdas. La reducción de dicha capa límite y el desorden molecular mejoran la transferencia. El límite entre una situación y la otra se evalúa a través del número de Reynolds, que relaciona la densidad del aire, la viscosidad, y la longitud o diámetro del sistema. Dicho número adimensional si es pequeño (menor a 2000) se relaciona con un flujo laminar y luego de cierto límite (mayor a 3000) se considera turbulento.

Número de Reynolds (Re):

$$\mathcal{R} = \frac{\rho \cdot v_s \cdot D}{\mu} \quad [\text{s/d}] \quad (6a)$$

o equivalentemente:

$$\mathcal{R} = \frac{v_s \cdot D}{\nu} \quad [\text{s/d}] \quad (6b)$$

donde:

ρ = Densidad del fluido (Kg/dm^3 o gr/cm^3).

v_s = Velocidad característica del fluido (m/s o cm/s).

D = Longitud característica del sistema o diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido (m).

μ = Viscosidad dinámica o absoluta del fluido (poises, $\text{gr}/\text{cm}^*\text{seg}$).

ν = Viscosidad cinemática del fluido (stoke, cm^2/seg). $\nu = \mu / \rho$.

Luego de estas aclaraciones, podemos considerar las expresiones generales que gobiernan el proceso de colección de la carga térmica; las pérdidas térmicas de la acumulación y el calor entregado por la misma al ambiente a climatizar.

Para dimensionar el calor aproximado que es capaz de coleccionar el MAC:

$$\dot{Q}_{col} = S \cdot F' \cdot \left[\alpha \cdot \tau \cdot G' - \frac{1}{R} \cdot (T_a - T_e) \right] \quad [\text{W}] \quad (7)$$

Para evaluar las pérdidas térmicas de la masa de acumulación del MAC:

$$\dot{Q}_p = \frac{S}{R_e} \cdot (T_a - T_e) + \frac{S}{R_i} \cdot (T_a - T_i) \quad [\text{W}] \quad (8)$$

Para el caso de analizar la descarga entregada será:

$$\dot{Q}_d = K \cdot (T_a - T_i) \quad [\text{W}] \quad (9)$$

Para evaluar el calor entregado y la masa de agua requerida para la demanda de climatización la expresión debe responder

a:

$$Q_d = [M_a \cdot C_p \cdot (T_a - T_{lic}) - t \cdot Q_p] \cdot n \quad \text{[J]} \quad (10)$$

donde:

Q_{col} = Calor colectado por el MAC (W).

Q_p = Calor perdido por el MAC (W).

Q_d = Calor entregado por el MAC al interior a climatizar (W).

Q_d = Calor entregado por el MAC en el día al interior a climatizar (J).

S = Área del MAC (m^2).

α = Absortancia del MAC (s/d).

τ = Transmitancia del MAC (s/d).

F' = Factor de transmisión de calor adimensional para estos casos del orden de 0,96 (s/d).

R = Resistencia térmica diurna del MAC hacia el exterior ($^{\circ}C \ m^2/ \ W$).

R_e = Resistencia térmica nocturna del MAC hacia el exterior ($^{\circ}C \ m^2/ \ W$).

R_i = Resistencia térmica del MAC hacia el interior ($^{\circ}C \ m^2/ \ W$).

T_a = Temperatura del agua en las cápsulas del MAC ($^{\circ}C$).

T_i = Temperatura del aire ambiente interior a climatizar ($^{\circ}C$).

T_e = Temperatura del aire ambiente exterior ($^{\circ}C$).

T_{lic} = Temperatura del aire interior considerando el límite inferior de confort = 18 °C (°C).

K = Coeficiente de transmitancia de calor conductivo-convectivo entre las cápsulas de agua y el interior del edificio (W/K).

M_a = Masa total de agua de acumulación de las cápsulas (Kg.).

C_p = Calor específico del agua de las cápsulas (J/Kg K).

t = Duración del día (seg.).

n = Número de días sucesivos en los cuales el MAC debe equilibrar el balance. Por ejemplo en nuestra región = entre 3 y 4,5 días.

En síntesis, las expresiones descriptas responden a los muros con acumulación en masa líquida con descarga controlada (Tipo “d”) representados en la figura 13 “d”. Un ejemplo de aplicación se mostró en figura 14 cuya tecnología fue implementada en la casa solar de La Plata, diseñada por el IAS (J. L. Guerrero et al, 1979). Dicha tecnología se implementó para climas templados húmedos con mediana o baja amplitud térmica, alta humedad y con una irradiación solar media durante gran parte del año. Dada estas condiciones climáticas, es imprescindible también que la edificación que utilice estas tecnologías esté bien aislada térmicamente a los efectos de poder asegurar una buena fracción solar de aporte.

En el caso de querer profundizar sobre dichas tecnologías y analizar otros casos, existen múltiples bibliografías del tema (J. Kreider y F. Kreith, 1981), (S. V. Szokolay, 1978); (G. Yañez, 1982); (J. L. Guerrero et al. 1979); (La Casa Solar de La Plata, 2009), entre otras.

A partir de los antecedentes analizados y de los ejemplos pioneros desarrollados en la Argentina, focalizaremos sobre los sistemas solares pasivos MAC tipo “d”, dado que dichas tecnologías no se han difundido masivamente, y es una de las que mejor se adaptan a los climas templados húmedos característicos de la región centro de la Argentina. Para tal fin profundizaremos inicialmente con los MAC desarrollados en la década del ‘70 por el físico J.L. Guerrero para la casa solar de La Plata. Los mismos se encuentran en la fachada Norte de la casa, encaballados uno en PB y otro en PA. Ambos se encuentran interconectados a los efectos de intercambiar calor entre sistemas. La masa de acumulación total es de 1996 Kg (o litros L), y cuenta con 446 cápsulas metálicas tratadas interiormente con una capacidad individual de 4-5 litros cada una (J. L. Guerrero et al. 1984); (C. Discoli et al. 1985).

LOS MAC CON ACUMULACIÓN EN AGUA: DESARROLLOS PARA LA PLATA, ARGENTINA

4

Si bien la tecnología de los MAC tipo “d” es aplicable a la edificación en general sea de construcción privada o pública, individual o masiva; los desarrollos iniciales en la Argentina fueron impulsados por el instituto de investigaciones IAS/FABA con apoyo de organismos gubernamentales. Ante la crisis petrolera de la década del ‘70, dichos organismos pensaron en la posibilidad de incorporar nuevas fuentes energéticas en las viviendas de construcción masiva gestadas por los institutos provinciales. Dicha sustitución de fuentes se focalizaba en el recurso solar en sus diversas formas, advirtiendo la necesidad de incluir complementariamente medidas de eficiencia energética aplicadas a los sistemas constructivos de las viviendas. Bajo estos preceptos, en el año 1979, la Sub-Secretaría de Estado y Desarrollo Urbano y Vivienda (SSDUV) de Nación en conversaciones con el Instituto de Arquitectura Solar (IAS/FABA), resolvió bajo la Resolución N° 472 encomendar la tarea de desarrollar un programa de viviendas colectivas y un prototipo de ensayos que incorpore energías renovables y se localice en la ciudad de La Plata, latitud 35° Sur (E. Rosenfeld et al. 1979). Dicho

programa consideraba la construcción de 30 viviendas de mediana densidad y una vivienda prototipo para el desarrollo de sistemas helio-energéticos y los ensayos preliminares de solarización. El emprendimiento se realizó en colaboración con el Instituto de la Vivienda de la Provincia de Buenos Aires (IVBA), quien cedió el predio para su emplazamiento. La construcción del primer prototipo de vivienda solar para climas templados húmedos culminó en octubre de 1981. A partir de dicha fecha se iniciaron los ensayos de los diferentes sistemas pasivos orientados a la climatización de invierno y de verano, y agua caliente. La figura 19 muestra una perspectiva del conjunto de viviendas, y del prototipo de ensayos.

El partido energético del prototipo incluía eficiencia energética en la envolvente implementando diferentes sistemas de aislación; Ganancia Directa; calefón solar; y climatización de verano a través de una chimenea solar y refrescamiento por evaporación indirecta, y climatización de invierno por medio de Muros acumuladores en agua con descarga controlada (MAC tipo “d”).

En particular en esta publicación, como ya hemos adelantado, se focalizará sobre los sistemas MAC con acumulación en agua tipo “d” para la climatización de invierno. El desarrollo de estos sistemas aportó diferentes innovaciones y peculiaridades tecnológicas. Recordemos que los MAC con acumulación



Figura 19. Perspectiva del conjunto de 30 viviendas solares de mediana densidad; y la vista y corte del prototipo de ensayos.

sólida tipo “a” eran los más difundidos y conocidos en esa época, pero no eran los más adecuados para las condiciones climáticas de la región templada-húmeda de la Argentina. En consecuencia se debió desarrollar una tecnología apropiada a dichas condiciones climáticas y que permitiera generar una oferta energética acorde a la demanda de climatización, en este caso para una vivienda de plan social.

El desafío para estos sistemas se circunscribió a la necesidad de acumular la energía necesaria para cubrir la demanda energética de la vivienda teniendo en cuenta un recurso solar medio y días nublados consecutivos, típico de los climas templados húmedos (Lat 35° S). Para la región en cuestión, nos estamos refiriendo entre 1,5 y 2 kWh/m² (junio/julio) y entre 3 y 4,5 días nublados consecutivos por estadística climatológica (días tipos de diseño, Conjuntos Habitacionales con Energía Solar, Rosenfeld et al, 1979). Ante tales limitantes, la aptitud de carga de calor y la capacidad de acumulación de energía térmica eran atributos principales a tener en cuenta en el diseño de estos MAC. En ese sentido el material acumulador debería ser de alto calor específico y económico; su volumetría y dimensiones similares a los MAC sólidos; y una morfología con una distribución de su masa que asegure una buena dinámica de carga térmica y acumulación de calor. Complementariamente, los sistemas deben contar con muy buena aislación térmica exterior e interior; buena estanqueidad en el recinto que contiene a la masa de acumulación; y una regulación de descarga del calor fina, que asegure una buena distribución del calor respecto a la demanda prolongada requerida.

Todas estas peculiaridades pautaron el desarrollo tecnológico de los MAC de la casa solar de La Plata, y su diseño definitivo incorporó importantes innovaciones tecnológicas para la época. Estas tienen que ver con que los MAC formaban parte

de un sistema complejo de climatización que incluía trabajar en más de una planta (entre 2 y 4 plantas), encaballando los sistemas entre plantas, en combinación con la chimenea solar de la vivienda (CHIS) para su ventilación eventual durante el período estival. Si bien estaban dimensionados para cubrir la demanda de calor de cada espacio en el cual se emplazaban, su encaballamiento permitía interconectarlos entre ellos a través de compuertas para trasladar aire caliente del MAC inferior al superior, y eventualmente poder ser ventilados en el período estival a través de la CHIS y las toberas de la cumbre de la vivienda.

La figura 20 muestra un corte de los MAC tipo “d” implementados en la casa solar detallando el diseño y su interconexión con la CHIS en el caso que corresponda; y la figura 21 muestra el corte de los MAC con su interconexión y la distribución de la masa en tres bolillos con los diferentes tipos de estructuras contenedoras de las cápsulas con agua.

El MAC de PB cuenta con una superficie de colección de 7,70 m² y una capacidad de 936 litros de agua, distribuida en 234 recipientes de tipo comercial de 4 litros cada uno. Los mismos fueron revestidos interiormente con caucho siliconado y el agua tratada con aditivo anticorrosivo y alguicida, estando terminados exteriormente con negro mate. En cuanto a la aislación, la vidriera Norte cuenta con una cortina de enrollar con lamas plásticas, y en su parte posterior, hacia el interior cuenta con un panel aislado con 5 cm de lana de vidrio de alta densidad adheridos a una panelería de madera aglomerada con estructura de soporte en chapa doblada. El accionamiento de las compuertas de descarga de calor es manual.

Se particularizó el estudio de la estructura de sostén de las cápsulas con agua, arribándose a dos modelos que fueron instalados en planta baja y planta alta. El modelo de planta

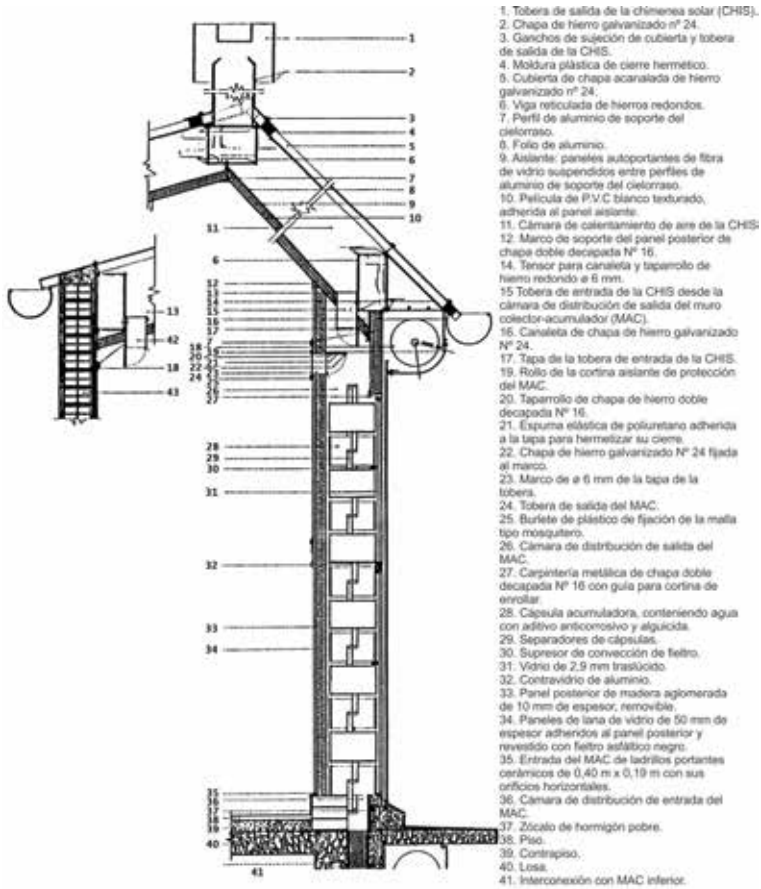


Figura 20. Corte del MAC tipo "d" diseñado para la casa solar de La Plata. Se detalla el diseño y su interconexión en su parte inferior con los MAC de PB, y en la parte superior con la CHIS en el caso que corresponda. Programa CESAD, IAS/FABA.

baja consiste en una estructura de planchuelas metálicas plegadas y soldadas conformando una estructura tipo panal de abejas que asegura el distanciamiento de 2 cm entre cápsulas y la colocación en tresbolillo.

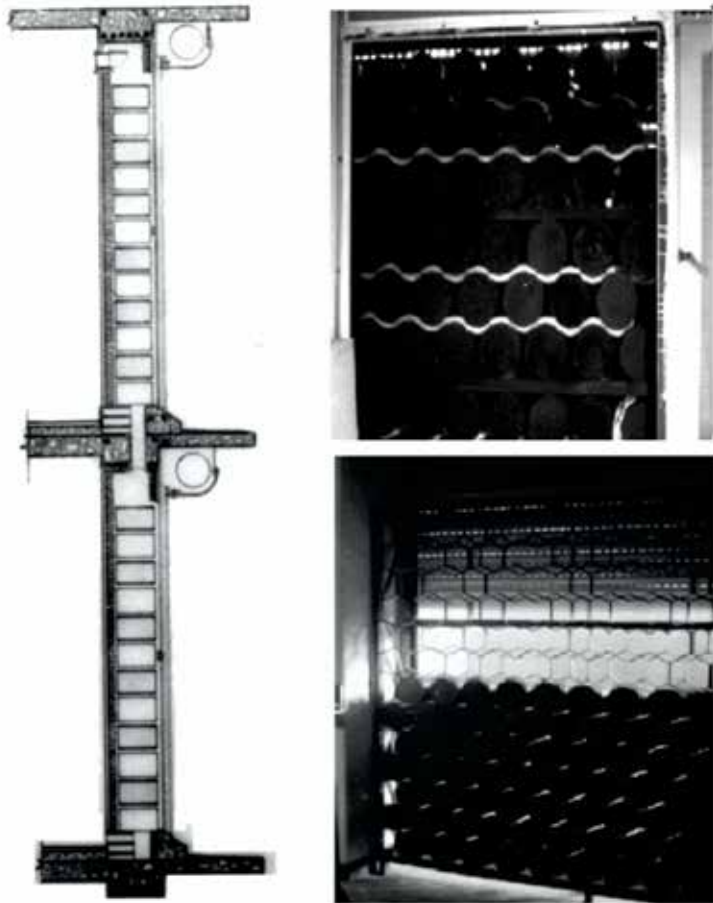


Figura 21 muestra un corte de la configuración de los MAC de PB y PA, y la vista posterior sin los paneles aislados a los efectos de mostrar las estructuras contenedoras de las cápsulas con agua del prototipo solar de La Plata, Programa CESAD IAS/FABA.

El MAC de planta alta fue diseñado con la intención de reducir costos. Para ello se reemplazó la estructura de tipo panel por otra simplificada con soportes horizontales cada tres hiladas de cápsulas. Las mismas se hallan trabadas y separadas entre sí por dos sogas de 2 cm de diámetro, colocadas hacia el borde

exterior e interior. Como consecuencia de los espacios libres resultantes se debió emplear recipientes más largos, variando la acumulación a 1060 litros en 212 recipientes de 5 litros. Los resultados no fueron totalmente satisfactorios, pues si bien se reduce el costo de la estructura aumenta el costo del montaje, y el sistema no asegura una separación regular entre cápsulas. En todos los envases se dejó una cámara de aire del 2% de su volumen a los efectos de evitar roturas por dilatación del agua. Entre ambos muros (PB y PA) existen compuertas verticales que permiten derivar aire caliente del recinto inferior al superior complementando requerimientos de climatización en función de la demanda diurna/nocturna. Las aislaciones exteriores e interiores cuentan con las mismas características que el sistema de PB.

Una vez instaladas las cápsulas, luego de tres años de uso no presentaron señales de corrosión ni pérdidas significativas por falta de estanqueidad. Respecto a las cortinas de enrollar plásticas oportunamente se las escogió por resultar la mejor opción existente en el mercado nacional dentro de los costos FONAVI. Los ensayos demostraron que las mismas no respondieron a las necesidades de aislación del sistema. Una vez instaladas se ha podido comprobar un buen funcionamiento mecánico pero una resistencia térmica real inferior a la suministrada por los fabricantes, lo que ha redundado en detrimento de la capacidad de acumulación necesaria de los MAC. En consecuencia para mitigar dicha deficiencia se diseñaron aislaciones móviles rebatibles a los efectos de ser reemplazadas por las cortinas de enrollar originales.

Luego de experimentar dichas instalaciones y evaluar ventajas y desventajas, se pensaron diferentes alternativas industrializadas para mejorar algunos aspectos y dar respuestas a implementaciones masivas. Esto es por ejemplo la implementación de cabezales matrizados autoportantes

para la estructura portante, o la implementación de diferentes configuraciones de apilamientos de las cápsulas con diferentes volumetrías y materialidades; así como sistemas de protección térmicas exteriores más eficientes. Estas alternativas se fueron desarrollando en trabajos posteriores.

PRIMERAS AUDITORÍAS EN LOS SISTEMAS MAC DE LA CASA SOLAR DE LA PLATA

5

5.1. ENSAYOS PRELIMINARES DE LOS MAC LUEGO DE FINALIZADA LA CONSTRUCCIÓN DE LA VIVIENDA PROTOTIPO

En 1983 se realizaron los primeros ensayos generales de la casa solar de La Plata con los MAC tipo “d”. Se realizaron mediciones generales para evaluar la habitabilidad de los espacios a climatizar por los MAC de PA y PB y establecer los primeros niveles de carga y de descarga de calor. Los mismos registraron niveles térmicos máximos en las cápsulas superiores de 42 °C con un promedio de 36 °C en su masa, y una acumulación total de calor del orden de 140 Mj/día. Estos niveles de carga se lograron en días con radiaciones medias de 750 W/m². Durante dichos períodos se detectaron fugas por infiltraciones originadas por deficiencias en los aislantes del recinto. A pesar de dichas condiciones, por ejemplo, el MAC de PB alcanzó niveles de carga de 69 Mj/diarios, calor que se utilizó durante 2,5 días sin asoleamiento, con un gradiente térmico total de pérdida de temperatura de 18,5 °C.

Las temperaturas logradas en el ambiente a climatizar (estar-comedor) se mantuvieron con niveles de confort entre 23 °C y 20 °C durante el período considerado (2,5 días). Si bien estos primeros registros no cumplieron con las expectativas de diseño (fracción solar 100%), dado que los estudios estadísticos en los días tipo de diseño requerían cubrir una demanda térmica para 3,5 a 4 días nublados, la fracción solar alcanzada fue entre el 60/70% (J. L. Guerrero et al 1984). A pesar de las infiltraciones detectadas los niveles térmicos alcanzados en los procesos de carga han sido aceptables. La figura 22 muestra los registros originales que establecen el nivel de habitabilidad del Estar climatizado por el MAC de PB.

A partir de dichos resultados y detectadas las infiltraciones no deseadas, se revisó su construcción inicial y se evaluaron las pérdidas por deficiencias en su aislación térmica y por fugas de calor a través de los buches de las cortinas de enrollar. En conjunto las pérdidas de calor se calcularon en el orden de 23,3 Mj, afectando así la demanda requerida. Ante esta situación,

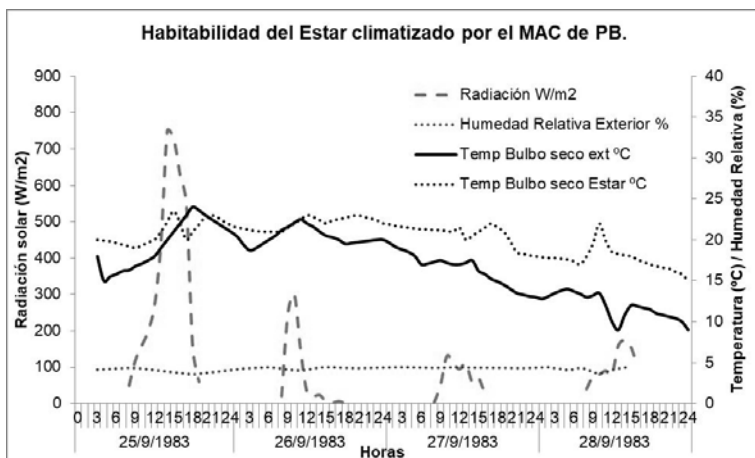


Figura 22. Registros originales que muestran la habitabilidad del Estar climatizado por el MAC de PB.

se mejoraron las aislaciones externas y la estanqueidad del recinto eliminando las infiltraciones ocasionadas por el sistema de cortina de enrollar. Se modificó la estructura superior del recinto del MAC, sellando encuentros y reforzando aislaciones (10 cm de lana mineral). Con respecto a las protecciones de las vidrieras, las cortinas fueron reemplazadas por aislaciones térmicas móviles (con poliestireno de 8 cm y densidad 20/22 kg/m³) asegurando una buena protección nocturna. La figura 23 muestra algunas de las propuestas de protección exterior, optando en primera instancia por la tercera opción para los nuevos ensayos dada su sencillez constructiva.

Una vez realizadas las modificaciones en el recinto de los MAC y las protecciones externas se reanudaron los ensayos de comportamiento y eficiencia en diferentes condiciones de uso de la vivienda.

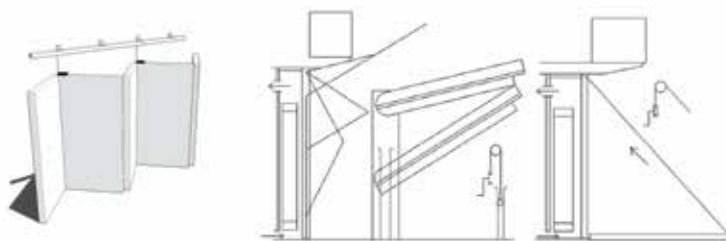


Figura 23. Propuestas de protecciones exteriores para los MAC.

5.2. ENSAYOS DE LOS MAC CON LAS MODIFICACIONES EN SU ENVOLVENTE

Durante el período invernal de 1984/1985 se realizaron nuevas mediciones energéticas de los MAC a los efectos de verificar su funcionamiento con las modificaciones realizadas.

Se diferenciaron en el ensayo las siguientes etapas de su funcionamiento: 1. *Ensayos de carga de los MAC y rendimientos*; 2. *Ensayos de descarga de los MAC y rendimientos*; y 3. *Ensayo de los MAC en situación normal de funcionamiento de la vivienda prototipo*.

5.2.1. ENSAYOS DE CARGA DE LOS MAC Y RENDIMIENTOS

Para los ensayos de carga y rendimientos, se iniciaron las pruebas con un nivel de “acumulación nula” en los sistemas de PB y PA. Denominamos acumulación nula cuando las capsulas de agua del MAC se encuentra a una temperatura de 18 °C (límite inferior de confort térmico de un espacio, E. Rosenfeld et al., 1979). Durante el primer ciclo de carga se registró una heliofanía mayor al 70% y una radiación pico sobre el plano vertical de 880 w/m². La masa de acumulación registró una temperatura media de 36 °C. Finalizado el ciclo de asoleamiento el MAC contó con una acumulación de calor disponible de 70,4 Mj, y con un gradiente térmico medio de carga de 2,12 °C/h y 8,75 Mj/h de calor acumulado.

Concluido el primer ciclo de carga, y sin realizar descargas voluntarias nocturnas, se protegieron con las nuevas aislaciones exteriores móviles. Durante el transcurso del período nocturno, se registró una pérdida global de calor de 11 Mj, con temperaturas exteriores de 1 °C. El gradiente de temperatura de perdida fue de 0,186 °C/h y el de calor fue de 0,73 Mj/h.

Iniciado el segundo ciclo de carga, se registró una heliofanía superior al 70% y una radiación pico sobre el plano vertical de 800 W/m². La acumulación de los MAC partió de una temperatura media de 33,2 °C y una carga térmica de 59,4 Mj. Durante el período de exposición, la temperatura media

de las cápsulas de agua alcanzó un nivel de 42,4 °C, con una acumulación de calor disponible para la climatización de 95,5 Mj. Los gradientes de temperatura y de calor acumulado fueron de 1,15 °C/h y 4,56 Mj/h respectivamente.

Si consideramos los rendimientos de carga, relacionando el calor acumulado durante el ciclo y la energía irradiante disponible sobre la fachada norte de los MAC nos encontramos con un rendimiento medio en ambos ciclos de 43,5 %. La figura 24 muestra los registros originales en los que se muestran con las ecuaciones 11 y 12 los rendimientos parciales de cada ciclo, las temperaturas de los MAC, y del ambiente exterior e interior, con la irradiación disponible; y la tabla 2 muestra el resumen de los datos descriptos.

Observando los datos se puede afirmar que para que los MAC adquieran su máxima carga, se requiere de dos días con heliofanías mayores al 70% y una integral diaria de irradiación solar media incidente sobre el plano vertical de 120Mj. Durante el primer día se alcanzó $\frac{3}{4}$ partes de la carga térmica total, con una pérdida posterior nocturna del 15% y temperaturas exteriores de 1 °C. Durante el segundo día de carga, se recuperó el calor perdido y alcanzó los niveles de carga máxima (95,5 Mj). Durante el período completo de ensayos se registraron diferentes ciclos de cargas sucesivas con buena heliofanía e irradiación. Las temperaturas medias

	Periodo de acumulación					Periodo de pérdida				
	Temp. inic. °C	Carga inic. MJ	Temp. acum. °C	Acum. MJ	Grad.T. carga C/h	Grad. carga MJ/h	Pérd. glob. MJ	Grad. T. pérd. C/h	Grad. pérd. MJ/h	Rend. n %
1º día	18	0	36	70,4	2,12	8,75	11	0,186	0,73	54,6
2º día	33,2	59,4	42,4	95,5	1,15	4,56	-	-	-	32,5

Tabla 2. Rendimientos parciales de cada ciclo de los MAC de PA y PB; temperaturas de los MAC, del ambiente exterior e interior; y la irradiación disponible.

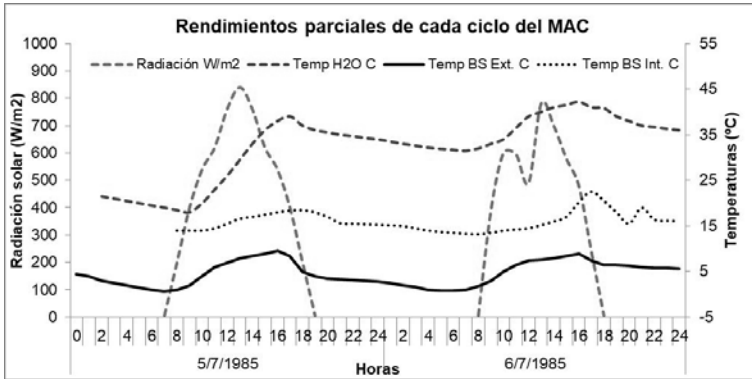
alcanzadas por la masa de acumulación han sido entre 42 °C y 46 °C y con temperaturas máximas en las cápsulas superiores de 52 °C y 54 °C.

5.2.2. ENSAYOS DE DESCARGA DE LOS MAC Y RENDIMIENTOS

Luego del ciclo de carga descrito (figura 24), se procedió a evaluar los ensayos de descarga y sus rendimientos en función de las demandas de la climatización requeridas y las descargas voluntarias para tal fin. Se registraron dos instancias, considerando descargas con días de mediana heliofanía y baja heliofanía. La figura 25 muestra las temperaturas registradas en los MAC en la fase de descarga indicando la apertura y cierre de rejillas, las temperaturas del ambiente exterior e interior y los diferentes niveles de irradiación.

