

# SISTEMA ACTIVO DE CALENTAMIENTO DE EDIFICIOS PARA LA CIUDAD DE SALTA.

Angélica Boucíguez y Luis Saravia\*

INENCO†

Universidad Nacional de Salta

Buenos Aires 177

4400 - Salta.

## Resumen

La ciudad de Salta tiene necesidades de acondicionamiento térmico moderado durante todo el año. En invierno el clima es soleado, lo que hace posible utilizar energía solar; en verano existe una amplitud térmica diaria que posibilita el refrescamiento mediante ventilación estructural.

En un trabajo anterior (1) se analizó la posibilidad de utilizar un sistema de acondicionamiento que permita utilizar el aprovechamiento de ambos recursos, habiéndose realizado experiencias para la situación de verano (2). En el presente trabajo se hace lo propio para la época invernal.

La acumulación se hace en una pared interna de la casa, que como en el caso de refrescamiento, se construye como pared doble con una zona hueca central por donde se realiza la circulación de aire. Un ventilador introduce aire caliente proveniente de un colector solar en la parte superior y luego de recorrer el muro sale por la parte inferior. El ventilador funciona de 10 a 18 hs., de modo de calentar el muro durante el día, e interrumpido el flujo de aire, la pared entregue lentamente el calor a la habitación en las horas restantes.

## Introducción

Las temperaturas máximas y mínimas medias en la ciudad de Salta, a lo largo del año indican una necesidad de climatización moderada, que requiere calentamiento en los meses de junio a agosto y refrescamiento de setiembre a febrero. En un trabajo anterior(1) se presentó un sistema de acondicionamiento utilizable en ambas situaciones. A continuación se evaluará su prestación de invierno.

Se ha utilizado un sistema activo que mediante un ventilador introduce aire caliente proveniente de un colector en una pared doble interna a la casa, que hace las veces de acumulador. El mismo funciona de 10 a 18 hs, entregando el calor necesario para realizar la acumulación en la pared, calor que ésta entregará al local en las restantes horas del día.

Con el fin de evaluar el funcionamiento del acumulador, que es la parte más interesante del sistema, en su doble función de carga durante el día y descarga a la noche, se ha utilizado

\*Investigador del CONICET

†Instituto UNSa. - CONICET

un calentador eléctrico para suministrar aire caliente al muro en las horas del día. En las secciones que siguen se describe el dispositivo experimental y los ensayos realizados y se efectúa la discusión correspondiente.

### Dispositivo experimental

Se construyó el sistema en un local de  $2.60 \times 2.70 \times 2.40 \text{ m}^3$ . Consta de una pared doble de  $2.26 \times 2.30 \times 0.42 \text{ m}^3$  con una cavidad por donde circula el aire dividida en dos partes mediante un tabique horizontal, de manera que el aire entre en la parte superior, recorra el muro horizontalmente y retorne por la parte inferior para salir al exterior o para ser recirculado. Un esquema de la circulación de aire se muestra en la figura 1. La masa total de ladrillo es de 3200 kilogramos.

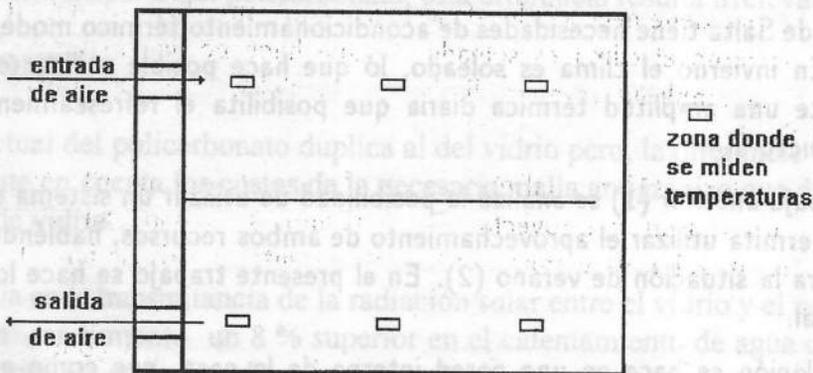


Fig.1: Esquema de entrada y salida de aire en el muro

Se mide la potencia eléctrica entregada, las temperaturas del aire a lo largo de circuito, la temperatura del muro a distintas profundidades y las temperaturas del local y del exterior. Con ese fin se ha utilizado un sistema de adquisición de datos de 32 canales instalado en una computadora PC386.

