

## CLIMATIZACIÓN POR MUROS ACUMULADORES DE CALOR MIXTOS (MACM).

Carlos Discoli- discoli@rocketmail.com

Graciela Viegas - gachiviegas@yahoo.com.ar

Gustavo San Juan- gustavosanjuan60@hotmail.com

Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC). Grupo asociado INENCO.

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina.

Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU), Universidad Nacional de La Plata (UNLP)

**Resumen:** Se muestra el diseño modular y las prestaciones de muros acumuladores de calor (MAC) resueltos con materiales mixtos (Hormigón y agua). Los sistemas se diseñaron para climatizar viviendas de construcción masiva. Están preparados para incluirse en forma modular (1,2 m x 2,4m) sobre las fachadas norte y resueltos con una masa de acumulación compuesta por piezas apilables industrializadas. La tecnología de su acumulación está resuelta en Hormigón con agua encriptada en vainas estancas de PVC. Cuentan con una vidriera de simple vidrio con protección nocturna. Se presenta el diseño tecnológico, las etapas de industrialización, fabricación, montaje y sus prestaciones. Se realizaron simulaciones de los sistemas incorporados a una vivienda, comparándolos con tecnologías tradicionales (MAC Hormigón simple); y mediciones en laboratorio a cielo abierto. Las simulaciones registraron una mayor performance en locales con muros acumuladores mixtos. Las mediciones en banco de ensayo muestran las diferentes dinámicas de carga de energía y corroboraron una diferencia de 2°C en las temperaturas interiores registradas en los Box de ensayo.

**Palabras clave:** Energía solar, Tecnología, Transferencia, Muros acumuladores de calor.

### 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de muros acumuladores de calor en materiales sólidos se remonta al siglo XIX, y hoy día sigue siendo una tecnología aplicada. De hecho se han resuelto diferentes versiones dependiendo de la disponibilidad del recurso solar, de los sistemas constructivos disponibles, y de la diversidad climática relacionada con la amplitud térmica del sitio y su grado de heliofanía. Entre los antecedentes más difundidos se registran tecnologías con diferentes tipos de transferencia térmica y niveles de acumulación, así como de la capacidad de retardo y de amortiguamiento de la onda térmica. Las variaciones dependen de los materiales utilizados, el estado de fase de la materia y de sus calores específicos. En cuanto a sus prestaciones también se han diferenciado por su capacidad de carga y descarga de energía, el retardo y el amortiguamiento de la onda térmica. Los tipos de muros experimentados hasta la actualidad han partido de los preceptos enunciados por Edward Morse, US Patent 246626 de 1881 que utilizan como fuente calórica a la energía radiante del sol, la que en forma de energía térmica es acumulada en los materiales sólidos expuestos al mismo. Dicha invención fue difundida muy posteriormente en la década del '60 a partir de las aplicaciones realizadas por el 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.

La República Argentina cuenta con una gran diversidad climática y de recurso solar, lo que permitió la realización de múltiples desarrollos tecnológicos relacionados con la aplicación solar térmica. Se registran importantes antecedentes en varios centros de investigación emplazados en diferentes regiones del país. Las variantes tecnológicas analizadas y desarrolladas se pueden agrupar en *muros desfases de la onda térmica*, de *descarga de energía continua sin desfase*, con *acumulación en masa sólido*, con *acumulación en fluido*, o con *acumulaciones mixtas* (Alanis et al, 1978 a; Guerrero et al, 1979; Urriol Gaspar, 1980; Guerrero et al, 1984; Alanis et al, 1978b). La Fig. 1 muestra los esquemas simplificados de las diferentes alternativas de muros acumuladores de calor (MAC).

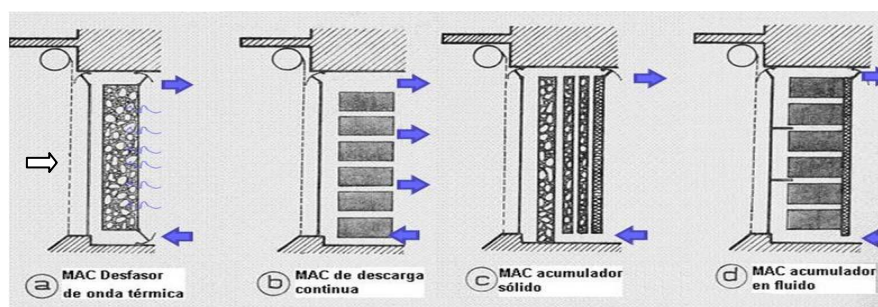


Figura 1- Tipos de Muros acumuladores de calor (MAC). (J. L. Guerrero et al 1979).

Dicha diversidad tecnológica ha dependido básicamente del tipo de aplicación, y como ya hemos mencionado, de sus condiciones de contexto, fundamentalmente orientados a calefaccionar viviendas para climas templados y fríos de la Argentina. Entre los ejemplos desarrollados en estas tres últimas décadas podemos mencionar: i. Las aplicaciones en regiones extremas con recurso solar alto (radiación solar global horizontal total anual de  $8000 \text{ MJ/m}^2$ ), clima seco y frío con gran amplitud térmica y alta heliofanía relativa, han utilizado masas de acumulación de calor preferentemente sólidas (piedra, ladrillo, hormigón armado, etc.), para desfasar la carga de energía entre el período diurno y el nocturno, y reiniciarla en el período diurno próximo mediato (Lesino et al, 1978; Lesino et al, 1981); ii. En regiones con recurso solar medio (radiación solar global horizontal total anual entre  $4500$  y  $5500 \text{ MJ/m}^2$ ), temperaturas templadas-húmedas, amplitudes térmicas menores y heliofanías variables, se requirieron masas de acumulación de calor con mayor capacidad calorífica y agilidad para una rápida etapa de carga. En consecuencia se utilizaron acumulaciones en fluidos que responden a demandas de calor mayores al ciclo diario (dos o más días) y pueden controlar su descarga en la medida que se requiera el calor (Guerrero et al, 1984). La Fig. 2 muestra un ejemplo de aplicación de MAC sólido y la Fig. 3 muestra un ejemplo de aplicación de MAC con acumulación en agua de descarga controlada.