En este caso la acumulación disponible luego del período nocturno y parte del ciclo diurno siguiente era de 68,5 Mj. A partir de las 12,30 hs. se operaron las rejillas de descarga durante 17 hs corridas para climatizar el ambiente en este caso de PB, entregando una energía térmica de 42,2 Mj y dejando un calor residual en la masa de acumulación de 26,3 Mj. Se observa que en el segundo día y con buen nivel de irradiación el MAC recupera su carga alcanzando niveles de temperatura de 43 °C en las cápsulas con agua.

Continuando la evaluación (figura 26), luego de un buen ciclo de carga, la energía disponible pasado el ciclo nocturno fue de 98,2 Mj. La descarga de calor se realizó a partir de las 10 hs, durante un período continuo de 24 hs. Se cubrió la climatización nocturna y diurna de ambos días y concluida la descarga, la acumulación del MAC mantuvo un calor residual de 33,6 Mj.



$$\mu_1^{\circ} \text{ ciclo} = \frac{Q_{carg}}{Q_{gad}} = \frac{70,4 MJ}{128,9 MJ} = 0,546 : \mu \% = 54,6 \% \quad 11$$

$$\mu_2^{\circ} \text{ ciclo} = \frac{Q_{carg}}{Q_{gad}} = \frac{36,1 MJ}{110,9 MJ} = 0,325 : \mu \% = 32,5 \% \quad 12$$

Figura 24. Rendimientos parciales de cada ciclo de los MAC de PA y PB; temperaturas de los MAC en dos ciclos consecutivos de carga, del ambiente exterior e interior; y la irradiación disponible.

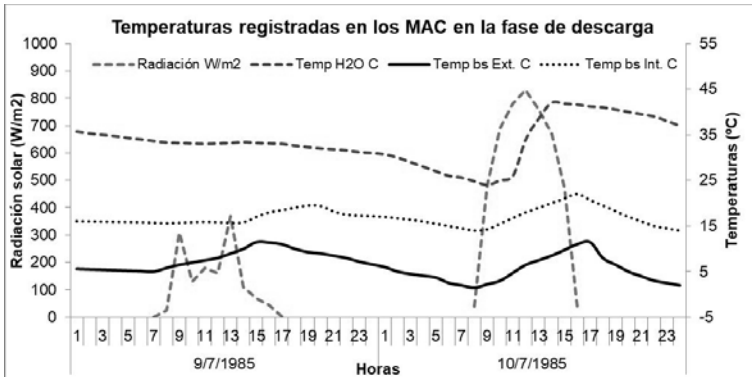


Figura 25. Temperaturas registradas en los MAC en la fase de descarga indicando la apertura y cierre de rejillas, las temperaturas ambiente exterior e interior con los diferentes niveles de irradiación.

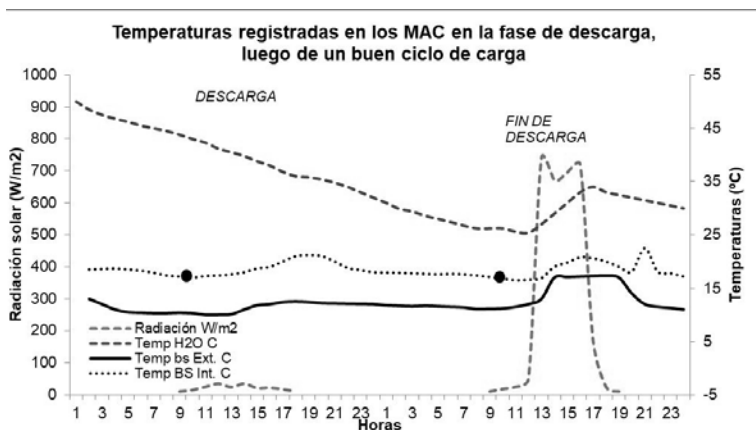


Figura 26. Temperaturas registradas en los MAC en la fase de descarga indicando la apertura y cierre de rejillas, las temperaturas ambiente exterior e interior en un día de irradiación muy baja.

Se analizaron los rendimientos de descarga en función de la energía disponible y la energía entregada y se estimó así la eficacia de los sistemas con descarga controlada. En todos los casos se calculó la energía de pérdidas del sistema a través de su envolvente (muros laterales, frente norte y panel posterior) a los efectos de precisar la energía acumulada útil una vez iniciado cada período de evaluación. La tabla 3 muestra un resumen de los calores en juego para cada caso y los rendimientos obtenidos.

A partir de los registros obtenidos, se debe tener en cuenta que para un uso normal de los MAC, es indispensable optimizar las descargas debido a la rápida respuesta que presenta el sistema. La apertura regulada de las rejillas es fundamental para evitar la descarga descontrolada del calor acumulado, generando por un lado sobrecalentamientos en los ambientes o pérdidas prematuras del calor acumulado. Para verificar los volúmenes circulantes de aire caliente entre las cápsulas de agua del MAC y el ambiente interior, se llevaron a cabo

	Período 9/10 julio 1985	Período 15/16 julio 1985
Acumulación disponible	68,5 MJ	98,2 MJ
Energía entregada por el MAC	42,2 MJ	64,6 MJ
Tiempo de descarga	17 hs	24 hs
Acumulación restante	26,3 MJ	33,6 MJ
Pérdidas del MAC al exterior	7,6 MJ	11,8 MJ
Descarga de calefacción	34,6 MJ	52,8 MJ
η de descarga	50 %	53 %
η medio	51,5 %	

Tabla 3. Rendimientos finales de descarga del MAC a partir de la energía de acumulación disponible e (útil) en cada período evaluado, los tiempos de descarga, la acumulación residual una vez terminada la descarga, la energía perdida y la energía entregada para climatizar.

mediciones de caudal sobre las rejillas de descarga. Se colocaron anemómetros de hilo caliente sobre las bocas de salida de aire, evaluando el flujo teniendo en cuenta las temperaturas en la masa de acumulación y niveles de apertura de las rejillas. La tabla 4 muestra un ejemplo de descarga de aire caliente con temperaturas máximas en la acumulación del MAC, en el que se registraron los caudales de aire evacuado por las rejillas en función de su apertura.

Grado apertura compuertas	1	1/2	1/4	1/8
Caudal (m ³ /día)	7718	6537	2850	892
Area total comp.	0,44 m ²			

Tabla 4. Caudal de aire caliente descargado por las rejillas en función de su apertura y con temperaturas máximas en la acumulación de los MAC.

Si se tiene en cuenta que el volumen de renovación de los ambientes afectados al MAC corresponde a 4500 m³/día, se verifica que la apertura de rejillas ente los rangos 1/4 y 1/2 cumplen con la demanda necesaria de energía, advirtiendo que con aperturas mayores la descarga sería excesiva. En consecuencia se considera necesario contar con rejillas estancas y con una regulación precisa a los efectos de ajustar su apertura a la demanda de calor requerida. De esta manera se asegura una administración ajustada de la descarga de calor, maximizando la descarga controlada en función de la demanda requerida en los ciclos sucesivos.

5.2.3. ENSAYO DE LOS MAC EN SITUACIÓN NORMAL DE FUNCIONAMIENTO DE LA VIVIENDA PROTOTIPO

Para dicho ensayo se utilizó la vivienda prototipo estableciendo un funcionamiento cotidiano considerando los aportes de energía de los sistemas de ganancia directa por ventanas y cocción. Durante los sucesivos períodos de medición, se muestra uno en particular, partiendo de un día asoleado con heliofanía relativa mayor al 70%. De esta manera se aseguró que los MAC cuenten con una carga de acumulación de calor semejante a los niveles máximos alcanzados por el sistema, y luego una sucesión de días con heliofanía relativa inferior a 20% (días nublados). De esta manera se puso a prueba al sistema en cuanto a evaluar la cantidad de días con disponibilidad de calor para sostener la climatización y la habitabilidad de los espacios (fracción solar de aporte). La figura 27 muestra el ciclo completo del ensayo indicando los diferentes usos en la vivienda; las temperaturas interior y exterior; la irradiación incidente sobre el plano del MAC y las descargas de calor en función de las demandas de climatización.

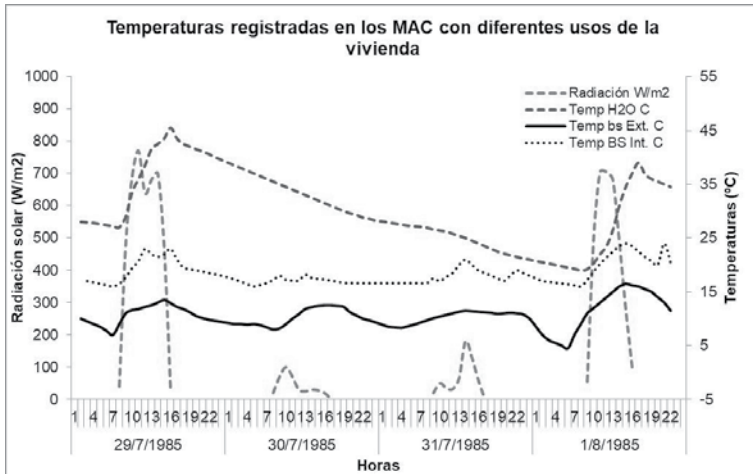


Figura 27. Ciclo completo del ensayo indicando los diferentes usos en la vivienda; las temperaturas interior y exterior; la irradiación incidente sobre el plano del MAC y las descargas de calor en función de las demandas de climatización.

La tabla 5 muestra los calores en juego del MAC y los gradientes calóricos y térmicos registrados durante el ensayo.

En este ensayo, y dado los niveles iniciales de acumulación de calor, se observa que el período transcurrido entre la máxima carga de calor del MAC y su proceso de descarga final ha sido de 63 hs. (2,6 días). Si se tienen en cuenta las necesidades teóricas

	Q1 MJ	Q2 MJ	Gp1 MJ/h	GT1 C/h	Q3 MJ	Q4 MJ	Gp2 MJ/h	GT2 C/h
Dfa 0	88							
1ra descarga		66,1	1,56	0,4	60,6	5,5	1,83	0,46
2da descarga		36	1,17	0,3	0	36	1,44	0,37

Q1= calor acumulado inicial.
 Q2= calor acumulado antes de cada descarga.
 Gp1= gradiente de calor de pérdida.
 GT1= gradiente de temperatura de pérdida.
 Q3= calor acumulado después de la descarga.
 Q4= calor descargado.
 Gp2= gradiente de calor de descarga.
 GT2= gradiente de temperatura de descarga.

Tabla 5. Calores en juego del MAC y los gradientes calóricos y térmicos registrados durante el ensayo.

de climatización para dicha región climática (4,5 días), la carga inicial del MAC (88 Mj) y una descarga promedio de 33,58 Mj diaria; se concluye que los MAC en las condiciones en que fue construido han cubierto el 58% de la demanda de calor requerida (fracción solar 58%). Recordemos que la eficiencia energética de su envolvente (aislaciones e infiltraciones) es fundamental para este tipo de sistemas, la cual aún puede ser perfeccionada.

En síntesis los sistemas MAC tipo “d”, permiten una gran capacidad de acumulación de calor superior a la de los muros sólidos, alcanzando un mayor estado térmico y una eficiente dinámica de carga y descarga en función de la demanda requerida y el clima para el cual se han diseñado (templado húmedos). Dichas capacidades deben ser muy tenidas en cuenta a los efectos de conservar la energía necesaria para saldar el calor de climatización al menos en un 58% de la demanda requerida. Dado que los atributos relacionados con la mayor carga térmica y tiempo de climatización son los que diferencian a los MAC tipo “d” de los tradicionales tipo “a” (sólidos), destinados solo a climatizar un ciclo diario; es fundamental proteger su envolvente ciega y transparente con muy buena aislación térmica, eliminar infiltraciones hacia el exterior e interior, y regular con cierta precisión la descarga de calor a través de las rejillas de control. Estos aspectos forman parte de las vulnerabilidades principales de los MAC tipo “d”, los cuales necesariamente deben estar muy bien resueltos.

Si bien ambas tecnologías (MAC tipo “a” y “d”) son apropiadas a los climas para los cuales fueron diseñadas y responden en gran medida a los requerimientos de climatización, en general requieren de fuentes auxiliares de energía (FA) ya que actúan sobre la climatización de “base”. Las fuentes auxiliares pueden ser específicas para climatizar u otras por ejemplo destinadas a cocción (el aporte de calor durante el proceso de cocción),

permitiendo complementar la demanda de calor faltante o cubrir la energía de “pico” en situaciones extremas.

5.3. PROPUESTAS DE MEJORAS DE DISEÑO DE LOS MAC TIPO “d” ORIGINALES

Luego de estas experiencias, surgieron nuevas ideas orientadas a facilitar tecnológicamente el armado e instalación del recinto contenedor del MAC y del apilamiento de las capsulas con agua. Para ello se pensó en un sistema industrializado tipo “KIT” que pueda ser instalado en obra como un conjunto que incluya un gabinete completo con vidriera y sistema de protección incorporado, aislaciones interiores y paneles posteriores con las rejillas de descarga. La acumulación puede incluir cápsulas que en función de la capacidad de carga requerida, pueden modificar la cantidad de agua de acumulación a partir de la modificación de sus diámetros y las configuraciones de apilamiento. Las dimensiones de los gabinetes contenedores son modulares y se instalan como sistemas autónomos y adosados según las demandas de climatización de cada vivienda (Discoli, Rosenfeld, 1986).

Los gabinetes estancos pueden estar contruidos en chapa plegada o material plástico (PRFV o PVC), con aislación interior, y dispositivos para ser amurados directamente a los vanos destinados a cada MAC o a ser adosados a otros módulos. Las protecciones exteriores solidarias al gabinete se realizan con paneles aislados resueltos con el mismo material de los gabinetes, y pueden contar con un sistema corredizo horizontal tipo “Roma” o portón plegable de ascenso vertical. Las aislaciones del sistema, en todos sus componentes deben ser de poliuretano de poros cerrados entre 5cm y 8cm de

espesor y densidad 35 kg/m³. Aislaciones más eficientes pueden contar con espesores menores (Aislaciones al vacío). En cuanto a las cápsulas contenedoras de agua pueden ser metálicas o plásticas de 4 l como las ensayadas previamente o de mayores capacidades (20 l). En todos los casos deben ser tratadas superficialmente (coloración de alta absorptancia). En cuanto a su disposición dentro del gabinete, se define en función del eje principal de la cápsula cilíndrica. Pueden ser colocadas de manera horizontal con la necesidad de contar con una estructura sostenedora como las ensayadas previamente, o posicionadas de manera vertical evitando la estructura soporte (apiladas). La figura 28 muestra un gabinete tipo “KIT” de frente y corte con la disposición de vidrieras, aislaciones,

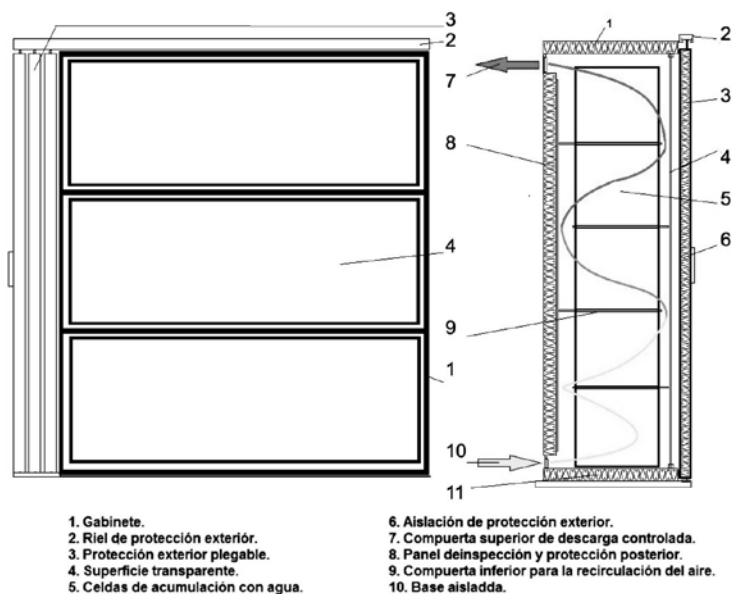


Figura 28. MAC tipo KIT. Vista y corte de gabinete incluyendo la vidrieras con su protección nocturna, las aislaciones internas y las cápsulas de agua en este caso en posición vertical.

protección exterior tipo Roma y cápsulas de agua en este caso con disposición vertical.

Si se adoptara la *disposición horizontal*, como ya hemos mencionado, se debe contar con la estructura soporte asegurando la configuración tresbolillos. De los ensayos originales realizados, se ha verificado que dicha configuración asegura un intercambio de calor agua-aire ágil y eficaz de $69 \text{ KJ/m}^2\text{h } ^\circ\text{C}$, cubriendo rápidamente la demanda. Las estructuras utilizadas en los ensayos de perfiles o sogas, pueden industrializarse implementando elementos livianos de chapa estampada. Su apilamiento conformaría la estructura portante y asegura una distribución uniforme entre cápsulas. La figura 29 muestra la distribución tresbolillos de las cápsulas de agua y las estructuras metálicas de soporte.

Si bien esta disposición de cápsulas ha demostrado buena eficiencia en la dinámica de transferencia del calor, en todos los casos estos dispositivos incrementan el costo del sistema así como su proceso de instalación.

En el caso de adoptar la *disposición vertical* de apilamiento de las cápsulas de agua, se simplifica el armado y se reducen los costos al no requerir estructuras complementarias de soporte. Las cápsulas se apilarían en columnas verticales, incorporando

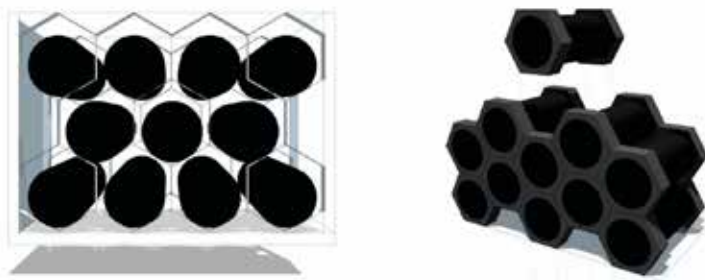


Figura 29. Distribución tresbolillos de las cápsulas de agua y las estructuras metálicas de soporte.

en su instalación deflectores transversales de flujo (chicanas tipo estantes) a los efectos de orientar el flujo ascendente de aire caliente maximizando el intercambio de calor. El coeficiente convectivo de transferencia de calor agua-aire se reduce para esta disposición aproximadamente un 15%, tomando valores de intercambio de aproximadamente 59,8 KJ/m²hC. Este valor no afectaría prácticamente la eficiencia del sistema si se tiene en cuenta la dinámica de transferencia de carga y descarga de calor registrada en los ensayos previos. Las cápsulas pueden tener una capacidad de 4 l o 20 l dispuestas sobre su eje en vertical, interponiendo en forma horizontal los deflectores (lamas) entre cápsulas. La cantidad de elementos a apilar depende del modulado de los gabinetes. Dependiendo del tamaño de las cápsulas, se pueden incorporar en los gabinetes entre 27 unidades o 9 unidades por m² de superficie expuesta, quedando espacio suficiente para el montaje. A igual masa de acumulación, las cápsulas chicas tienen una superficie de intercambio 37% mayor que las cápsulas grandes. La figura 30 muestra la distribución de cápsula de 4 l y 20 l dentro del gabinete. En función del coeficiente convectivo, la eficiencia de intercambio dependerá del tamaño de cápsula elegido y de la superficie de disipación disponible. La tabla 6 muestra las capacidades de acumulación de los MAC tipo “paquete” con carga vertical y distintas modulaciones de gabinetes y cápsulas.

En cuanto a los costos de los MAC tipo “Kit”, el sistema completo tiene un valor promedio entre 270 y 390 USD el m², y la diferencia depende del proceso de industrialización a realizar (materialidad del gabinete), uso de soportes y tamaños de cápsulas. Los gabinetes metálicos de chapa plegada son entre un 10% y 17% más económicos que los plásticos, pero requieren operativamente un costo adicional de mantenimiento (Discoli 1986). En el caso de implementarse los MAC tipo Kit en viviendas de construcción masiva (planes

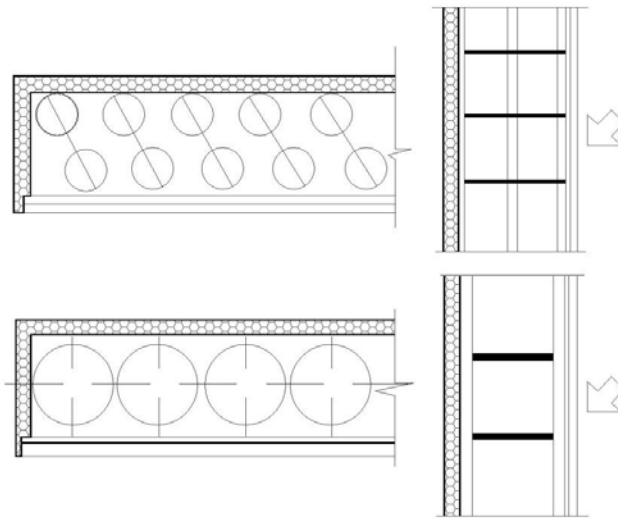


Figura 30. Plantas y cortes con la distribución de cápsulas de 4 l y 20 l dentro del gabinete.

Celdas	4 litros		20 litros	
	Masa de acumula. Kg.	Qacum. disponible MJ	Masa de acumula. Kg.	Qacum. disponi. MJ
1,5	486	49	540	54
2	648	65	720	72
3,5	1134	114	1260	127
4	1296	130	1440	145

Tabla 6. Capacidades de acumulación de los MAC tipo "KIT" con carga vertical y distintas modulaciones de gabinetes y cápsulas.

sociales) los costos de industrialización del MAC tipo “KIT” se reducirían en función de la escala de producción.

Las experiencias iniciadas a principios de la década del ‘80, en el prototipo solar de La Plata se llevaron a cabo hasta 1986. Luego, por falta de interés político-institucional y de financiamiento, sus actividades fueron desprogramadas y pasó a manos del Instituto de la Vivienda de la Pcia. de Buenos Aires (IVBA), el que fue reasignado como vivienda convencional desmantelando los sistemas. El instituto IAS/FABA, que utilizaba como laboratorio a dicho prototipo y llevaba adelante las investigaciones, se trasladó a la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UNLP, bajo el nombre IDEHAB-Unidad de Investigación 2 (UI2), en la cual se continuaron diferentes líneas de investigación. Más adelante dicha Unidad de investigación se transformó en el Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC-CONICET/UNLP), hoy día Unidad ejecutora del CONICET.

Posteriormente, en el año 2008, se reanudaron las tareas relacionadas con los Muros Acumuladores de Calor (MAC), dando continuidad a los desarrollos iniciados en el IAS en la década del ‘80. Estas tareas permitieron repensar los MAC tipo “d” en sus nuevas versiones, cuyas innovaciones incluyeron procesos de industrialización y materialidades mixtas (hormigón y agua encapsulada) para adaptarse a climas templados intermedios con niveles de irradiación media. Dichas tecnologías corresponden a los *MAC mixtos* (Hormigón + Agua encriptada); y los *MAC2* con estructuras totalmente *modulares*. Estos últimos se conforman de bloques de hormigón industrializados manipulables en obra y capsulas con agua, permitiendo el armado con diferentes configuraciones. Ambas tecnologías se describirán a continuación.

LOS MAC MIXTOS Y SUS INNOVACIONES

6

Las investigaciones tecnológicas de los sistemas MAC reanudadas en el 2008 permitieron continuar con los desarrollos iniciados en la década del '80. Con la firma de un convenio entre el IIPAC y el IVBA, se comenzaron a repensar estos sistemas pasivos para su implementación en un conjunto de viviendas bioclimáticas emplazadas en la localidad de Tapalqué, Pcia. de Buenos Aires. Los MAC tipo "d" se consideraban viables, pero necesariamente debían adaptarse a climas templados mediterráneos con irradiaciones medias, mayores amplitudes térmicas y menores niveles de humedad. Dichas condiciones requerían de sistemas ágiles para adquirir calor en su masa de acumulación y mayores niveles de inercia térmica a los efectos de contar con un cierto nivel de retardo en la entrega de calor. Estas circunstancias llevaron a rediseñar los MAC en su versión *MAC mixtos* cuyas innovaciones fueron registradas en la Oficina de Patentes del CONICET (Discoli, San Juan, 2010).

6.1 CONDICIONANTES CLIMÁTICOS QUE ORIENTARON AL DESARROLLO DE LOS MAC MIXTOS (HORMIGÓN + AGUA ENCRIPATA)

La demanda de sistemas pasivos tipo MAC para implementar en viviendas sociales emplazadas en zonas climáticas templadas y mediterráneas (por ejemplo Zona Centro de la Pcia. de Buenos Aires), llevó a la necesidad de evaluar innovaciones en los MAC tipo “d” a los efectos de ajustarse a ciertas peculiaridades climáticas. Si bien las condiciones de irradiación eran equivalentes a las del prototipo solar de La Plata (1,5 y 2 kWh/m² para junio/julio), las temperaturas cuentan con una mayor amplitud térmica; menor humedad absoluta con una consecuente heliofanía relativa mayor, y una mayor estabilidad en cuanto a los ciclos nocturnos y diurnos (repetencia de días soleados). Para estas situaciones meteorológicas que promedian su dinámica entre los climas fríos-secos y los templados-húmedos, se pensó en el desarrollo de tecnologías que consideren aspectos tales como *agilidad en la carga de calor, mayor capacidad de carga, inercia térmica con niveles de desfase o retardos intermedios* (entre 4 y 6 hs.); y una *descarga de calor radiante natural con circulación de aire controlada*.

Si focalizamos en la localidad de Tapalqué en la cual fueron emplazados según convenio las viviendas sociales y los sistemas pasivos, la misma se localiza en la zona Centro de la Provincia de Buenos Aires (figura 31). Se registra como zona bio-ambiental III y IV en la Norma IRAM 11603 y representa a la provincia más poblada de la Argentina. A partir de los desarrollos y antecedentes previos (J. L. Guerrero 1984), (C. A. Discoli 1985), (C. A. Discoli 1986), y teniendo en cuenta las ventajas y desventajas observadas en los MAC tipo

“d” (con acumulación solo en agua); se analizó la posibilidad de plantear nuevas opciones tecnológicas para aquellos climas mediterráneos. La tabla 7 muestra las características climáticas de las localidades cercanas a Tapalqué ya que no existían registros meteorológicos locales. Se referencian las temperaturas y humedades de invierno, así como los grados día de climatización con diferentes niveles de confort (GD_{18} , GD_{20} y GD_{22}). Si bien se cuenta con niveles de irradiación media, se advierte mayor amplitud térmica, mayor demanda de calefacción con GD_{18} mayores a 1200 °C, menor humedad absoluta ($T_{vap.}$), y mayor heliofanía (HR).

Estación	LAT	Long	ASNMM	Tmed	Tmár	Tmín	TDM	TDm	Toc	Tvap	HR	Prec	GD18	GD20	GD22
			m	°C	°C	°C	°C	°C	°C		%	mm	°C	°C	°C
Azul	36.8	59.8	132	7.7	14.2	2.4	3.2	-2.1	4.7	9.0	84	42	1596	2166	2843
Bolvar	36.3	61.1	93	9.5	15.1	3.8	5.0	-0.7	6.8	10.4	83	41	1284	1765	2337
L.Fibres	36.0	59.1	34	9.1	14.9	3.8	4.6	-0.7	5.8	9.7	81	21	1337	1839	2480

Tabla 7. Condiciones climáticas de invierno de tres estaciones meteorológicas cercanas a la localidad de Tapalqué, provincia de Buenos Aires extraídos de la norma IRAM 11.603.

Las características climáticas mediterráneas permiten explorar nuevos criterios de diseño de los MAC respecto a su configuración, morfología y materialidad. Estas condiciones habilitan a ensayar diseños mixtos que integren las tecnologías sólidas (MAC tipo “a”) con la de agua encapsulada (MAC tipo “d”), que se materializan en una pieza de hormigón + agua enciptada, conformando una masa *mixta* de acumulación. De esta manera se integran principios tales como máxima capacidad de carga y mayores niveles de inercia térmica. En cuanto a la descarga de calor, se incorpora el retardo en niveles medios y la dinámica puede ser natural (radiativa) y con circulación de aire controlada (convectiva).

Esto lleva a considerar como hipótesis de trabajo la necesidad de integrar la tecnología de MAC tipo “a” y “d”, implementando una masa de acumulación térmica que se resuelve con un material sólido estructural, acorde a la disponibilidad de sol

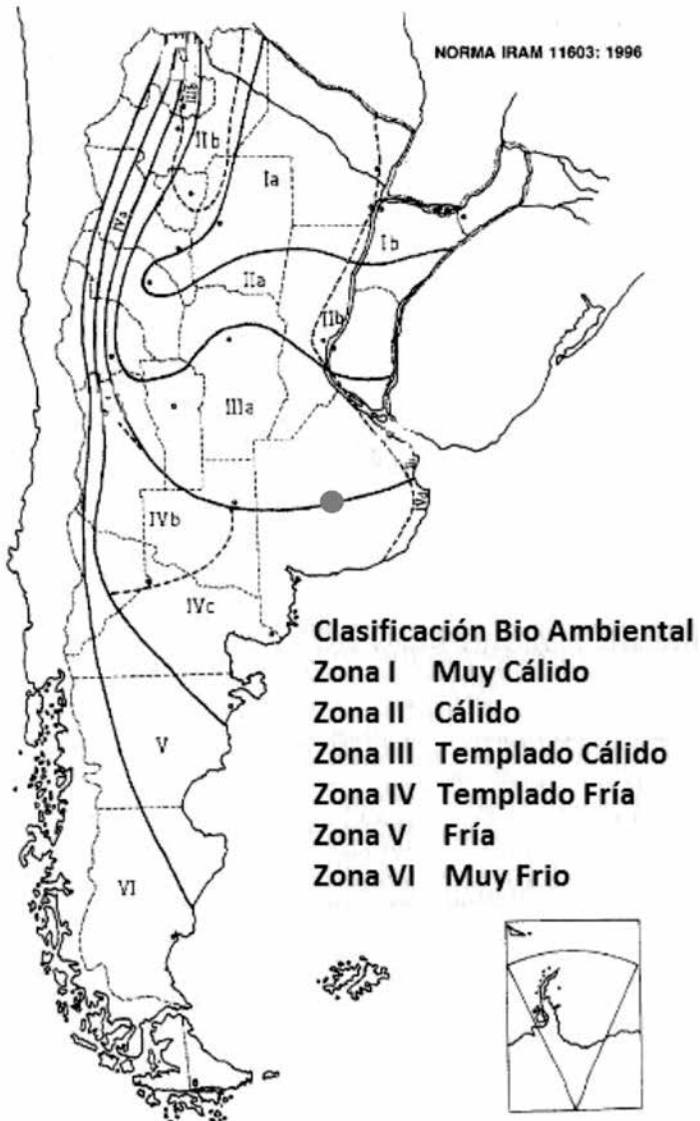


Figura 31: Área de aplicación. Zonas bioclimáticas de la Argentina. IRAM 11603.