Se ha utilizado una resistencia eléctrica de 1500 vatios para calentar el aire que entra al muro, la que funciona entre las 10 y las 18 horas. En los ensayos se han usado dos formas de circulación de aire. En una se ha hecho pasar por la resistencia eléctrica aire tomado directamente desde el exterior. En la otra el aire se ha recirculado, es decir, se ha colocado un ducto que toma el aire de salida del muro para volver a inyectarlo a la entrada de la resistencia y ventilador. Este segundo esquema aprovecha mejor el calor suministrado y se corresponde mejor con la situación real, cuando se utiliza un colector solar.

Se han utilizado distintos flujos de aire para evaluar cual es el más conveniente. Ello se ha regulado colocando una compuerta variable en el circuito del ventilador.

### Resultados experimentales

Se tomaron medidas de funcionamiento del sistema durante varias semanas en distintas condiciones de flujo y recirculación. En las figuras 2 a 4 se muestran algunos de los

resultados correspondientes a los flujos de aire y saltos de temperatura sobre la resistencia indicadas en la Tabla 1. En los tres primeros el aire entraba directamente desde el exterior mientras que en la última línea el aire de entrada era el proveniente de la salida del ducto, es decir, se hizo recirculación.

Flujo	$\Delta T$ C	$\dot{m}$ Kg/seg	$\dot{m}$ $m^3/seg$	$\dot{m}$ $m^3/min$	$\dot{m}$ $m^3/hr$
Mayor	17	0.088	0.068	4.07	244.34
Medio	25	0.060	0.046	2.77	166.15
Menor	62	0.024	0.018	1.12	67.00
Recir.	10	0.150	0.115	6.92	415.4

Tabla 1: Distintos flujos de aire

Las figuras 2 y 3 muestran las temperaturas ambiente exterior, la del local, la de la superficie de la pared, la temperatura interna del muro y las de entrada y salida de aire, para la misma situación sin y con recirculación, respectivamente.

