

# EL MURO VENTILADO COMO ACUMULADOR DE INVIERNO Y VERANO : SIMULACIÓN Y COMPARACIÓN CON LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES

Luis Saravia<sup>2</sup> y Angélica Bouciguez  
INENCO<sup>1</sup>, Universidad Nacional de Salta  
Buenos Aires 177, 4400, Salta, Argentina  
Tel. : 54-87-255423, fax 54-87-255489,  
correo el. : saravia@ciunsa.edu.ar

## RESUMEN

En trabajos anteriores (1,2) se evaluó la posibilidad de acondicionar un edificio en la ciudad de Salta, tanto en invierno como en verano, utilizando como acumulador una pared doble de ladrillo con una separación central por donde circula el aire impulsado por un ventilador. A continuación se presenta una simulación numérica del funcionamiento del muro y se comparan los resultados de la misma con los valores experimentales obtenidos en un prototipo cuya área efectiva de muro es de 10.4 m<sup>2</sup> y está colocado en un local de 7 m<sup>2</sup> de área de piso. La simulación puede ser utilizada para predecir el comportamiento del muro en condiciones reales de funcionamiento como parte de un edificio.

## INTRODUCCION

Dado que el clima de la ciudad de Salta tiene saltos de temperatura diurno-nocturno de cierta entidad se ha procurado satisfacer la demanda de verano mediante la ventilación estructural del edificio. El sistema debe ser activo ya que los flujos de aire requeridos para la ventilación son demasiado altos para usar la convección natural. Se ha buscado evitar el flujo de aire en el interior de los locales, para lo cual la acumulación se realiza en muros dobles de ladrillo con circulación del aire en el espacio que los separa. La transmisión de calor desde el local hacia el muro durante el día se realiza en forma pasiva, sin intervención del ventilador. El uso de muros internos como acumuladores permite tener mejor contacto con los locales ya que ambas caras del muro son usadas en la transmisión de calor.

Durante el invierno se tiene un clima soleado por lo que el uso de la radiación solar con fines de calentamiento resulta adecuado. El ventilador permite llevar el aire caliente desde los colectores al muro durante el día. A la noche el muro entrega calor al local en forma pasiva. La circulación forzada da mayor libertad en la colocación de los colectores, que pueden estar en una pared que mire al norte o sobre el techo.

En este trabajo se presenta una simulación numérica del sistema, la que se detalla en las siguientes secciones. También se ha construido un prototipo con el fin de ensayar el funcionamiento general del sistema y ajustar los resultados de la simulación numérica del equipo.

## EL PROTOTIPO

El prototipo se construyó en un local de 2.60x2.70x2.40 m<sup>3</sup>. Consta de una pared doble de 2.26x2.30x0.42 m<sup>3</sup> con la cavidad por donde circula el aire dividida en dos partes mediante un tabique horizontal, de manera que el aire entra en la parte superior, recorre el muro horizontalmente y luego retorna por la parte inferior para salir al exterior. En ambos extremos se ha cerrado el muro con chapas metálicas aisladas. El ventilador está colocado a la salida, de manera que el muro está trabajando en depresión.

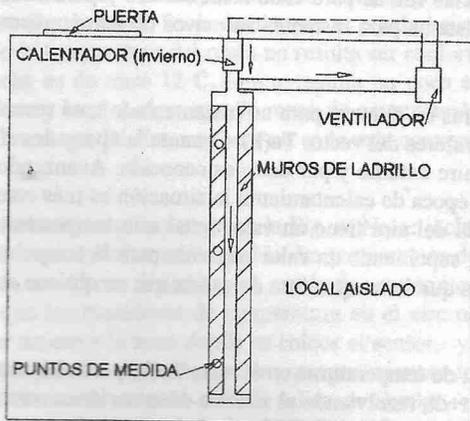


Fig. 1.- Esquema en planta del prototipo mostrando el muro doble, el ventilador y el calentador.