(baja nubosidad) y al retardo requerido; y agua encriptada en vainas insertas en el sólido que garantice, en un mismo volumen de masa de acumulación, una mayor capacidad de carga térmica a partir del alto poder calorífico. Esto permite, con un recurso solar intermedio, agilizar el tiempo de carga, maximizar el nivel de carga y mantener cierto retardo de la onda térmica por medio de una descarga acorde a las características termo-físicas de los materiales sólidos. De esta manera se busca simplificar el uso del sistema original (MAC tipo “d”) a partir de mejorar los rendimientos de carga y capacidad, sin tener la necesidad de hacer un control exhaustivo de la descarga como en el caso de los muros de agua.

Para el diseño y construcción de los MAC mixtos se optó por un proceso de industrialización modular monolítica a los efectos de resolver en serie un sistema que pudiera ser replicado en el marco de los programas de viviendas sociales propuesto por el Instituto de la Vivienda de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Una vez ajustadas y moduladas las dimensiones de las piezas de acumulación, se continuó con el diseño del utillaje (molde) para asegurar y mantener pautas de dimensionalidad, uniformidad y sencillez de montaje. Dicho proceso se pensó para una manufactura sencilla y seriada en la etapa de moldeo de las piezas, permitiendo un buen montaje final. En este caso los moldes se diseñaron en chapa plegada, pero también pueden resolverse con encofrados de madera. Las dimensiones de los MAC Mixtos respetaron la modulación de las viviendas y la demanda energética de base de las mismas. Las dimensiones finales adoptadas para la acumulación de cada MAC fue de 1,20 m de ancho para cada pieza, totalizando con su apilamiento una altura de 2,40 m (Discoli et al, 2010).

6.2. DISEÑO DE LOS MAC MIXTOS Y ENSAYOS PRELIMINARES

Planteadas las hipótesis de trabajo para los climas mediterráneos templados, se inició el diseño, estudio teórico y el registro de patentamiento de los denominados MAC Mixtos. Se incluyó el desarrollo de un proceso de industrialización seriada para que permita establecer una modulación, y una replicabilidad que asegure estabilidad morfológica y constructiva de sus componentes. Paralelamente se trabajó en el proyecto de las viviendas en las cuales se emplazarían los MAC y en los ensayos empíricos para su ajuste. Los preceptos planteados en las hipótesis de trabajo permitieron la realización de los primeros bosquejos que daban una idea de los componentes a tener en cuenta, sus tamaños, y sus posibles configuraciones. La figura 32 muestra los primeros bocetos, los cuales fueron perfeccionados en el proceso de diseño para su posterior

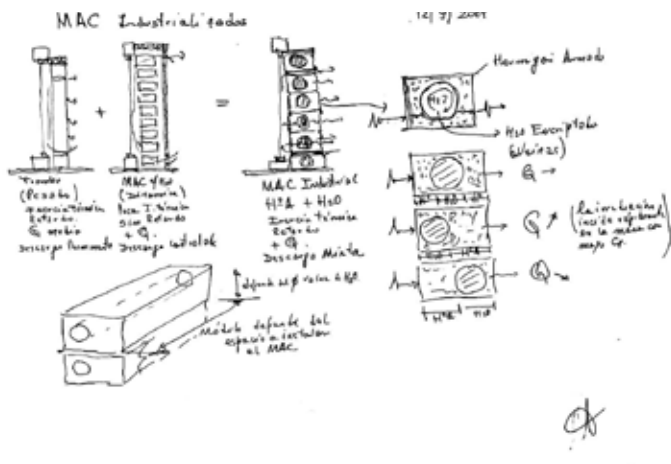


Figura 32. Bocetos de los primeros MAC mixtos. Fuente: C. Discoli 2008.

registro tecnológico en la Oficina de Patentes del CONICET (Discoli, San Juan 2010).

A partir de estos bocetos se iniciaron los diseños preliminares orientados a concretar aspectos tecnológicos básicos necesarios para iniciar los estudios teóricos, las simulaciones numéricas y los ensayos empíricos de contrastación. Para tal fin se pre-diseñaron piezas modulares que incluían insertos plásticos cargados con agua. La ubicación de dichos insertos se pensó de manera centrada o desplazada (excéntrica) próxima la cara expuesta al sol. La distribución de los insertos en las piezas sólidas de hormigón permitió analizar el comportamiento térmico, las dinámicas de carga y los niveles de retardo del calor entregado.

Planteada la tecnología y los bocetos iniciales de sus componentes, se trabajó en un cronograma de *simulaciones teóricas* a los efectos de establecer un análisis detallado entre las nuevas tecnologías y las preexistentes. Teniendo en cuenta que nuestro instituto ya había experimentado específicamente con los MAC tipo “d” (con agua) y contaba con la información técnica, se planteó la posibilidad de ampliar los estudios incluyendo en este caso un análisis comparado entre la nueva propuesta tecnológica (sistemas con piezas mixtas) y los MAC tradicionales tipo “a” de mayor difusión (sistema con piezas sólidas). Este trabajo nos permitió establecer las fortalezas y debilidades de la nueva tecnología con respecto a los sistemas tradicionales.

6.2.1. ENSAYOS PRELIMINARES POR SIMULACIÓN DINÁMICA

Los estudios teóricos preliminares se realizaron en conjunto con el INENCO perteneciente a la Universidad Nacional de Salta (UNSa), en los que participaron el Dr. A. Hernández

y la Dra. S. Flores Larsen, utilizando como herramienta de simulación dinámica el SIMEDIE. Si bien, las simulaciones teóricas cuentan con algunos limitantes asociados a la complejidad del cálculo respecto a las morfologías constructivas y materialidades de las acumulaciones mixtas, las adaptaciones realizadas permitieron obtener una primera aproximación del comportamiento de las mismas.

Se trabajó teóricamente con las diferentes materialidades, incluyendo en la simulación un sistema sólido tradicional (MAC tipo “a”) utilizando Hormigón H30; y sistemas mixtos con dos tipos de acumulaciones resueltas en hormigón con vainas estancas insertas rellenas de agua (tubos de PVC). En ambos casos se utilizaron diferentes proporciones en la acumulación de agua (distintos diámetros de vaina), y dos tipos de localización dentro de cada pieza de H. La figura 33 muestra los cortes de las piezas de los modelos de MAC simulados en la vivienda.

Para la simulación dinámica de los MAC se utilizó un único coeficiente convectivo de $10 \text{ W/m}^2\text{°C}$ que se aplicó al día completo dado que el software no permite usar coeficientes variables entre el día y la noche (durante la noche se cierran las rejillas y este coeficiente debería ser el del aire estanco). Al utilizar un coeficiente más alto durante la noche implica que en este período el aire del MAC tendrá una temperatura

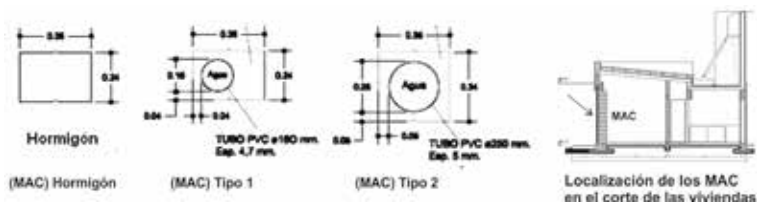


Figura 33. Corte de las piezas que constituyen los tres tipos de MAC y localización en la fachada norte de la vivienda.

algo mayor en la simulación que en la situación real. Para la conductividad, calor específico y densidad de los materiales involucrados se utilizaron valores normalizados de tabla, excepto para la conductividad del agua. En este caso el líquido en el interior de las vainas al convectar produce un mezclado que uniformiza la temperatura del agua, en consecuencia para tener en cuenta este efecto se supuso un único nodo para el agua, con una conductividad alta (en este caso, $k=100 \text{ W/m}^\circ\text{C}$).

Una vez ajustada la modelización, se simularon las tres versiones (figura 33) analizando su comportamiento en función de la demanda de habitabilidad y niveles térmicos alcanzados en los espacios a climatizar de la vivienda. Además de simular los tipos de acumulación, se realizó un análisis comparado de los sistemas y las superficies vidriadas norte de los mismos, utilizando doble vidrio y simple vidrio.

Como ejemplo de los trabajos de simulación, se muestran el análisis y las hipótesis de abordaje de la pieza de los MAC tipo 1 (Trombe tipo1) de la figura 34, y su descomposición para el análisis térmico. En este caso las piezas constitutivas del MAC instalado en el dormitorio de la vivienda se subdividieron en diferentes sectores: unos compuestos solo de hormigón (con un área igual al 33% del área total de pared)

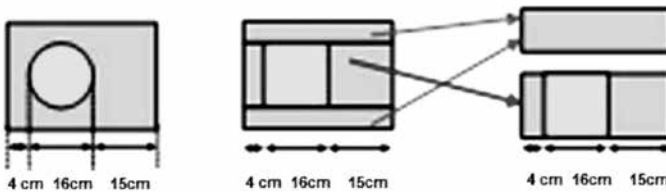


Figura 34. Esquema del corte de las piezas que constituyen el MAC tipo 1 con las sub-divisiones requeridas para la simulación térmica.

y unos compuestos de tres capas (4cm hormigón, 16cm de agua, 15cm hormigón, con un área igual al 67% del área total de la pieza). La Figura 34 muestra el esquema para una pieza constitutiva del muro MAC tipo 1 (Trombe tipo 1), la que se dividió en las siguientes partes: Dos de ellas de hormigón de 35 cm de espesor y área $0,33 \times 2,88\text{m}^2$; y una de hormigón, agua, hormigón, de $0,67 \times 2,88\text{m}^2$ de área.

Finalizadas las simulaciones, se muestran como ejemplo algunos resultados teóricos preliminares de los diferentes MAC:

- * En los días soleados con buena irradiación se observa que el MAC tipo 1 con simple vidrio mantienen una habitabilidad mayor en los dormitorios, no encontrando diferencias significativas en sus otras versiones, Figura 35.
- * En los días seminublados los MAC mixtos Tipo 1 con simple vidrio mantiene la diferencia respecto al tipo 2 y al sólido en sus diferentes versiones, registrando en estos casos una diferencia mínima en la temperatura de los locales a climatizar, Figura 35.

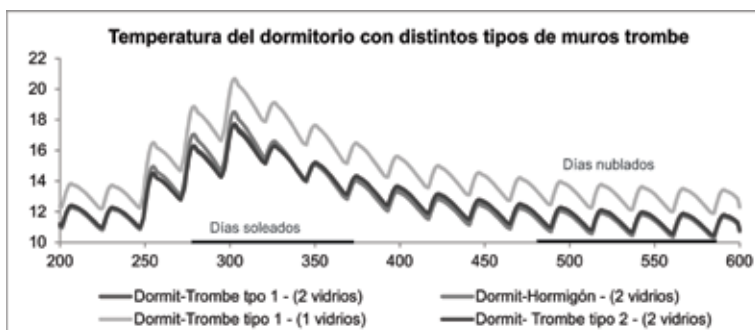


Figura 35. Temperaturas de los dormitorios en función de los sistemas MAC simulados Tipo 1, tipo 2 y Sólido (solo Hormigón), todos con doble vidrio (2V); y MAC tipo 1 con Simple vidrio (1V).

- * La implementación de simple vidrio demostró con el MAC tipo1 un aumento de 2 °C en los ambientes a climatizar para distintos tipos de asoleamiento, y diferencias entre 6 °C y 11 °C en la masa de acumulación, mejorando la capacidad de carga de los MAC, figura 36 y 37.

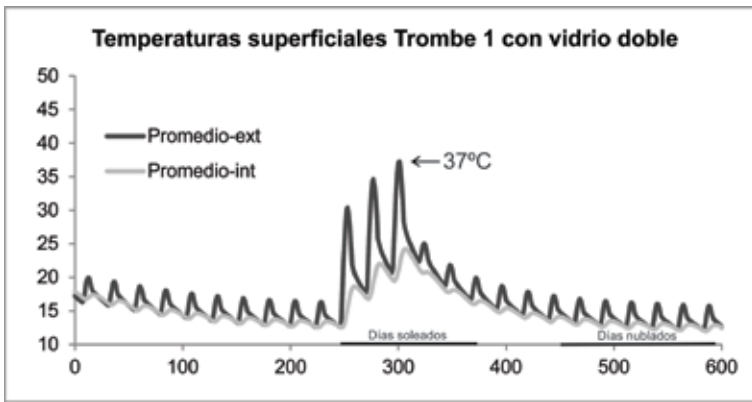


Figura 36. Temperaturas de la superficie expuesta al sol (Norte) e interior de la masa de acumulación del MAC tipo 1 con doble vidrio (2V) en la cada Norte.

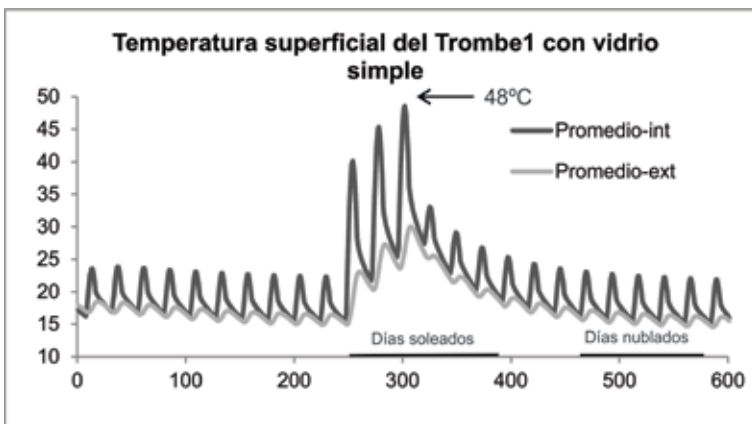


Figura 37. Temperaturas de la superficie expuesta al sol (Norte) e interior de la masa de acumulación del MAC tipo 1 con simple vidrio (1V) en la cada Norte.

En síntesis, los resultados preliminares permitieron establecer que los MAC mixtos tipo 1 (con la vaina con agua colocada en forma excéntrica) y con la utilización de simple vidrio en la cara Norte con protección nocturna, han mostrado una mayor eficacia en cuanto a las temperaturas alcanzadas y a los aportes térmicos registrados en los ambientes a climatizar. En consecuencia para los ensayos empíricos se adoptó la tecnología de MAC mixta con piezas tipo 1 (vainas excéntricas) a los efectos de comparar y verificar sus diferencias con los MAC sólidos.

6.2.2. ENSAYOS EMPÍRICOS DE VERIFICACIÓN DE LOS MAC

Para tal fin, se trabajó en el proceso de industrialización de las primeras piezas de ambas tecnologías (sólidas y mixtas tipo 1) con idéntica geometría a los efectos de respetar dimensiones y morfología. Se pensó en un sistema modular para resolver su fabricación en serie, y ser replicado en el marco de los programas de viviendas sociales propuesto por el Instituto de la Vivienda de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Una vez ajustadas las dimensiones de las piezas de acumulación al módulo arquitectónico (1,20 m de largo), se continuó con el diseño del utillaje (moldes) para asegurar y mantener pautas dimensionales y uniformidad en el montaje. Dicho proceso asegura una sencilla manufactura en la etapa de fabricación seriada de las piezas, permitiendo así un buen armado final. En este caso los moldes se realizaron en chapa plegada, pero se debe tener en cuenta que también pueden resolverse con otros tipos de encofrados. La figura 38 muestra el molde, las piezas coladas con los insertos que contienen el agua y el montaje de los MAC en los Box de ensayo.

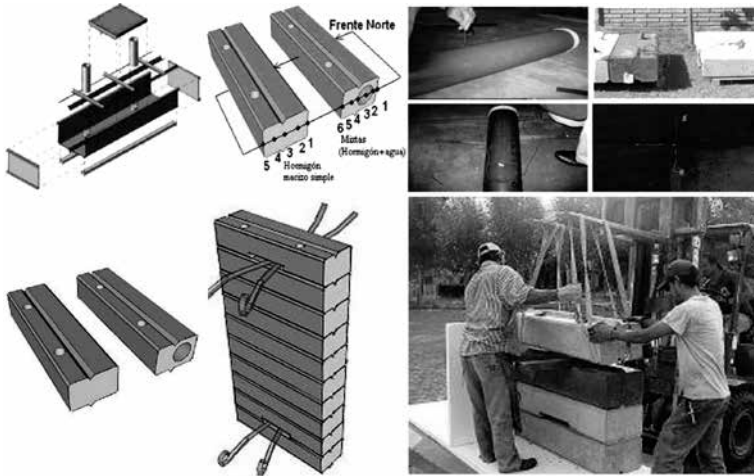


Figura 38. Molde, las piezas coladas macizas simples y mixtas tipo 1 con hormigón natural y pigmentado, y la localización de las termocúplas Cu-K en las piezas de acumulación de ambos MAC.

Se observa que las piezas cuentan con dos perforaciones transversales destinadas a vincular las mismas con hormigón en su proceso de apilamiento. Esto permite unificar durante el montaje la masa de acumulación con la aislación térmica inferior y la viga de fundación, asegurando estabilidad al sistema.

La fabricación se realizó en colaboración con la empresa de premoldeados BLOKY S.A.. En cuanto al proceso de colada, se trabajó con hormigón natural H30 y piedra partida 6,20; y para ensayar otras alternativas en cuanto a la coloración y absorciones del material, se incluyeron en algunas piezas pigmentos de color (negro de humo) con el objeto de analizar su comportamiento térmico. Durante las coladas correspondientes se insertaron los sensores (termocúplas de Cu-K) en el interior de las piezas de hormigón y en las vainas de agua, completando su instalación en las caras norte y sur una vez armados los MAC. Los tiempos de fraguado fueron

de un día y medio por componente. En la figura 38 se muestra el molde, las piezas coladas macizas simples y mixtas tipo 1 con hormigón natural y pigmentado, y la localización de las termocuplas Cu-K en las piezas de acumulación de ambos MAC.

Concluido el montaje de las piezas se construyeron los box de ensayo respetando la modulación de 1,20 m por MAC. Las piezas se montaron sobre una plataforma de hormigón y se quebró el puente térmico en su área de apoyo con tacos de madera dura y aislación térmica (5 cm de poliestireno expandido de 22 kg/m³). Si bien en ambos casos se colocó para su ensayo una pieza pigmentada, se pintó la superficie norte con esmalte sintético negro mate a los efectos de homogeneizar la absorción superficial. La figura 39 ilustra el montaje de los dos box (recintos estancos), las vidrieras y la instalación completa de los MAC, con los sensores destinados a medir las temperaturas internas y externas.

Concluido el montaje de los box en el laboratorio a cielo abierto, se inició la campaña de ensayos teniendo en cuenta primero solo las mediciones de las piezas construidas con hormigón natural. Se instaló un adquirente de datos Omega om-cp, de 8 canales con termocuplas CuK tipo T, apoyado por micro-adquirentes de datos tipo Hobo de 4 canales, completando un total de 24 canales; y un piranómetro Eppley tipo PSP para medir la radiación solar sobre el plano



Figura 39. Montaje de los dos BOX (recintos estancos), las vidrieras y la instalación completa de los MAC, con los sensores destinados a medir las temperaturas internas y externas.

de colección de los MAC (vertical a 90°). Las mediciones se realizaron en simultáneo con ambas tecnologías durante el invierno del 2011. Se registraron las temperaturas del aire interior de cada recinto y las temperaturas alcanzadas en los diferentes puntos de cada sección de las piezas de acumulación del MAC. La figura 40 muestra un ejemplo de las temperaturas interiores alcanzadas en los recintos de cada BOX para ambas tecnologías (hormigón solo y hormigón + agua), del 7 al 14 de junio de 2011.

Las temperatura interiores del box con piezas de hormigón + agua son superiores y oscilan entre 2 °C en la situación más favorable (T° máxima: 27,9 °C en Ho + agua, contra 25,9 °C en hormigón), y 1,2 °C en las situaciones más desfavorables (T° mínima: 19,4 °C en Ho + agua contra 18,3 °C en hormigón). Las diferencias se observan durante el período de carga y en las primeras horas de la tarde, mientras que las temperaturas se equilibran durante el resto de cada ciclo (descarga). Se debe tener en cuenta que los box son estructuras livianas sin masa en su envolvente (sin inercia térmica), en consecuencia

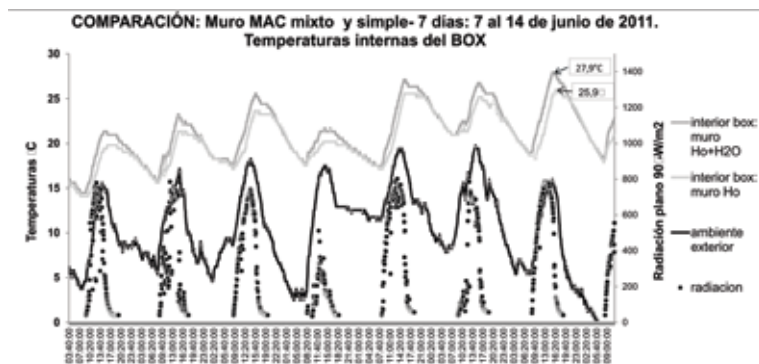


Figura 40. Temperaturas interiores alcanzadas en los recintos de cada BOX para ambas tecnologías (hormigón solo y hormigón + agua), del 7 al 14 de junio de 2011.

la pendiente de temperaturas durante el período de descarga, dependen de la amplitud térmica entre el ambiente interior y el exterior (DT) y de las pérdidas de su envolvente carente.

Para comparar el funcionamiento de cada MAC se analizan las temperaturas superficiales e internas alcanzadas por las piezas sólidas y mixtas en los ciclos diarios con heliofanías relativas mayores al 70% (día despejado). La figura 41 muestra un ejemplo con las temperaturas alcanzadas por la cara norte de las piezas de hormigón y hormigón + agua; las temperaturas interiores alcanzadas en cada box; la exterior y la irradiación sobre el plano vertical Norte.

En el proceso de carga se observa que la temperatura superficial del MAC mixto es levemente superior al sólido, incrementando tempranamente la temperatura interior del box. En el pico de ambas curvas, se invierten las temperaturas, dado que la cápsula con agua próxima a la cara norte del MAC mixto transfiere con mayor rapidez calor al fluido, minimizando la temperatura de superficie. En el caso del MAC sólido, su

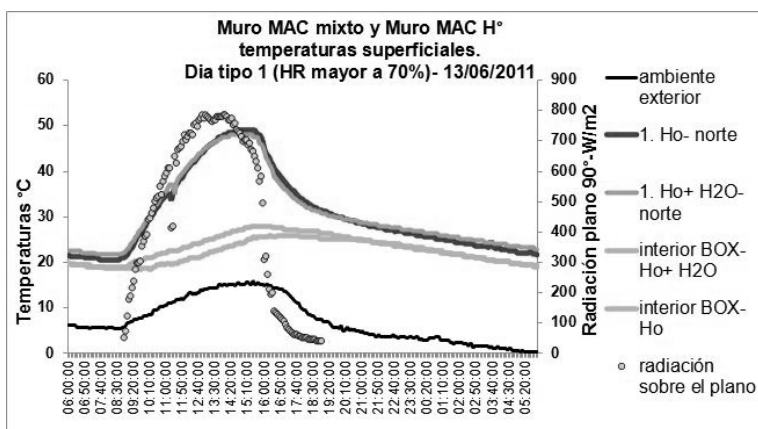


Figura 41. Temperaturas alcanzadas en la cara norte de las piezas de hormigón y hormigón + agua.

incremento en la zona de pico (+1 °C) se debe al retardo que tiene el hormigón en su transferencia de calor hacia el interior, maximizando la temperatura de superficie. Ambas situaciones se verifican cuando se observan las temperaturas de los sensores ubicados en la cara Norte (posición N° 2 de cada pieza). Si bien durante el ciclo de descarga continúa la inversión térmica a favor del MAC sólido, en la cola de las curvas, se observa un nuevo cruce térmico entre ambas curvas a favor del MAC Mixto. Esto se debe a la mayor capacidad calórica del agua cercana a la cara norte y a la preservación del mismo por la protección nocturna de la vidriera.

Para completar la dinámica de carga y descarga se analizaron el resto de los sensores localizados en el interior de las piezas. Las figuras 42 y 43 muestran las temperaturas interiores principales de las piezas de hormigón y hormigón + agua.

En la figura 42 se observan las temperaturas interiores de las piezas, registradas por los tres sensores instalados en la vaina de agua (curva (2) H°+ H₂O-vaina N; curva (3) H°+ H₂O-

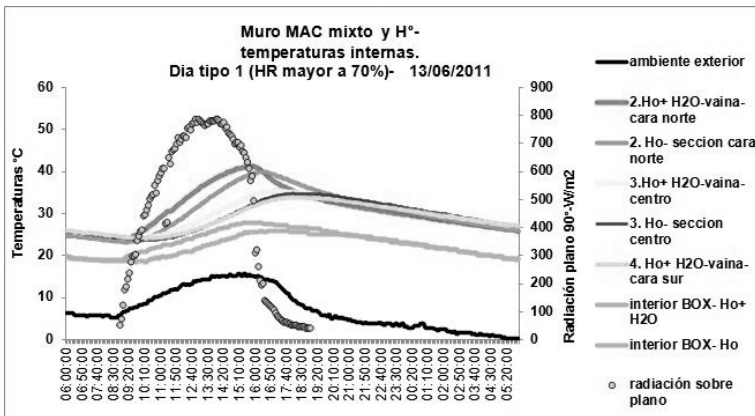


Figura 42. Temperaturas interiores principales de las piezas de hormigón y hormigón + agua en los sensores en posiciones 2, 3 y 4; temperaturas interiores de los box, exterior e irradiación del plano norte vertical.

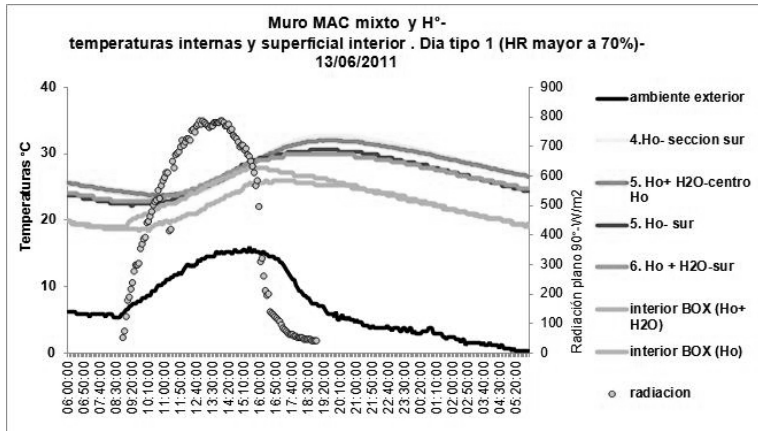


Figura 43. Temperaturas interiores principales de las piezas de hormigón y hormigón+agua en los sensores de la posición 5; temperaturas interiores de los BOX, exterior e irradiación del plano Norte vertical.

vaina Interior; y curva (4) H⁺+ H₂O-vaina S); y dos de los sensores centrales instalados en la pieza de hormigón sólida (curva (2) H⁺-sección N y curva (3) H⁺-sección centro). En la misma gráfica se reiteran las temperaturas interiores de cada box, la ambiente y la radiación. En esta figura se aprecia la diferencia térmica en las diferentes secciones de cada pieza, advirtiendo el adelantamiento del gradiente térmico en la vaina de agua próxima a la cara norte en consonancia con el aumento de temperatura del aire interior. En la sección media de las piezas también se observa una diferencia térmica menor en función del avance de la onda de calor hacia el interior. Terminado el período de carga, se observa una inversión en los comportamientos, justificado en las diferentes dinámicas de transferencia entre la acumulación líquida y la sólida. En el caso de las piezas sólidas existe un mayor retardo dado por la inercia térmica de las mismas, minimizando el gradiente térmico entre los puntos de cada sección. Esto se verifica en la etapa intermedia de descarga. Si observamos las colas, en la etapa final de descarga en ambos casos se verifica el comienzo de

una nueva inversión entre las curvas advirtiendo nuevamente el inicio de un mayor gradiente térmico en la sección posterior de la acumulación del MAC Mixto. Esta diferencia se observa con mayor precisión en las curvas de la figura 43 (curva (5) H°-S y curva (6) H°+ H₂O-S) que registran las temperaturas de la cara sur. Si se observan las colas durante la descarga y previo a la iniciación de un nuevo ciclo de carga, se aprecia que se invierten verificando una mayor carga térmica en el MAC Mixto.