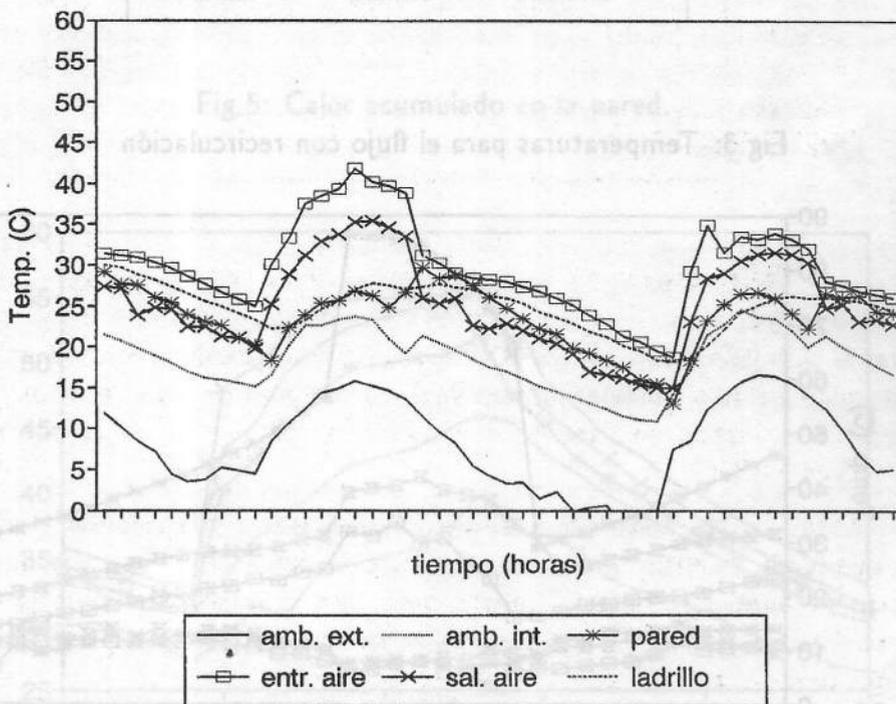


Fig.2: Temperaturas para el flujo medio sin recirculación

En la figura 4 se muestran a modo de comparación las temperaturas de entrada de aire en el ducto (denominadas: aire flujo ...), y la diferencia entre la temperaturas de la habitación y la ambiente exterior (demonimadas:  $dT$  flujo ...), correspondientes a los tres primeros flujos señalados en la tabla 1.

