

# SISTEMA ACTIVO DE CALENTAMIENTO Y REFRESCAMIENTO DE EDIFICIOS PARA LA CIUDAD DE SALTA

A. Boucíguez y L. Saravia\*

INENCO†

Universidad Nacional de Salta

Buenos Aires 177

4400 - Salta.

## Introducción

Varias ciudades situadas en la mitad norte de la zona precordillerana de la Argentina tienen un clima con necesidades de acondicionamiento térmico tanto de invierno como de verano. Durante los meses de invierno el clima es soleado, por lo que resulta factible el uso de la energía solar para calentamiento. Durante los meses de verano se tienen temperaturas altas durante el día, pero se dispone de una buena caída de temperatura a la noche debido a la baja humedad y la altura en algunos casos. Ello hace factible el uso de técnicas de enfriamiento como las de ventilación estructural.

En el presente trabajo se analizan las posibilidades de utilización de un sistema de acondicionamiento que permita el aprovechamiento de ambos recursos. El sistema es activo y utiliza el aire como medio de transporte de energía. Una pared doble de ladrillo con circulación central de aire es usada como elemento acumulador. Las paredes formarían parte de las divisiones internas del edificio. Se ha seleccionado la circulación forzada para mover el aire ya que facilita el uso dual calentamiento - refrescamiento del sistema y permite una mayor flexibilidad en la colocación de los elementos, lo que resulta especialmente importante en el caso de los edificios urbanos. El colector puede estar colocado en el frente norte del edificio o en su techo. De acuerdo al diseño del edificio se pueden usar varios sistemas pequeños ubicando las paredes de acumulación en los lugares que resulten convenientes.

El uso de una ventilación estructural interna al muro tiene la ventaja de que el aire no circula dentro del local a utilizar, lo que puede ser molesto, especialmente en el caso de dormitorios. El uso de la pared doble fue propuesto en un trabajo anterior (1) pero no llegó a ser construido. El uso dual del equipo lo hace mucho más factible desde el punto de vista económico, ya que se usa la mayor parte del año.

En las secciones que siguen se describe el sistema y se lo analiza térmicamente. Finalmente, se describe un prototipo construido en un local experimental de  $16m^2$  de área.

---

\*Investigador del CONICET

†Instituto UNSa. - CONICET

## Descripción del Sistema.

La Figura 1 muestra un esquema del sistema en sus dos alternativas de trabajo. La acumulación se realiza en una pared interna del edificio, la que se construye como una pared doble con una zona central hueca por donde fluye el aire. La pared tiene una división central horizontal, la línea punteada del dibujo, que ordena la circulación del aire.

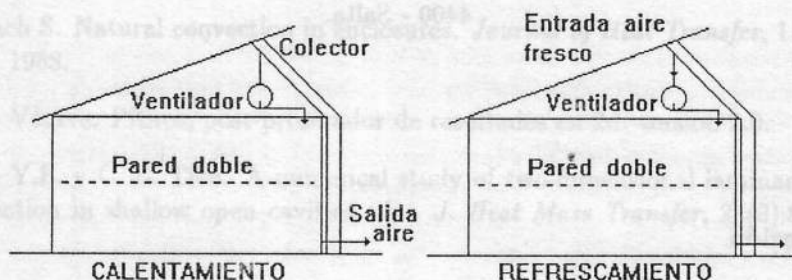


Figura 1: Esquema de trabajo del sistema dual

Durante el verano, un ventilador toma aire fresco del exterior al comenzar la noche y lo bombea a lo largo de la pared hasta el amanecer, alrededor de doce horas. El aire enfría los ladrillos que forman parte de los dos lados de la pared, los que se han estado calentando durante el día. Finalmente, el aire vuelve a salir al exterior. Durante el día el aire se mantiene quieto en el interior de la pared y los ladrillos trabajan como un muro absorbente a una temperatura ligeramente inferior, en unos pocos grados, a la del local.

