

SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA
ACTIVO PARA EL ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DE EDIFICIOS
EN INVIERNO Y VERANO.

Angélica Boucíguez ¹, María E. Ryan ²
INENCO ³ Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de Salta.
Buenos Aires 177 - 4400 - Salta.
T.E. 087 - 255424. Fax. 087 - 255489.
E-mail:bouciga@unsa.edu.ar

RESUMEN

Este trabajo presenta la simulación numérica del comportamiento de un sistema activo para el acondicionamiento térmico de edificios, usando diferencias finitas en dos dimensiones. Los resultados de la simulación se comparan con los obtenidos experimentalmente.

ABSTRACT

This paper presents a study of an active system for thermal conditioning of building using a two dimensional finite difference model to evaluate its performance. Finally, a comparison between simulation and experimental results are presented.

INTRODUCCIÓN

Diversas ciudades situadas al norte de nuestro país, en la zona precordillerana, tienen necesidades de acondicionamiento térmico moderado durante todo el año; tal es el caso de Salta, ubicada a 24.5° lat. S, 65.3° long. W. de G. y 1200 msnm.

En los meses de invierno el clima es seco y soleado, con altos niveles de radiación, lo que posibilita calefaccionar mediante energía solar. En verano, aunque las temperaturas máximas oscilan entre los 30 y 35 C, existe una sensible caída de estas marcas durante la noche, resultando una amplitud térmica diaria del orden de los 18 C, lo que hace posible el uso de técnicas de enfriamiento por ventilación estructural.

En trabajos anteriores [1, 2, 3] se analizó la posibilidad de instalación de un sistema activo, que utilizando aire como medio de transporte de energía, permitiera la utilización de ambos recursos. Para ello, las paredes que constituyen las divisorias internas del edificio, se construyen dobles, con un ducto interior (dividido en distintos canales para uniformizar el flujo), que permite la circulación central de aire impulsado por un ventilador, dichas paredes son usadas como elementos acumuladores de calor. La transferencia de calor entre éstas y los ambientes a acon-

¹ Docente del Dep. de Física, Fac. de Cs. Ex.

² Alumna de la Carrera de Análisis de Sistemas.

³ Instituto UNSa. CONICET

dicionar, se realiza por convección natural, en virtud exclusivamente de la diferencia de temperatura entre ambos.

En la época invernal el aire caliente proveniente de un colector solar ingresa, por acción del ventilador, al ducto y circula a través de los canales, calentando el aire presente en ellos y la pared doble, a continuación sale de él y es reinyectado a la entrada del colector, lo que contribuye a mejorar la eficiencia del sistema. Al atardecer, se suspende la entrada de aire y la pared doble, que ha alcanzado una temperatura mayor que la de los ambientes circundantes, entrega calor a éstos en razón de esta diferencia de temperatura.

En el período estival, el ventilador toma directamente del exterior el aire fresco durante las horas de la noche; se consigue así bajar la temperatura del aire en el ducto y de la pared doble, la que durante el día, suspendida la toma de aire, absorberá (por convección natural) el calor del ambiente, manteniéndolo confortable.

El sistema se ha ensayado en el campus de la Universidad Nacional de Salta en condiciones reales, utilizando para ello una habitación ya existente. Con el fin de extrapolar los resultados a otras ciudades con características climáticas que permitan la utilización de este recurso, se ha llevado a cabo una simulación numérica del comportamiento de la pared y su transferencia de calor con el ambiente.

A continuación se describe el funcionamiento del sistema, el modelo de cálculo empleado, los resultados del mismo y se realiza una comparación con los resultados experimentales.

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

La figura 1 muestra un corte transversal de la habitación donde se halla la pared doble y una ampliación de la misma mostrando la distribución de los canales. El muro doble se construye de ladrillo, cada mitad de 15 cm de espesor separados por un canal central con divisorias para uniformizar el flujo de aire; éste ingresa, tanto en invierno como en verano, por la parte superior y sale por la inferior, cediendo o absorbiendo, según el caso, cierta cantidad de calor.