A partir de los ensayos preliminares, se analizaron los rendimientos promedio de cada sistema. Para tal fin se consideró la proporcionalidad de las masas de acumulación por m² de ambas tecnologías con los calores específicos correspondientes (Calor específico de agua 4 veces superior al del hormigón), la irradiación sobre el plano vertical norte y el promedio de las temperaturas registradas durante el período de carga en todas las secciones de la masa de acumulación. Con la energía incidente y la energía útil acumulada en la masa de cada MAC, se obtuvo el rendimiento general de carga para cada caso. La tabla 8 muestra los datos considerados para el cálculo.

Con los resultados obtenidos se pueden delinear diferentes alternativas de análisis y dar continuidad a la investigación de las tecnologías descriptas. Los resultados empíricos confirman las diferencias registradas en la simulación de los MAC

Tipo de acumulación	Masa Kg/m ² ₍₅₎	Calor específico kJ/°C.m ³ ₍₆₎	Carga Diaria kJ/°C.m ² _(7=5*6)	ΔT promedio diario de la masa °C ₍₆₎	Carga Diaria Total kJ/m ² _(5*6)	Rendimiento global η
Agua +	80,4	4,18	336,01	5,4	1802,3	6681,6 0,40
Hormigon	739,8	0,92	680,34	7,2	4879,3	
Hormigon	916,7	0,92	842,97	6,6	5547,1	

Ref, η= Carga Diaria Total/Energía Diaria recibida,

Tabla 8. Rendimiento general de carga de los MAC Mixtos y Sólidos para un día con Hr mayor al 70%, Energía diaria recibida 16.573 kJ/m².

mixtos tipo 1 (excéntricos) respecto a los MAC sólidos. Las mediciones permitieron evaluar con precisión la dinámica de la carga térmica total para diferentes heliofanías y los niveles de temperatura alcanzados; ajustar eficiencias del sistema y registrar los niveles de retardo de la onda térmica. En síntesis se observan ventajas operativas en el MAC mixto a partir de: una buena transferencia de calor entre la masa de acumulación y el aire interior; una mayor capacidad de carga final, con un 17% por encima de los MAC sólidos, consecuente de la mayor capacidad calorífica en la masa de agua; y un rendimiento global del 40%. A partir de las simulaciones y de los ensayos empíricos se pueden considerar viables las tecnologías de MAC con acumulación mixta para climas templados mediterráneos.

Concluido el análisis de los ensayos con las piezas de hormigón natural, se continuó con el análisis de las piezas pigmentadas a los efectos de evaluar sus características térmicas.

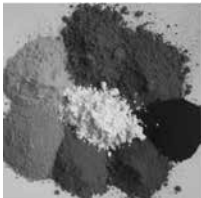
6.2.3. Ensayos empíricos incluyendo pigmentos a la masa de acumulación de los MAC.

Con el objeto de experimentar y analizar otras características de los materiales, se continuó con el estudio de las piezas de hormigón pigmentado. No se conocen antecedentes respecto a la utilización de hormigones pigmentados para usos térmicos. Hasta el momento en todos los casos se utilizaban tratamientos superficiales tendientes a mejorar la absorción en la cara expuesta a la irradiación solar (pinturas tradicionales o selectivas). En estos ensayos se analizó la implementación de pigmentos agregados a la mezcla de hormigón, modificando la coloración en toda su masa, ennegreciendo la superficie y el interior del material a nivel granular.

En cuanto a las coloraciones del hormigón, existen diversos pigmentos inorgánicos que pueden incorporarse a la mezcla con los materiales secos antes del agregado del agua. Existen múltiples tonos (grises a negros, azul, rojo brillante a rojo oscuro, café, marfil, crema o color piel y verde) y se obtienen de distintos orígenes tales como óxidos de hierro o de cromo, negro mineral o “de humo”, tierra “de sombra” en bruto o calcinada, azul ultramarino o de ftalocianina, entre otros. Estos pigmentos se adhieren al cemento para formar parte permanente de la mezcla con lo cual se produce una coloración integral que asegura permanencia en el coloreado. Son económicos en su fabricación y en mantenimiento posterior (ya que no requieren re-pintado) y resisten a las inclemencias climáticas. La figura 44 muestra la diversidad de pigmentos.

En general el uso de los pigmentos en hormigones tiene como objetivo aplicarse en piezas que cumplan funciones destinadas a la señalización y que tengan durabilidad (usos viales, rampas, etc.). Otras aplicaciones responden a necesidades estructurales/portantes (Corinaldesi, 2012), funcionales y estéticas. No se han observado antecedentes y/o aplicaciones para usos térmicos de diversa índole, ni en la aplicación en muros acumuladores de calor (MAC).

A partir de lo expuesto, se vio la posibilidad de fabricar algunas piezas pigmentadas con la empresa BLOKY S.A., y realizar



Grises de Humo	Oxido negro de hierro Negro Mineral Negro de humo
Azul	Azul ultramarino Azul de ftalocianina
Rojo brillante a rojo oscuro	Oxido rojo de hierro
Café	Oxido café de hierro Tierra de sombra en bruto o calcinada
Marfil, crema o color piel	Oxido amarillo de hierro
Verde	Oxido de cromo Verde de ftalocianina

Figura 44. Pigmentos como aditivos al hormigón

mediciones simultáneas para explorar las capacidades térmicas de la pigmentación integral en la masa de hormigón de los MAC. En la construcción de las piezas pigmentadas se utilizó también hormigón H30 con piedra partida 6,20 natural, e incorporó pigmento de color negro (nombre comercial Meramoe). Se trabajó con una proporción del 2% de carbón “negro de humo” amorfo, exento de materiales extraños (Composición: negro de humo, 100%, N° CAS: 1333-86-4). Para el análisis comparado, se ensayaron piezas Mixtas y Sólidas con hormigón natural y pigmentado. Paralelamente se construyeron probetas con iguales características (Ho. pigmentado al 2% con negro de humo) para ser ensayadas térmicamente en el INTI y establecer sus propiedades termo-físicas ya que no existían antecedentes e información al respecto. La figura 45 muestra las piezas pigmentadas y sin pigmentar colocadas en los box de ensayos.

Una vez ensambladas las piezas pigmentadas de los MAC en los boxes del laboratorio a cielo abierto se realizaron los ensayos de carga térmica respectivos durante el período invernal del 2011/2013.

Para el ensayo comparado, como mencionamos anteriormente, solo se pigmentaron algunas piezas de ambas tecnologías



Figura 45. Piezas pigmentadas y sin pigmentar de los MAS Mixtos y Sólidos colocadas en los BOX de ensayo.

(MAC sólido y MAC mixto), conformando así un muro de acumulación con partes pigmentadas y sin pigmentar. De esta manera se pudo evaluar en simultaneo los comportamientos de cada una de ellas. Durante las coladas de hormigón pigmentado, también se insertaron termocúpllas de Cu-K en el interior de cada una de las piezas a ensayar. Los sensores se instalaron de igual modo en el punto medio e intermedio de las piezas y en las caras anterior y posterior a nivel superficial. Los resultados se muestran en la figura 46 para ambas tecnologías, registrando diferencias térmicas significativas entre las piezas pigmentadas y sin pigmentar.

Si se analizan las temperaturas alcanzadas en ambas tecnologías, se observa que en las piezas pigmentadas existe un mayor nivel térmico que en las piezas sin pigmentar. En consecuencia, la capacidad de carga de energía final acumulada será mayor, mejorando así la eficiencia de los MAC. Sobre la cara norte se observa en ambos MAC una diferencia de temperaturas de 3,7 °C y 2,7 °C entre las piezas pigmentadas y las de Ho. natural. El paso del calor por toda la sección muestra que al llegar la onda térmica a la cara sur, con un retardo de 4hs, las diferencias se reducen a 1,6 °C y 0,8 °C respectivamente. Se verifica entonces que con la incorporación de pigmentos se

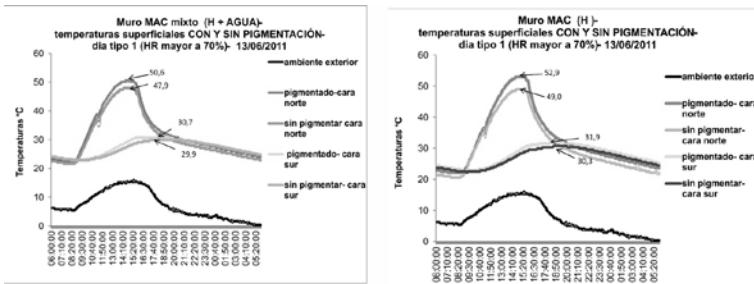


Figura 46. Niveles térmicos alcanzados en cada tecnología MAC con y sin pigmentación.

incrementa la temperatura y aumenta en consecuencia la carga térmica final en la masa de acumulación. Si comparamos las temperaturas de la pieza sólida pigmentada, esta supera en 2,3 °C a la pieza mixta pigmentada. Si bien las temperaturas en el MAC sólido son superiores, recordemos que la capacidad calorífica de las piezas mixtas es mayor a partir de las propiedades térmicas del agua (calor específico 4 veces mayor al del hormigón).

Estos resultados, y dado que aún no se conocían las características termo-físicas de los hormigones pigmentados, llevaron a inferir algunas hipótesis al respecto. Inicialmente se consultó bibliografía sobre pigmentos y sus usos en diferentes materiales, encontrando aplicaciones en la industria del caucho y la eléctrica. En la misma solo se menciona que los pigmentos tipo “negro de humo”, tienen elevada conductividad eléctrica y térmica así como una buena resistencia al choque térmico (www.ecured.cu/index.php/Carbono). Hasta ese momento se desconocían sus beneficios térmicos en el caso de hormigones pigmentados, dado que no existía información que referencie las características relativas a la conductividad térmica y absorción en esas condiciones de mezcla. También se realizaron oportunamente consultas a referentes en materiales conductores y materiales cerámicos (Dr. Scian, Director del Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica CETMIT- CIC-CONICET, La Plata), las que advirtieron que este aditivo podría mejorar las propiedades conductivas-radiativas y que esto se ha verificado al trabajar con materiales áridos (semiconductores), pero siempre a altas temperaturas ($T > 700$ °C). En el proceso de transferencia de calor a altas temperaturas, se ha observado que la transferencia radiativa es preponderante respecto a la conductiva (la temperatura está afectada por la 4ta potencia); pero en bajas temperaturas, pueden existir pocas probabilidades al respecto, aunque

se desconocen dichas propiedades en estados térmicos equivalentes a los registrados en los MAC.

Ante el desconocimiento específico y la vacancia de información al respecto, se optó por evaluar las propiedades termo-físicas de los hormigones pigmentados en laboratorios oficiales de certificación del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), y con sus resultados elaborar hipótesis viables. Dicha información nos permitiría explicar los registros térmicos obtenidos en los ensayos para ambas tecnologías de MAC.

6.2.4. ENSAYOS TÉRMICOS DE LABORATORIO EN EL INTI

Los ensayos fueron realizados por el INTI Construcciones UT habitabilidad, a partir de un convenio específico interinstitucional (IIPAC-FAU-UNLP; IVBA e INTI). Para el estudio se estableció un protocolo de muestras utilizando mezclas de hormigón (H30) con y sin la adición de pigmentos (negro de humo y ferrite negro). Se prepararon en laboratorio cinco mezclas de hormigón: una natural sin pigmentar, dos con la adición de “negro de humo” al 2% y 10% en volumen respecto al total de la mezcla o pastón, y dos con la adición de ferrite negro en iguales proporciones.

La dosificación de la mezcla de hormigón sin la adición de pigmentos fue efectuada de acuerdo con los lineamientos del método ICPA para el “Diseño Racional de Mezclas de Hormigón”, con ajuste de las proporciones relativas de agregados a las curvas granulométricas límites de la norma IRAM 1627, con especificación de clase resistente H30. Las cuatro mezclas con la adición de pigmentos en distintas proporciones fueron dosificadas manteniendo el mismo contenido unitario de cemento (C.U.C.) que la mezcla de hormigón sin la adición de pigmentos, aunque con ajuste del

volumen total de agregados para su reemplazo parcial por los pigmentos en las proporciones indicadas por el fabricante.

Los ensayos previstos se orientaron a determinar la conductividad térmica de las muestras en sus diferentes proporciones, y luego se realizaron los ensayos de absorción en el caso de que los pigmentos sustituyan a las pinturas de homogeneización en la cara expuesta a la irradiación solar.

6.2.4.1 ENSAYO DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

La medición de la conductividad térmica se realizó mediante el método de ensayo de las propiedades de transmisión de calor en régimen estacionario mediante el medidor de caudal térmico siguiendo los lineamientos establecidos en las normas ISO 8302, ASTM C177, e IRAM 11559.

6.2.4.2 ENSAYO DE ABSORTANCIA SOLAR

Las mediciones de la reflectancia de las probetas en el rango espectral de la radiación solar, se realizaron con un espectrofotómetro de doble haz con esfera integradora, con geometría normal/difusa. Características del ensayo: i. Temperatura de medición: $(23,4 \pm 0,4) ^\circ\text{C}$; ii. Humedad relativa ambiente: $(46 \pm 8) \%$; iii. Fecha de medición: 11 de enero de 2013. El Instrumental utilizado fue un espectrofotómetro marca SHIMADZU, modelo UV-3101PC, con accesorio de esfera integradora modelo ISR 3100. Un termohigrómetro marca TFA modelo 30.5002.

A partir de los valores de la reflectancia espectral, se determinó la absorbancia solar (α), por medio de la siguiente fórmula:

$$\alpha_e = \frac{\sum_{\lambda=300nm}^{2500nm} (1-\rho_\lambda) \cdot S_\lambda \cdot \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300nm}^{2500nm} S_\lambda \cdot \Delta\lambda}$$

donde:

ρ_λ es la reflectancia espectral de la probeta entre 300 nm y 2500 nm

S_λ es la distribución espectral relativa normalizada de la radiación solar global para la masa de aire=1,5

$\Delta\lambda$ es el intervalo entre longitudes de onda consecutivas.

En este caso, $\Delta\lambda$ es igual a 5 nm entre 300 y 400 nm, 10 nm entre 400 y 800 nm y 50 nm entre 800 nm y 2500 nm.

6.2.4.3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

Se muestran los resultados del ensayo de la conductividad de las probetas comparando la situación sin aditivo de pigmentos, con pigmentos de negro de humo y con pigmento de ferrite negro, variando la proporción de pigmentos en las mezclas (figura 47).



Figura 47: Probetas ensayadas y la Conductividad térmica de las probetas con diferentes proporciones de negro de humo (azul) y de ferrite color negro (rojo) en la masa térmica del hormigón.

Como se puede observar, la incorporación de pigmentos en la coloración integral de la masa disminuye la conductividad térmica de la misma a mayor proporcionalidad de pigmentos. En el caso de pigmentos “negro de humo”, el valor de conductividad se reduce de $1,5 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$ (para H° natural) a $1,39 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$ y $1,24 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$ (en H° pigmentado al 2% y 10% respectivamente). En el caso de ferrite de color negro, la conductividad térmica se reduce aún más. Esto significa que existiría en ambos casos una mayor resistencia a la transferencia conductiva del calor respecto al hormigón natural. En consecuencia se puede inferir que ante una fuente calórica determinada y una menor conductividad, la masa pigmentada aumentaría su temperatura por no poder difundir fluidamente la onda térmica. O sea, su menor difusividad se manifestaría por la concentración de calor y su consecuente aumento de la temperatura en los diferentes puntos de la masa.

Finalmente se muestran los resultados de la determinación de la absorptancia de los distintos hormigones y su agregado proporcional de pigmentos. La tabla 9 muestra las absorptancias obtenidas con el hormigón natural y con los pigmentos “negro de humo” y ferrítico negro en función de los diferentes % en volumen.

Los resultados muestran que la absorptancia lograda con la pigmentación “negro de humo” es superior a la lograda con

Probeta	Absortancia
Hormigón sin la adición de pigmentos	72,5
Hormigón con la adición del 2% en volumen de negro de humo	94,0
Hormigón con la adición del 10% en volumen de negro de humo	95,6
Hormigón con la adición del 2% en volumen de ferrite negro	91,8
Hormigón con la adición del 10% en volumen de ferrite negro	92,5

Tabla 9: Absortancia solar del hormigón natural y de las piezas a las que se le incorporaron disitintas proporciones de "negro de humo" y ferrite negro en la masa térmica.

“ferrite”, y es equivalente a la obtenida con las películas sintéticas de uso habituales (negro mate) en los MAC.

Ante los resultados obtenidos de la conductividad y la absorción del hormigón pigmentado se puede concluir que:

- i- En las piezas sólidas, al contar con una masa homogénea y continua, la baja conductividad dificulta la transferencia de calor y su consecuente disipación, aumentando así su temperatura en cada punto afectado;
- ii- Mientras que en las piezas mixtas, la presencia de agua encriptada dinamiza en ese sector la transferencia de calor (proceso conductivo-convectivo desafectado de la pigmentación), logrando una mayor transferencia, la que se expresa con niveles térmicos algo inferiores ya que disipa mejor el calor. En cuanto a las caras sur (porción sólida), los comportamientos son equivalentes;
- iii- Por otro lado, una mayor temperatura en las caras norte de los MAC dada por la baja disipación, implica una mayor dinámica convectiva del aire circulante en la cámara de aire de los MAC y los espacios a climatizar, mejorando la eficiencia del intercambio de calor mediato.

En síntesis se puede concluir que la incorporación de pigmentos en los hormigones, si bien pierde propiedades respecto a la conductividad (8% en el caso ensayado con negro de humo al 2%), presenta mejoras en cuanto a las temperaturas alcanzadas y al calor acumulado dada su baja difusividad. Este aditivo, es sencillo de implementar y muy económico, con lo cual puede mejorar la performance de los muros acumuladores de calor sin un costo elevado. Las diferencias de temperaturas alcanzadas pueden influir sustantivamente en la capacidad de acumulación de calor en los MAC, dependiendo de las masas

involucradas. Dicha implementación se presenta como una innovación significativa en el diseño, debido a que se aportan conocimientos hasta el momento desconocidos en cuanto a los parámetros termo-físicos del hormigón pigmentado y sus mejoras en aplicaciones térmicas y de acumulación de calor.

Debemos agradecer la colaboración y aportes realizados por el ing. Bernardo Zaslaski y la arq. Florencia Zaslaski de la empresa BLOKY en esta etapa de desarrollo y en la construcción de las piezas y el armado de los box de medición; y al INTI, Dto. de construcciones a través del Ing. Vicente Volantino por posibilitar los ensayos de conductividad y absorción.

Concluidos los ensayos preliminares y advirtiendo la viabilidad de los MAC mixtos, se trabajó en el diseño definitivo, en el registro tecnológico.

6.3. PROCESO DE DISEÑO DEFINITIVO Y REGISTRO TECNOLÓGICO

Planteada la tecnología y resuelto los ensayos, se procedió al diseño definitivo de los MAC Mixtos destinados a las viviendas bioclimáticas de Tapalqué; y a los registros legales de la innovación. Luego se procedió a la concreción del proceso de industrialización para la construcción modular de las piezas de acumulación.

El diseño de los componentes de la masa de acumulación de los MAC mixtos y sólidos se ajustó dimensionalmente al módulo arquitectónico de las viviendas (1,20 m de largo). En cuanto a sus otras dimensiones (alto y profundidad), se analizaron diferentes variantes, de las cuales se optó por la que minimizara el peso por pieza y permitiera una mayor performance

respecto a los requerimientos de su funcionamiento térmico. El perfil definitivo en corte de cada pieza se pensó con una altura de 0,20 m y un espesor de 0,35 m, este último acorde a las dimensiones habituales de los muros sólidos y a las demandas de acumulación requeridas para climatización. La altura de cada pieza responde a la necesidad de establecer una dimensión que en situación de apilamiento sea compatible con las alturas habituales de las viviendas (2,40 m). Estas dimensiones permitieron implementar insertos con vainas plásticas estándar de 0,16 m de diámetro dentro de cada pieza de hormigón. Dichas dimensiones se ajustan a las medidas mínimas estructurales requeridas en el hormigón para evitar la rotura de las piezas en su traslado y manipuleo. En algunas piezas de hormigón se incluye una rejilla de descarga para el calor convectivo del aire circulante entre la vidriera Norte y la masa de acumulación

Establecidas las dimensiones morfológicas mínimas y en consonancia con las simulaciones teóricas que se detallarán a continuación, se colocaron los insertos con agua próximos a la cara expuesta al sol a los efectos de maximizar el proceso de carga. La ubicación excentrica del inserto genera una cola de hormigón destinada a generar un retardo térmico en su proceso de descarga. Esta disposición estableció que un MAC mixto compuesto por 10 piezas (2,00 m de altura) cuente con una capacidad de carga nominal de $1016,3 \text{ kJ/m}^2 \text{ }^\circ\text{C día}$, 17% mayor a los muros sólidos. Explicitadas las dimensiones de los componentes se trabajó en el proceso de montaje incluyendo buñas longitudinales en el diseño de las piezas orientadas al ajuste en el apilamiento y orificios transversales destinados a consolidar estructuralmente su armado. Con estas especificaciones se diseñaron los moldes para implementar una producción industrial seriada. Las figuras 48 y 49 muestran el diseño definitivo de los componentes del sistema

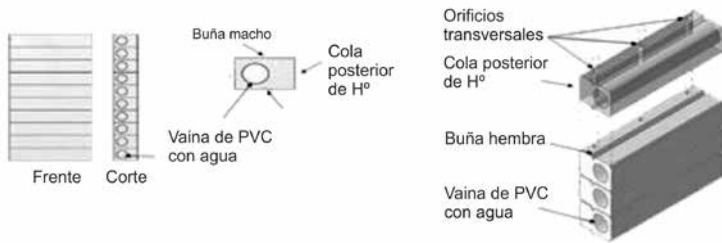
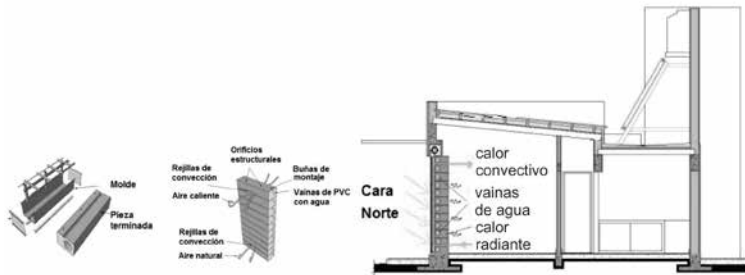


Figura 48. Diseño definitivo de cada componente del sistema de acumulación de los MAC mixtos.



Figuras 49. Moldes de colada, el MAC y su emplazamiento en la vivienda.

de acumulación de los MAC mixtos, su montaje, los moldes de colada y su emplazamiento en la vivienda.

Con el diseño definitivo de los MAC mixtos, se inició el proceso de registro tecnológico para obtener el certificado de patentabilidad.

6.3.1. REGISTRO TECNOLÓGICO Y CERTIFICADO DE PATENTABILIDAD DEL MAC MIXTO

El registro tecnológico y la obtención del certificado de patentabilidad se realizaron a través de la oficina de Vinculación Tecnológica del CONICET en la cual se

presentó una memoria descriptiva de la invención. Para tal fin se describió el campo técnico en el cual se circunscribe el desarrollo tecnológico; se realizó un análisis del estado del arte nacional e internacional de la técnica y de los registros vigentes en los países centrales. Luego se especificaron los problemas a solucionar y las innovaciones que proporciona la nueva invención, y se documentó con una descripción técnica detallada cada aporte tecnológico del producto reivindicando cada innovación respecto a los desarrollos tecnológicos existentes. La documentación contiene el diseño y los esquemas pertinentes a escala general y detallada.

Una vez presentada la documentación, analizada y aprobada por la oficina de registros, se elabora un certificado de patente, en este caso titulado: **Muro climatizador Acumulador de Calor Mixto conformado a partir de unidades modulares.** IMPI 20110100010, otorgado por la Oficina de patentes de CONICET; bajo la titularidad de: Dr. Carlos Alberto Discoli y Dr. Gustavo San Juan. A continuación se adjunta el mismo. La documentación básica que referencia el registro tecnológico se muestra en la figura 50.



Figura 50. Documentación básica que referencia el registro tecnológico.

Simultáneamente a los trámites destinados al registro tecnológico de los MAC mixtos, se inició la transferencia de los sistemas a las viviendas de Tapalqué. En esta instancia se montaron en obra ambas tecnologías (MAC mixtos y MAC sólidos) a los efectos de comparar sus dinámicas en una vivienda real emplazada en climas intermedios de la zona Centro de la Provincia de Buenos Aires.

6.4. IMPLEMENTACIÓN DE LOS MAC MIXTOS Y SÓLIDOS EN LAS VIVIENDAS BIOCLIMÁTICAS DE TAPALQUÉ

La etapa de transferencia requirió de diferentes capacitaciones tanto en la fabricación de los sistemas como en el montaje en obra. En el proceso de industrialización y construcción de las piezas requirió trabajar en el diseño de los moldes y en el utillaje para responder a una demanda masiva. Se capacitó el personal de la empresa para el armado de las vainas con agua y su inserción posterior en las piezas de hormigón mixtas. En el caso de piezas sólidas el proceso solo requería una colada simple. En ambos casos se trabajó con un fraguado rápido a los efectos de poder rotar los moldes en función de la demanda de producción.

En cuanto al montaje en obra, se trabajó con el personal de la municipalidad encargada de la construcción a través de charlas informativas y trabajos in situ. Se especificaron los requerimientos de la fundación donde se emplazaban los MAC, la colocación de aislaciones y el orden de montaje de las piezas así como su fijación estructural.

Las piezas destinadas a la acumulación térmica pesaban entre 200/220 Kg y las destinadas a los MAC mixtos contaron

con una capacidad de carga nominal de $1016,3 \text{ kJ/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ día ($80,4 \text{ kg}$ de agua y $739,8 \text{ kg}$ de hormigón por m^2), y para las Mac sólidas de $842,9 \text{ kJ/h m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ($919,7 \text{ kg/m}^2$ de masa nominal). Las piezas mixtas fueron del tipo 1 cuyos insertos de agua estaban desplazados sobre la cara norte expuesta a la irradiación solar. Las vainas excéntricas, como ya hemos mencionado, permiten que la cápsulas con agua (con mayor calor específico) formen parte de la cara caliente del MAC agilizando el proceso de carga y de transferencia. La parte posterior, al contar con la mayor masa de hormigón, facilita el desfasaje de la onda térmica entre el ciclo diurno y nocturno, generando un retardo térmico entre 4 y 6 h. La unión entre piezas se realizó con ligantes comerciales estándares. En cuanto a la materialidad, se trabajó con hormigón H30 con piedra 6,20 natural. En cuanto a las piezas sólidas (MAC tradicionales), se utilizó igual geometría y el mismo hormigón, resuelto en un bloque monolítico. A igualdad de volumen y morfología, dicha masa reduce un 20% su capacidad de carga y acumulación térmica (San Juan, Discoli, Viegas, Ferreyro, Rodríguez, 2010).

La figura 51 muestra a una de las viviendas bioclimáticas de Tapalqué con su nueva tecnología de climatización, la disposición de los MAC sobre la vidriera norte, y el apilamiento de las piezas que los conforman.

Concluidas las obras de las viviendas, se trabajó en un plan de auditorías una vez que fuesen adjudicadas para su uso.

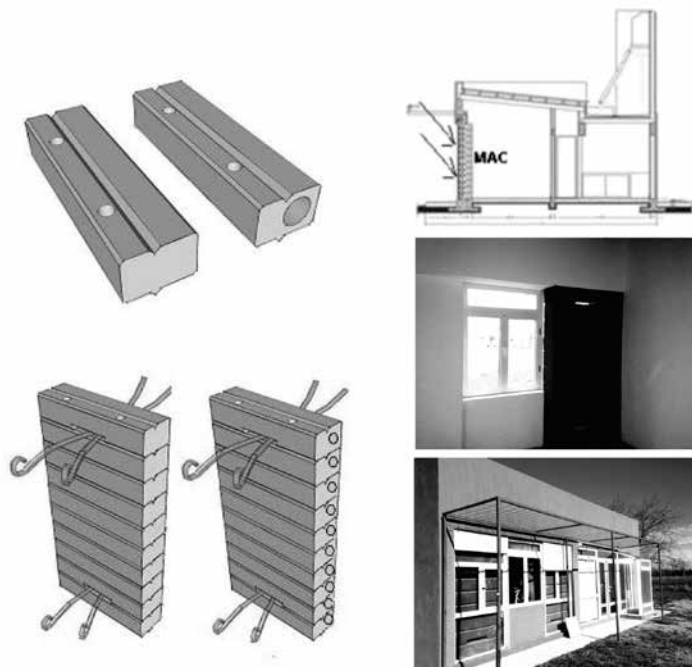


Figura 51. Casa de Casa de Tapalqué, IIPAC-CONICET y configuraciones de los MAC con piezas Sólidas y Mixtas.

6.4.1. PRIMERAS AUDITORÍAS DE HABITABILIDAD EN LAS VIVIENDAS BIOCLIMÁTICAS DE TAPALQUÉ

Concluidos dichos ensayos en laboratorio y terminadas las obras de las viviendas se inició una primer campaña de mediciones a los efectos de verificar su habitabilidad y funcionalidad.