Durante el invierno el ventilador se conecta a un colector que estará situado mirando al norte en el techo o en una pared del edificio. El colector será del tipo liviano, fabricado a bajo costo con una chapa ondulada pintada de negro que trabaja como superficie absorbente, un vidrio o plástico por delante y un ducto por detrás donde pasa el aire que se calienta. El ventilador comenzará a trabajar en la mañana y lo hará durante unas diez horas. El aire pasará por la pared calentando los ladrillos y saldrá nuevamente al exterior. Durante la noche el aire se mantiene quieto en el interior de la pared y los ladrillos trabajarán como un muro radiante entregando calor al local.

El muro se construye con ladrillo. La Figura 2 muestra dos disposiciones posibles para los ladrillos. En la primera, se usan dos muros de 15cm separados por un túnel de aire del mismo espesor. En la segunda se ubica una fila de ladrillos en forma normal y la siguiente con los ladrillos cruzados a 90°, formando túneles de sección pequeña por donde circula el aire. La segunda disposición tiene la ventaja potencial de disponer de mayor masa, un 25% más que la otra versión. También aumenta el área de contacto entre el aire y el ladrillo, aunque lo hace en una zona más alejada de la superficie de intercambio de calor con el local. Los túneles pequeños permiten una distribución más uniforme del aire, a costa de una potencia ligeramente mayor en el ventilador.

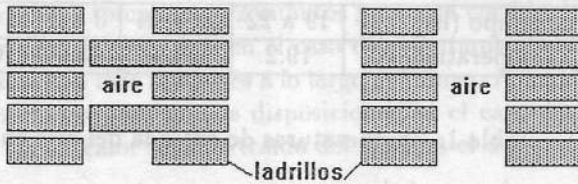


Figura 2: Corte esquemático de la pared a utilizar

## Evaluación Teórica del Comportamiento Térmico del Sistema

El sistema está constituido por una masa térmica, la pared acumuladora, sujeta a variaciones de temperatura en su superficie. Su comportamiento será estudiado aplicando la ecuación de difusión térmica a la masa de ladrillos teniendo en cuenta las condiciones iniciales y de borde. Dada la geometría del problema, se utilizará un método numérico para su resolución, el sistema es pequeño por lo que se divide la masa según una cuadrícula y se usa el método explícito para avanzar en el tiempo. El problema tiene tres dimensiones, por lo que se usará una cuadrícula en cada sección del muro, a la que se asigna los ejes  $x - y$ , y una división en varias secciones a lo largo del muro, dirección identificada con el eje  $z$ . La cuadrícula será la misma tanto para calentamiento como para refrescamiento, para su trazado hay que tener en cuenta el problema de convergencia del método directo; en el caso del calentamiento las exigencias son mayores debido al uso de un flujo menor de aire y a la existencia de mayores saltos de temperatura. La Figura 3 muestra la sección del muro que se estudiará, la que se ha elegido teniendo en cuenta las simetrías existentes.

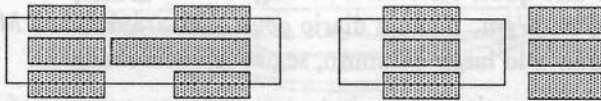


Figura 3: Sección del muro que se estudia

Dado que la punta del ladrillo transversal puede insertar una resistencia térmica adicional si no se lo une bien al resto, se ha preferido no tener en cuenta la posible simetría según el plano central del muro. Se supone que la argamasa tiene las mismas características físicas que el ladrillo. A cada punto de la cuadrícula se le asigna una masa térmica calculada con una densidad  $\rho = 1800 \text{ Kg/m}^3$ , un calor específico  $C_p = 900 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$ . En el caso de las superficies la masa se divide por dos y en los vértices se dan diversas situaciones, ya sea tres cuartos o un cuarto de la masa. En la parte central superior del dibujo se encuentra el canal de circulación de aire, involucrando tres puntos que deberán tener la temperatura del aire que circula por el interior del muro. A cada costado se ha agregado una columna de puntos representando el aire del

