

MURO COLECTOR ACUMULADOR EN AGUA: MODULOS INDUSTRIALIZABLES  
DE BAJO COSTO

Carlos Discoli\*, Elías Rosenfeld

IAS, Instituto de Arquitectura Solar. FIPE, Fundación para la Investigación y el Progreso Energético.

Calle 526 N° 2005, (1900) La Plata

## RESUMEN

Determinado el rendimiento y la capacidad de aporte del sistema calefactor muro colector acumulador en agua (MAC), se proponen módulos industrializables de diferentes capacidades de acumulación. De esta manera se pueden instalar los equipos en obra, asegurándose perfecta estanqueidad y buena eficiencia en su operatividad. Se plantean diferentes modos constructivos.

Se realiza un análisis de costos comparando las variables planteadas y los diferentes materiales de fabricación, con los equipos convencionales de calefacción y el combustible que consumen.

## 1. INTRODUCCION

Los muros colectores acumuladores en agua de descarga controlada (MAC), fueron desarrollados y construidos como uno de los sistemas de calefacción apropiados para la zona climática templada-húmeda. Admiten una acumulación superior a un día y descargas controladas a voluntad. Sus características fueron discutidas en (1) y (2).

Los ensayos llevados a cabo permitieron determinar una capacidad de carga y descarga controlada superior a la estimada, verificándose un tiempo de acumulación que supera los tres días. Los rendimientos y operatividad del sistema se discutieron en (3).

Completadas las fases de desarrollo y prueba, se pretende avanzar en los pasos previos a la etapa industrial. Para ello se trabaja en el desarrollo de módulos tipo paquete que puedan ser instalados en obra sin perturbaciones de consideración. La experiencia indica la conveniencia de que los equipos cuenten con gabinetes integrales, asegurándose recintos perfectamente estancos. Las dimensiones se ajustan a los sistemas constructivos vigentes, pudiendo preverse la instalación sin modificaciones significativas. Los módulos pueden ser adosables en función de la capacidad de acumulación requerida. También se analizan diferentes tamaños de celdas de agua y su disposición. Cabe aclarar que las viviendas que incorporen estos sistemas deberán cumplir con las pautas mínimas de conservación de la energía.

## 2. MODULOS DE MAC TIPO PAQUETE

Se prevé una línea de módulos cuya disposición es del tipo monolítica (Fig. 1), manteniendo una altura de 2,45 m y una profundidad total de 0,50 m, variando en su ancho de 1,5 m a 2 m. Esta variación permite una combinación de módulos para cada requerimiento.

Cada módulo constaría de un gabinete estanco con aislación lateral y posterior, un bastidor con superficie transparente adosado al gabinete, protecciones exteriores de operación manual, celdas de acumulación, compuertas de inspección y de descarga controlada.

El gabinete estaría construido de chapa plegada o plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV), preparado para ser amurado a la mampostería o adosarlo a otro módulo.

Las protecciones exteriores se realizarían del mismo material que el gabinete. Contarían con un sistema de accionamiento manual corredizo tipo "Roma" con colocación al canto de la hoja. La coloración superficial debe ser clara, preferentemente blanca. Debe contar con burletes de tipo magnético para permitir un cierre estanco.

La aislación utilizada en todos los componentes del sistema sería poliuretano de poros cerrados con espesor de 5 cm y densidad de 35 Kg/m<sup>3</sup>.

Las celdas de agua pueden ser metálicas similares a las ensayadas (4 L) o de mayor capacidad (20 L), restringiendo el manipuleo de las mismas. Otra posibilidad es utilizar envases de vidrio o plástico, ambos tratados superficialmente. Hay que tener en cuenta la fragilidad que presentan al manipuleo y la degradación de la superficie respectivamente. Se mantendrá en ambos casos la estructura soporte.

Las compuertas de inspección serían abisagradas y equipadas con cierres rápidos, permitiendo un acceso sencillo al interior del módulo. Las de descarga controlada estarían provistas de un registro manual de apertura.

\* Becario de la CIC

### 3. DISPOSICION DE LAS CELDAS DE AGUA

La disposición de las celdas se define en función de la posición del eje principal, pudiendo ser del tipo horizontal (como las ensayadas) o del tipo vertical (apiladas).

A) Disposición horizontal: las características constructivas de este sistema fueron detalladas en (1) y (2). De los ensayos realizados se ha verificado un intercambio de calor agua-aire ágil y eficaz (69 KJ/m<sup>2</sup> h C), superando ampliamente la velocidad de descarga necesaria.