<sup>1</sup> Instituto UNSa - CONICET  
<sup>2</sup> Investigador del CONICET

La Fig.1 muestra un esquema en planta donde se aprecia la disposición relativa de los elementos dentro del local. Durante el verano el aire es tomado directamente desde el exterior en una pared sur evitando recalentamientos residuales. Durante el invierno se simulará el colector colocando un calentador eléctrico en la cañería de entrada de aire y una cañería que permite la recirculación del aire en forma similar a lo que se haría con un colector.

Las medidas se realizaron con un sistema de adquisición de datos que consta de una microcomputadora PC-XT con dos tarjetas de adquisición totalizando 24 canales. Las temperaturas se han medido con sensores LM335 en los lugares donde no se tiene problemas con el tamaño, o con termistores de 1 mm de diámetro en caso contrario. Se han colocado 6 puntos de medida a lo largo del acumulador. En cada uno se mide la temperatura del aire que circula en el interior, dos temperaturas en el ladrillo y una temperatura superficial. También se miden temperaturas en el aire del local y en el exterior.

### LA SIMULACIÓN NUMÉRICA.

Se usará un modelo físico del muro idealizado en el sentido de suponer que el sistema está formado por dos muros de superficie plana tanto del lado que da al local como del lado en contacto con el ducto por el que pasa el aire.

Se usará un esquema de simulación numérica en diferencias finitas donde el muro y el aire que circula se dividen en NZ zonas a lo largo del flujo, como se esquematiza en la Fig. 2, identificadas con un índice entero k. Esta dirección se la identifica como el eje z. Se supone que el aire en cada zona tiene una temperatura  $T_a(k)$ . El muro se lo supone en cada zona con una distribución de temperatura unidimensional, que cambia según la dirección x normal a la superficie del muro. A lo largo del eje x se consideran NP puntos igualmente distanciados en el muro, con el primero y el último colocados sobre las superficies. Un índice i identifica cada punto. A cada punto se asocia una placa de muro, siendo las de la superficie de espesor mitad al resto. La temperatura del muro en cada punto,  $T_m(i,k)$  dependerá del punto y de la zona, o sea, de los índices i y k.

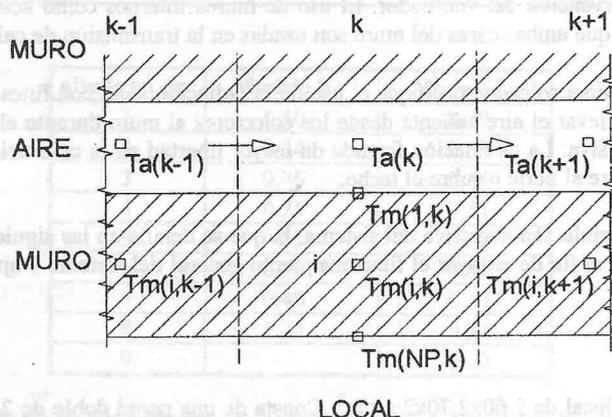


Fig. 2.- Muestra un esquema del muro y el aire circulante, indicando la discretización de la distribución de temperaturas en el aire y en el muro.

Se plantea una ecuación en diferencias finitas para cada zona de aire y para cada placa de muro relacionada con un punto y una zona. La solución del sistema para instantes sucesivos de tiempo discretizados en intervalos  $dt$  se plantea en dos etapas.

Dada una distribución de temperaturas en el muro para un instante dado  $t$ , se resuelven el conjunto de ecuaciones relacionadas con el aire obteniendo los valores del vector  $T_a(k)$ . Durante la época de refrescamiento la resolución es directa ya que  $T_a(1)$  es la temperatura del aire externo y por tanto es conocida. Avanzando a lo largo del flujo se obtienen los sucesivos valores  $T_a(k)$ . Durante la época de calentamiento la situación es más complicada ya que existe recirculación, por lo que la temperatura de entrada del aire tiene un valor igual a la temperatura de salida del aire. En este caso el sistema se ha resuelto por iteración, suponiendo un valor conocido para la temperatura de entrada del aire y repitiendo el cálculo con distintos valores hasta que la temperatura de salida que se obtiene sea prácticamente la misma que la de entrada.