Tiempo (hs)	19 a 22	22 a 24	0 a 5	5 a 8	8
Temperatura (C)	19.2	17.5	15.5	16.5	17.5

Tabla 1: Temperaturas de entrada del aire en verano

Tiempo (hs)	10	11	12 a 17	17	18
Temperatura (C)	24.5	29.0	35.0	32.0	26.0

Tabla 2: Temperaturas de entrada del aire en invierno

local, que intercambia calor con el muro. Por razones de cálculo se han agregado filas de puntos, arriba y abajo, aunque su temperatura no sea de interés por tener una conexión adiabática con el muro. La cuadrícula total tiene  $5 \times 15$  puntos.

Cada punto tiene cuatro conexiones térmicas con los puntos vecinos. En un punto interior genérico las resistencias se calculan teniendo en cuenta la conductancia térmica del ladrillo, para la cual se adopta un valor de  $k = .85W/mC$ . En las superficies superior e inferior la simetría impone una conexión adiabática. En la superficie de contacto con el aire que circula interiormente se utiliza un coeficiente convectivo  $h_c = 15W/m^2C$ . En la superficie externa de contacto con el local se usará un coeficiente convectivo  $h_i = 8W/m^2C$ . Estos valores son estimativos y se espera que las medidas experimentales permitan verificarlos o corregirlos.

Durante el cálculo se evalúa el flujo térmico instantáneo desde el local al *manejador*, referido a la superficie de cada lado de la pared y por lo tanto medido en  $W/m^2$ . También se evaluará el flujo diario *qintot* dado como  $MJ/m^2 dia$ . Se calculará el flujo entregado al aire *qout*, referido a la longitud del túnel por el que pasa el aire y por lo tanto medido en  $W/m$ . El flujo diario *qoutot* estará dado en  $MJ/m^2 dia$ . Todos estos valores variarán a lo largo del muro, según la coordenada  $z$ .

El aire entra al muro a cierta temperatura que variará a lo largo del día. La Tabla 1 da los valores usados en el cálculo de refrescamiento para un día tipo entre las 19hs. de la noche y las 8hs. del día siguiente. La Tabla 2 da los valores usados en el cálculo de calentamiento para un día tipo entre las 10hs. y las 18hs. del día, éstos son los valores entregados por el colector teniendo en cuenta la radiación existente.

Se supondrá que el muro está a una temperatura inicial uniforme, de  $18C$  para el caso de enfriamiento y de  $25C$  para el calentamiento y que la distribución de la temperatura del flujo de aire se repetirá cada día hasta obtener un comportamiento estacionario. De 4 a 7 días de cálculo son suficientes para este propósito.

El flujo de aire seleccionado para trabajar en la época de refrescamiento ha sido de  $0.8Kg/s$ , que asegura una caída de temperatura del aire a lo largo del muro de  $1C$ . Esto equivale a seis renovaciones por hora en el local. Durante el invierno el flujo debe ser considerablemente menor, para asegurar que el colector solar entregue una temperatura adecuada, en el orden de los  $40C$  al mediodía solar.

Los cálculos fueron realizados en Qbasic, con una microcomputadora AT 486 de 25 Mhz. Los mismos toman unos 2 minutos para una corrida de 5 días en el caso de refrescamiento, y unas 3 veces más en el caso de calentamiento debido a la necesidad de usar una división con más secciones a lo largo del muro. A continuación se muestran los resultados obtenidos para ambas disposiciones en el caso de refrescamiento. Los cálculos señalan que el calor total extraído del local en el día es de unos  $640\text{KJ/m}^2$ .

La Figura 4 muestra las temperaturas en el aire y en la pared y el calor extraído del local a lo largo del día, para la disposición que permite diversos ductos de aire. La Figura 5 muestra la variación de temperaturas a lo largo del muro, para distintas horas del día, para la misma situación.