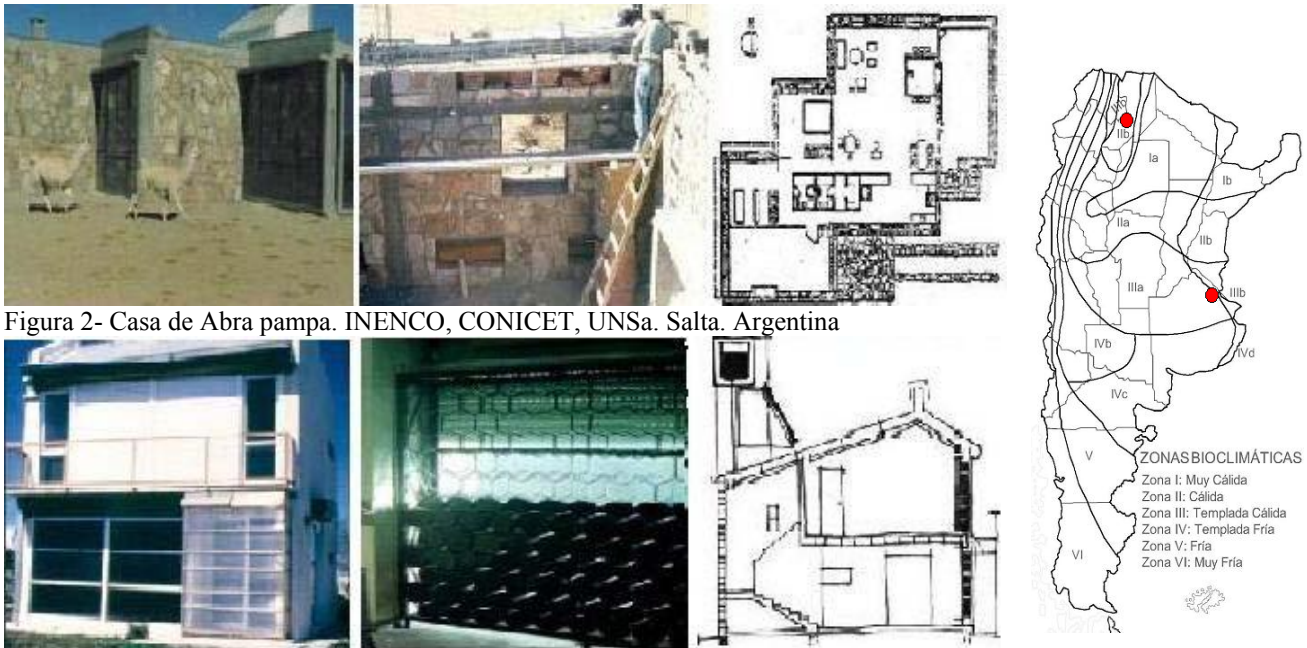


Figura 2- Casa de Abra pampa. INENCO, CONICET, UNSa. Salta. Argentina

Figura 3- Prototipo solar de La Plata y detalle de la masa de acumulación del MAC en agua (sin tapa posterior), desarrollado por el IAS-FABA. IIPAC, UNLP. Buenos Aires. Argentina

En el caso de zonas climáticas templadas mediterráneas (por ejemplo zona centro de la Pcia de Buenos Aires), si bien su radiación también es intermedia (radiación solar global horizontal total anual de  $4500 \text{ MJ/m}^2$ ), sus características climáticas registran mayor amplitud térmica, menor humedad y una heliofanía relativa consecuentemente mayor y más estable. Para estas situaciones que promedian los comportamientos más extremos descritos anteriormente, se pensó en el desarrollo de tecnologías que cubran aspectos tales como: *mayor agilidad en la carga de calor; mayor capacidad de carga, inercia térmica y niveles de desfase de descarga intermedios (entre 4 y 6 h), y descarga de calor semi-controlada.*

En este sentido y con el objeto de proponer soluciones tecnológicas pasivas para zonas climáticas intermedias, en este trabajo se presentan los desarrollos de muros acumuladores de calor (MAC) con masas de acumulación mixtas que utilizan piezas de hormigón con insertos estancos de agua, lo que permite ampliar su agilidad de carga y su capacidad de acumulación. Los mismos se comparan con MAC tradicionales de hormigón (acumulación sólida) para contrastar sus prestaciones.