Se focalizó en el confort higrotérmico de los ambientes, teniendo en cuenta que los dormitorios se climatizan con ganancia directa y los sistemas MAC, y el estar-comedor solo con ganancia directa (GAD) por ventanales y el invernadero/

secadero de ropa. La figura 52 muestra las temperaturas de los ambientes de uso principal (dormitorio y estar) y de la superficie de los pisos de dichos ambientes, junto con las temperaturas externas y la radiación solar. Se puede observar que las temperaturas externas variaron entre los 6 y 23 °C; y las temperaturas interiores en el estar superaron a las exteriores (entre 15 y 20°C) con la GAD por ventanas y con algunos aportes puntuales de energía auxiliar aportada por la cocción y/o la utilización puntual de un radiador eléctrico (de acuerdo a lo consultado a los usuarios, solo en el estar, y no en el dormitorio). Por otro lado en el dormitorio se elevaron las temperaturas solamente con el aporte de los MAC y la ganancia solar. Los pisos registraron temperaturas equilibradas con la de los ambientes. Esto se debe a que su masa participa del balance térmico ya que se encuentran aislados del suelo (con poliestireno expandido bajo el piso) en todo el perímetro de la vivienda. Los días que no se usó calor auxiliar, los ambientes se mantuvieron 10 °C por sobre la temperatura externa en la noche, y elevaron sus temperaturas inmediatamente con la incidencia de la radiación solar. Dicha dinámica responde a una estrategia de calidad térmica de la envolvente homogénea

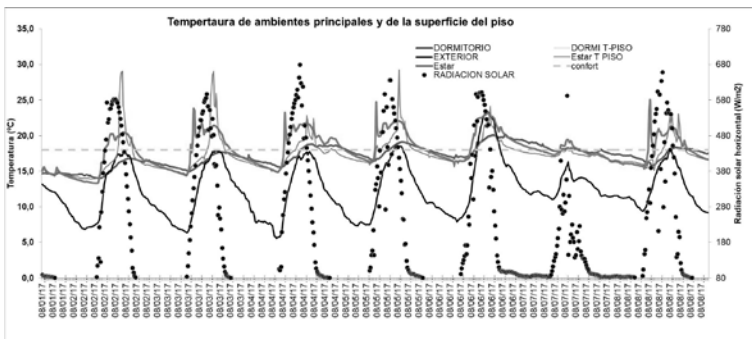


Figura 52. Temperaturas de los ambientes de uso principal (dormitorio y estar) y de la superficie de los pisos de dichos ambientes, junto con las temperaturas externas y la radiación solar.

(muros, pisos y techos) asegurando una buena conservación de la energía.

La figura 53 muestra el diagrama de confort para todo el período medido en el que se observan temperaturas exteriores muy bajas, alcanzando valores mínimos menores de -2°C y máximas de 20°C . Sin embargo los ambientes principales registraron una temperatura de base superiores a 10°C y máximas de 25°C sin el aporte de fuentes y una humedad relativa entre 40 y 80%. Estos valores muestran un buen desempeño térmico de base de la vivienda.

La figura 54 registra como ejemplo un día soleado típico de invierno (17/08/2017) con buena heliofanía, en el cual no se encendió ninguna fuente de calor auxiliar según relato de sus ocupantes. La temperatura exterior osciló entre 8 y 20°C ; y los ambientes registraron temperaturas superiores a 16°C y máximas de 23°C en el estar y 20°C en el dormitorio. En el caso de los dormitorios se observa una mayor estabilidad

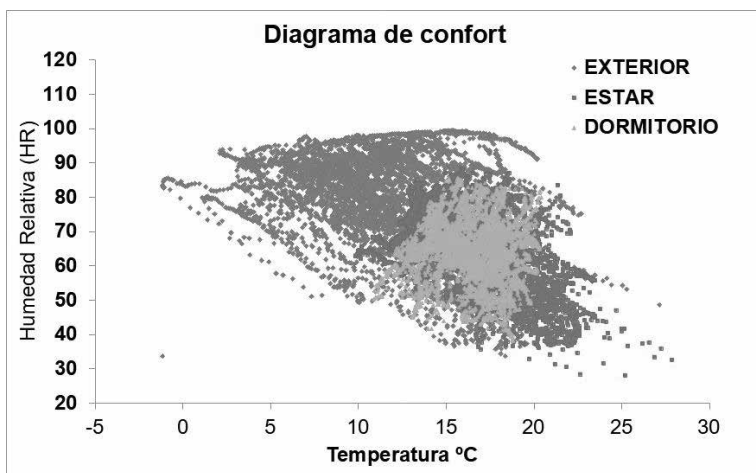


Figura 53. Diagrama de confort para todo el período medido

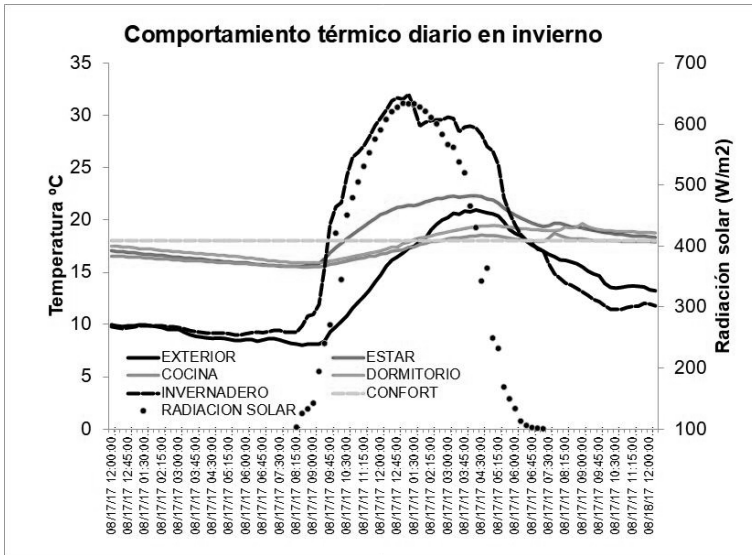


Figura 54. Ejemplo de un día soleado típico de invierno (17.08.2017) con buena heliofanía.

térmica y un mayor amortiguamiento aportado por los sistemas MAC. En cuanto al estar, su estado térmico se debió a la ganancia directa de la vidriera norte y el aporte del invernadero-secadero de ropa. Durante el período nocturno su temperatura es algo menor a la del dormitorio por no contar en este ambiente con la amortiguación térmica de los MAC. A pesar de las diferencias registradas, en ambos ambientes se verifica una respuesta térmica óptima.

Si bien las primeras auditorías se mantuvieron dentro de los cronogramas previstos, las siguientes se encuentran a la espera de algunos ajustes en los sistemas a los efectos de corregir vicios de obra habituales en este tipo de emprendimientos. Se debe tener en cuenta que la gestión depende de ciclos administrativos que generan según las circunstancias ciertas discontinuidades en la ejecución de obras. A pesar de ello

nuestro grupo de investigación continuó con el análisis de la viviendas bioclimáticas de Tapalqué, y con los desarrollos de nuevas tecnologías de MAC, trabajando sobre la versión “MAC 2” a los efecto de mejorar su performance en cuanto a facilitar el proceso industrial y constructivo, así como a su versatilidad con respecto al traslado y montaje de los sistemas en obra, facilitando su adaptabilidad a diferentes espacios, usos y aplicaciones.

NUEVA GENERACIÓN DE MAC: MAC 2 COMO ACUMULADOR DE CALOR Y AMORTIGUADOR TÉRMICO

7

Luego de las experiencias realizadas con los MAC en sus diferentes versiones, se continuó en el desarrollo e innovación de los sistemas mixtos con el objeto de lograr una tecnología versátil y adaptable para diversos usos y aplicaciones. Para ello se repensó el sistema industrializado a los efectos de contar con un armado modular más sencillo y que se adapte a diferentes circunstancias de utilización y montaje. Se configuró un sistema conformado con piezas reducidas de fácil manipuleo y que se puedan montar en obra de manera manual. Las piezas de menor tamaño permitieron un ensamble adaptable a diferentes configuraciones, morfologías y capacidades de prestación. Dicha versatilidad posibilitó un armado y/o desarmado en función de los diferentes espacios a climatizar, ampliando así el universo de aplicación, ya sea el sector residencial como el agro-productivo. Su lógica modular logra adaptarse a múltiples espacios configurando sistemas permanentes o de uso transitorio. Por ejemplo los MAC utilizados en viviendas se consideran instalaciones fijas de uso permanente; mientras que en los espacios de la agro-producción, los sistemas se adaptan a los diferentes requerimientos. Por ejemplo en invernaderos

de cultivos o en recintos cerrados de crianza, el sistema MAC 2 permite ser montado y desmontado en función de la demanda de climatización (aumentar o disminuir capacidad de carga). Esta lógica de armado también le permite invertir en tecnologías pasivas a aquellos productores con problemas en cuanto a la tenencia de la tierra (arrendatarios), ya que dicho sistema puede ser trasladado a otra área de producción.

Esta diversidad de usos, requirió un nuevo diseño de los componentes de la acumulación del MAC 2, incluyendo criterios que cumplan con las premisas de modularidad, acumulación mixta variable, y estabilidad geométrica; asegurando un buen ajuste en el armado y versatilidad en su configuración. Esta lógica permitió ajustar la relación entre piezas de hormigón y vainas de agua en función de los condicionantes climáticos y los requerimientos en cada caso.

Este sistema con innovaciones singulares en cuanto a su concepción y tecnología fue registrado en la oficina de patentes y registros tecnológicos a través de la oficina de Vinculación Tecnológica del CONICET.

7.1. DISEÑO Y REGISTRO TECNOLÓGICO DE LOS MAC 2

De las experiencias realizadas en el 2008 con los MAC mixtos, y advirtiendo la necesidad de facilitar las instancias de montaje en obra o espacios de producción, se diseñaron los MAC 2. En esta etapa, y dado los resultados de las experiencias anteriores, se procedió directamente a diseñar los nuevos prototipos y realizar los registros tecnológicos correspondientes. Se mantuvieron los principios termo-físicos de los sistemas MAC mixtos, pero a su modulación y armado se le dio mayor versatilidad a los efectos de poder ser resuelto de manera

manual, sin la necesidad de depender de sistemas elevadores para el montaje de las piezas. Estos preceptos llevaron a la realización de los primeros bosquejos que daban una idea de los componentes a tener en cuenta, sus tamaños, y sus posibles configuraciones. La figura 55 muestra los primeros bocetos, los cuales fueron perfeccionados y rediseñados para su posterior registro tecnológico.

Se trabajó en el diseño definitivo de los MAC 2, en la documentación técnica, y en las especificaciones para ser presentadas en la oficina de Patentes y Registros del CONICET. Se incluyó el material probatorio con sus antecedentes a los efectos de cumplimentar los trámites correspondientes. El mismo contó con un informe de patentabilidad que desarrolló el campo técnico de la invención, y una memoria descriptiva de la invención al cual se le otorgó el N° de registro IMPI 20150102983 (Discoli, Viegas, 2015).

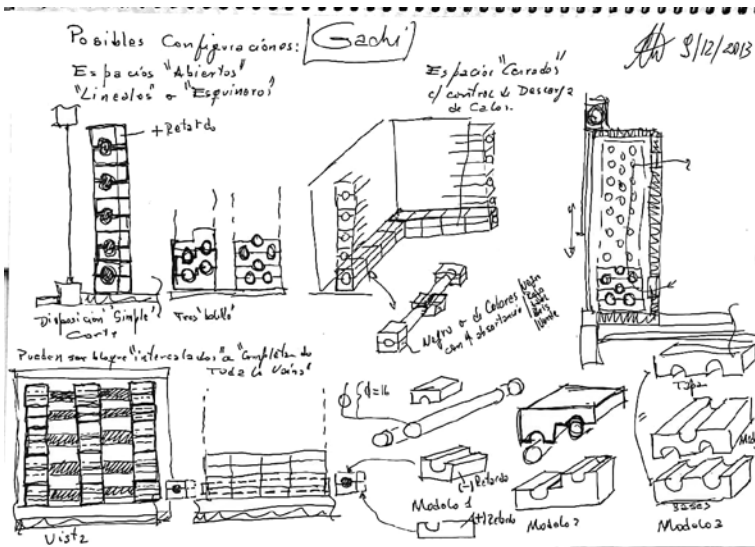


Figura 55. Primeros bocetos, los cuales fueron perfeccionados y rediseñados para su posterior registro tecnológico.

7.2. INFORME DE PATENTABILIDAD

7.2.1 CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION

El campo técnico de la invención se definió como: *“Muro colector acumulador de calor a partir de piezas modulares encastrables mixtas conformando unidades de climatización de diferente magnitud” (MAC 2).*

Este punto refiere a un muro colector acumulador de calor mixto pensado constructivamente para ser resuelto en forma industrial y armado sencillo in situ. La invención posee los principios generales de un muro Trombe habitual, pero se conforma a partir de una masa de acumulación desarmable y mixta resuelta con bloques moldeados apilables de cemento/hormigón y vainas plásticas estancas cargadas de agua. Esto permite conformar masas de acumulación de calor de diferentes tamaños y geometría dentro de un recinto específico o un ambiente expuesto a la energía radiante del sol.

Utiliza como principio una masa de acumulación pesada conformada por los bloques de cemento u hormigón con capacidades caloríficas menores (calor específico del bloque 0,25 kcal/kg°C), pero con retardo térmico importante; y múltiples masas de agua (envainadas en tubos plásticos o equivalentes) que permiten a partir de su mayor capacidad calorífica, cuadruplicar la energía captada en el mismo tiempo de exposición a la radiación (calor específico de agua 1kcal/kg°C).

Los bloques moldeados de cemento u hormigón brindan parte de la acumulación y capacidad de retardo; mientras que el agua cuadruplica la capacidad de carga con una relación

de retardo muy inferior, entregando calor en forma mediata. Ambos materiales tienen costos relativamente económicos y su sencilla resolución permite su aplicación en viviendas de bajos recursos con el consabido ahorro de energía de calefacción o en espacios diversos de la agro-producción.

En relación a la construcción de la presente invención la misma podrá ser llevada a cabo con diferentes diseños de armado combinando bloques de cemento u hormigón con vainas de diferente tamaño resueltas en caños sintéticos como el PVC, sellados con tapas, colmados de agua y una burbuja de aire no menor al 2% del volumen total de la vaina para evitar la dilatación y posible ruptura.

La figura 56 ilustra las diferentes configuraciones de MAC 2 encriptados en recintos específicos o en ambiente generales con buena incidencia solar directa. En principio se trata de conformar estructuras monolíticas con bloques y vainas con diferente geometrías estableciendo paredes modulares próximas a vidrieras expuestas al sol.

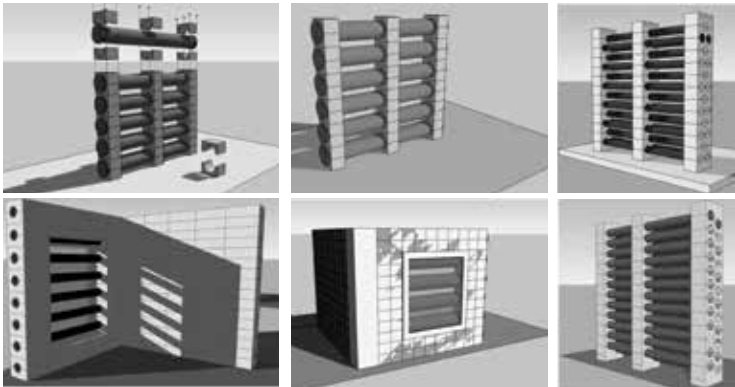


Figura 56. Diferentes configuraciones de MAC 2 encriptados en recintos específicos o en ambiente generales con buena incidencia solar directa.

A continuación se ilustran croquis de diferentes configuraciones de muros trombes mixtos (con diferentes relaciones de carga entre componentes sólidos y vainas de agua). En principio se trata de una pared armada modularmente, de hormigón con vainas de plástico de PVC llenas de agua tratada. Los muros pueden formar parte de espacios interiores abiertos bien asoleados (tipo jardín de invierno o invernaderos), o incluidos dentro de recintos cerrados específicos para climatización.

Descripta la tecnología, la oficina de patentes realizó una búsqueda documental en diferentes bases de patentes (Oficina Americana de Patentes, Oficina Alemana de Patentes, la Oficina Europea de Patentes, y bases de Argentina) a los efectos de verificar su originalidad. De la búsqueda llevada a cabo se encontraron una serie de documentos e invenciones, y para avanzar en la patentabilidad se debió establecer y explicitar cuales eran las diferencias y las ventajas de la nueva invención (MAC 2) frente a cada uno de los documentos encontrados. De esta manera se logró registrar la innovación. A partir de dicho trámite se completó la documentación con la memoria descriptiva definitiva de la invención respetando el lenguaje formal de la documentación presentada.

7.2.2 REGISTRO TECNOLÓGICO Y CERTIFICADO DE PATENTABILIDAD DEL MAC 2

Una vez presentada la documentación se elabora un certificado como **Modelo de Aplicación titulado: “Colector acumulador de calor para climatización y amortiguamiento térmico”**. (vinculacion.conicet.gov.ar/?caccion=printPDF&tcid=1245). Número de Solicitud Prioritaria IMPI: M20150102983. Oficina de Patentes y Vinculación Tecnológica de CONICET.

Titulares: Dr. Carlos Alberto Discoli; Dra. Graciela Viegas.
En la figura 57 se adjunta el mismo.

Formulario de Registro Tecnológico del INPI. Incluye datos de identificación (INPI 20150102983), datos personales del titular (Dr. Carlos Alberto Discoli), datos de la actividad (Tecnología de sensores) y una declaración de originalidad y novedad.

Formulario de Certificado de Patentabilidad del INPI. Incluye una declaración de originalidad y novedad, una descripción técnica del invento y una declaración de los titulares (Dr. Carlos Alberto Discoli y Dra. Graciela Viegas).

Copia repetida del formulario de Registro Tecnológico del INPI.

Copia repetida del formulario de Certificado de Patentabilidad del INPI.

Figura 57. Registro tecnológico y Certificado de patentabilidad del MAC 2.

Una vez registrada la invención, se continuaron los desarrollos tecnológicos con el objeto de llevar adelante el proceso de industrialización, fabricación, ensayos y evaluación de los MAC 2 en ambos sectores (Residencial y Agro-productivo). Se trabajó en la región del Gran La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina, a los efectos de ajustar los sistemas a los diferentes requerimientos de los actores institucionales interesados en la implementación de dichos sistemas (Instituto de la Vivienda de la Pcia, de Buenos Aires IVBA, Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la UNLP, y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA-Gorina; y cooperativas de productores). La participación colectiva de los diferentes actores ha sido fundamental para iniciar el proceso de transferencia y adopción de dicha tecnología.

Para tal fin se trabajó en el marco de los proyectos de investigación vigentes (PIP 112-2011-0100097 CONICET y UNLP 11/U171), con la empresa de hormigón pre-moldeado BLOKY S.A., y con una beca doctoral del CONICET para los trabajos de ajustes de diseño, simulación numérica y ensayos empíricos en laboratorio y campo.

DESARROLLO INDUSTRIAL Y ENSAYOS DE LOS MAC 2

8

Como hemos mencionado oportunamente, el desarrollo tecnológico del sistema solar pasivo MAC 2 se pensó para diversos sectores de aplicación, y se orientó a la climatización de espacios de viviendas y a la estabilización térmica de espacios agro-productivos cerrados. Ambos sectores requerían de tecnologías apropiadas a las circunstancias actuales de construcción y producción, y de gran versatilidad en cuanto a la simpleza de su implementación. El diseño se orientó a la industrialización de componentes de sencilla manipulación y a una fabricación seriada, a partir de la utilización de materiales convencionales adquiribles en el mercado, y sin la necesidad de mano de obra especializada.

Se trabajó teniendo en cuenta los criterios detallados en el registro tecnológico, al que se le introdujeron ajustes finales para su proceso constructivo. De esta manera se buscó obtener prototipos modulares dimensionalmente estables que aseguren con sus componentes una estructura portante y sus requerimientos térmicos. En cuanto al sistema de armado, los MAC 2 pueden montarse con diferentes configuraciones,

capacidades térmicas, y mecanismos de descarga del calor acumulado.

Esta etapa incluyó un análisis y una caracterización cuali-cuantitativa de las innovaciones propuestas respecto a las otras tecnologías a los efectos de revalidar y fundamentar el desarrollo de los MAC 2 y sus prestaciones (Jodra, Discoli, San Juan, 2017). Luego se profundizó en el ajuste dimensional de sus piezas constitutivas y del conjunto para viabilizar su producción industrial. Finalmente se ensayaron montajes estableciendo diferentes configuraciones, las que se evaluaron en laboratorio a cielo abierto y se realizaron simulaciones numéricas a los efectos de ajustar un modelo de cálculo. Par su implementación en el sector residencial se implementó un BOX emulando un dormitorio; y para el sector Agro-productivo, los sistemas se probaron en un invernadero. Dichas actividades se realizaron en el marco de los proyectos en curso y en el de un doctorado que permitió verificar los resultados finales, cuya tesis se tituló: Sistema modular acumulador/amortiguador de calor solar térmico como alternativa de sustitución energética sobre espacios múltiples, del Dr. J. Jodra 2021; Directores: Dr. Carlos Discoli; Dr. Alejandro Hernandez.

Establecidas las fortalezas tecnológicas del MAC 2 relacionadas con la modularidad, versatilidad, adaptabilidad estructural, geométrica, sencillez constructiva, y producción seriada y masiva, se detalla su proceso de industrialización.

8.1. PROCESO DE INDUSTRIALIZACIÓN DE LOS MAC 2

Para la fabricación de los componentes del MAC 2 (registro IMPI 20150102983), se trabajó con los parámetros físicos y dimensionales de las dos piezas distintivas que constituyen

la masa de acumulación: Los bloques sólidos portantes y las vainas con agua.

En cuanto a los bloques sólidos, para su fabricación se tuvieron en cuenta dos tipos de configuraciones resueltas con tubos simples (unbolillo) y tubos dobles (dosbolillos). Se pensó en piezas de hormigón vibrado pre-moldeado encastrables de dimensiones y pesos razonables entre 10 y 22 kg. para su sencilla manipulación manual. Su configuración geométrica se pensó incluyendo medias cañas en cada bloque para contener la línea de tubos simples o dobles según el caso. El ajuste de las medias cañas entre bloques y vainas de agua aseguran un buen contacto físico a los efectos de preservar la interacción térmica entre ambos componentes. En cuanto a la materialidad de los bloques se optó por utilizar hormigón tipo H30, realizando una pigmentación integral de su masa mediante el agregado de “negro de humo” en una proporción del 2% en peso de la mezcla en seco. Esto resulta de considerar el antecedente del trabajo realizado por (Discoli, Viegas y San Juan, 2015), en el que se estudiaron las propiedades termo-físicas del material pigmentado así como su desempeño termodinámico, evidenciando mejoras en los niveles térmicos alcanzados al utilizarlo como componente de acumulación térmica en muros tipo MAC. Para su fabricación, se consultó y se confirmó la viabilidad con un fabricante local de premoldeados de hormigón vibrado.

En cuanto a las vainas con la masa líquida las mismas deben contar con largos relacionados a los módulos constructivos a los efectos de adaptarse a las viviendas e invernaderos. Se planteó el uso de tubos de policloruro de vinilo (PVC) de 160 mm de diámetro, los cuales se seccionan de acuerdo a la longitud requerida. El cierre estanco de los mismos se genera mediante sus correspondientes tapas ciegas utilizando adhesivo específico (tipo fundente) para realizar el sellado. Luego a estas

vainas plásticas se les incorpora agua en su interior dejando un 2% de volumen de aire para absorber posibles cambios dimensionales debido al efecto de la dilatación térmica del agua. Eventualmente se puede incorporar en el agua una dosis preventiva de alguicida (2ml cada 100 l. de agua). En el caso de climas fríos rigurosos se le puede agregar al agua un 20% de anticongelante inorgánico previniendo así posibles roturas por congelamiento. En cuanto a la materialidad de las vainas, se seleccionó el PVC dado que se trata de un producto comercialmente accesible en el mercado de la construcción; y cuenta con buena terminación y estabilidad dimensional. En cuanto a los diámetros, si bien hay diversidad en el mercado (110, 160, 200 mm), se optó por el de 160 mm, ya que permitió optimizar la relación entre los diferentes armados y la capacidad calorífica volumétrica de los sistemas.

La figura 58 muestra las dimensiones y los detalles asegurando: i. Resistencia del material, en el dimensionamiento de los espesores mínimos en las piezas de hormigón; ii. Modularidad, estableciendo la altura de las piezas como un submúltiplo de la altura estándar de fachada; iii. Capacidad de carga térmica, según la relación hormigón / agua; iv. Retardo térmico, de acuerdo a la profundidad de las piezas o “espesor” del muro y a la ubicación de la masa de agua dentro del mismo; y v. ergonomía, en el peso de cada pieza limitando las dimensiones del bloque en su ancho.



Figura 58. Dimensiones y los detalles de los bloques sólidos.

A partir de dichas definiciones dimensionales, se realizó una caracterización termo-física teórica de los componentes sólidos. La tabla 10 sintetiza las características dimensionales y termo-físicas de las piezas sólidas y líquidas del sistema MAC 2.

La información volcada en la tabla permite un dimensionamiento básico de los sistemas en función de las piezas a utilizar y las configuraciones definitivas que tenga cada sistema.

Asimismo, se advierte las diferencias entre ambos prototipos, observando que el diseño “Dosbolillo” cuenta con una mayor proporción en volumen de agua y posibilita sistemas con mayor capacidad de acumulación de calor, mientras que la configuración del MAC 2 con tubos simples cuenta con



Características geométricas y físicas		
	Tubo Simple	Dosbolillo
		
Diámetro de tubos (mm)	160	160
Profundidad (espesor de muro) (mm)	350	350
Altura (mm)	200	140
Ancho de pieza (mm)	200	200
Bloques en modulación de 2,4 m	12	17
% V/V de H2O	29%	41%
Peso estimado (kg/m ²)	649,36	597,66
Densidad estimada (kg/m ³)	1855,31	1707,60
Volumen de agua (l/m ²)	100,53	143,62
Volumen de agua (l/m ³)	287,23	410,34
Volumen de hormigón (litros)	9,98	5,78
Peso por pieza (teórico) (kg)	21,95	12,71
Piezas / m ² de muro	25,0	35,7
Capacidad Calorífica/m ² de muro(kJ/m ² K)	925,75	1018,90
Capacidad Calorífica volumétrica (kJ/m ³ K)	2644,99	2911,13

Tabla 10. Características dimensionales y termo-físicas de de las piezas sólidas y líquidas del sistema MAC 2. (Jodra, Viegas, Discoli, San Juan, 2017).J Jodra, 2021).

mayor masa sólida en su parte posterior y consecuentemente un mayor retardo de la onda térmica.

El diseño modular de sus componentes facilita el dimensionamiento, el transporte y la instalación de los sistemas. Permite configurar muros “ciegos” o “semi transparentes”, en este caso con los tubos totalmente expuestos utilizando solo una cantidad mínima de bloques a modo de estructura de soporte. De esta manera, el sistema posibilita contar con mayor o menor masa sólida, modificando la capacidad calorífica y el retardo térmico según la cantidad y el tipo de piezas de hormigón seleccionadas. Las diferentes opciones dependerán de los requerimientos de climatización de cada espacio y la localización. Dicha versatilidad permite adecuar las dinámicas de carga y descarga térmica en función de la demanda, y adaptarse a diferentes espacios y requerimientos. En la Figura 59 se observan como ejemplo cuatro configuraciones de masa de acumulación: dos como muro acumulador de calor para viviendas, y dos variantes diferentes aplicables en los espacios productivos (acumulador-amortiguador térmico).

La fabricación de los componentes, se realizó en la empresa de pre-moldeados de hormigón (BLOCKY S.A.). Para tal fin se diseñó y construyó el utillaje y los moldes para la fabricación seriada de los bloques y los tubos. Se utilizó hormigón vibrado H30 (hormigón con resistencia característica a los 28 días de 300 Kg/cm²) pigmentado con negro de humo al 2%.

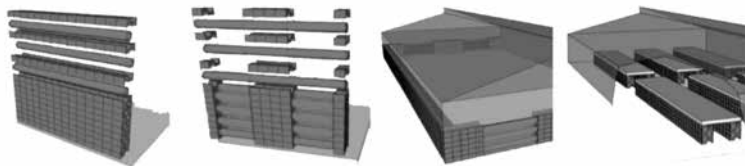


Figura 59. Ejemplo de cuatro configuraciones: dos como muro acumulador de calor y dos variantes para su aplicación como sistema acumulación y amortiguamiento térmico en un espacio productivo.

figura 60 muestra el proceso de fabricación con los moldes en la mesa vibradora; el manipuleo industrial de los bloques terminados; y el izaje de los mismos hacia el laboratorio a cielo abierto del IIPAC.

Los tubos y tapas de PVC se adquirieron en el mercado local, en tramos de 6m de largo y diámetro nominal de 160 mm, los que se cortan modularmente dependiendo su longitud del tipo de instalación a resolver. El procedimiento para armar las vainas estancas consistió en los siguientes pasos:

- 1- Se cortaron los tubos con la longitud necesaria para los ensayos y/o aplicaciones.
- 2- Se colocaron las tapas ciegas selladas con fundente.
- 3- Se perforó un orificio de 12 mm de diámetro previsto para el llenado con agua.
- 4- Se pintó previo a la carga de agua toda su superficie con sintético negro mate.
- 5- Se colocó la carga de agua en un 98% de su volumen, y se agregó el aditivo (alguicida) al 2% (en función de la rigurosidad del clima se debe incluir aditivo anticongelante), sellando luego el orificio con una tapa de PVC y fundente.
- 6- Se pintan las tapas en color negro mate.



Figura 60. Fabricación seriada de los bloques en moldes metálicos y recepción de los bloques pre-moldeados.

La figura 61 muestra la fabricación de los tubos.