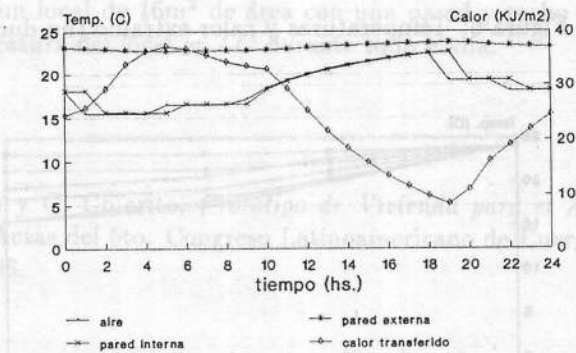


Figura 4: Temperaturas y calor extraído (varios ductos)

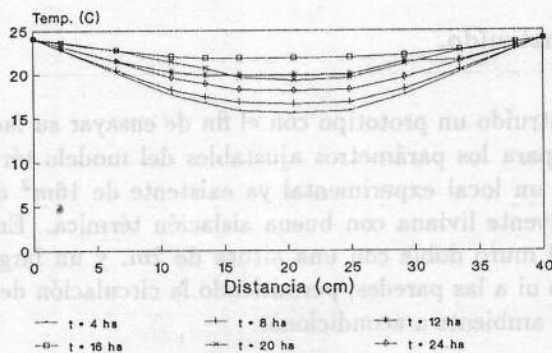


Figura 5: Temperaturas a lo largo de la pared (varios ductos)

La Figura 6 muestra las temperaturas en el aire y en la pared y el calor extraído del local a lo largo del día, para la distribución más sencilla de dos hileras de ladrillos y un ducto central de aire. En la Figura 7 se muestra la variación de temperaturas a lo largo del muro, para distintas horas del día, para la misma distribución.

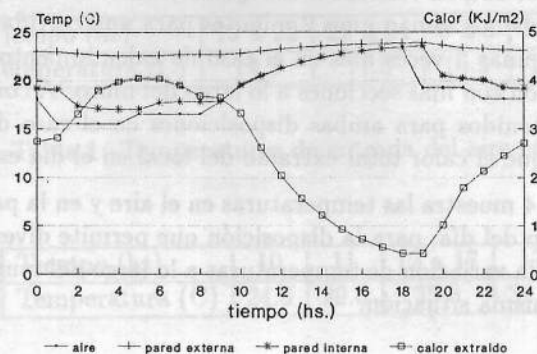


Figura 6: Temperaturas y calor extraído (un ducto)

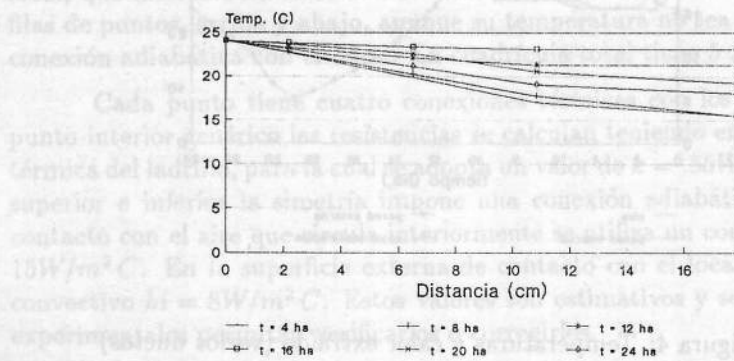


Figura 7: Temperaturas a lo largo de la pared (un ducto)

### Prototipo Construido.

Se ha construido un prototipo con el fin de ensayar su factibilidad y determinar el valor a usar para los parámetros ajustables del modelo térmico ya explicado. Se ha aprovechado un local experimental ya existente de  $16m^2$  de área de piso, el que posee una envolvente liviana con buena aislación térmica. En el centro del local se ha construido el muro doble con una altura de  $2m$ . y un largo de  $2,50m$ . La pared no llega al techo ni a las paredes, permitiendo la circulación de aire que uniformiza la temperatura del ambiente a acondicionar.