Una vez determinada la distribución de temperaturas en el aire,  $T_a(k)$  para el instante  $t$ , se pasa a calcular la distribución de temperaturas en el muro en  $t+dt$ , resolviendo el sistema de ecuaciones correspondiente a cada zona de muro por separado como si fuese un muro unidimensional. Esto se puede hacer en forma explícita o implícita, obteniéndose las temperaturas  $T_m(i,k)$  para cada k y todo i.. Obtenidas las temperaturas del muro, se reinicia el ciclo de cálculo obteniendo la nueva distribución de temperaturas en el aire.

Con el fin de simplificar la explicación, no se planteó antes el hecho de que también debe plantearse el balance térmico en el local, cuya temperatura  $T_l$  es una variable función del tiempo. Esta ecuación se plantea en el instante  $t$  suponiendo

do conocidas las temperaturas de superficies del muro y la temperatura del aire exterior. El prototipo posee paredes y techos livianos, por lo que se los considera sin masa y con una cierta resistencia térmica. El piso posee una aislación importante a cierta distancia por debajo de su superficie, por lo que se lo trata como un muro unidimensional con masa en forma similar a lo hecho con el muro del acumulador. La ecuación tiene como única incógnita la temperatura del local,  $T_l$ , que se despeja directamente.

Al plantear las ecuaciones se utilizan algunos parámetros térmicos que son objeto de estimación en función de resultados experimentales. Los más importantes son los coeficiente de transferencia entre el aire que circula y el muro, así como entre el muro y el local. En las secciones que siguen se aplica la simulación a una secuencia de medidas en invierno y otra en verano, comparándose los valores calculados con los experimentales y discutiendo los valores utilizados para los parámetros.

### CALCULO PARA UNA SECUENCIA DE DIAS DE INVIERNO Y OTRA DE VERANO.

Se aplicará la simulación a una secuencia de días de invierno, correspondientes al 4 y 5 de julio de 1996. Por razones de espacio sólo se muestra en la Fig. 3 los resultados para algunas de las variables, las temperaturas del aire exterior, la del local, la del aire de circulación a la entrada y salida y la de superficie del muro en contacto con el local.

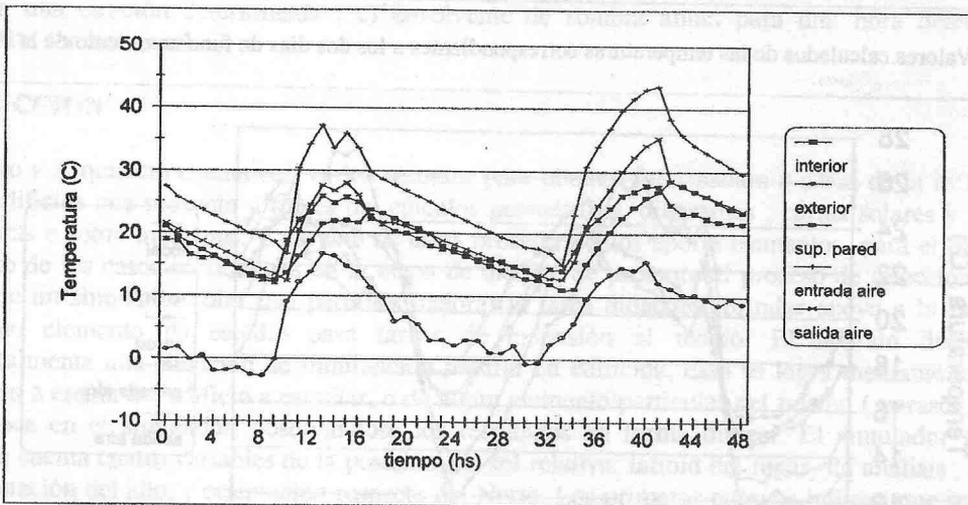


Fig. 3.- Resultados experimentales correspondientes a dos días de funcionamiento del prototipo durante el invierno, el 4 y 5 de julio de 1996.