Concluida la fabricación de las piezas (bloques y tubos), la figura 62 muestra las piezas finales obtenidas y algunos ejemplos de configuraciones del sistema. Cabe señalar que según el destino del sistema a conformar, las piezas pueden colocarse con o sin mortero adhesivo. El agregado de mortero garantiza una mayor conductividad térmica del conjunto entre los componentes, mientras que el simple apilamiento tiene como ventaja la posibilidad de desarmar el sistema instalado para su relocalización o reconfiguración de acuerdo a nuevas

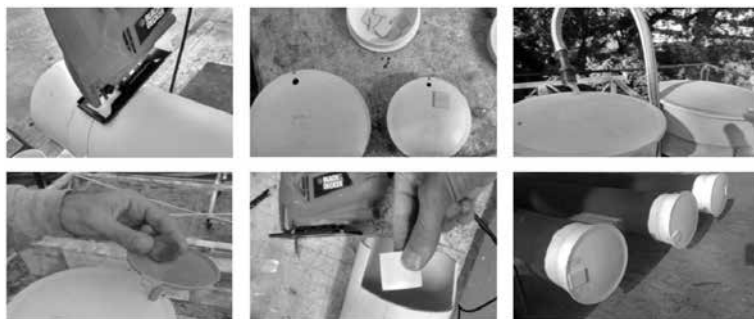


Figura 61. Fabricación de los tubos de PVC.



Figura 62. Piezas finales obtenidas y algunos ejemplos de configuraciones del sistema para el sector residencial y el agro-productivo.

necesidades (esta posibilidad se relaciona directamente con la condición de tenencia de la tierra en numerosos pequeños productores arrendatarios –Ringuelet & Garat, 2000–). Estas opciones fortalecen la versatilidad del diseño, permitiendo obtener diferentes prestaciones de acuerdo al requerimiento.

Completada la etapa de fabricación y armados los prototipos, se realizaron los ensayos empíricos correspondientes a su implementación en el sector residencial y el agro-productivo.

8.2 ENSAYOS EMPÍRICOS DE LOS MAC 2

Para los ensayos empíricos se construyeron espacios tipo BOX que emulen a los ambientes característicos de los Sectores Residencial y Agro-productivo. Para el Residencial se realizó un recinto equivalente a un dormitorio, y para el Agro-productivo se implementó un invernáculo a escala (ver figura 62). Se establecieron diversas configuraciones para cada caso y se definieron los puntos de medición y condiciones de ensayo. El registro de los datos se estableció cada 15 minutos dentro del ciclo diurno-nocturno (fases de carga y descarga térmica) durante períodos prologados de tiempo (15-20 días).

Los ensayos se desdoblaron a partir de sus diferentes aplicaciones. Para el sector Residencial se consideraron los condicionantes de habitabilidad establecidos por las normas IRAM de acondicionamiento térmico de viviendas; y para el sector Agro-productivo se incluyeron los condicionantes establecidos por el INTA a los efectos de asegurar una climatización y estabilización en los espacios de producción acordes a la región y la producción local. Esta diferenciación de parámetros y requerimientos necesariamente debió abordarse a través de ensayos paralelos. Comenzaremos a

describir los ensayos destinados a los MAC 2 aplicados al Sector Residencial, y luego abordaremos los destinados al Sector Agro-productivo.

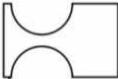

8.2.1 ENSAYOS DEL MAC 2 PARA EL SECTOR RESIDENCIAL

Se establecieron diferentes ensayos orientados a definir el comportamiento real de los MAC 2 en sus diferentes configuraciones geométricas y de carga, así como en sus formas de descarga de calor directa (libre) o indirecta (controlada). La descarga directa (o libre) se utiliza fundamentalmente en los sistemas másicos cuyos componentes sólidos cubren la totalidad de la superficie expuesta, y su dinámica de descarga de calor es mayoritariamente de carácter radiativa. De esta manera se cuenta con una mayor inercia térmica, retardo en la entrega de calor y amortiguamiento de sus picos térmicos. La dinámica de descarga la controlan fundamentalmente los bloques sólidos que conforman gran parte de la masa de acumulación. En cuanto a la descarga indirecta (o controlada), se utiliza fundamentalmente en los sistemas dinámicos con mayor acumulación en agua. Básicamente su intercambio de calor es convectivo entre las vainas de agua y el aire, mientras que las piezas sólidas si bien forman parte de la masa de acumulación, cumplen mayoritariamente una función de soporte estructural. En estos sistemas, la descarga de calor por rejillas puede ser libre o con algún grado de control a los efectos de administrar el calor según demanda.

Para la instrumentación de los ensayos se montaron los sistemas en el BOX cuya envolvente térmica tiene en cuenta el nivel "B" de la norma IRAM 11605 (1996) estipulado en la Ley 13.059 de acondicionamiento térmico en edificios de uso humano (decreto reglamentario 1030/10 de la Provincia de Buenos

Aires). La tabla 11 muestra un resumen de las configuraciones del MAC 2 ensayadas, y la figura 63 representa el armado de las mismas.

En cuanto al BOX de ensayos, sus características responden a un dormitorio típico de una vivienda compacta, con orientación variable (en este caso Norte), cuya superficie transparente es destinada la instalación de los MAC 2. El ambiente interior a climatizar cuenta con una superficie de 9 m² y una altura

Configuraciones de MAC 2 ensayadas para el Sector Residencial					
Configuraciones - Prototipo "Tubo simple"			Configuraciones - Prototipo "Dobbolillo"		
					
Muro de descarga directa			Muro de descarga directa		
Cantidad de bloques	90	Cantidad de tubos	9	Cantidad de bloques	126
Ancho (piezas)	9	Alto (piezas)	10	Ancho (piezas)	14
Masa sólida (kg)	1980	Masa total (kg)	2322	Masa sólida (kg)	1764
Masa líquida (kg)	342			Masa líquida (kg)	494
Superficie total (m ²)	3.60	Capacidad calorífica (kJ/K)	3332	Superficie total (m ²)	3.53
				Capacidad calorífica (kJ/K)	3594
Muro de descarga indirecta			Muro de descarga indirecta		
Cantidad de bloques	30	Cantidad de tubos	9	Cantidad de bloques	42
Ancho (piezas)	9	Alto (piezas)	10	Ancho (piezas)	9
Masa sólida (kg)	660	Masa total (kg)	1002	Masa sólida (kg)	588
Masa líquida (kg)	342			Masa líquida (kg)	494
Superficie total (m ²)	3.60	Capacidad calorífica (kJ/K)	2120	Superficie total (m ²)	3.53
				Capacidad calorífica (kJ/K)	2612

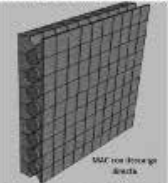



Prototipo Unibolillo (Tubo simple)	Prototipo Dobbolillo
	
	

Tabla 11 y Figura 63. Configuraciones y características técnicas de los MAC 2 ensayados en BOX. Sector Residencial. (J. Jodra, 2021)

estándar de 2,4 m. La envolvente es una estructura de Steel frame con placas exteriores cementicias de 1,20 x 2,40 m, y una aislación térmica con placas de poliestireno expandido de alta densidad (20 kg/m^3) respetando los condicionantes de habitabilidad de la norma IRAM. La estructura es de construcción liviana, sin inercia térmica, a los efectos de evaluar solamente los atributos del sistema de climatización. En cuanto a los puentes térmicos, se eliminaron incluyendo bastones verticales de aislación interior equivalente a la de los muros. En su fachada, se instala una vidriera desmontable con carpintería de aluminio y vidrios simples de 4 mm de espesor a los efectos de maximizar la ganancia directa. La misma posee una superficie de $4,8 \text{ m}^2$ y una estructura cuyo espesor es de 5 cm, dejando en su parte posterior el espacio para la instalación de los MAC 2. La Figura 64 muestra el módulo en sus etapas de construcción.

Se le incorporó instrumental de medición constituido por un adquirente de datos de 8 canales marca Novus “FieldLogger 512kb” y un tablero de alimentación 220 V. Se incluyeron para la medición de temperaturas siete termocuplas tipo T (Cobre – Constantan) destinadas a la medición del perfil térmico de los MAC 2 y la temperatura del aire en el interior del módulo. A su vez, se utiliza como apoyo un micro adquirente de datos marca Hobo UX100-014M conectado a otra termocupla tipo T para registrar la temperatura exterior



Figura 64. Módulo de ensayos en sus etapas de construcción. (J. Jodra, 2021)

en las inmediaciones del módulo. Se incluye un solarímetro orientado en el plano vertical del muro (90°, orientación norte), y para los parámetros climáticos se cuenta con una estación meteorológica Davis Vantage PRO II ubicada en las inmediaciones del laboratorio. La misma registra datos de irradiación en el plano horizontal, temperatura, humedad, precipitaciones y dirección y velocidad de vientos. La figura 65 muestra el instrumental utilizado para los ensayos.

En cuanto a la instalación de sensores para medir las temperaturas de los componentes del sistema MAC 2 propiamente dicho, se definieron 6 puntos a lo largo de la sección transversal de los bloques y las vainas permitiendo contar con un registro detallado del perfil de la onda térmica en el tiempo. La Figura 66 muestra un esquema con la ubicación en corte de los sensores térmicos en cada una de las configuraciones a ensayar.

Simultáneamente se midió en el interior de los componentes de los sistemas ubicados en la parte central, y en sus sectores superior e inferior a los efectos de establecer promedios térmicos en la masa de acumulación. Para los ensayos se respetó el orden de las configuraciones estipuladas en la tabla 11. Para evaluar el calor acumulado y los rendimientos se utilizaron las expresiones detalladas a continuación, y luego se presentan los resultados de las mediciones para cada configuración de MAC 2.



Figura 65. Instrumental del BOX de ensayos.

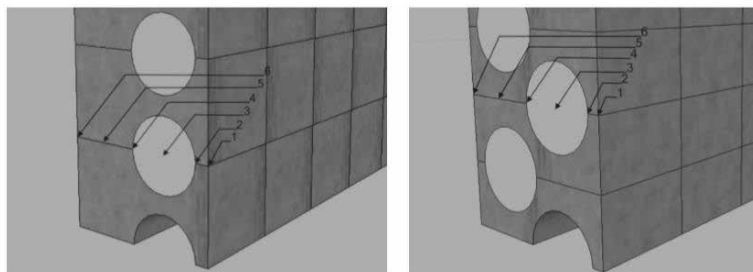


Figura 66. Esquema con la ubicación en corte de los sensores térmicos en cada uno de los prototipos a ensayar (unbolillo, dosbolillos).

8.2.1.1. EXPRESIONES TEÓRICAS PARA EL CÁLCULO DEL CALOR ACUMULADO Y LOS RENDIMIENTOS DE LOS MAC 2

Los conceptos y las expresiones matemáticas que rigen las variables termo-físicas son:

i- Acumulación térmica

El término acumulación térmica (Q), hace referencia a la cantidad de energía térmica almacenada en la masa de acumulación durante un ciclo de trabajo. Para una masa de acumulación homogénea, la misma equivale al producto del incremento de la temperatura de la masa de acumulación, por su masa y su calor específico. En la Ecuación 13 se presenta la expresión para un caso general, incluyendo la posibilidad de tener un sistema que incorpore más de una materialidad, como masa de acumulación. Para el caso de las acumulaciones mixtas, la expresión incorpora la sumatoria del producto de las masas de cada componente con sus correspondientes valores de temperaturas y calor específico.

$$Q = \sum m_i \cdot c_p \cdot \Delta T \quad [J] \quad (13)$$

Donde:

“ m_i ” corresponde a la masa [kg] de cada materialidad,

“ c_{pi} ” corresponde al calor específico [J/kg.K] de cada material y

“ ΔT_i ” a su incremento de temperatura [K].

ii- Eficiencia de carga

La eficiencia de carga (η), es un parámetro adimensional que representa en escala porcentual la fracción de energía que logra convertirse y almacenarse en forma de energía térmica en el interior de la masa de acumulación en relación a la energía total que se recibe a partir de la irradiación solar incidente. La ecuación 14 presenta la expresión matemática para la obtención de la misma.

$$\eta = \frac{Q}{A \cdot p \cdot \sum I_n} \cdot 100 \% \quad (14)$$

Donde:

”Q” corresponde a la energía térmica [J] calculada para un ciclo diario según la ecuación 13,

“A” corresponde al área total [m²] de captación de la radiación, ”p” a la duración del intervalo de medición [seg.] del nivel de irradiancia, e

“ I_n ” al nivel de irradiancia [W/m²] medida en el plano de captación para cada instante (n) durante un ciclo diario.

iii- Retardo térmico

En cuanto al retardo y amortiguamiento térmico, se trata de parámetros que se definen a partir de analizar el

comportamiento dinámico de los sistemas. Su definición y estudio remiten específicamente a la lógica de funcionamiento de los MAC 2, describiendo el comportamiento y la evolución de la onda térmica en su “pasaje” a través de la materialidad del espesor del muro con una direccionalidad definida (cara caliente - cara fría) (Yañez, 1982). La obtención del retardo y el amortiguamiento en este caso se calculó a partir del registro empírico de las temperaturas superficiales interior y exterior del muro en función del tiempo.

En el caso del retardo de la onda térmica (D), está dado, según la ecuación 15, por la cantidad de tiempo que transcurre entre el momento en que se registra la temperatura pico en las caras exterior e interior del muro. Su importancia se relaciona con la capacidad que tiene un MAC para demorar la entrega de calor al ambiente interior permitiendo disponer del mismo en el periodo nocturno.

$$D = Hora(T_{ext.max.}) - Hora(T_{int.max.}) \quad [h] \quad (15)$$

Donde:

“Hora ($T_{ext.max.}$)” corresponde al horario en que se produce el pico máximo de temperatura sobre la superficie exterior del muro para un ciclo diario determinado, y

“Hora ($T_{int.max.}$)” corresponde al horario en que se produce el pico máximo de temperatura sobre la superficie interior del muro para un ciclo diario determinado.

iv -Amortiguamiento térmico (A).

Este corresponde según la ecuación 16, al decremento del valor de amplitud de la onda térmica entre ambas caras de la masa

de acumulación del muro durante un ciclo de trabajo. De esta manera, cuanto menor sea el amortiguamiento en un MAC 2 mayor será el nivel térmico en su cara interior, permitiendo entregar al ambiente una mayor cantidad de calor. En síntesis, a menor amortiguamiento mayor transferencia de calor al interior.

A modo de ejemplo, para un muro de materialidad sólida, la Figura 67 muestra la evolución temporal de la temperatura superficial interior y exterior indicándose los efectos de retardo y amortiguamiento.

$$A = T_{ext.max.} - T_{int.max.} \quad [^{\circ}C] \quad (16)$$

Donde:

” $T_{ext.max.}$ ” corresponde al valor máximo registrado para la temperatura superficial exterior [$^{\circ}C$] del muro durante un ciclo diario determinado, y

” $T_{int.max.}$ ” corresponde al valor máximo registrado para la temperatura superficial interior [$^{\circ}C$] del muro durante un ciclo diario determinado.

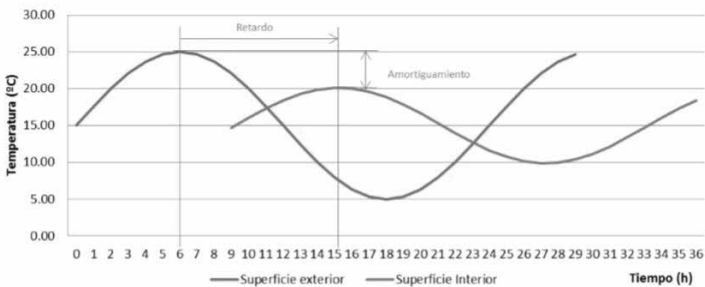


Figura 67: Retardo y amortiguamiento de la onda térmica en un MAC sólido

En otros casos, el amortiguamiento evita una mayor transferencia de calor, por ejemplo en la envolvente de una vivienda, lo que se busca es obtener un mayor nivel de amortiguamiento entre sus caras utilizando materiales aislantes, lo cual contribuye a estabilizar la temperatura interior del ambiente respecto de la variación climática externa.

Expuestas las expresiones que sintetizan el comportamiento termo-físico de los MAC 2, se presentan los resultados de las versiones ensayadas.

8.2.1.2. RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE LOS MAC 2 PARA EL SECTOR RESIDENCIAL

En función de las configuraciones expuestas en la tabla 11 se llevó a cabo un plan de ensayos a los efectos de evaluar y comparar las diferentes prototipos y sus configuraciones. El mismo se llevó a cabo durante la temporada invernal de 2017. Los resultados fueron:

i- Prototipo “Tubo simple”- Ensayo de muro con descarga directa (libre).

De acuerdo a lo especificado en la Tabla 11, el sistema con “tubo simple” cuenta con una masa total de 2322 kg y su modalidad de descarga del calor al ambiente interior es “directa”. En la Figura 68 se muestran imágenes de su configuración e instalación en el módulo de ensayos. Una vez conformado el MAC 2, su superficie de absorción se pintó con esmalte sintético negro mate a los efectos de homogeneizar su coloración.

Concluido el período de ensayo y en función de las series climáticas registradas durante las mediciones, se seleccionaron como ejemplo dos días asoleados típicos para visualizar el



Figura 68. Imágenes de la configuración “tubo simple” con descarga directa, y su instalación en el módulo de ensayos

comportamiento del sistema en condiciones estables de carga y descarga de calor. El gráfico de la Figura 69 registra el comportamiento del MAC 2 “tubo simple” con descarga libre, y visualiza su desempeño térmico.

El ciclo de carga se inicia cuando el muro comienza a recibir irradiación solar sobre la cara norte; y el ciclo de descarga comienza entre las 16hs. y las 16:30 hs. Finalizado el ciclo de descarga el muro cuenta aún en su cara sur con una temperatura entre 4 y 5 °C superior a la del aire interior, disponiendo de

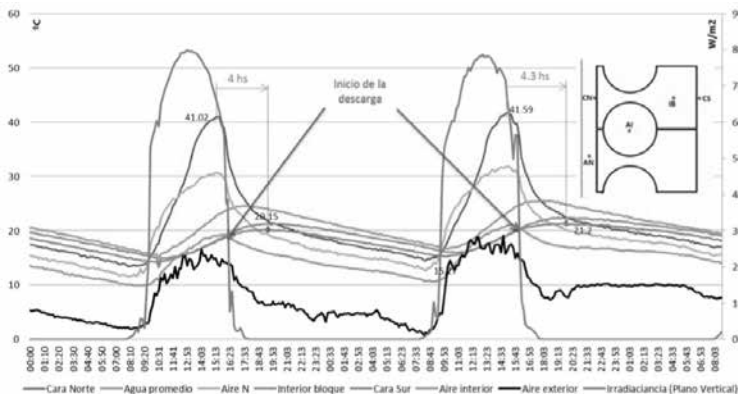


Figura 69. Ensayo de MAC 2 – Prototipo tubo simple – descarga directa. (J. Jodra, 2021).

calor remanente para ser utilizado en el ciclo siguiente en el caso de que el día amanezca frío o nublado. En las últimas dos horas de dicho ciclo, se equiparan las temperaturas medidas en el agua y en el interior del bloque sólido evidenciando la dinámica interna de transferencia de calor entre ambos componentes y el ambiente.

La temperatura exterior registró valores cercanos a 0°C ($0,82^{\circ}\text{C}$). Bajo esta condición de rigurosidad climática, se observa que el MAC estabilizó la temperatura interior mínima en 10°C por encima de la exterior. Al no contar con masa de acumulación térmica en la envolvente del BOX, el ambiente interior responde mayormente a la dinámica de la temperatura exterior típica de las construcciones livianas.

La acumulación térmica (Q) registró valores de 30,53 y 31,04 MJ para el primer y segundo día respectivamente. La eficiencia de carga (η) obtuvo valores del 58 y 61% para el primer y segundo ciclo respectivamente. El retardo de la onda térmica (D), registró entre 4 y 4,3 hs encontrándose dentro de los valores esperados. El amortiguamiento de la onda térmica (A), fue de 20°C . Esto se considera como un valor elevado y se advierte, al estudiar los valores intermedios entre los distintos puntos de registro, que el salto más importante (alrededor de 16°C) corresponde al amortiguamiento que toma lugar en la transferencia conductiva desde el hormigón (Cara Norte) hacia el agua en el interior de la vaina plástica (Agua promedio). Este hecho, se puede relacionar con cierta deficiencia en el contacto entre bloques y tubos, generándose una capa de aire. En una instalación real el contacto entre piezas se resuelve con la utilización de adhesivos entre componentes (tipo pegamento para cerámicos) garantizando la continuidad térmica en la interface entre ambos elementos. Cabe aclarar que el mismo no se utilizó en los ensayos por la evidente necesidad de armar

y desarmar diferentes configuraciones reutilizando las mismas piezas.

Los prototipos finales de MAC 2 y los ensayos de carga, descarga y eficiencia se realizaron en el marco de la beca doctoral CONICET y el trabajo de tesis del Dr. Juan Ignacio Jodra (2021).

ii- Prototipo “Dosbolillo” - Ensayo de muro con descarga directa (libre).

Este prototipo cuenta con una masa total de 2258 kg (ver Tabla 11) y está conformado por piezas tipo “Dosbolillo” que permiten un mayor contenido de agua dentro del mismo volumen de muro. La Figura 70 muestra imágenes de instalación del MAC “dos bolillos” con descarga “directa” en el módulo de ensayos, La superficie expuesta a la irradiación se homogeneizó con esmalte sintético negro mate.

En la Figura 71 se muestran los registros térmicos de dos días típicos de carga y descarga.

El ciclo de carga se inicia en el amanecer una vez que el muro comienza a recibir la irradiación solar; y el ciclo de descarga comienza alrededor de las 17:40 hs, aproximadamente dos horas después de la finalización del ciclo de carga. Se observa



Figura 70. Imágenes el esquema de la configuración y de su instalación en el módulo de ensayos

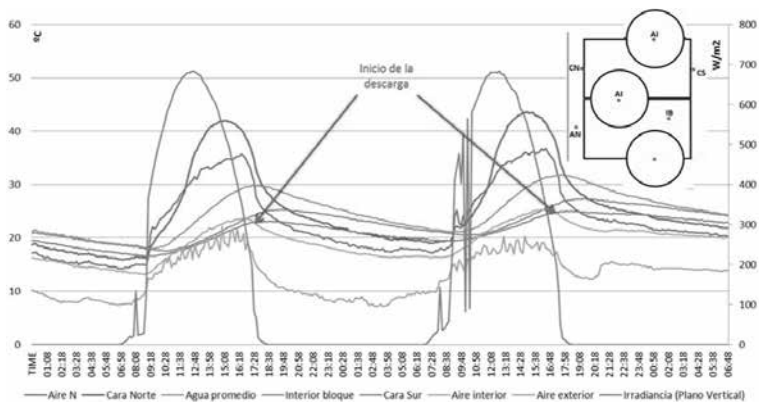


Figura 71. Ensayo de MAC 2 – Prototipo Dos bolillos – descarga directa. (J. Jodra, 2021).

también que en este prototipo, al final del ciclo de descarga el muro aun cuenta en su cara sur con una temperatura entre 3 y 4 °C superior a la del aire interior, disponiendo de cierta cantidad de calor para ser entregado al ambiente en las primeras horas de un día frío o nublado. Por otra parte, sobre las últimas dos horas de dicho ciclo, las temperaturas medidas en el agua y en el interior del bloque también se equiparan, evidenciando la dinámica interna de transferencia de calor.

En este caso la acumulación térmica total (Q) fue de 37,19 y 35,34 MJ para el primer y segundo día respectivamente. La eficiencia de carga (η) fue de 72 y 71% para el primer y segundo ciclo respectivamente. En cuanto al retardo de la onda térmica (D), el registro fue de 3,2 hs, encontrándose dentro de los valores esperados, y coherente con la masa de acumulación dada la mayor proporcionalidad de masa líquida. El amortiguamiento de la onda térmica (A) fue de 19 °C. Esto se considera como un valor elevado, al igual que en el caso anterior, y se advierte al estudiar los valores intermedios entre los distintos puntos de registro, que el salto más importante

(alrededor de 12°C) toma lugar en la transferencia conductiva desde el hormigón (lado Norte) hacia el agua en el interior de la vaina plástica. Como se ha señalado en el punto anterior, este hecho se puede resolverse con el agregado de adhesivos entre piezas.

iii- Prototipo “Tubo simple” - Ensayo de muro con descarga indirecta (controlada).

En este caso, el MAC 2 con “tubos simples” y descarga “controlada”. Este prototipo se configuró con una mayor masa de acumulación en agua (en vainas plásticas estancas), y piezas sólidas cumpliendo principalmente una función estructural de soporte. Entre ambos componentes el muro posee una masa total de 1102 kg y una capacidad calorífica de 2120 kJ/K (ver Tabla 11). Esta configuración se asemeja a los MAC tipo “d” originarios de la casa solar de La Plata, solo que su estructura portante es de bloques y los contenedores de agua difieren en tamaño y localización.

En cuanto al mecanismo de descarga indirecta (controlada), se basa en la generación de una cámara estanca en la parte posterior del muro acumulador con ventanillas de ingreso y egreso de aire por las que circula una corriente convectiva natural. En la Figura 72 se muestran imágenes del proceso de instalación del muro en el módulo de ensayos incluyendo



Figura 72. Imágenes del esquema de la configuración y de su instalación en el módulo de ensayos.

también una vista desde el interior permitiendo ver el recinto estanco con las ventanillas de ventilación.

El comportamiento térmico se muestra en la figura 73 en la que se seleccionaron dos días típicos de la serie de días analizada.

En este caso, la configuración planteada corresponde a un MAC 2 con una masa de acumulación fluida de 342 Kg. y con una estructura soporte de bloques de 660 Kg.. Este tipo de sistemas se caracterizan por su comportamiento dinámico en el que la irradiación solar que ingresa a través de la vidriera se transfiere simultáneamente a la masa de acumulación líquida y al aire circundante. No se obtiene un retardo en la entrega del calor por el material en sí, sino que el mismo es entregado en la medida que la demanda lo requiera a través de la apertura de las rejillas. El ciclo de carga se realiza durante todo el periodo en que el MAC recibe irradiación solar, mientras que la descarga puede ser continua o segmentada según se operen dichas rejillas.

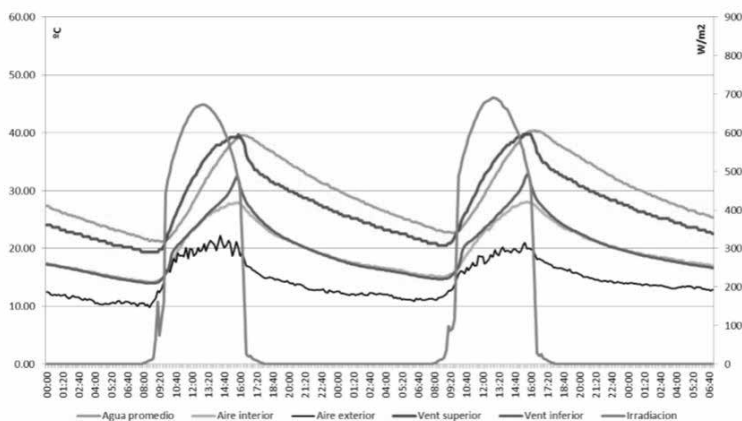


Figura 73. Ensayo de MAC 2 – Prototipo Tubo simple con descarga indirecta. (J. Jodra, 2021).

Las curvas que se exponen en la figura 73 muestran las temperaturas del agua y del aire en el caso de una descarga convectiva controlada y continua (rendijas siempre abiertas). Dicha descarga se sostuvo de manera ininterrumpida durante ambas jornadas de ensayo, Se registró durante la fase nocturna un incremento medio de 6°C entre las temperaturas de entrada y salida del flujo de aire convectivo; mientras que durante la fase diurna dicho incremento tuvo un valor medio de 7°C con un máximo de 11°C . Se observa que al final del ciclo el muro aun cuenta en su masa líquida de acumulación con una temperatura entre 8 y 10°C superior a la del aire interior, con lo cual podría seguir entregando calor durante las primeras horas de un día nublado.

La acumulación térmica (Q) de este sistema fue de 32,88 MJ y 33,82 MJ para el primer y segundo día respectivamente. La eficiencia de carga (η) fue de un 73% para el primer ciclo y de 75% para el segundo ciclo. Con respecto al amortiguamiento de la onda térmica (A) y el retardo (D), conceptualmente no son aplicables en esta configuración dado que se trata de un mecanismo de descarga indirecta con posibilidades de descarga libre o controlada (continua o segmentada). Sin embargo, se puede analizar el amortiguamiento y el retardo en la vaina de agua, si se considera el paso de la onda térmica a través del espesor (diámetro) de la misma. En este caso la dinámica convectiva del agua en el interior de esta se evidencia en la homogeneidad del perfil térmico en la sección del tubo, con un amortiguamiento (A) de entre 3 y 4°C y un retardo de la onda térmica (D) de 10 minutos entre cara norte y cara sur.

Al tratarse de un sistema de descarga indirecta con posibilidades de establecer una descarga de calor continua o controlada a través de las rendijas, existe la posibilidad de cerrarlas en su totalidad y evaluar el potencial de “carga máxima” del MAC 2 alcanzable con las rejillas obturadas.

El ensayo de carga máxima nos permite evaluar el nivel térmico máximo que es capaz de alcanzar el sistema al controlar su descarga a través del cierre de sus ventanillas durante un periodo determinado, adquiriendo así su máxima capacidad de carga. Su comportamiento se evalúa seleccionando una secuencia de días soleados en los que se registra el incremento térmico hasta alcanzar un valor de pico. La Figura 74 muestra las temperaturas alcanzadas con las rendijas cerradas.

Las temperaturas máximas alcanzadas han sido de 40,26 °C, y en términos de energía, esto corresponde a unos 51,34 MJ los cuales se hallan disponibles para ser entregados al ambiente durante un posible periodo de días nublados. Por último, al operar la descarga controlada a través de la apertura de las rendijas se registraron velocidades del flujo de aire entre 0,35 y 0,5 m/s advirtiendo una fuerte dinámica de transferencia de calor entre el MAC 2 y el ambiente a climatizar.