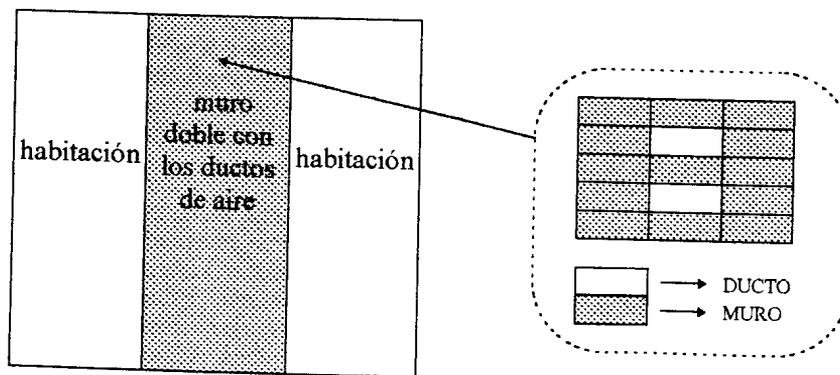


FIGURA 1: Esquema del muro doble y los ambientes a acondicionar.

Durante el invierno, el ventilador funciona de 10 a 18 hs. tomando aire y calentándolo por ejemplo con un colector solar, de modo que ingresa al interior del ducto con las temperaturas que se muestran en la tabla I. A fin de evitar pérdidas de calor, la salida de aire del ducto está conectada directamente con la entrada del mismo, para ser calentado nuevamente, lo que se traduce en una mayor eficiencia del sistema. Mientras esto sucede, el muro doble aumenta su temperatura, acumulando el calor necesario para mantener la habitación dentro de los límites de confort preestablecidos, durante las restantes horas del día. Así, la pared cede durante las 18 y las 10 hs del día siguiente, calor a la habitación, estando ambas al final del proceso (10 hs.) prácticamente a la misma temperatura, lo que demuestra que el calor acumulado en el muro durante el día fue el necesario para lograr el buen funcionamiento del sistema.

TABLA I: Temperaturas de entrada del aire al ducto en invierno, mientras funciona el ventilador.

| horas | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|-----------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Temp. (C) | 24.5 | 29 | 35 | 35 | 42 | 42 | 42 | 35 | 29 |

Durante el verano, el ventilador funciona de 19 a 8 hs. tomando aire fresco directamente del exterior, de modo que ingresa al interior del ducto con las temperaturas que se muestran en la tabla II, que son precisamente las correspondientes a una noche típica de verano en Salta. En este caso, el aire va calentándose a lo largo del ducto, pues absorbe el calor de la pared doble y sale directamente al exterior. Mientras esto sucede, el muro doble disminuye su temperatura, cediendo al aire el calor acumulado durante las restantes horas del día. Así, la pared absorbe, durante las 8 y las 19 hs, calor de la habitación, estando ambas al final del proceso (19 hs.) prácticamente a la misma temperatura, lo que asegura que el sistema funciona correctamente.

TABLA II: Temperaturas de entrada del aire al ducto en verano, mientras funciona el ventilador.

| horas | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------|------|------|------|----|----|----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Temp. (C) | 19.2 | 19.2 | 19.2 | 18 | 18 | 18 | 15.5 | 15.5 | 15.5 | 15.5 | 16.5 | 16.5 | 16.5 | 17.5 |

MODELO DE CÁLCULO, SIMULACIÓN NUMÉRICA Y RESULTADOS

El sistema está constituido por la pared doble, los ductos de aire y la habitación a acondicionar, para estudiar su comportamiento se han aplicado las ecuaciones de difusión del calor a régimen estacionario. Dada la geometría del problema se ha utilizado para el cálculo un modelo de diferencias finitas explícitas, en dos dimensiones, para avanzar en el tiempo, cuya cuadrícula se muestra en la figura 2.

Los elementos que constituyen el sistema (muro, ducto, ambiente), se han dividido en i elementos rectangulares, con temperaturas T_i al tiempo t . El calor Q_{ij} transferido entre los elementos i y j está dada por

$$\Delta Q_{ij} = -k A_{ij} (T_i - T_j) \Delta t / \Delta x_{ij} \quad (1)$$

en el caso en que el calor se transfiera por conducción (muro) y

$$\Delta Q_{ij} = h A_{ij} (T_i - T_j) \Delta t \quad (2)$$

en el caso que haya convección, ya sea natural o forzada (ducto o habitación)

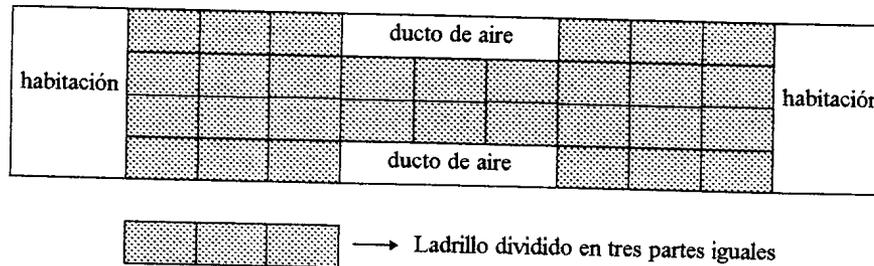


FIGURA 2: Esquema de la cuadrícula utilizada para el cálculo.