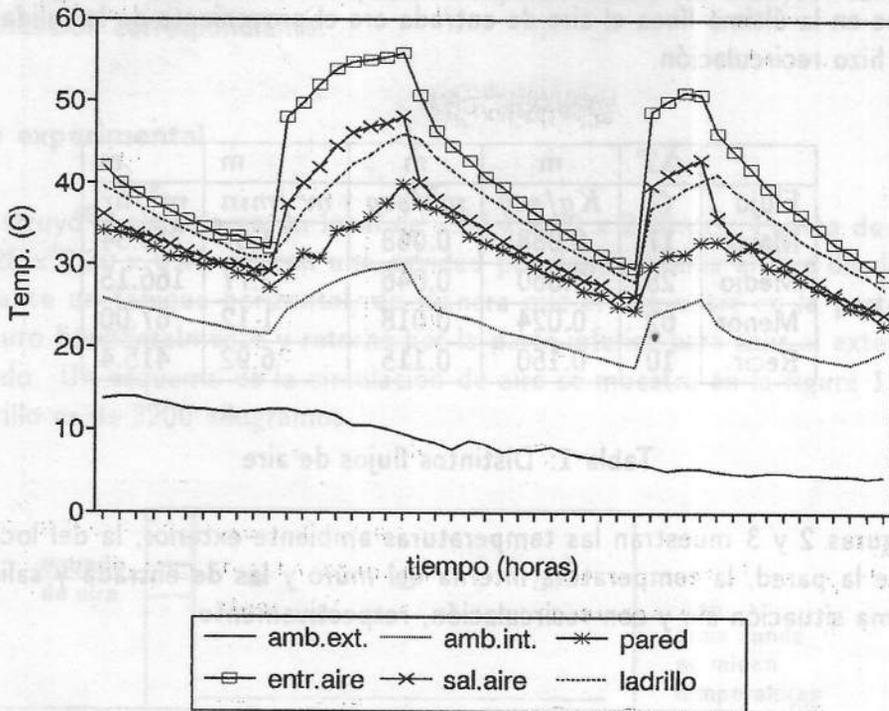


Fig.3: Temperaturas para el flujo con recirculación

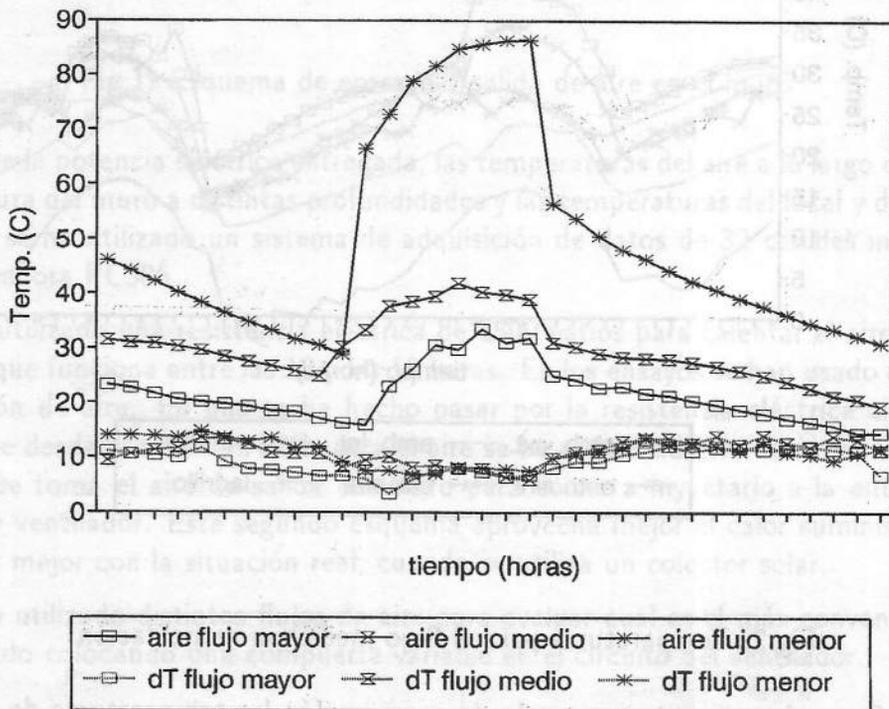


Fig.4: Temperaturas de aire y diferencia entre entrada y salida para los tres flujos sin recirculación

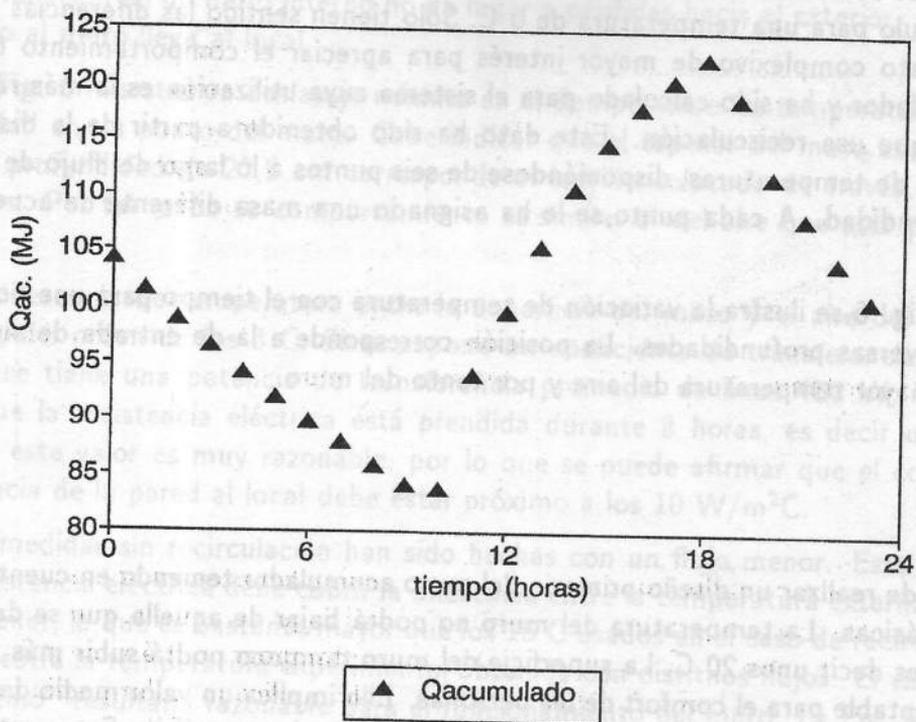


Fig.5: Calor acumulado en la pared.