Como se aprecia, la temperatura externa llegó a valores ligeramente por debajo del 0 C hacia finales de la noche. Los días fueron soleados y el calefactor se prendió durante 5 horas y media el primer día y 7 horas y media el segundo. La potencia usada en el calefactor fue de 1100 vatios y el flujo de aire era de 0.07 kg/s o sea 252 kg/hora. La potencia entregada por el calefactor fue estimada teniendo en cuenta que la temperatura media externa estaba en el orden de los 7 C y se deseaba mantener alrededor de 20 C en el interior del prototipo. El flujo de aire es el necesario para tener un salto de 16 C sobre la resistencia eléctrica, es decir, el colector. Esto determina la temperatura máxima a que llega el aire que circula, que en este caso fue de 43 C. Es probable que se pueda bajar algo el flujo de aire pero no en forma sustancial, ya que de lo contrario la temperatura del muro no resulta ser confortable. Se aprecia que la caída de temperatura en el local durante la noche es de unos 12 C, lo que resulta un poco excesiva, indicando la necesidad de una mayor área de contacto entre muro y local y algo más de masa de acumulación. Cabe expresar que la colocación del muro fue adoptada por razones de ensayo del sistema, pero no es la más conveniente desde el punto de vista del funcionamiento real del sistema.

Los resultados de la simulación numérica se muestran en la Fig. 4. No se incluyó la temperatura del aire exterior, que es la misma. La reproducción de los resultados es razonable. La temperatura de entrada del aire llega a los 43 C en el segundo día. La forma de la curva es un poco distinta y los resultados experimentales tienen una forma algo más redondeada. Debe tenerse en cuenta que los medidores de temperatura en el aire no tienen protección contra la radiación, debido a que es muy difícil tener acceso a la zona donde se coloca el sensor, y por tanto están promediando en algo la temperatura del aire con las de las paredes circundantes, las que por su masa levantan menos bruscamente su valor. La diferencia de temperatura entre el aire de entrada y el de salida es similar, en el orden de los 10 C. También debe considerarse que estas temperaturas son diferentes de las de la pared durante el día, cuando el ventilador está encendido. El local llega a tener un valor máximo durante el primer día, de 22 C en el cálculo y 23 en la experiencia, bajando a finales de la noche a unos 11 C en ambos casos. La diferencia de temperatura entre local y pared de acumulador es algo más alta en el cálculo que en la experiencia. El coeficiente convectivo usado entre muro y aire circulante es de 14  $w/m^2C$  mientras que entre muro y local se adoptó un valor de 10. La velocidad media del aire dentro del ducto es del orden de los 1.6 m/s.

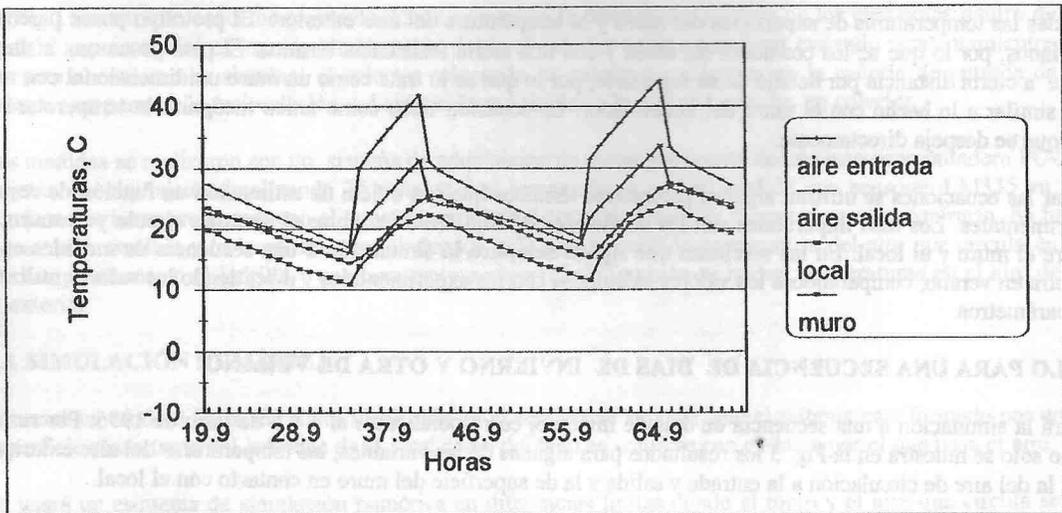


Fig. 4.- Valores calculados de las temperaturas correspondientes a los dos días de funcionamiento de la Fig. 3.