Para llevar adelante las etapas de diseño y simulaciones de los muros MAC y contrastar ambas tecnologías (sólidas y mixtas), se incorporaron en una primera instancia a una vivienda social de construcción estatal a realizar en la zona central de la provincia de Buenos Aires. Se analizaron y simularon los comportamientos térmicos en los locales involucrados, se establecieron los niveles de habitabilidad alcanzados en los espacios climatizados por dichos sistemas, y se definió el tipo de cubierta transparente a utilizar. Para las simulaciones dinámicas se utilizó un software nacional, validado por la comunidad científica (Flores Larsen y Lesino, 2001). Se realizó un legajo técnico para la construcción de sus piezas componentes y montaje final en la vivienda. También se realizaron ensayos en laboratorio a cielo abierto en BOX de ensayos específicos para verificar los niveles de temperatura alcanzados en las diferentes secciones de las piezas de los MAC. Los ensayos con piezas de ambas tecnologías (sólidas y mixtas) se realizaron simultáneamente en dos BOX durante el período frío de invierno. Se analiza a partir de las curvas de temperatura, el período de carga de

energía (entre las 8h y 15h aprox.) y el período de entrega de dicha energía (descarga) al BOX (entre las 15h y las 8h aprox.).

## 2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DEL ÁREA DE APLICACIÓN Y ANTECEDENTES TECNOLÓGICOS DE LOS MUROS ACUMULADORES DE CALOR MIXTOS (MACM).

La región denominada Centro de la Pcia de Buenos Aires se registra como zona bio-ambiental III y IV en la Norma IRAM 11603 y representa a la provincia más poblada de la Argentina. En la zona denominada Centro, y en particular en la zona IIIb y IVd (franja costera de la provincia) existen significativos antecedentes que llevaron a diseñar e implementar muros acumuladores de calor en una masa totalmente de agua, y con descarga controlada –MAC- (L. Guerrero et al 1979). Esta tecnología fue implementada en la década del '80 en el proyecto CESAD, “*Conjunto de viviendas de alta densidad con utilización de energía solar*” del cual se construyó un prototipo, hoy fuera de funcionamiento (IAS-FIPE-IIPAC, 2009). Los condicionantes de invierno con los que fue diseñada dicha tecnología (localizada en la ciudad de La Plata) fueron: 994 grados días de diseño de invierno base 18 GD<sub>18</sub>; nivel de radiación solar medio (promedio entre 10,5MJ/m<sup>2</sup>día y 5,4MJ/m<sup>2</sup>día); heliofanía relativa cambiante (tres tipos de heliofanía en un mismo mes: Hr>75%; Entre 75% y 25%, y < al 25%) con alternancias poco previsibles.

Esta disponibilidad de recursos y situaciones climáticas cambiantes es la que llevó a plantear oportunamente la necesidad de contar con un sistema de climatización con alta capacidad de carga (acumulación en agua); con alta capacidad de transferencia entre la masa de acumulación y el aire circulante (una acumulación de 1956 L en envases de agua de 5 L c/u dispuestos en tresbolillo); necesariamente compacto y con control de descarga en función de la demanda (muros desfases controlando la entrega de aire caliente). Esta tecnología demostró una significativa capacidad de carga, de transferencia y de descarga alcanzando niveles térmicos de 63°C con períodos de acumulación cercanos a los tres días (ver Fig. 1d y 3). Dado que existe una importante dinámica de transferencia entre el aire y las celdas de agua, se pueden mencionar las siguientes dificultades: la necesidad de un recinto estanco para el MAC; alta eficiencia de su aislación; y registros muy finos de descarga de aire caliente (Guerrero et al, 1984; Discoli et al, 1985; Discoli y Rosenfeld, 1986).

A partir de estos desarrollos, y teniendo en cuenta las ventajas y desventajas observadas en los MAC descriptos (acumulación sólo en agua); se plantearon actualmente opciones tecnológicas para aquellos climas mediterráneos de las zonas bioclimáticas III y IV. La Tab. 1 muestra sus características y se observan algunos contrastes fundamentalmente en el nivel de frío (GD<sub>18</sub>) y amplitud térmica.

Tabla 1- Condiciones climáticas de invierno de zona Centro de La Pcia. de Buenos Aires. Norma IRAM 11.603. Zonas III y IV.

Estación Ciudad	Latitud	Longitud	Nivel del mar	Temp. media	Temp. máxima	Temp. mínima	Humedad relativa	Lluvias	Grados día invierno
	°	°	m	°C	°C	°C	%	mm	GD <sub>18</sub>
Azul	36,8	58,3	132	7,7	14,2	2,4	84	42	1589
Bolivar	36,3	61,1	93	9,5	15,1	3,8	83	41	1284
L.Flores	36,0	59,1	34	9,1	14,9	3,8	81	21	1337



Dadas las características expuestas, se recurrió a la necesidad de adoptar criterios mixtos en el diseño de la masa de acumulación (hormigón+agua), en cuanto a niveles de carga térmica, acumulación y desfase de la onda térmica. Estas adaptaciones se debieron a que si bien se cuenta con niveles de radiación similares, se advierten algunos cambios climáticos tales como una mayor amplitud térmica, mayor demanda de calefacción con GD<sub>18</sub> mayores a 1200 °C, menor humedad absoluta, y mayor heliofanía (ver Tab. 1).