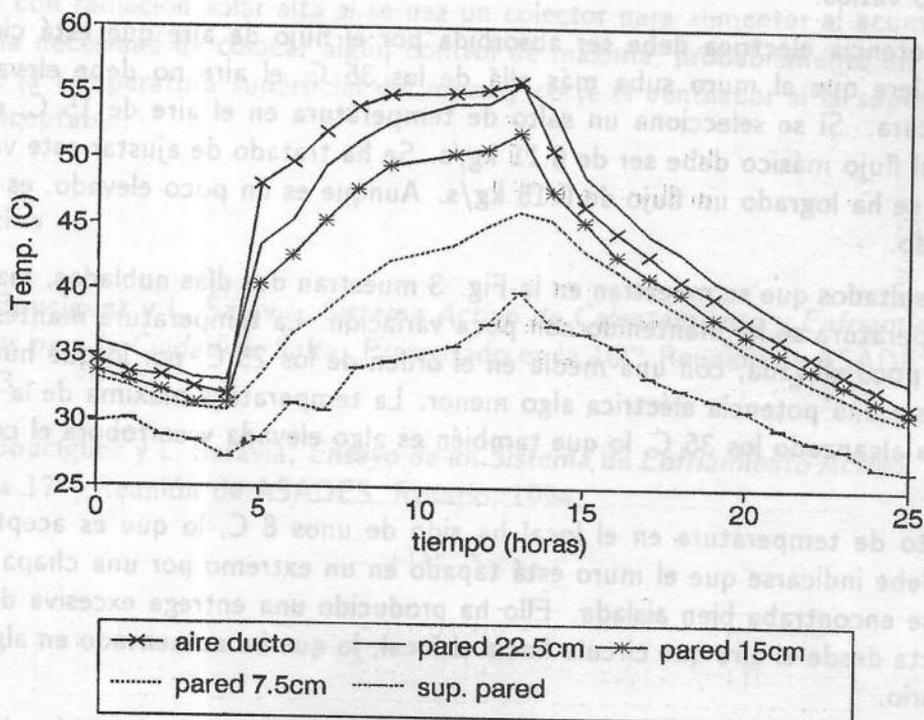


Fig.6: Temperaturas de aire y muro a la entrada del aire.

En la Fig. 5 se muestra el calor que se ha ido acumulando en el caso con recirculación para el día que se muestra en la Fig. 3. Este cálculo se ha referido arbitrariamente a calor acumulado nulo para una temperatura de 0 C. Sólo tienen sentido las diferencias de calor. Este es el dato complejo de mayor interés para apreciar el comportamiento del muro como acumulador y ha sido calculado para el sistema cuya utilización es la más razonable, es decir, el que usa recirculación. Este dato ha sido obtenido a partir de la distribución experimental de temperaturas, disponiéndose de seis puntos a lo largo del flujo de aire y de tres en profundidad. A cada punto se le ha asignado una masa diferente de acuerdo a su posición.

En la Fig. 6 se ilustra la variación de temperatura con el tiempo para una posición en el muro y diversas profundidades. La posición corresponde a la de entrada de aire, donde se tiene la mayor temperatura del aire y por tanto del muro.

## Discusión

Se puede realizar un diseño primario del muro acumulador teniendo en cuenta algunas relaciones básicas. La temperatura del muro no podrá bajar de aquella que se desea tener en el local, es decir unos 20 C. La superficie del muro tampoco podrá subir más allá de un valor no aceptable para el confort de las personas. Ello implica un valor medio del orden de los 35 C dentro del muro, para no pasar de unos 30 C en la superficie. Estas estimaciones implican que el muro no podrá subir más de 15 C en promedio durante el período de calentamiento. Teniendo en cuenta la masa de 3200 Kg ello implica una acumulación de 48 MJ. Si la energía se debe entregar con una resistencia eléctrica durante 8 horas, la potencia eléctrica debe ser de 1660 vatios. Por tal razón se ha elegido una resistencia que entrega 1500 vatios.