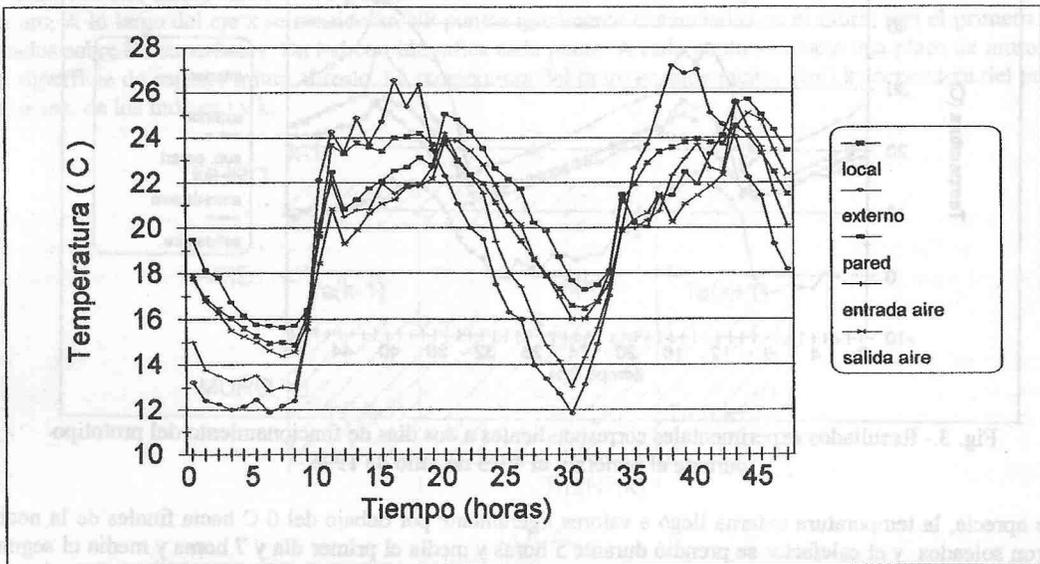


Fig. 5.- Resultados experimentales correspondientes a dos días de funcionamiento del prototipo durante el verano, del 13 al 14 de diciembre de 1995.

La Fig. 5 muestra los resultados experimentales para dos días de verano, 13 y 14 de diciembre de 1995. La ventilación nocturna fue efectivizada entre las 19 horas y las 9 horas del día siguiente. La temperatura externa tiene un salto de 14 C entre el día y la noche, teniendo un máximo de 27 C y llegando a bajar a 12 C. El muro llega a unos 25 C durante el día bajando a 17 hacia fines de la noche. Se aprecia que durante el día, cuando la temperatura del local puede adquirir los valores más altos, el local permanece a una temperatura intermedia entre la externa y la del muro. De esa manera no sube de los 24 C. Durante la noche el local sigue la caída de temperatura externa y del muro. Es de hacer notar que el prototipo tiene muy poca masa por lo que no tiene otra alternativa. Es así que llega a tener una temperatura mínima de 16 C. Por razones de espacio no se mostrará en detalle la simulación de estos resultados, la que da valores con un acuerdo razonable, del mismo orden que el obtenido para el caso de calentamiento.

La simulación numérica abre la posibilidad de realizar un análisis más detallado de un diseño destinado a una situación real, pudiéndose observar el efecto de la variación de los parámetros más importantes, como ser área y masa del muro, flujo de aire, área de colectores, etc.

#### REFERENCIAS

- 1.- Bouciguez, A. y Saravia, L., Sistema activo de calentamiento y enfriamiento de edificios para la ciudad de Salta, Actas de la 16ta. Reunión de ASADES y 7ma Reunión de ALES, La Plata, Argentina, pp. 159, 1993.
- 2.- Bouciguez, A. y Saravia, L., Ensayo de un sistema de calentamiento y refrescamiento (estado de avance), Actas de la 17ma. Reunión de ASADES, Rosario, Argentina, pp. 39, 1994.