La distribución de celdas en trespelillo debe contar con una estructura portante de complicada configuración o elementos estampados que aseguren una separación uniforme entre celdas.

En las figuras 2 y 3 se pueden apreciar las configuraciones mencionadas. Ambos dispositivos elevan el costo final del sistema.

Se han intentado otras soluciones utilizando una estructura simplificada, separando las celdas de agua con una soga de diámetro uniforme (20 mm). Este sistema no elimina por completo la estructura mencionada, además de utilizar mayor tiempo de mano de obra y complicar la instalación.

En resumen para lograr una reducción de costos, teniendo en cuenta la sobrada capacidad de descarga del sistema, se pensó en una disposición vertical de celdas, que permita eliminar la estructura portante de las mismas.

B) Disposición vertical: las celdas se dispondrían en forma de columnas paralelas, utilizando deflectores transversales (chicanas), para orientar la circulación del aire, permitiendo un intercambio de calor similar al caso ensayado.

El coeficiente convectivo de transferencia de calor agua-aire correspondiente a esta disposición, se reduce aproximadamente en un 15% tomando valores próximos a 59,8 KJ/m<sup>2</sup> h C. Este valor prácticamente no modifica la eficiencia general del sistema, equilibrándose con la excesiva potencia de descarga mencionada anteriormente.

Las celdas de agua de acumulación serían envases metálicos comerciales de 4 L o de 20 L, disponiéndose como muestran las figuras 4 y 5.

La densidad de celdas en ambos casos se-

Tabla 1

Celdas	4 L		20 L.	
	masa de acumulación (kg)	Qd (*) (Mj)	masa de acumulación (kg)	Qd (Mj)
1,5	486	49	540	54
2	648	65	730	72
3,5	1134	114	1260	127
4	1296	130	1440	145

(\*)Qd es la energía de acumulación disponible en función de la energía de la masa de agua que puede contener cada tipo de módulo, dependiendo del tipo de celda, siendo prácticamente coincidente con la energía de acumulación real medida (3) (15 MJ/m<sup>2</sup>), incluyendo ya las constantes físicas de los equipos.

ría de 27 unidades por m<sup>2</sup> y 9 unidades por m<sup>2</sup> respectivamente, quedando un margen considerable en la altura para permitir un cómodo montaje.

La relación existente entre el área de intercambio en ambos tipos de celdas, a igualdad de volumen, difiere en un 37% a favor de las celdas chicas. O sea que para un mismo volumen de acumulación, las celdas chicas tienen una superficie de intercambio 37% mayor que las celdas grandes. Según el tipo de envases a utilizar se tendrán sistemas calefactores con diferentes rendimientos.

### 4. CAPACIDAD DE ACUMULACION DE LOS MODULOS.

Los ensayos realizados en la vivienda prototipo descriptos en (3), permitieron conocer la temperatura de régimen real de la masa de acumulación del sistema calefactor MAC, posibilitando plantear módulos tipo paquete con una energía de acumulación disponible en la masa de agua de 15 MJ/m<sup>2</sup> de área expuesta.

El calor de acumulación utilizando ambas capacidades de celda (4 L y 20 L), para cada módulo y sus combinaciones es:

$$Qd = m.c.\Delta t$$

Qd= Se considera energía de acumulación disponible, al calor de la masa de acumulación por encima de 18 C (límite inferior de confort, lic).

m= masa de acumulación (Kg)

c= calor específico del agua (0,0042 Mj/kg C)

Δt= incremento de temperatura de la masa de acumulación, considerando calor disponible a aquel que el sistema puede entregar por encima de los 18 C, Δt= t<sub>f</sub> - t<sub>lic</sub> = 42 C - 18 C = 24 C.

Se extractan los valores en la tabla 1.

Es obvio que se pueden realizar un número mayor de combinaciones de módulos, pero a los efectos de ejemplificar entendemos que los mencionados son suficientes.

Determinadas las características de los equipos, sólo es necesario conocer los calores de pérdida diarios de los diferentes ambientes, o su totalidad, permitiendo seleccionar la combinación de módulos necesaria para cada caso. Este análisis es válido para la región en estudio o similares.

## 5. COSTO DE LOS MODULOS INDUSTRIALES

Analizamos los costos de los módulos en sus diferentes versiones: gabinete de PRFV y gabinete de chapa plegada, utilizando en ambos casos celdas metálicas de 4 L o 20 L. Tabla 2.