Esto lleva a considerar como hipótesis de trabajo la necesidad de contar con una tecnología de MAC cuya acumulación térmica de base sea en parte sólida acorde a la amplitud térmica mencionada, pero dotándola con una mayor capacidad de acumulación dada por el agua encriptada en vainas plásticas. Esto permite agilizar el tiempo de carga, dado que el recurso solar es intermedio, y además mantener cierto retardo por medio de una descarga acorde a las características de los materiales sólidos. De esta manera se busca simplificar el uso del sistema 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. A los efectos de ensayar y comparar comportamientos, se trabajó teóricamente con tres tipos de muros acumuladores MAC, uno de ellos tradicional, resuelto totalmente en hormigón, y los otros dos construidos con materializaciones mixtas resueltos en hormigón con insertos de agua envainada en tubos de PVC utilizando diferentes proporciones de agua y localizaciones dentro de cada pieza de hormigón. Dichos insertos resueltos con tubos individuales estancos con tapas selladas en ambos extremos de la vaina, se colocan dentro de la colada de hormigón de cada pieza en posición horizontal centrada o excéntrica respecto al eje longitudinal. La Fig. 4 muestra los cortes transversales de las piezas de los modelos de MAC simulados en la vivienda.

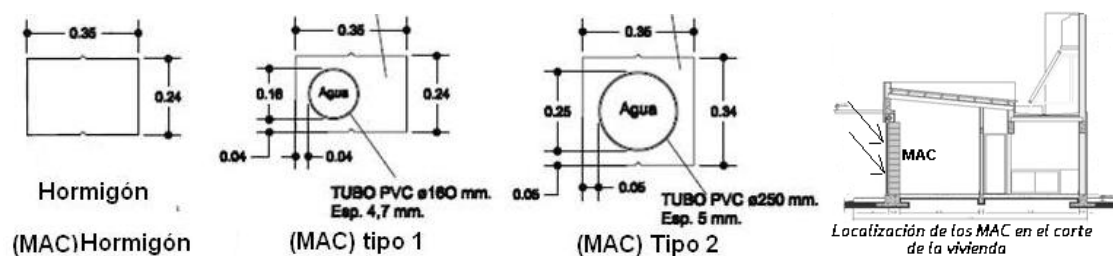


Figura 4- Corte transversal de las piezas que constituyen los tres tipos de MAC y corte transversal de la vivienda con la localización del MAC en la fachada norte.

Se realizaron simulaciones en la vivienda a los efectos de comparar ambas tecnologías, ajustar dimensiones geométricas, capacidades de acumulación y de respuestas térmicas. Por tratarse de un estudio comparado entre tecnologías, las variables de contexto tanto climáticas del entorno como constructivas se mantuvieron como invariantes durante el proceso dinámico de simulación. Este análisis permitió seleccionar la tecnología más eficaz para luego realizar ensayos en laboratorio a cielo abierto. Las simulaciones se realizaron en SIMEDIF conjuntamente con el INENCO (Flores Larsen y Hernandez, 2010). En éstos se consideraron variantes con simple vidrio y doble vidrio en la cara norte. En todos los casos la masa de acumulación de los MAC estuvo constituida por piezas industrializadas apilables formando módulos de 1,20 m de ancho por 2,40 m de altura y absorptancias de 0,95 para los MAC. En primera instancia se simuló un período de 25 días de invierno, considerando temperaturas exteriores media, máxima y mínima de 7,7°C, 14,2°C y 2,4°C respectivamente y radiaciones que oscilaron entre 5,4 MJ/m<sup>2</sup>día y 10,5MJ/m<sup>2</sup>día (Grossi Gallegos y Righini, 2007). También se simuló un período de 12 días con datos reales medidos para el mes de junio. Para las simulaciones se consideraron en todos los casos las mismas condiciones constructivas de la vivienda prototipo: envolvente exterior totalmente expuesta a la radiación solar (sin sombreado), coeficientes convectivos de 10 W/m<sup>2</sup>°C (exteriores) y 6 a 8 W/m<sup>2</sup>°C (interiores), 2,5cm de aislación en paramentos verticales y piso, coeficiente de conducción para techos ( $k/x$ ) de 0,32 W/m<sup>2</sup>°C (alrededor de 10 cm de aislación). Los resultados obtenidos de las simulaciones se observan en la Fig. 5 y muestran el comportamiento de los diferentes tipos de MAC, entregando calor en el caso de un dormitorio. Se observa que los niveles de temperatura mayores se logran con los MAC mixtos (MAC Tipo 1) de simple vidrio.

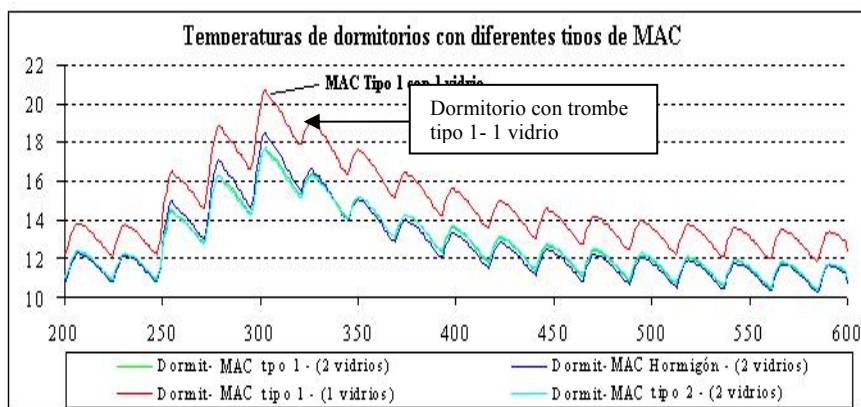


Figura 5- Comparación de las temperaturas del dormitorio con distintos tipos de MAC.

A partir de las simulaciones preliminares se decidió optar por los MAC Tipo 1 y construir para el ensayo piezas mixtas (tipo 1 con hormigón y agua encrustada en vainas de PVC localizada en forma excéntrica); y piezas sólidas de hormigón a los efectos de verificar empíricamente los resultados teóricos de ambas tecnologías; y experimentar a través de ensayos en laboratorio las alternativas constructivas, de materialidad así como detallar sus prestaciones térmicas.