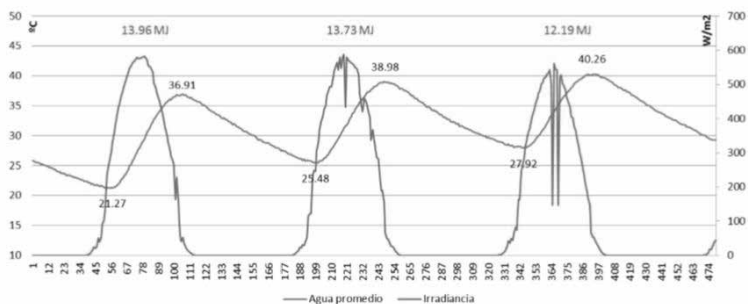


Figura 74. Ensayo de carga máxima. Prototipo "Tubo simple" con descarga indirecta. (J. Jodra, 2021).

iv- Prototipo "Dosbolillo" - Ensayo de muro de descarga indirecta (controlada).

Esta configuración "Dosbolillos" cuenta con una masa líquida de 494 Kg. Y una estructura portante de 588 Kg. El sistema

contiene una mayor cantidad de vainas de agua en el mismo volumen de muro y una gran capacidad calorífica instalada (2612 kJ/K). Entre ambos componentes el muro posee una masa total de 1082 kg (ver Tabla 11). La Figura 75 muestra un esquema del sistema y su instalación en el módulo de ensayos.

La Figura 76 registra las temperaturas alcanzadas por el sistema y la irradiación solar durante dos días típicos del período analizado.

Este sistema al igual que en el anterior, responde a una configuración con una masa de acumulación mayormente líquida y muy dinámica en su proceso de carga y descarga térmica. El ciclo de carga se extiende desde el amanecer hasta alrededor de las 16 hs., mientras que el ciclo de descarga con rendijas abiertas es continuo y sujeto a la carga térmica disponible día a día. Las temperaturas alcanzadas en la masa de agua durante la fase de carga fueron de 28,16 °C y 32 °C con un gradiente total de 5° C entre el tubo superior e inferior. En cuanto a la descarga, se observa que si bien existe una diferencia entre las temperaturas exteriores mínimas y máximas de la primera y segunda jornada, la misma no afectó a los valores diferenciales de las temperaturas del flujo de aire por ventanillas ni al comportamiento del sistema. Para ambas jornadas, la entrega de calor se sostuvo con un incremento medio de 8° C sobre el flujo de aire convectivo, con un



Figura 75. Ensayo de carga máxima. Prototipo "Dosbolillos" con descarga indirecta. (J. Jodra, 2021).

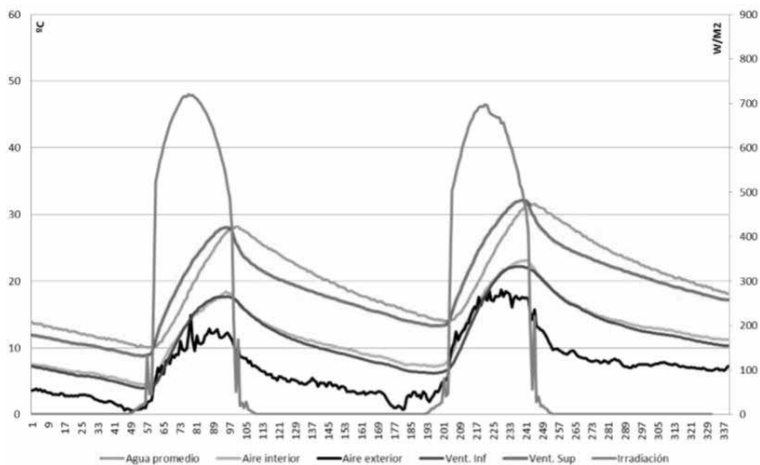


Figura 76. Ensayo de MAC 2 – Prototipo “Dosbolillo” – descarga indirecta. (J. Jodra, 2021).

máximo de 10,5 °C durante la fase diurna. Así mismo, se observa que al final del ciclo, el muro aún cuenta con energía térmica acumulada en su masa líquida con una temperatura entre 7 y 7,5° C superior a la del aire interior.

Con respecto a la acumulación térmica (Q), se obtuvo un total de 44,40 y 43,18 MJ para el primer y segundo día respectivamente, con una eficiencia de carga (η) del 93 y 94%. En cuanto al amortiguamiento (A) y el retardo (D) de la onda térmica, como se ha explicado antes para el caso del prototipo “Tubo simple”, en este tipo de muros (con descarga indirecta) ambas variables se analizan en las vainas, considerando el paso de la onda térmica a través del espesor (diámetro) de las mismas y entre la fila anterior y posterior de la distribución “Dosbolillo”. En este sentido y para ambas jornadas el amortiguamiento fue de 5,4°C, mientras que el retardo térmico tomó un valor de 2,66 hs.

Al igual que el caso anterior, por ser un sistema de descarga indirecta, existe la posibilidad de cerrar en su totalidad las ventanillas y evaluar el potencial de “carga máxima” alcanzable. El ensayo de carga máxima, nos permite evaluar su potencial térmico. En la Figura 77 se muestran los resultados obtenidos.

Para dicho ensayo se seleccionaron tres jornadas con cielo mayormente despejado, manteniendo niveles de irradiación diarios entre los 14 y los 15 MJ. Se registró una temperatura máxima de 41,22 °C en el tercer día, y la energía total acumulada disponible para ser entregada al ambiente fue de 50,11 MJ. Por último, al abrir las ventanillas de descarga se registraron velocidades promedio de flujo de aire entre 0,4 y 0,6 m/s. El ensayo también permitió estudiar su capacidad para conservar la energía acumulada durante un periodo mayor al de un ciclo diario.

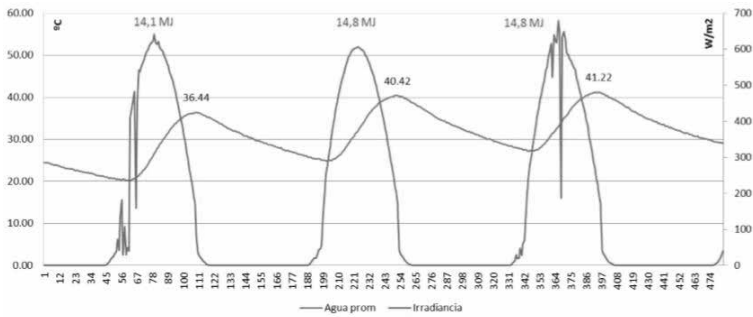


Figura 77. Ensayo de carga máxima. Prototipo “Dosbolillo” – descarga indirecta. (J. Jodra, 2021).

v- Resumen de los resultados de cada configuración de MAC 2.

Realizados los ensayos para las diferentes configuraciones del MAC 2, en la tabla 12 se sintetizan los resultados de las variables relevantes.

	Acumulación térmica (Q)	Eficiencia de carga (η)	Retardo térmico (D)	Amortiguamiento térmico (A)	T máx de masa líquida
MAC con descarga directa					
“Tubo simple”	30.5 MJ	59.50%	4.15 hs	20°C	25.5°C
“Dosbolillo”	36.3 MJ	71.50%	3.20 hs	19°C	31.5°C
MAC con descarga indirecta					
“Tubo simple”	33.4 MJ	74.0%	0.16 hs	3.5°C	40.4°C
“Dosbolillo”	43.8 MJ	93.3%	2.66 hs	5.4°C	32.1°C

Tabla 12. Resumen de resultados del plan de ensayos de las diferentes configuraciones de los MAC 2. [1] En los muros de descarga indirecta, las variables de amortiguamiento y retardo térmico se calculan sobre la temperatura de las vainas de agua, no siendo comparables directamente con las de los muros de descarga directa

Se observa en la configuración “dos bolillos” para ambos tipos de descarga (directa e indirecta) un nivel superior en la acumulación térmica, y mayor eficiencia en los rendimientos de carga. Esta condición evidencia la ventaja de implementar una masa fluida de acumulación, obteniéndose una mayor densidad de energía.

En cuanto al retardo, los muros con descarga “directa” (libre) y mayor masa sólida obtuvieron una mejor eficacia, en donde el prototipo con “Tubos simples” logró un retardo de la onda térmica de 4,15 hs dada su mayor proporción de masa sólida (hormigón). En cuanto al amortiguamiento térmico, los valores fueron altos y muy similares para ambos prototipos. En este sentido, como se ha comentado, se recomienda el pegado de las piezas para garantizar continuidad estructural a la masa de acumulación. Como referencia respecto de esta última condición pueden considerarse los estudios correspondientes al prototipo de “MAC mixtos” desarrollado por Discoli, Viegas, San Juan (2012) cuyo amortiguamiento está en el

orden de los 10°C. En las configuraciones con descarga “indirecta” (o controlada), el retardo y el amortiguamiento se consideran variables irrelevantes dado que su masa sólida tiene una función básicamente estructural.

En líneas generales, se puede afirmar que los MAC 2 con “descarga directa” (libre) presentan niveles de carga intermedios y un retardo apropiado para el ciclo nocturno; mientras que los de “descarga indirecta” (controlada), cuentan con una mayor carga térmica y mejor eficiencia, con la posibilidad de controlar el calor entregado en función de la regulación de sus rendijas.

Terminados los ensayos de los MAC 2 para su implementación en el Sector Residencial, se trabajó en la modelización y simulación dinámica de dichos sistemas a los efectos de contar con una herramienta de cálculo validada por dichos ensayos. Esta permite realizar múltiples evaluaciones y posibilita como herramienta diseñar sistemas en diferentes condiciones de contexto y localización. Los desarrollos de simulación se realizaron en el marco de una beca doctoral CONICET y se pueden consultar en la tesis realizada por el Doc. J. Jodra (2021).

8.2.2. ENSAYOS DEL MAC 2 PARA EL SECTOR AGRO-PRODUCTIVO

Ante la incorporación de nuevos sectores para el uso final de los MAC 2, como es el caso del Agro-productivo, consideramos necesario mencionar en este apartado algunos antecedentes tecnológicos como se hizo oportunamente con el Sector Residencial. En dicho sector existen interesantes aplicaciones con sistemas solares de apoyo, entre las que podemos mencionar ejemplos internacionales y regionales.

8.2.2.1. ALGUNOS ANTECEDENTES TECNOLÓGICOS DEL SECTOR AGRO-PRODUCTIVO

A nivel internacional, podemos citar los invernaderos solares pasivos tradicionales chinos (Li-Hong, Mei, Hua-Zhong, Xiao-Lei, Qing-Yun , & Zhen-Xian , 2010), desarrollados durante la década de 1980. Los mismos se plantean con una orientación E-O, y un diseño asimétrico, al norte poseen un muro de adobe aislado que funciona como masa sólida de acumulación térmica. Desde dicho muro hasta el suelo se plantea una cubierta transparente de geometría elíptica (orientada hacia el ecuador) que incorpora además, un sistema de aislación nocturna enrollable. Con otra estrategia tecnológica se pueden mencionar los invernaderos de vidrio en Tunes en clima mediterráneo, (Bouadila, Kooli, Skouri, Lazaar, & Farhat, 2014), que incorporando un calentador solar integrado para los meses de invierno; o los invernaderos en Bolivia con tecnologías pasivas sencillas en las que se utilizan botellas de PET (tereftalato de polietileno, plástico utilizado comúnmente en envases de bebidas carbonatadas) como masa térmica de acumulación distribuida sujetándolas directamente a la estructura del invernáculo. Las mismas se cargan con una mezcla de arena y agua y se pintan de negro para incrementar su nivel de absorción. Complementariamente, se utiliza la quema de combustibles orgánicos como aserrín y otros residuos en pequeños hornos en el interior de los invernaderos (Ministerio Desarrollo Rural y Tierras de Bolivia, 2016). La figura 78 muestra en su orden respectivo los ejemplos mencionados.

En la Argentina podemos mencionar algunos desarrollos tecnológicos con sistemas “híbridos” (se describen como tecnologías “híbridas” aquellas que combinan el uso de fuentes renovables con fuentes no renovables de energía) y “pasivos”.



Figura 78. Invernadero solar pasivo con muros sólidos de adobe, China (Fuente: Li-Hong et al., 2010); invernadero en vidrio con Colector solar interior, Tunes (Fuente: Bouadila et al., 2014a); e invernadero con acumulación térmica en botellas PET, Bolivia (Fuente: MDRyT de Bolivia, 2016).

Los “híbridos” combinan el aprovechamiento del recurso solar con energías convencionales, implementando sistemas activos de bombeo para la circulación de un caudal de agua (Suárez, 2012), o ventiladores aire (Bistoni, Iriarte, & Saravia, 2004); (Iriarte & García, 1999); (Juanicó, Piacentini, & La Mattina, 2011); (Condorí, Durán, Vargas, & Echazú, 2009) como fluidos de intercambio. Entre estos últimos, los diseños de (Juanicó et al.2011) están orientados a dar respuesta en zonas bioclimáticas frías y muy frías (zona VI), mientras que los de Condorí et al. (2009) se implementaron en zonas bioclimáticas templadas cálidas de altura (zona IIIb) caracterizadas por una gran amplitud térmica. En su mayoría utilizan reservorios térmicos auxiliares para la captación y acumulación de energía térmica por ganancia solar directa o colectores solares externos al espacio de producción. La figura 79 muestra ejemplos con sistemas de climatización con captación solar y circulación forzada de agua (Suarez, 2012); y sistemas de climatización

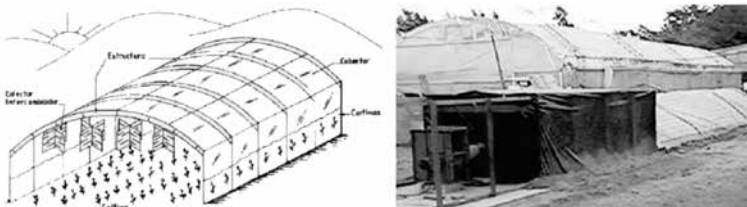


Figura 79. Sistema de climatización con captación solar y circulación forzada de agua (Fuente: Suarez, 2012);
Sistemas de climatización con captación solar y circulación forzada de aire (Fuente: Bistoni et al., 2004)

con captación solar y circulación forzada de aire (Bistoni et al., 2004).

En cuanto a los “pasivos”, los diseños se basan en el aprovechamiento de la irradiación solar directa (ganancia solar directa) acumulada en una masa térmica con elevada capacidad calorífica. La misma se encuentra distribuida dentro del propio espacio de producción (invernaderos, parideras, criaderos, etc.). En estos casos la inercia térmica de la masa de acumulación amortigua los picos de temperatura nocturnos y diurnos evitando enfriamientos y sobrecalentamientos. De esta manera el invernáculo se estabiliza térmicamente en función de la temperatura requerida para la producción. Un ejemplo son los invernaderos “andinos” en la puna argentina, y los invernaderos conocidos como “andino bolivianos”, que utilizan muros perimetrales de adobe en conjunto con una “cámara oscura” separada de la zona de cultivo, para estabilizar los picos de temperatura que se dan debido a las características climáticas de altura (más de 3500 msnm) en la época estival (Quiroga, Rojas Villena, & Echazú, 1999)

A partir de estos diseños, se han realizado adaptaciones con algunas variaciones en cuanto a sus dimensiones, materiales y sistemas constructivos. En la Patagonia argentina, se desarrolló desde el INTA, un invernáculo con construcción en piedra, adobe y madera (materiales ampliamente disponibles en la región), adaptado a la rigurosidad climática de la zona, y orientado a finalidades de autoconstrucción y utilización por sectores de pequeños productores y agricultores familiares (Mogni & Lagorio, 2017). Otro desarrollo de este tipo se presenta con los invernaderos “Rosita 1” y “Rosita 2” planteados en Echazú et al. (2004) y Quiroga et al. (2016). En estos casos, se respeta el concepto de incorporación de una cámara oscura en el lado sur del invernadero, a la vez que se mejora el diseño de los registros de ventilación y la geometría y

estructura de la cubierta transparente. Se utiliza una estructura metálica de geometría elíptica y se elimina además el muro frontal, alcanzando con la cubierta el nivel del suelo, al igual que en los invernaderos pasivos chinos mencionados previamente (Li-Hong, Mei, Hua-Zhong, Xiao-Lei, Qing-Yun, & Zhen-Xian , 2010). La figura 80 muestra la vista en corte de invernadero tipo “andino boliviano” con cámara oscura planteado por el INTA Bariloche. Fuente: (Mogni & Lagorio, 2017); y la vista en corte del invernadero “Rosita 1” (Fuente: Echazú et al., 2004).

En zonas climáticas de menor rigurosidad, se trabajó con materiales reciclados (botellas de PET) para la conformación de muros inerciales con acumulación en agua (Esteves & Gelardi, 1999). Posteriormente, se llevó adelante la difusión y transferencia de otro diseño utilizando este material desde el programa “Pro Huerta”. La figura 81 muestra detalles del armado del muro con botellas PET del Instituto Nacional de Tecnología Agraria INTA (Hughes, 2011).

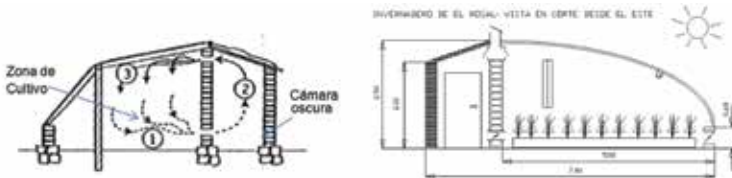


Figura 80. Vista en corte de invernadero tipo “andino boliviano” con cámara oscura planteado por el INTA Bariloche. Fuente: (Mogni & Lagorio, 2017); y la vista en corte del invernadero “Rosita 1” (Fuente: Echazú et al., 2004).

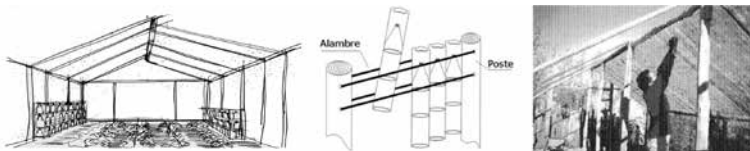


Figura 81. Detalle de armado del muro e invernáculo en construcción con botellas de PET. Fuente: Esteves&Gelardi 1999; Hughes 2011.

8.2.2.2. ENSAYOS DE LOS MAC 2 PARA EL SECTOR AGRO-PRODUCTIVO

Para estos ensayos se utilizó al sistema MAC 2 como acumulador y amortiguador térmico, y se preparó un módulo de invernadero a los efectos de instalar diferentes configuraciones. Este tipo de espacios tienen por característica una muy baja inercia térmica, alcanzando temperaturas pico, principalmente de enfriamiento, que llegan a ser dañinas para los cultivos. La inclusión de dicho sistema permite incrementar la inercia térmica del espacio, amortiguando los cambios de temperatura entre los ciclos diurno y nocturno. El invernadero se resolvió a través de un box de ensayo con una estructura metálica liviana y una película de polietileno tipo LDT de 150 micrones de espesor al igual que los utilizados en el cordón agro-productivo del Gran La Plata. Este material, específicamente diseñado para invernaderos posee un doble tratamiento en sus superficies. Cuenta en su cara exterior con un filtro de protección UV para evitar el deterioro del polietileno, mientras que su cara interior filtra la radiación de onda larga impidiendo la salida de las ondas de radiación infrarroja (efecto invernadero). La superficie cubierta del invernáculo es de 9 m², con una envolvente de 31,8m². El Factor de Área Envolvente/Piso (FAEP) verifica un valor de 3,53 m²/m², similar a los valores estándar en invernaderos de tamaño pequeño y mediano (Esteves, Gelardi, & Oliva, 1997) (Esteves & Gelardi, 1999). Los ensayos se realizaron en diferentes etapas teniendo en cuenta las diferentes configuraciones.

Las configuraciones a ensayar se especifican en la tabla 13 y se toma en estos ensayos como parámetro para la conformación de cada sistema a ensayar la volumetría de una mesada de cultivo de 3 m² dimensionada en relación al espacio disponible en el invernáculo. Las mismas pueden verse en la Figura 82.



Plan de ensayos de SAAT - Invierno de 2018							
Configuración - Prototipo "Tubo simple"				Configuración - Prototipo "Dosbolillo"			
							
Cantidad de bloques	24	Cantidad de tubos	6	Cantidad de bloques	36	Cantidad de tubos	10
Ancho (m)	1.5	Largo(m)	2	Ancho (m)	1,5	Largo(m)	2
Alto (m)	0.8	Alto(piezas)	4	Alto (m)	0.84	Alto (piezas)	6
Masa sólida (kg)	528	Masa total (kg)	757	Masa sólida (kg)	504	Masa total (kg)	726
Masa líquida (kg)	229			Masa líquida (kg)	383		
Superficie utilizada (m ²)	1.4	Capacidad calorífica (kJ/K)	1445	Superficie utilizada (m ²)	1.4	Capacidad calorífica (kJ/K)	1666

Tabla 13. Configuraciones a ensayar en el invernadero: Tubo simple y Dosbolillos.

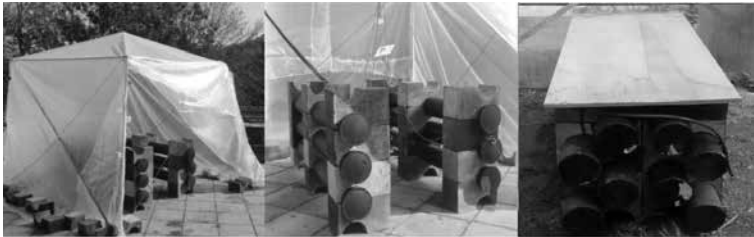


Figura 82. Armado de estructuras de mesa de producción de tubos simples y dosbolillos.

Con el fin de analizar el comportamiento dinámico de las diferentes configuraciones en sus ciclos de carga y descarga térmica, se instalaron múltiples sensores (termocuplas Cu-K) en los componentes sólidos y vainas con agua. La Figura 83 muestra un esquema con la ubicación de los mismos en las dos configuraciones planteadas, y entre paréntesis se indican referencias cardinales de su ubicación (N, S, E, O) y de su altura relativa: superior (Sup) e inferior (Inf).

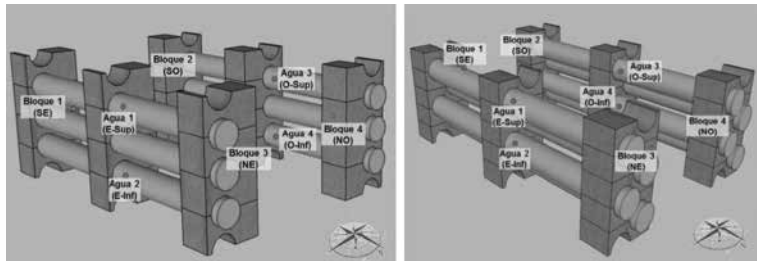


Figura 83. Ubicación de los sensores en ambas configuraciones.

Al igual que en los ensayos anteriores, la instrumentación en este caso se resolvió mediante el uso de tres adquisidores de datos marca HOBO (2 de ellos modelo “H08-006-04” y uno modelo “UX-100”) registrándose en total 11 parámetros: temperatura exterior, temperatura de aire interior (dos puntos a distinta altura), temperatura de bloques (cuatro puntos) y temperatura del agua (cuatro puntos). Para registrar las condiciones de irradiación y clima, se utilizó una estación meteorológica Davis Vantage PRO II ubicada en las inmediaciones del laboratorio.

8.2.2.3. RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE LOS MAC 2 PARA EL SECTOR AGRO-PRODUCTIVO

Para poder realizar un análisis comparado, se debió ensayar y medir el invernadero en situación de “base”, o sea sin ningún sistema de climatización de apoyo a los efectos de evaluar su comportamiento y niveles térmicos alcanzados tanto para el período diurno como nocturno. Luego de contar con la situación de referencia, se ensayó el invernadero con los MAC 2 en sus diferentes configuraciones. En todos los casos se registraron los niveles térmicos (°C) de los diferentes puntos

de interés en los sistemas, y los niveles de radiación (W/m^2) en el plano horizontal.

i- Ensayo y medición del invernadero en situación de “base” con ganancia solar directa (invernadero vacío sin incorporación el sistema MAC 2)

A partir de dicho ensayo se estableció el estado de referencia térmico del invernadero en vacío a los efectos de contar con una situación de base y realizar el análisis comparado con la inclusión de los sistemas de climatización. En la figura 84 muestra el invernadero y las temperaturas alcanzadas durante varios ciclos de ensayo, verificando situaciones de sobrecalentamiento y enfriamiento nocturno.

Las mediciones realizadas mostraron el comportamiento térmico del invernadero durante la fase diurna alcanzando sobrecalentamientos de 38/39 °C durante el mediodía, típico de estos espacios, y fuertes descensos térmicos con pendientes y decrementos similares a la etapa de calentamiento. Durante el período nocturno se registró con cierto grado de ocurrencia el fenómeno de inversión térmica, donde la temperatura interior del invernadero desciende por debajo de la temperatura ambiente exterior debido a la emisión térmica de radiación de onda larga hacia la atmósfera.

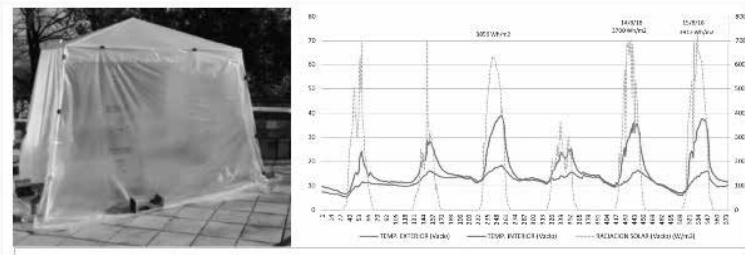


Figura 84. Vista del invernadero sin sistema MAC 2 y temperaturas alcanzadas en vacío.

Luego de registrar la situación de “base” del invernadero, esta se utilizó como referencia de los siguientes ensayos con la inclusión de los MAC 2 en sus diferentes configuraciones, evaluando así los aportes de dichos sistemas a la climatización y amortiguamiento del invernáculo.

ii- Ensayos del MAC 2 con la configuración “Tubo simple” – Medición del sistema de acumulación y amortiguamiento térmico.

Para este ensayo se instaló la configuración de MAC 2 con “tubos simples” cuyas especificaciones se detallaron en la tabla 13. Dicha configuración cuenta con una masa de 757 kg, y una carga térmica total de 1445 kJ/K. En la Figura 85 se muestran imágenes de su instalación en el invernadero y detalles de la instrumentación del ensayo.

Para observar su comportamiento se tomaron como ejemplo dos días del total del período evaluado a los efectos de mostrar el nivel de climatización del invernadero, el comportamiento del sistema y las temperaturas alcanzadas por sus componentes. La Figura 86 muestra las curvas de irradiación y las temperaturas registradas en este ensayo en líneas de trazo continuo, así como las curvas correspondientes al estado de referencia en líneas de trazo punteado (situación “base” del invernadero sin MAC 2).



Figura 85. Vista del invernadero con sistema MAC 2 “tubo simple” y cableado de sensores.

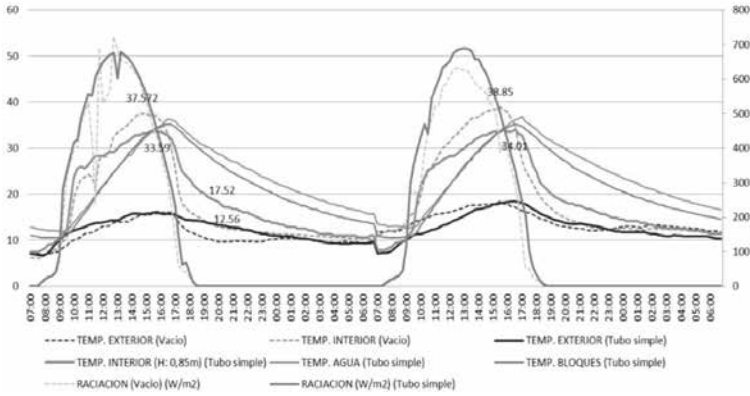


Figura 86. Ensayo del MAC 2 "tubo simple" comparado con la situación "base" sin MAC 2.

El ciclo de carga se sostiene hasta una hora antes del atardecer alcanzándose el máximo nivel de acumulación térmica (ver curvas de temperatura de agua y bloques solidos). Luego de ello, comienza el ciclo de descarga durante la noche. Se observa que al final del ciclo nocturno, el sistema cuenta con una temperatura de 5°C superior a la del aire interior, disponiendo de una cantidad de calor residual para ser entregado al ambiente en las primeras horas de un día frio o nublado. En cuanto a la masa de acumulación, tanto en los componentes sólidos (bloques) como en la masa líquida contenida en las vainas plásticas se obtuvieron comportamientos similares, alcanzando la masa líquida un nivel térmico superior.

Si se compara con el sistema vacío de referencia (invernadero "base" sin sistema) se observa que con la incorporación del sistema MAC 2 se minimizaron los picos máximos en el interior del invernadero en aproximadamente 5°C evitando situaciones de sobrecalentamiento; mientras que durante la fase nocturna los niveles térmicos se mantuvieron muy por encima de la temperatura exterior. En consecuencia, el sistema además de climatizar el espacio productivo evitó el fenómeno

de inversión térmica registrado en la mayoría de las jornadas medidas en la situación de referencia (medición en vacío).