La variación de costos entre los diferentes gabinetes es de un 10% a 17% a favor de los metálicos, reduciéndose esta diferencia por los costos de mantenimiento.

Si la industrialización se encara en forma de "kit" a terminar, obviando algunos elementos, como las celdas, se reduciría el costo en un porcentaje medio del 36%, lográndose equipos más accesibles. Los elementos de acumulación serían colocados por el usuario, utilizando envases descartables o adquiribles.

## 6. ESTIMACION DE COSTOS ENERGETICOS ANUALES

Se analizan los costos de energía convencional utilizada en calefacción para los siguientes casos: vivienda con equipo de calefacción convencional (convectores) y sin conservación de energía; vivienda con calefacción convencional con conservación de energía y por último vivienda con conservación de energía y equipos de calefacción solar (módulos de MAC).

Para calcular el costo de la energía convencional consumida en el primer año de uso para los casos mencionados, utilizamos la expresión dada en (4):

$$Z = P_c + L \cdot G_D \cdot P_g \cdot r^{-1}$$

Z = inversión en el primer año para usos de calefacción convencional.

P<sub>c</sub> = precio del equipo de calefacción.

L = coeficiente de carga del edificio (Kj/GD) o cantidad de calor necesaria para aumentar en un grado centígrado la temperatura del aire ambiente de un edificio.

G<sub>D</sub> = grado-día anual.

P<sub>g</sub> = precio unitario del combustible utilizado (A/Kj).

r<sup>-1</sup> = inversa del rendimiento térmico del equipo de calefacción.

cuando se incorpora el equipo de calefacción solar con una fracción solar determinada utilizamos:

$$FAS = 1 - \frac{\text{Calor auxiliar "con ahorro"}}{\text{Calor "sin ahorro"}} =$$

$$= 1 - \frac{\text{Costo cal. aux. "con ahorro"}}{\text{Costo cal. "sin ahorro"}} =$$

FAS = fracción de ahorro solar.

Si se considera una vivienda de 50 m<sup>2</sup> cubiertos (duplex FO.NA.VI.) con el siguiente equipamiento: dos convectores de 3000 Kcal cada uno para el primer caso; aislación de envolvente equivalente a R = 1,8 m<sup>2</sup> C/W para el segundo caso; y muros acumuladores de calor, MAC, (dos módulos de 1,5 m y dos módulos de 2 m) con un aporte del 70% para el tercer caso; se obtienen los ahorros consignados en la Tabla 3.

Si se compara el costo inicial de la instalación solar con respecto a la convencional, en condiciones de aporte de calor similares, la solar es doce veces más cara colocando el MAC completo o siete veces y media más cara colocándolo en forma de "kit". Desde el punto de vista del gasto de combustible existe un ahorro del 83%.

Tabla 2	Gabinete PRFV				Gabinete chapa plegada			
	1,5 m		2 m		1,5 m		2 m	
	4 L	20 L	4 L	20 L	4 L	20 L	4 L	20 L
	A	A	A	A	A	A	A	A
Gabinete	586	586	710	710	333	333	374	374
Aislación	(*)	(*)	(*)	(*)	115	115	120	120
Prot. exterior	402	402	460	460	402	402	460	460
Vidrios	57	57	69	69	57	57	69	69
Celdas	84	62	128	83	84	62	128	83
Trat. sup.	490	264	652	352	490	264	652	352
Pintura	-	-	-	-	40	40	50	50
Llenado celda	115	29	150	46	115	29	150	46
Matrifería	58	58	71	71	-	-	-	-
Sub-total	1792	1458	2240	1791	1636	1302	2003	1554
Pared equiv.	233	233	316	316	233	233	316	316
Total	1559	1225	2024	1475	1403	1069	1687	1238

(\*) El costo de la aislación está incluido en el del gabinete. Los costos fueron estimados para setiembre de 1986.

Tabla 3

Setiembre 1986	Costo eq. conv.* A	costo aisl.* A	costo MAC *kit*	costo MAC completo	costo a-nual GN	costo a-nual GE A
Vivienda conv.	600				29	176
Viv. c/conserv.	600	450			16,4	99,6
Viv. c/conserv. y equip. solar		450	4586	7166	4,9	29,8
Ahorro porcentual (%)					83	

\* Los costos incluyen equipamiento, mano de obra e instalación.