### 3. DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE LOS MAC MIXTOS

Para el diseño y construcción de los MAC Tipo 1 seleccionados, se optó por un sistema industrializado modular 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 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 es de sencilla manufactura en la etapa de moldeo y fabricación seriada de las piezas, permitiendo un buen montaje final. En este caso los moldes se realizaron en chapa plegada, pero también pueden resolverse con encofrados de madera. Las dimensiones de los MAC respetan la modulación de las viviendas y la demanda energética base de las mismas (San Juan et al, 2010). Las dimensiones

finales adoptadas para la acumulación total de cada MAC es de 1,20 m de ancho por 2,40 m de altura (diez piezas apiladas). La Fig. 6 muestra el molde, las piezas coladas y la localización de los sensores en la vaina de agua propiamente dicha y en las piezas de acumulación terminadas (Discoli et al, 2010).

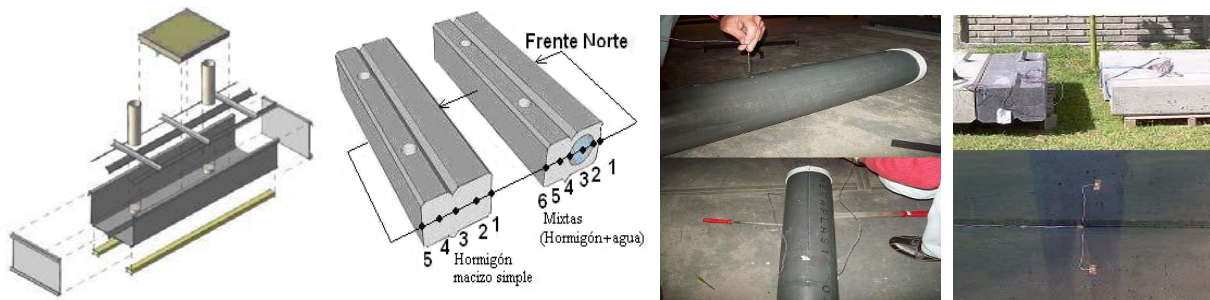


Figura 6- Muestra el molde, las piezas coladas macizas simples y mixtas tipo 1, y localización de termocúplas Cu-K en las piezas de acumulación de ambos MAC.

Las piezas configuran una vez montadas, muros acumuladores con una capacidad de carga nominal de  $1016,3 \text{ kJ/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  día para las piezas mixtas ( $80,4 \text{ kg}$  de agua y  $739,8 \text{ kg}$  de hormigón por  $\text{m}^2$ ), y de  $842,9 \text{ kJ/h m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  para las piezas sólidas de hormigón ( $919,7 \text{ kg/m}^2$  de masa nominal). Se observa que las piezas mixtas cuentan con una mayor capacidad de carga con menor masa de acumulación; y los insertos de agua están desplazados sobre la cara norte de cada pieza (excéntricos respecto al eje longitudinal), a los efectos de aproximar las vainas de agua (con mayor capacidad de acumulación) a la cara expuesta a la radiación solar. Esta disposición agiliza el proceso de carga en la cara norte, aumentando los niveles de temperatura, dejando en su parte posterior la mayor masa de hormigón macizo con el objeto de mantener el desfase de la onda térmica entre el ciclo diurno y nocturno (según simulaciones entre 4 y 6 h de desfase para la pieza mixta). Todas las piezas cuentan con dos perforaciones transversales destinadas a vincular con hormigón todas las piezas del muro y unificar durante el montaje la masa de acumulación con la viga de fundación, dando estabilidad al sistema. La unión entre piezas se realiza con ligantes comerciales estándares. En cuanto a la materialidad, se trabajó con hormigón H30 con piedra 6,20 natural. Los tiempos de fraguado fueron de un día y medio por componente. Durante las coladas correspondientes se insertaron termocúplas de Cu-K en el interior de las piezas de hormigón y en las vainas de agua, y se completaron posteriormente instalando sensores en las caras norte y sur de las piezas correspondientes. Se cubrió la sección transversal en el punto medio de las piezas, y en los puntos extremos sólo a nivel superficial. Completadas las coladas de las piezas de cada tipo se construyeron dos box de ensayo respetando La modulación de 1,20 m por MAC.

La Fig. 7 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. 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 ( $5 \text{ cm}$  de poliestireno expandido de  $22 \text{ kg/m}^3$ ). En ambos casos se pintó la superficie norte con esmalte sintético negro mate.



Figura 7- Montaje de los BOX con la instalación completa de ambos MAC y sensores.

#### 4. ENSAYOS PRELIMINARES DE LOS MAC SÓLIDOS Y MIXTOS

Para los ensayos se instaló un adquisidor de datos Omega om-cp, de 8 canales con termocúplas tipo T, apoyado por micro-adquisidores 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 de colección de los MAC (vertical a  $90^\circ$ ). Las primeras mediciones se realizaron en simultáneo con ambas tecnologías (MAC con acumulación mixta y con sólida) durante el invierno en los meses de junio y julio del 2011. Se analizaron 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. Por tratarse de un análisis comparado de ambos sistemas, las variables climáticas de contexto (vientos, heliofanía, y condiciones de contorno) se consideran invariantes. La Fig. 8 ilustra como ejemplo las temperaturas interiores alcanzadas en los recintos de cada

BOX por ambas tecnologías (hormigón+agua y hormigón macizo), para un ciclo de 7 días corridos con diferentes tipos de heliofanía e irradiación solar.