En cuanto a la acumulación térmica (Q) se obtuvo un total de 37,52 y 37,76 MJ para el primer y segundo día respectivamente, teniendo en cuenta que se utilizó un valor de 10 °C como temperatura mínima de referencia. Establecer una temperatura de referencia permitió comparar la cantidad de calor entregado en cada sistema al enfriarse hasta una temperatura de 10 °C.. Con respecto a la eficiencia (η), la misma fue del 27% para el primer y segundo ciclo respectivamente. Se consideró como área de captación la superficie de suelo cubierta del invernadero (9 m²).

iii- Ensayos del MAC 2 con la configuración “Dosbolillo” – Medición del sistema de acumulación y amortiguamiento térmico.

En este ensayo se instaló la configuración “Dosbolillo” con una masa total de 726 kg, y una capacidad calorífica de 1666 kJ/K. En la tabla 13 se especificaron detalladamente las dimensiones y características termo-físicas de sus componente. La Figura 87 muestran al invernáculo con el sistema “dosbolillos” y los sensores de medición.

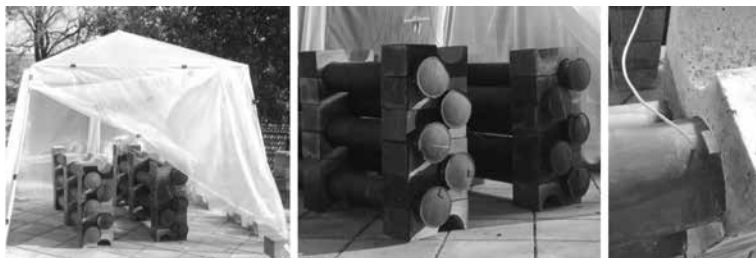


Figura 87. Vista del invernadero con sistema MAC 2 “dosbolillo” y cableado de sensores.

La figura 88 grafica las temperaturas alcanzadas en dos días típicos de medición, en donde se registró la irradiación y temperaturas del conjunto (trazos continuos), y las curvas correspondientes al estado de referencia del invernadero vacío (trazos punteados).

En este caso, el sistema alcanza el máximo nivel de temperaturas pasado el medio día solar así como la máxima acumulación térmica (temperatura de agua y temperatura de bloques). Seguidamente se inicia el ciclo de descarga, y se desarrolla durante todo el período nocturno. Al final del mismo, el sistema cuenta en este caso con una temperatura 4°C superior a la del aire interior, disponiendo aún con una cantidad remanente de calor para ser entregada al ambiente en las primeras horas del próximo ciclo.

En cuanto a la masa de acumulación, las vainas de agua presentaron un nivel térmico superior al de los componentes sólidos (bloques) mostrando sin embargo un comportamiento similar en el ciclo de carga-descarga.

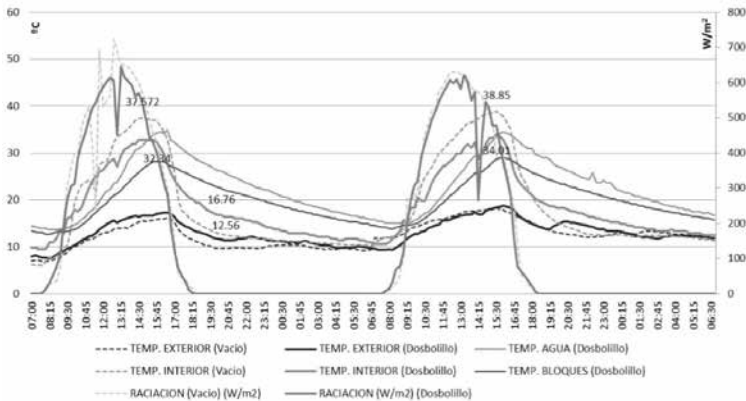


Figura 88. Ensayo del MAC 2 "dosbolillo" comparado con la situación "base" sin MAC 2.

Si se compara el sistema “dosbolillo” con el de referencia (invernadero en vacío, sin sistemas) se aprecia que con la incorporación del MAC 2 “dosbolillo” se registró una reducción de aproximadamente 5°C sobre los valores máximos de la temperatura interior evitando sobrecalentamientos. El calor aportado en la descarga, sostuvo los niveles térmicos por encima de la temperatura exterior durante toda la noche, y se evitó el fenómeno de inversión térmica recurrente en el invernadero en situación de “base” (sin sistemas).

Con respecto a la acumulación térmica (Q), la misma fue de 48,05 y 48,03 MJ para el primer y segundo día respectivamente; y la eficiencia de carga (η) fue del 40% para el primer y segundo ciclo. Se consideró como área de captación la superficie cubierta del invernadero (9 m²).

iv- Comparación de ambas configuraciones “tubo simple” y “Dosbolillo”.

Para visualizar y comparar el desempeño de ambos sistemas se debieron compatibilizar las temperaturas registradas a los efectos de ajustar los resultados obtenidos. Dado que los ensayos no se realizaron en paralelo y los parámetros ambientales si bien eran similares no eran coincidentes, en consecuencia se realizó una normalización de los resultados obtenidos (J. Jodra, 2021). La tabla 14 muestra una síntesis de los parámetros principales a los efectos de contar con los aportes de cada configuración ensayada.

Se observa que la configuración “Dosbolillo” permitió un mayor nivel de acumulación térmica (48 MJ), aumentando la eficiencia de la carga térmica en un 13%. En cuanto la cimatización y estabilización térmica del espacio, ambos prototipos cumplieron con la función prevista bajo un comportamiento similar. Durante la fase diurna el sistema “Dosbolillo” registró un amortiguamiento levemente mayor

(la diferencia es del 6%), mientras que en la fase nocturna el desempeño medio de ambos prototipos no presentó variaciones significativas. En líneas generales, las dos configuraciones de

	Acumulación térmica(Q)	Eficiencia de carga (η)	Disminución de pico de TR	Incremento nocturno medio en la TR
SAAT con prototipo "Tubo simple"	37,6 MJ	27%	37%	15%
SAAT con prototipo "Dosbolillo"	48,0 MJ	40%	43%	15%

Tabla 14. Resumen de resultados de ambos sistemas.

MAC 2 lograron buena eficacia para la estabilización térmica del invernadero.

Al igual que en el sector Residencial, terminados los ensayos de los MAC 2 para su implementación en el Sector Agro-productiva, se trabajó en la modelización y simulación dinámica de dichos sistemas a los efectos de contar con una herramienta de cálculo validada por dichos ensayos y que permita realizar múltiples evaluaciones. Las ventajas de este tipo de herramientas permiten diseñar dichos sistemas en diferentes condiciones de contexto tales como orientación, localización, clima, época del año y morfología de los espacios a los que se aplican los sistemas. Dichos desarrollos no se presentan en este libro, los mismos se realizaron en el marco de una beca doctoral CONICET y en la tesis realizada por el Doc. J. Jodra (2021).

8.2.3 APORTES DE LOS MAC 2 COMO SISTEMAS INNOVADORES

Entre los aportes fundamentales podemos mencionar que dichos sistemas si bien originariamente estaban destinados a la climatización de viviendas o espacios del Sector Residencial en general, su versatilidad y adaptabilidad tecnológica han permitido avanzar sobre otros sectores como el Agro-productivo. Ante las dificultades relacionadas con la necesidad de climatizar los espacios en ambos sectores, y la problemática energético-ambiental consecuente del uso indiscriminado de combustibles fósiles, dichos sistemas pueden garantizar una climatización de base acorde a los diferentes requerimientos de habitabilidad y producción. En este sentido el diseño modular de los MAC 2 ha permitido según sean los requerimientos de cada sector una buena adaptabilidad morfológica y dimensional.

Respecto a sus aspectos tecnológicos, se innovó en cuanto a su modularidad y versatilidad; situación que se logró a través de su diseño y materialidad mixta. Sus diferentes configuraciones pensadas a partir de la utilización de piezas sólidas de hormigón encastrables combinadas con vainas estancas independientes cargadas con agua, permitieron una gran adaptabilidad a distintos usos y espacios.

En cuanto a la industrialización y fabricación de los componentes, se garantizó estabilidad dimensional y termo-física. Su accesibilidad, disponibilidad de materiales y accesorios, aseguró su sencillez constructiva y modular ajustable a cada requerimiento. Esto permitió una gran calidad en el producto final en cuanto a su terminación, asegurando un buen montaje de sus componentes, adaptabilidad espacial, y estabilidad estructural en su instalación cualquiera sea el

espacio a climatizar. Dicha versatilidad posibilitaron diversas actividades de transferencia en ambos sectores de aplicación.

En el Sector Residencial se realizaron acciones en el marco del convenio de “Cooperación y Asistencia mutua entre el IIPAC y el IVBA”, (Convenio No 00908309), en donde se realizaron tareas de asesoramiento y transferencia tecnológica para la implementación de los MAC 2 en viviendas bioclimáticas de interés social. El trabajo se desarrolló en función de los requerimientos específicos del proyecto del Plan de viviendas del IVBA, el cual se enmarca en los lineamientos del “Proyecto de eficiencia energética y energía renovable en la vivienda social argentina” con financiamiento del GEF77 (Proyecto GEF AR-G 1002).

En el Sector Agro-productivo se generó una articulación con la Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP), en la que se planteó la utilización de los MAC 2 para su incorporación a invernaderos. La incorporación de los sistemas apuntó a la estabilización térmica de un sector delimitado dentro de este espacio haciendo posible el cultivo de plantas no autóctonas y el aceleramiento de tiempos de germinación y crecimiento de diversas especies.

La figura 89 muestra algunas actividades relacionadas con la industrialización de los sistemas, y su transferencia en los Sectores Residencial y Agro-productivos.

Ambas actividades permitieron verificar los atributos innovadores de los MAC 2 respecto a su modularidad, adaptabilidad y versatilidad de prestaciones en cuanto a climatización y estabilización pasiva de espacios.

Sistemas solares pasivos en Argentina

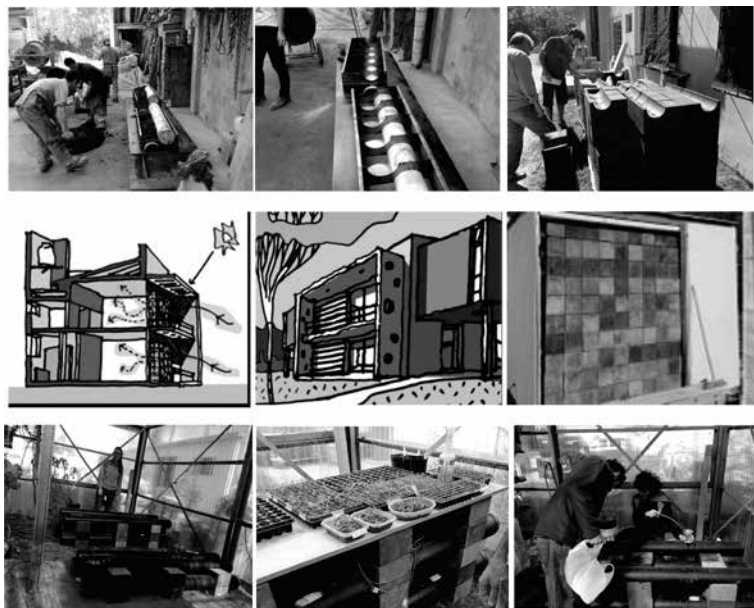


Figura 89. Algunas actividades y aplicaciones relacionadas con los procesos de transferencia.

EPÍLOGO TECNOLÓGICO DE LOS MAC EN SUS DIFERENTES VERSIONES

9

Luego de recorrer la historia tecnológica asociada a los sistemas solares pasivos identificados como Muros Acumuladores de Calor (MAC), advertimos que si bien existió una evolución significativa entre el diseño originario de E. S. Morse de 1881 y los que le siguieron hasta la actualidad, sus principios básicos fundamentales mantienen su vigencia en cuanto a su sencillez operativa, instrumental y de eficiencia.

Su evolución permitió ajustar sus prestaciones de climatización pasiva a una mayor diversidad climática. Recordemos que los sistemas másicos post-Morse y difundidos oportunamente en la década del '60 por Trombe y Michel, básicamente se orientaban a climas fríos y secos estables con repetencia en sus ciclos diurnos-nocturnos y con asoleamientos ininterrumpidos. En consecuencia el desafío fue proponer una tecnología con muros de acumulación de calor que permitan generar prestaciones similares pero en climas templados húmedos con menor irradiación y alta nubosidad. Esas condiciones son las que llevaron a los científicos y diseñadores de nuestro instituto y de la región a repensar dichos sistemas, así como

sus materialidades y sus aportes diferenciales. Esto llevó a reflexionar sobre los materiales destinados a acumular calor y a las capacidades térmicas específicas de cada uno de ellos, con el fin de obtener una carga mayor de calor y una acumulación significativa en una volumetría y geometría similar a los sistemas más difundidos (Trombes). Se pensó en materiales con cambio de fase (sales), aprovechando el calor sensible y latente en juego durante sus ciclos de carga y descarga de calor; en áridos con diferentes calores específicos como las bentonitas y arenas; los fluidos plásticos tales como aceites y las parafinas; y el agua como un acumulador dinámico con el mayor calor específico respecto a los anteriores y de muy bajo costo.

Este recorrido nos permitió analizar un sinnúmero de antecedentes internacionales y nacionales, y focalizarnos luego en los desarrollos de nuestra región. Analizamos los sistemas tradicionales mäsicos (tipo muros Trombe) adaptados a nuestro contexto destinados a climas fríos y secos. A partir de ellos exploramos las tecnologías con acumulación en masa líquida (agua) y luego con masas de acumulación mixtas (agua + sólido) desarrollados por nuestro instituto de investigación. Estas alternativas se orientaron a resolver la climatización de espacios en climas templados húmedos de la región Pampeana muy inestables tanto en irradiación como en nebulosidad. Para ello, y como ya hemos mencionado, los estudios y desarrollos se focalizaron en obtener una mayor dinámica en el proceso de carga en los muros, y en una mayor capacidad de acumulación de calor a partir de la utilización de elementos con mayor calor específico.

De esta manera hemos podido repasar los desarrollos realizados durante la década del '70 con los MAC diseñados para la casa solar de La Plata, cuadruplicando la capacidad de carga térmica respecto a un sistema sólidos tradicionales y con su

descarga controlada. Con dicha experiencia se planteó en el 2009 una tecnología mixta (sólido + líquido) implementada en las viviendas bioclimáticas de Tapalqué, a los efectos de dar respuesta a climas intermedios y mediterráneos con mayor amplitud térmica respecto a los húmedos, los que se resolvieron con una capacidad de carga menor pero con la incorporación de inercia y retardo térmico (patente registro IMPI: 20110100010). Y por último, luego de analizar los procesos de industrialización y montaje de los MAC mixtos, se desarrollaron en el 2013 los MAC 2 (modelo de utilidad registro IMPI: 20150102983), sosteniendo lo mismos principios termo-físicos y de industrialización pero ajustando las dimensiones de sus componentes y su geometría de armado. Esto permitió contar con sistemas estructuralmente estables, manipulables en obra, y versátiles en su configuración, pudiéndose adaptar a múltiples espacios. Su modularidad resuelta con piezas de menor tamaño posibilitó múltiples armados dándole una mayor versatilidad de montaje y diversificación en cuanto a sus aplicaciones. Esta tecnología permitió resolver problemas de climatización y estabilización de espacios en diferentes ámbitos tanto del sector Residencial como Agro-productivos. La versatilidad de montaje facilitó su transferencia a ambos sectores en los cuales se analiza su adopción.

Los desarrollos realizados en el país y en particular por nuestro grupo de trabajo, primero en el viejo Instituto de Arquitectura Solar (IAS), luego en la Unidad de Investigación N°2 del Instituto de Estudios del Hábitat (IDEHAB) de la FAU/UNLP y por último en el Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC) del CONICET/UNLP, se realizaron en un contexto socio-político y socio-económico con fuertes desequilibrios y discontinuidades. A pesar de ello, se pudieron mantener las líneas de investigación

y concretar múltiples experiencias. Si se analiza la línea de tiempo iniciada en los '70 hasta la actualidad, pasaron 50 años transitando crisis energéticas y ambientales; siendo éste el tiempo que necesitó nuestra sociedad para madurar e incorporar desde la cotidianidad estas tecnologías, hoy día disponibles por los usuarios comunes y requeridas por las organizaciones e instituciones gubernamentales.

Terminada esta aventura, agradezco a la ciencia Argentina haber podido compartir con Jorge Luis Guerrero múltiples tareas en la década del '80, las cuales nos permitieron darle continuidad junto a mis colegas Graciela Viegas y Juan Jodra. A todos ellos mi máxima gratitud. Cordialmente Carlos Alberto Discoli.

BIBLIOGRAFIA

Acosta, W. 1947. Vivienda y Ciudad. Problemas de arquitectura contemporánea. Ediciones Helios, taller GATE, programa helios. Cátedra Wladimiro Acosta.

Acosta, W. 1984. Vivienda y Clima. Nueva Visión, Buenos Aires.

Adamson, B. Hidemark, B. 1986. Sol · energi · form, sol · energi · form utformning av lågenergihus. T2: 1986 ISBN 91-540-4471-5 Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm Tryck: Spångbergs Tryckerier AB, Stockholm.

Alanis, Saravia, Lesino (1978a). Material de alto calor específico para muro Trombe-Michel. Actas de 4ta. Reunión de trabajo de ASADES, La Plata. Pp 241-248.

Alanis, Saravia, Lesino. 1978b. Propiedades térmicas y ensayo de materiales para acumulación. Actas de 5ta. Reunión de trabajo de ASADES, Cordoba. 67-99.

Aronin, J.E. 1953. Climate and architecture, Nueva York, Reinholds. EEUU.

Arquímedes, siglo III a. C. "Rayo de calor". Información de libre disponibilidad en Internet.

Baer, S.. 1970/72. Casas solares de Corrales, house I: Casa solar de Zome, Nuevo México, EEUU. Fuente: (Szokolay, 1975).

Balcomb, D.; Hedstrom, J.C. 1980. Determining Heat Fluxes from Temperature Measurements in Massive Walls." The 5th National Passive Solar Conference. Amherst, MA, October, 19-26.

Balcomb, J.D. 1981. "Passive solar energy system for buildings".

Solar Energy Handbook. Chapter 16. ISBN 0-07-035474-X. New York, USA.

Balcomb, J.D., Barker, G., Hancock, C.E. 1998. An Exemplary Building Case Study of the Grand Canyon South Rim Residence. NREL/TP-550-24767, Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. Colorado, USA.

Bistoni, S., Iriarte, A., y Saravia, L. 2004. Colector de aire con acumulador de agua para calefacción de invernaderos. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 2.25-2.30.

Bourdeau, A. Jaffrin, A. Moisam. 1979. Capitage et stockage d'énergie solaire dans l'habitat par le moyen de mur diode a chaleur latente. Energia solare e nuove prospettive, Atti de la 18ª Conferenza Internazionale. Milano. Italia.

Condorí, M., Durán, G., Vargas, D., y Echazú, R. 2009. Secador Solar híbrido. Primeros ensayos. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 2.35-2.42.

Corinaldesi, V., Monosi, S., Ruello, M.L. 2012. Influence of inorganic pigments' addition on the performance of coloured SCC. Construction and Building Materials 30. Pp. 289–293.

de Sausurre, H.B. 1767. "Caja de calor térmica", Información de libre disponibilidad en internet.

Dejtiar, F. 2017. La obra de Eduardo Sacriste: enseñanza y construcción de la vivienda popular argentina. plataformaarquitectura.cl.

Discoli, C., Guerrero, J.L., Rosenfeld, E., Ravella, O. 1985. "Muro colector acumulador en agua: su comportamiento en la zona templada-húmeda". Actas 10ª Reunión de Trabajo de ASADES, Neuquén, pp. 15-22.

Discoli, C., Rosenfeld, E. 1986. "Muro colector acumulador en agua: módulos industrializables de bajo costo". Actas 11ª Reunión de Trabajo de ASADES, San Luis, pp. 77-84.

Discoli, C., San Juan, G. 2010. Muro climatizador Acumulador de Calor Mixto con vainas líquidas estancas. IMPI 20110100010. Publicado en El Boletín de patentes ar081517a1, Oficina de patentes de CONICET.

Discoli, C., Viegas, G., San Juan, G. 2012. Climatización por muros acumuladores de calor mixtos (macm). IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferencia Latino-Americana da ISES. Asociación Brasileira de Energía Solar. Laboratorio de de Sistemas Fotovoltaicos IEE-USP. San Pablo, Brasil.

Discoli, C., Viegas, G. 2014/16. Patente: “Colector acumulador de calor de calor para climatización y amortiguamiento térmico”. Número de Solicitud Prioritaria: M20150102983. Oficina de Patentes y Vinculación Tecnológica de CONICET.

Discoli, C., Viegas, G. 2015. Modelo de aplicación: “Colector acumulador de calor de calor para climatización y amortiguamiento térmico”. Número de Solicitud Prioritaria: M20150102983. Oficina de Patentes y Vinculación Tecnológica de CONICET.

Discoli, C., Viegas, G., San Juan, G. 2015. Muros acumuladores de calor (MAC): Efecto de la pigmentación integral de la masa térmica. Energías renovables y ambiente, ERMA. ASADES, Vol 36; pag. 11-19. ISSN: 0328-932X. Salta.

Divecchia A., Rosselli V., Ruggi D. 1979. Low and medium temperature heat storage for solar application. Pag. 473. Energia solare e nuove prospettive, Atti de la 18ª Conferenza Internazionale. Milano Italia.

Echazú, Quiroga, Saravia, Astudillo, y Palacios. 2004. Diseño construcción y primeros ensayos de invernadero en El Rosal, Salta. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 2.43-2.48.

Esteves, A., y Gelardi, D. 1999. Muro de botellas de PET para incrementar la inercia térmica en invernaderos para cultivos.

Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 9.3.

Fleming, S.J. 1999. Roman Glass; reflections on cultural change. Philadelphia, University of Pennsylvania Museum of Archaeology and Anthropology.

Franca, J.P. y Baillon, J.P. 1983. "5000 maisons solaires". Agencia Francesa para el Manejo de la Energía (AFME). Francia.

García Arroyo, A., Escorihuela, J., Esteban, J., Frutos, J. Olaya, M y Torroja, B. 1983. Bases para el diseño solar pasivo. ISBN: 84-7292-320-7. Instituto Torroja de la Construcción y del Cemento. Madrid, España.

Givoni B, A. 1969. Man, Climate and Architecture. Elsevier Architectural Science Series. Editor Henry J. Cowan; Professor of Architectural Science; University of Sydney. 444-20039-8. Library of Congress Catalog Card 69-15822.

Grossi Gallegos, H., Rigghini. R. 2007. Atlas de energía solar de la República Argentina. Dirección Nacional de Programas y Proyectos Especiales, SECyT; Universidad Nacional de Luján. ISBN 978-978-9285-36-7. Argentina.

Guerrero, J.L. 1977. Párrafos selectos de transferencia de calor y masa. Publicaciones internas del IAS/FABA. La Plata, Argentina.

Guerrero, Rosenfeld, Ravella, del Cueto. 1979. Muro colector acumulador para el programa CESAD. Actas de 5ta. Reunión de trabajo de ASADES, Córdoba. Pp. 491-499.

Guerrero, Discoli, Rosenfeld, Ravella, Ferreyro. 1984, Prototipo experimental de La Plata: Primera campaña de ensayos de habitabilidad y comportamiento energético. Actas de 9na. Reunión de trabajo de ASADES, San Juan. 113-120.

Hottel, H.C. 1939. La casa solar MIT #1. Massachusetts Institute of Technology MIT. Massachusetts, EEUU.

Hughes, A. 2011. Invernáculo con botellas de plástico. Plottier, Neuquén: INTA.

IADIZA, Instituto Argentino de Investigaciones de Zonas Áridas, Unidad Ejecutora del CONICET Mendoza.

IAS, Instituto de Arquitectura Solar, La Plata. Hoy IIPAC, Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido, Unidad Ejecutora CONICET-UNLP.

INENCO, Instituto de Investigaciones en Energías No Convencionales, Unidad ejecutora del CONICET Salta y Universidad Nacional de Salta.

Iriarte, A., y García, V. 1999. Invernadero calefaccionado con energía solar para rusticar plantas de olivo. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.

Jodra, J., Viegas, G., Discoli, C., San Juan, G. 2015. Sistema acumulador/amortiguador térmico solar pasivo para para el acondicionamiento de espacios agro-productivos. Acta de la XL Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 5, pp. 02.01-02.12. ISBN 978-987-29873-0-5. Salta.

Jodra, J., Discoli, C., San Juan, G. 2017. Sistema acumuladores/amortiguador térmico solar pasivo para para el acondicionamiento de espacios agro-productivos. Acta de la XL Reunión de Trabajo de la Asociación, Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 5, pp. 02.01-02.12, Pag. 02.01 -02.12. ISBN 978-987-29873-0-5.

Juanicó, L., Piacentini, R., y La Mattina, G. 2011. Desarrollo de invernaderos con sistema sustentable de confort térmico. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 3.01-3.08.

Keck, F. 1933. House of Tomorrow. Historia de la Arquitectura Moderna, arquitecturamoderna3.wordpress.com.

Kreider, J. y Kreith, F. 1981. Solar Energy Handbook. Mc-

Graw-Hill Inc. US.

Lesino, G. Ovejero, R., Saravia, L. (1978). Anteproyecto y análisis térmico de una vivienda con uso de energía solar para la Puna. 4ta. Reunión de trabajo de Energía solar, ASADES. La Plata, Argentina. Pp.269-305.

Lesino, G. Requena, R., Saravia, L., Fontanilla, E. Echazú, R. 1981. Edificios solares en la Puna: Estado de avance de su construcción y modelización. 7ma. Reunión de trabajo de Energía solar, ASADES. Argentina. Pp.138-153.

Li-Hong, G., Mei, Q., Hua-Zhong, R., Xiao-Lei, S., Qing-Yun, C., y Zhen-Xian, Z. 2010. Structure, Function, Application, and Ecological Benefit of a Single-slope, Energy-efficient Solar Greenhouse in China. Hort Technology, June 2010 (20-3) 626-631.

Ministerio Desarrollo Rural y Tierras de Bolivia. 2016. Guía para la construcción de invernaderos o fitotoldos. La Paz: Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Mogni, J., y Lagorio, P. 2017. Invernadero de barro. Chos-Malal, Bariloche: INTA.

Morgan, E.A. 1961. Escuela secundaria St. George's School, Wallasey, Inglaterra.

Morse, E.S. 1881. WARMING AND VENTILATING APARTMENTS BY THE SUNS RAYS. SPECIFICATION forming part of Letters Patent No. 246,626, dated September 6, 1881.

Olgay, A y Olgay, V. 1957. Solar control and shading devices. Princeton University, Oxford University. Londres. Inglaterra.

Olgay, V. 1963. Design with climate, Princeton University. Princeton. EEUU.

Quiroga, M., Rojas Villena, R., y Echazú, R. 1999. Invernadero de altura para cultivo de flores en la puna jujeña. AVERMA.

Ringuelet, R., y Garat, J. 2000. Los cambios de los sectores productivos tradicionales en la agricultura platense y sus formas asociativas. En R. Ringuelet, Espacio tecnológico, población y reproducción social en el sector hortícola de La Plata (págs. 67-90). La Plata: Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, UNLP.

Rosenfeld, E. et al. 1979. Conjuntos habitacionales con energía solar. IAS/FABA, Instituto de Arquitectura Solar, Suplementos SUMMA, La Plata, Argentina.

Rosenfeld, E. et al. 2007. "Edificios proto-bioclimáticos en la Argentina. Tres ejemplos relevantes" Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. (ANTAC). Porto Alegre V.7 N°3 p7-21 a 35. ISSN 1678-8621. Julio/Septiembre.

San Juan, G., Discoli, C., Viegas, G., Ferreyro, C., Rodríguez, L. 2010. Proyecto de viviendas bioclimáticas de interés social. Tapalqué, provincia de Buenos Aires. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 14, 2010. Argentina. ISSN 0329-5184. Pp 5.81 a 5.88.

San Juan, Discoli, Viegas, Ferreyro, Rodríguez (2010). Proyecto de viviendas bioclimáticas de interés social. Tapalqué, provincia de Buenos Aires. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 14, 2010. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184. Pp 5.81 a 5.88.

Souto Delibes, F. 2000. La figura de Sócrates en Jenofonte. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid. eprints.ucm.es.

Stern, E.M. 1999. Roman Glassblowing in a Cultural Context. American Journal of Archaeology 103/3, 441-484.

Suárez, H. 2012. Invernadero con acondicionamiento térmico solar. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 08.167-08.172.

Szokolay, S.V. 1978. Energía solar y edificación. Editorial Blume. ISBN 84-7031-062-3. Barcelona, España 1978.

Tedeschi, E. De Rosas, C., Villapriño, R., Lelio, C., Fernandez, C. 1977. Energía solar en Arquitectura. Revista CEIC, Ciencia y Tecnología. ISSN: 0335-3341. Año II, N° 7. Diciembre, Mendoza.

Trombe, F., y Michel, J. 1971. Patente nº PATENT N° 71 23778 Perfectionnements apportés aux habitations équipées d'installations de climatisation naturelle. Francia.

Van Dresser, P. 1958. The Peter Van Dresser Home, Santa Fe, New México. Información disponible en internet.

Vitruvio Polión. 1787. Los diez libros de arquitectura. Traducidos del latín y comentados por D.J.Ortiz y Sanz, Presbítero de Orden Superior, Imprenta Real. Sedehc.es/bibliotecaD

Williams, A. 1948. Hospital en Mburucuya. Latitud: 28°01' Sur, Zona Bioambiental 1b (Muy Cálida). Hospital proyectado para la provincia de Corrientes, Ministerio de Salud Pública de la Nación.

Yañez G. 1982. Energía solar, edificación y clima, Tomo II. Ministerio de obras públicas y urbanismo, Servicio de Publicaciones. ISBN84-7433-222-2. Madrid.