## 7. ANALISIS DE RENTABILIDAD

En el caso de que el usuario opte por hacer la inversión en efectivo (vivienda con conservación de energía y colocación de equipos solares) que cubra la totalidad de los sobrecostos, utilizamos la expresión dada en (4):

$$S \cdot (1+r)^t \leq \sum_{J=1}^{J=t} (Ca - Cb) \cdot (1+i)$$

S= sobrecosto del equipamiento energético para obtener un ahorro de combustible en el primer año de uso de (Ca - Cb), en moneda constante.

r= renta en tanto por uno del capital.

t= período de amortización en años.

Ca= costo anual del combustible utilizado (gas natural o gas envasado) para calefacción sin medidas de conservación.

Cb= costo anual del combustible utilizado (GN o GE) para calefacción con medidas de conservación y equipamiento solar.

i= tasa de crecimiento anual del precio del combustible en tanto por uno.

Los gráficos 1, 2 y 3 representan la amortización en años (t) en función de la tasa de crecimiento del combustible (i), utilizando como ejemplo a la vivienda de 50 m<sup>2</sup> (duplex FO.NA.VI.) con las variables de ahorro y calefacción planteadas.

## 8. CONCLUSIONES

Como primeras conclusiones podemos decir que la disposición vertical en las celdas de acumulación presentan una opción más económica, ya que se evita todo tipo de soporte de las mismas, incorporándose solamente los deflectores planos transversales tipo chicana.

Con respecto a la distribución de la masa de acumulación existen dos opciones a tener en cuenta:

a) la utilización de celdas chicas (4 L) permite obtener rendimientos operativos similares a los medidos. Existe una superficie mayor de transferencia que acelera las pérdidas involuntarias o indeseables. El costo de las celdas se incrementa un 38%

por su tamaño y en consecuencia por su mayor superficie a tratar (exterior e interior). Exige mayor tiempo de instalación.

b) la utilización de celdas grandes reduce el rendimiento operativo manteniéndose sin embargo dentro de los valores aceptables. Al disminuir la superficie de intercambio existen menos pérdidas involuntarias, además de reducir el costo de las celdas y su tratamiento superficial. El montaje es más sencillo y la masa de acumulación se incrementa un 10%, permitiendo una mayor capacidad de aporte (ver tabla 1).

En principio ambas opciones no aparecen como mutuamente excluyentes, sino más bien como variantes que permitirían una mayor diversidad. La elección estaría estrechamente ligada a variables conexas pero no específicas del sistema, como podrían ser los requerimientos energéticos y la variación de costos.

En cuanto al costo y tiempo de amortización de los equipos de calefacción solar (MAC) dependen de la tasa de crecimiento del combustible utilizado (i). Si se considera un i= 0,50, en la vivienda analizada, la aislación de la envolvente se amortiza en 8,5 años con gas natural y en 4 años con gas envasado. El MAC completo se amortiza en 15 años con gas natural y 10 años con gas envasado. (Ver gráficos 1, 2 y 3). Cabe aclarar que los costos de combustible pueden sufrir variaciones superiores a la mencionada. Es el caso del año 1986 con una tasa de crecimiento i= 1,25 para gas natural e i= 0,5 para gas envasado considerando hasta el mes de agosto inclusive.

Como próximo paso se intentará la construcción y ensayo de un prototipo de módulo de MAC con disposición vertical en su acumulación, utilizando envases comerciales de 4 L y 20 L.

## REFERENCIAS

1. Muro colector acumulador para el programa CESAD. J.L.Guerrero et al. Actas de la 5a. Reunión de Trabajo de ASADES, Córdoba, 1979.
2. Prototipo experimental de La Plata: primera campaña de ensayos de habitabilidad y

comportamiento energético. J.L.Guerrero et al. Actas de la 9a. Reunión de Trabajo de ASADES, San Juan, 1984.

3. Muro colector acumulador en agua: su comportamiento en la zona templada húmeda. C.Discoli et al. Expuesto en la 10a. Reunión de Trabajo de ASADES, Neuquen, 1985.
4. Bases para el diseño solar pasivo. Equipo de investigación de ahorro de energía en el edificio. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del cemento, Ed. Grafimad S.A., Madrid, 1983.