La temperatura interior del BOX con piezas de hormigón+agua durante todo el ciclo medido, presenta diferencias que 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 de energía, coincidentes con las registradas en las simulaciones térmicas. Durante el transcurso del día se observa que las temperaturas se equiparan durante el ciclo de descarga. Este comportamiento de las pendientes difiere del registrado en las simulaciones de la Fig. 5 por no contar con inercia térmica en la envolvente ya que los BOX no cuentan con masa en paredes, techos y pisos.

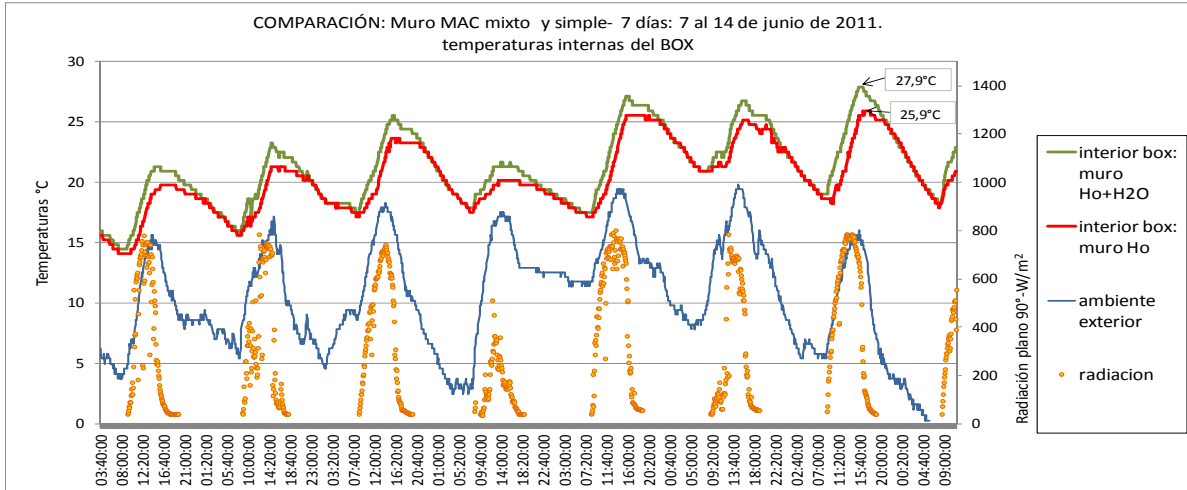


Figura 8- Temperaturas interiores alcanzadas en los recintos de cada BOX para ambas tecnologías (hormigón +agua y hormigón macizo simple), del 7 al 14 de junio de 2011.

Para comparar específicamente el comportamiento de las masas de acumulación de cada MAC se analizaron los resultados de un ciclo diario para un día bueno de junio (Heliofanía relativa mayor al 70%). Las Fig. 9, 10 y 11 muestran la secuencia de temperaturas alcanzadas en la cara norte, en la sección interior, en la cara sur, en el interior de cada BOX, de los MAC de ambas tecnologías, en relación a la temperatura exterior y la irradiación sobre el plano vertical norte.

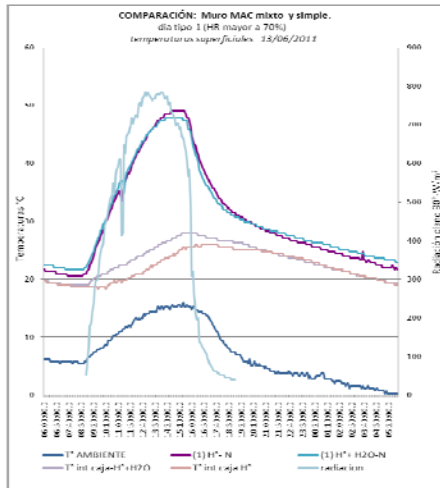


Figura 9- Temperaturas de la superficie norte en piezas de hormigón y de hormigón+agua (tipo 1). Día 13/6/2011.

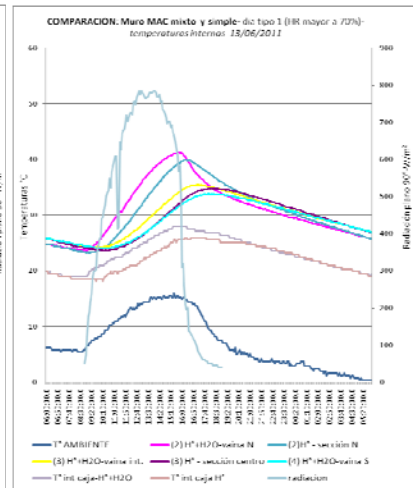


Figura 10- Temperaturas interiores de las piezas de hormigón y de hormigón+agua (tipo 1).

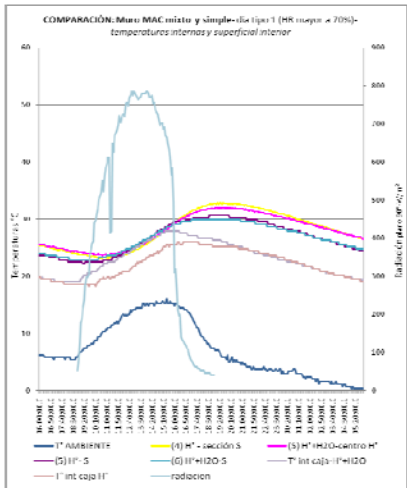


Figura 11- Temperaturas de la cara sur e interiores en piezas de Hormigón y hormigón+agua (tipo 1).