Esta potencia eléctrica debe ser absorbida por el flujo de aire que está circulando. Si no se quiere que el muro suba más allá de los 35 C, el aire no debe elevar mucho su temperatura. Si se selecciona un salto de temperatura en el aire de 15 C, el cálculo indica que el flujo másico debe ser de 0.11 kg/s. Se ha tratado de ajustar este valor en el prototipo y se ha logrado un flujo de 0.15 kg/s. Aunque es un poco elevado, es el que se ha mantenido.

Los resultados que se muestran en la Fig. 3 muestran dos días nublados, razón por la cual la temperatura se ha mantenido con poca variación. La temperatura mantenida en el local es un poco elevada, con una media en el orden de los 25 C, por lo que hubiese sido necesario usar una potencia eléctrica algo menor. La temperatura máxima de la superficie del muro ha alcanzado los 36 C, lo que también es algo elevada y corrobora el comentario anterior.

El salto de temperatura en el local ha sido de unos 8 C, lo que es aceptable. No obstante, debe indicarse que el muro está tapado en un extremo por una chapa metálica, la que no se encontraba bien aislada. Ello ha producido una entrega excesiva de calor en forma directa desde el aire que circula hacia el local, lo que ha aumentado en algo el salto térmico diario.

La Fig. 5 indica que el muro ha acumulado durante el día unos 40 MJ, mientras que la resistencia eléctrica ha entregado 43 MJ. La diferencia ha pasado directamente desde el aire al local a través del extremo ya mencionado. Es interesante remarcar el hecho de que

esta acumulación en un muro interno no da lugar a pérdidas hacia el exterior. Todo el calor entregado al muro llega al local.

La Fig. 6 muestra un desfase mínimo en el tiempo entre las temperaturas a distinta profundidad en un punto del muro. Cabe indicar que el espesor del muro es pequeño (15 cm). La profundidad de 22,5 cm corresponde al ladrillo colocado de través, que une los dos muros. Por tal razón su comportamiento es similar al del aire que está pasando a su alrededor.

La diferencia de temperatura entre la superficie del muro y el aire del local es, en promedio, del orden de los 8 C. Si se supone un coeficiente de transferencia de unos 10 W/m<sup>2</sup>C, se tiene una potencia de transferencia promedio de unos 480 W. Teniendo en cuenta que la resistencia eléctrica está prendida durante 8 horas, es decir un tercio del día total, este valor es muy razonable, por lo que se puede afirmar que el coeficiente de transferencia de la pared al local debe estar próximo a los 10 W/m<sup>2</sup>C.

Las medidas sin recirculación han sido hechas con un flujo menor. Esto es debido a que la resistencia eléctrica debe cubrir la diferencia entre la temperatura externa y la que se desea obtener, la que es bastante mayor que los 15 C usados en el caso de recirculación. La Fig. 4 muestra la temperatura experimental obtenida con distintos flujos. El valor indicado como "medio" resultaría razonable para el funcionamiento del muro. La Fig. 2 muestra el funcionamiento del muro en esas condiciones.

Los ensayos realizados muestran que el funcionamiento del muro como acumulador es interesante. Los datos recogidos permiten tener una idea de los distintos coeficientes necesarios para realizar un diseño computacional del sistema. Es importante los resultados obtenidos con una entrega de calor algo superior a la conveniente, lo que podría suceder en un día con radiación solar alta si se usa un colector para alimentar al acumulador. Ello indicaría la necesidad de colocar algún control de máxima, probablemente un termómetro que sense la temperatura superficial del muro y corte el ventilador si la superficie excede un valor aceptable.

## Referencias

1. A. Boucíguez y L. Saravia, *Sistema Activo de Calentamiento y Enfriamiento de Edificios para la Ciudad de Salta*. Presentado en la 16<sup>va</sup> Reunión de ASADES. La Plata, 1993.
2. A. Boucíguez y L. Saravia, *Ensayo de un Sistema de Enfriamiento Activo*. Presentado en la 17<sup>va</sup> Reunión de ASADES. Rosario, 1994.