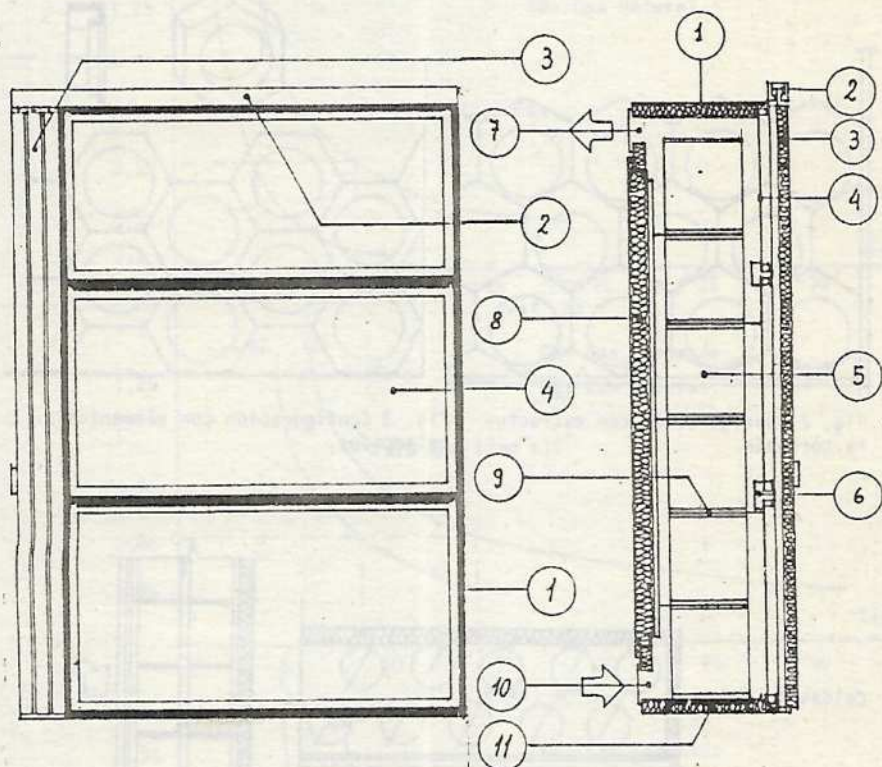


Fig. 1

1. Gabinete.
2. Riel de protección exterior.
3. Protección exterior plegable.
4. Superficie transparente.
5. Celdas de acumulación en agua.
6. Travesaño de la superficie transparente.
7. Compuerta superior de descarga controlada.
8. Compuerta de inspección y protección posterior.
9. Deflector de flujo transversal o chicana.
10. Compuerta inferior para circulación de aire.
11. Soporte de apoyo de las celdas de acumulación.

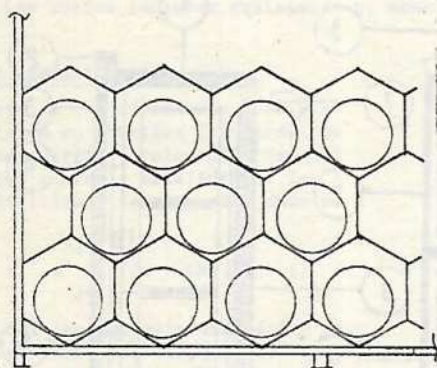


Fig. 2 Configuración con estructura portante.

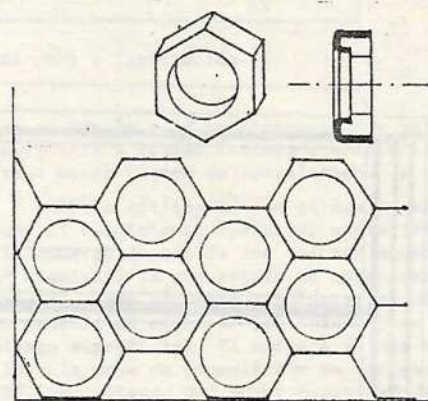


Fig. 3 Configuración con elementos estampados.

Celdas de 4 l

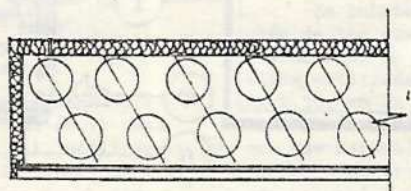


Fig. 4

Celdas de 20 l

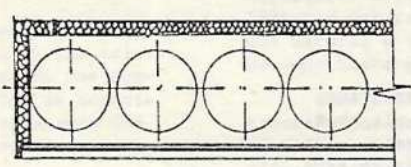
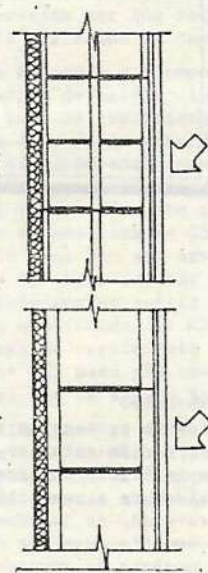


Fig. 5

Planta



Corte