La Fig. 9 muestra un comportamiento térmico similar en las pendientes de carga de energía en ambas tecnologías y presenta dinámicas diferentes en el inicio y en el pico de dicha carga. En el ciclo de carga, se observa un nivel térmico mayor (mayor carga residual) en el inicio de carga de las piezas mixtas H<sup>o</sup>+H<sub>2</sub>O (primer sector ascendente de la pendiente), se equilibran en el sector central y se observa mayor nivel término en las piezas simple H<sup>o</sup> en el pico de la curva (+1°C). Asimismo se observa un proceso de transferencia temprana en el aire interior del BOX del MAC de piezas mixtas H<sup>o</sup>+H<sub>2</sub>O. Esta diferencia entálpica del aire se mantiene sostenida en el tiempo, evidenciando un inicio temprano en los niveles de confort del ambiente con dicha tecnología. En el ciclo de descarga, las temperaturas de la

cara norte de ambos MAC entrecruzan nuevamente sus pendientes y se registra mayor temperatura en las piezas mixtas H<sup>o</sup>+H<sub>2</sub>O (con +1°C de diferencia), evidenciando un mayor estado de carga final.

La Fig. 10 muestra las temperaturas interiores de las vainas de agua del MAC H<sup>o</sup>+H<sub>2</sub>O (curva (2)= H<sup>o</sup>+ H<sub>2</sub>O-vaina N; curva (3)= H<sup>o</sup>+ H<sub>2</sub>O-vaina Interior; y curva (4)= H<sup>o</sup>+ H<sub>2</sub>O-vaina S), las temperaturas interiores de las piezas simple H<sup>o</sup> (curva (2)= H<sup>o</sup>-sección N y curva (3)= H<sup>o</sup>-sección centro), las temperaturas del aire interior de cada BOX, la temperatura exterior y la irradiación solar.

En el período de carga, se registra un adelanto en el gradiente térmico de la vaina de agua próxima a la cara norte en las piezas del MAC H<sup>o</sup>+H<sub>2</sub>O. En la sección central de las piezas, se observa una diferencia térmica menor, debido al avance de la onda de calor hacia el interior del BOX. En el final del período de carga se invierte la situación, justificado por las diferentes dinámicas de transferencia entre la acumulación líquida y la sólida. En el caso de los MAC simple H<sup>o</sup> existe un mayor retardo de la onda de calor dado por la inercia térmica de los mismos, y se observa menor gradiente térmico entre los puntos de cada sección. Esto se verifica en la etapa intermedia de descarga. En la etapa de descarga, en ambos casos se verifica una nueva inversión entre las curvas y se advierte un mayor gradiente térmico en la sección posterior de la acumulación del MAC H<sup>o</sup>+H<sub>2</sub>O. Esta diferencia se observa con mayor precisión en la Fig. 11 en donde se registran las temperaturas de las caras sur de ambas piezas (curva (5)= H<sup>o</sup>-S y curva (6)= H<sup>o</sup>+ H<sub>2</sub>O-S).

A partir de los ensayos preliminares, se analizaron los rendimientos promedio de cada sistema. Para tal fin se consideraron las masas de acumulación por m<sup>2</sup> de ambas tecnologías, la energía incidente 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 Tab. 2 muestra los datos considerados para el cálculo.

Tabla 2- Rendimiento general de carga de los MAC para un día con Hr mayor al 70%, Energía diaria recibida 16.573 kJ/m<sup>2</sup>.

Tipo de acumulación	Masa Kg/m <sup>2</sup> <sub>(a)</sub>	Calor específico kJ/°C.m <sup>2</sup> <sub>(b)</sub>	Energía Diaria acumulada Específica kJ/°C.m <sup>2</sup> <sub>(c=a*b)</sub>	ΔT promedio diario de la masa °C <sub>(d)</sub>	Energía Diaria acumulada Total kJ/m <sup>2</sup> <sub>(e=c*d)</sub>		Rendimiento global η
Agua + Hormigón	80,4	4,18	336,01	5,4	1802,3	6681,6	0,40
	739,8	0,92	680,34	7,2	4879,3		
Hormigón	916,7	0,92	842,97	6,6	5547,1	5547,1	0,33

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 diferencias en el comportamiento de ambos sistemas MAC, lo que nos permite continuar con las mediciones y evaluaciones relacionadas con la carga térmica total para diferentes heliofanías y temperaturas; ajustar eficiencias del sistema; y niveles de retardo de la onda térmica. Si bien las resultantes muestran diferencias reducidas en la dinámica de carga y en la capacidad de acumular energía térmica entre las piezas de ambas tecnologías (hormigón y hormigón+agua); se observan ventajas operativas en cuanto a la transferencia de calor entre la masa de acumulación y el aire interior y en la capacidad de carga final.