Durante el verano un ventilador insufla aire del exterior. Durante el invierno se usará un colector vertical disponible en la fachada norte del local, aprovechándose el ventilador para conectar colector y muro.

El doble muro se ha construido con ladrillos colocados a  $90^\circ$ . Se ha dejado una zona libre en la parte delantera y trasera, la que permitirá la distribución de aire entre los canales, tanto en la entrada del ventilador como en la zona trasera donde gira el flujo de aire. En las dos puntas el muro se cierra con una superficie de madera que puede ser retirada para colocar divisiones en el muro, pudiéndose trabajar con un flujo

con un solo giro de 180° o con tres giros.

## Discusión

Los cálculos indican una performance ligeramente superior para la distribución de ladrillos más sencilla en el caso de refrescamiento. Dado que la diferencia es pequeña y existen otros factores a considerar, como una distribución uniforme del flujo y la influencia de posibles variaciones en los valores de los coeficientes  $h_i$  y  $h_a$ , será necesario realizar experiencias para tomar una decisión al respecto.

Con la disposición y flujo de aire elegidos en los párrafos anteriores, la extracción diaria promedio de calor es del orden de  $640 KJ/m^2 \text{ día}$ , para el muro utilizado en el prototipo. En un local de  $16m^2$  de área con una pared y techo al exterior permitiría bajar la temperatura del local en  $4 C$  durante todo el día.

## Referencias

1. G. Lesino y G. Chiarito, *Prototipo de Vivienda para el Acondicionamiento de Verano*. Actas del 5to. Congreso Latinoamericano de Energía Solar. Valparaíso, Chile, 1986.

## EL METODO PSTAR

Es un método de simulación horaria del comportamiento térmico de un edificio que permite obtener los parámetros globales a partir de mediciones de corta plazo (alrededor de una día) midiendo pocas variables (temperatura interior, exterior, radiación solar, humedad y ganancias interiores [1]). Los datos recogidos pueden emplearse en el análisis de performance térmica del edificio a largo plazo, dispendioso y complejo de calibración, ventilación y sistemas de acondicionamiento de aire como así también realizar comparaciones entre el diseño y la performance real, etc.

Para un edificio de un solo local, bajo ciertas hipótesis, se puede escribir la siguiente ecuación de balance energético al tiempo  $t$ :

$$\begin{aligned} Q_{\text{int}}(t) = U(T_{\text{int}}(t) - T_{\text{ext}}(t)) + Q_{\text{masa}}^{\text{int}}(t) + Q_{\text{masa}}^{\text{ext}}(t) - Q_{\text{sol}}(t) \\ + Q_{\text{calor}}(t) - Q_{\text{vent}}(t) + Q_{\text{húm}}(t) + Q_{\text{int}}(t) \end{aligned} \quad (1)$$

donde:

$Q_{\text{int}}(t)$  = ganancia interna de calor por actividades, iluminación, etc.

$U$  = coeficiente global de pérdida en estado estacionario

$Q_{\text{masa}}^{\text{int}}(t)$  = calor neto que carga (o, si es negativo, descarga) las masas debido únicamente a la variación de la temperatura interior  $T_{\text{int}}$ .

$Q_{\text{masa}}^{\text{ext}}(t)$  = calor neto que carga (o, si es negativo, descarga) las masas debido únicamente a la variación de la temperatura exterior  $T_{\text{ext}}$ .

$Q_{\text{sol}}(t)$  = ganancia neta de calor por el piso inferior debida al sol

$Q_{\text{vent}}(t)$  = pérdidas de calor causadas por infiltraciones y ventilación

$Q_{\text{calor}}(t)$  = calor entregado por los sistemas de calefacción

$Q_{\text{húm}}(t)$  = flujo de calor al suelo

1. Bencard de nacimiento de CONICET