## 5. CONCLUSIONES

En función de los condicionantes climáticos expuestos (zonas climáticas templadas mediterráneas), se consideró como hipótesis de trabajo contar con una tecnología de MAC mixta (hormigón+agua). Esto significa contar con una mayor capacidad de acumulación, agilizar el tiempo de carga, mantener un retardo por medio de una descarga acorde a las características de los materiales sólidos y mejorar la habitabilidad. Las mismas fueron comparadas en simultáneo con las tecnologías tradicionales (muros sólidos). Entre las conclusiones preliminares podemos mencionar:

Los resultados empíricos verifican las simulaciones dinámicas realizadas y confirman diferencias en el comportamiento de ambos sistemas MAC. Si bien las temperaturas registran pendientes similares en las curvas de las caras norte y sur entre las piezas de ambas tecnologías (hormigón y hormigón+agua), en los extremos se registran diferencias térmicas iniciales y finales. En el MAC mixto H<sup>o</sup>+H<sub>2</sub>O se observan ventajas operativas en cuanto a una mayor transferencia de calor entre la masa de acumulación y el aire interior; una mayor dinámica en las ondas térmicas de las secciones interiores; y una mayor capacidad de carga final. En un primer análisis y en función de los registros térmicos interiores alcanzadas en ambos BOX, se han podido verificar los preceptos tenidos en cuenta en las hipótesis iniciales (mayor carga de acumulación y agilidad en la transferencia durante el período diurno-nocturno). Esto evidencia cierta sensibilidad a las hipótesis de trabajo propuestas debiendo continuar con el análisis a los efectos de ajustar resultados y optimizar las prestaciones. Con los resultados preliminares se pueden delinear nuevas alternativas de análisis que trabajen sobre las variables en juego: relación Hormigón y agua, agilidad de carga y transferencia, inercia térmica y retardos, incorporar pigmentaciones en las mezclas, y velocidad de flujos convectivos, entre otras.

En cuanto a los aspectos constructivos, la industrialización de las piezas de acumulación aseguran dimensionalidad, uniformidad y sencillez de montaje, permitiendo buena replicabilidad en planes de viviendas masivos.

## REFERENCIAS

- 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, Córdoba. Pp 67-99.
- Discoli, Rosenfeld (1986). "*Muro colector acumulador en agua: módulos industrializables de bajo costo*". Actas 11ª Reunión de Trabajo de ASADES, San Luis, pp. 77-84.
- Discoli, Guerrero, Rosenfeld, Ravella (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, San Juan (2010). Muro climatizador Acumulador de Calor Mixto con vainas líquidas estancas. IMPI 20110100010, Oficina de patentes de CONICET.
- Flores Larsen S. y Lesino G. (2001). Modelo térmico del programa SIMEDIF de simulación de edificios. Energías Renovables y Medio Ambiente. Volumen 9. Impreso en Salta, Argentina. Pag. 15-24.
- Flores Larsen, Hernández. (2010). Informe: Análisis de muros de acumulación de calor mediante simulación térmica, para una vivienda social localizada en zona centro de la Provincia de Buenos Aires, mediante simulación térmica. INENCO, UNSa. Salta.
- Grossi Gallegos y Righini (2007). "*Atlas de energía solar de la República Argentina*" IAS-FIPE y el IIPAC (2009). La casa solar de La Plata. La Plata, Octubre de 2009.
- Guerrero, Rosenfeld, Ravella, 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. Pp 113,120.
- Lesino, Ovejero, Saravia (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, Requena, Saravia, Fontanilla, Echazú (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.
- Mercado, M. V.; Esteves, A. (2004) Arquitectura Sustentable: estudio térmico y técnico económico de la incorporación de aislación térmica. Energías Renovables y Medio Ambiente, Salta, v. 15, p. 45-52.
- Norma IRAM N° 11601 (2002). "*Aislamiento térmico de edificios. Método de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario*".
- Norma IRAM N° 11603 (1996). "*Clasificación bioambiental de la república Argentina*".
- Norma IRAM N° (1996). "*Condiciones de habitabilidad de edificios. Valores de "K" en cerramientos opacos*".
- San Juan, Czajkowski, Rosenfeld, Ferreyro, Gomez, Discoli (2007). "*Viviendas bioclimáticas de interés social*". En libro: "Arquitectura Bioclimática". 181 pág. Editor: Beatriz Garzón. Editorial Nobuko. ISBN: 978-987-584-096-6.
- San Juan, Discoli, Viegas, Ferreyro, Rodriguez (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.
- Urriol, Gaspar (1980). "*Sistema de ensayo comparativo de muros colectores-acumuladores y simulación de un muro Homogéneo*". Actas de 6ta. Reunión de trabajo de ASADES, Catamarca. Pp 247-272.
- IAS-FIPE-IIPAC (2009). La casa solar de La Plata. Editorial Paidea. La Plata Argentina.

**Agradecimientos:** Se agradece la colaboración del Ing. Bernardo Zaslasky de la Arq. Florencia Zaslasky de la empresa de premoldeados de hormigón BLOKY.

## HEATING THROUGH MIXED HEAT STORAGE WALLS (MACM)

**Abstract:** The work exposed the design and performance of modular heat storage walls (MAC) solved with mixed materials (concrete and water). The systems were designed to heat homes of massive construction. They are prepared for inclusion in a modular form (1.2 mx 2.4 m) on the north facade and resolved with a accumulation mass composed by industrialized stackable pieces. Storage technology is defined by concrete pieces that include PVC sheath filled with treated water. They are covered with a single glass window with nocturnal protection. Technological designs, industrialization, manufacture and assembly stages are presented. Simulations of the systems incorporated to the house and measurements in laboratory, were realized. Simulations noticed displayed a greater performance in the simulated spaces with mixed storage walls. The testing bank measurements corroborated these assumptions and detailed thermal difference of 2°C in the registered temperatures inside the locals.

**Key words:** Solar energy, Technology, Transference, Heat storage walls.