El cambio de temperaturas en el tiempo en cada elemento i se obtiene haciendo

$$\Delta T_i = T_i(t + \Delta t) - T_i(t) = (\Delta Q_i + \sum_{j \neq i} \Delta Q_{ij}) / (V_i \rho_i c_{pi}) \quad (3)$$

donde

- A_{ij} es el área común entre los bloques i y j
- Δx_{ij} es la distancia entre los centros de los bloques i y j
- k es la conductividad térmica de la pared (0.85 W/m C)
- t es el intervalo de tiempo considerado para el cálculo de ΔQ_{ij}
- h es el coeficiente convectivo, cuyo valor se ha tomado igual a $10 \text{ W/m}^2 \text{ C}$ para el ducto, donde la convección es forzada e igual a $5 \text{ W/m}^2 \text{ C}$ para el ambiente, donde la convección es natural.
- Q_i es el calor generado en el elemento i
- V_i es el volumen del elemento i
- ρ_i es la densidad del elemento i , igual a 1800 kg/m^3 para el muro y 1.3 kg/m^3 para el aire.
- c_{pi} es la capacidad calorífica del elemento i , igual a 900 J/kg C para el muro y 1000 J/kg C para el aire.

La condición inicial se toma suponiendo que el sistema no ha funcionado durante varios días, por lo que todos los elementos se encuentran a la misma temperatura (la ambiente), unos cuatro días de cálculo son suficientes para que el sistema entre en régimen.

A los efectos del cálculo, se ha considerado que la habitación se encuentra a una temperatura fija de 22 C , esta suposición queda justificada por el hecho de que al acondicionar un ambiente (sea cual fuere la forma de hacerlo), se pretende que la temperatura del mismo se encuentre dentro de un pequeño intervalo alrededor de la temperatura deseada.

Para realizar la simulación se ha confeccionado un programa en Visual Basic 4.0, bajo Windows '95 y en la versión de 16 bits, se eligió ésta por razones de compatibilidad ya que las apli-

caciones creadas en 32 bits sólo pueden ejecutarse bajo Windows NT y Windows '95 y las creadas en 16 bits también aceptan Windows para Trabajo en Grupo versiones 3.0 y 3.11.

Para crear las tablas necesarias se usó el Administrador de datos Microsoft Jet de Visual Basic, que, en realidad las crea en Access ya que Visual Basic incluye la misma tecnología de Base de Datos que Microsoft Access. Las tablas contienen los siguientes datos:

- Coordenadas de los puntos de la grilla elegida.
- Vértices de los cuatro puntos de cada rectángulo de la grilla; los puntos en contacto entre ellos y sus puntos medios.
- Temperaturas de entrada del aire al ducto, hora a hora, de verano e invierno, en las horas en que no funciona el ventilador se almacena el valor cero; como así también las temperaturas ambiente correspondientes a un día típico en ambas estaciones.

A los fines de los cálculos el acceso a las tablas se realiza de una sola vez y se guardan los valores en vectores, de esta forma, aunque existe una pequeña demora en la carga de los vectores, el sistema se agiliza al momento de realizar la simulación.

El sistema da la opción de elegir entre verano e invierno la temperatura a la que se quiere mantener la habitación (por supuesto sólo acepta una temperatura razonable, de no ser así solicita que se la ingrese nuevamente).

Mientras corre el programa de simulación, en la pantalla se pueden observar los valores de las temperaturas de la pared y del ducto, indicando el día y la hora a la que pertenecen y a partir del cuarto día de cálculo (considerando que en este momento el sistema está en régimen) va mostrando la evolución del sistema en un gráfico de dispersión.

Los resultados de la simulación se muestran en las figuras 3 y 4 para el caso de invierno y verano respectivamente, se han agregado los valores experimentales de la temperatura de entrada del aire al ducto para cada caso, a los efectos de llevar a cabo la comparación; así como también las temperaturas ambiente de un día típico en Salta.

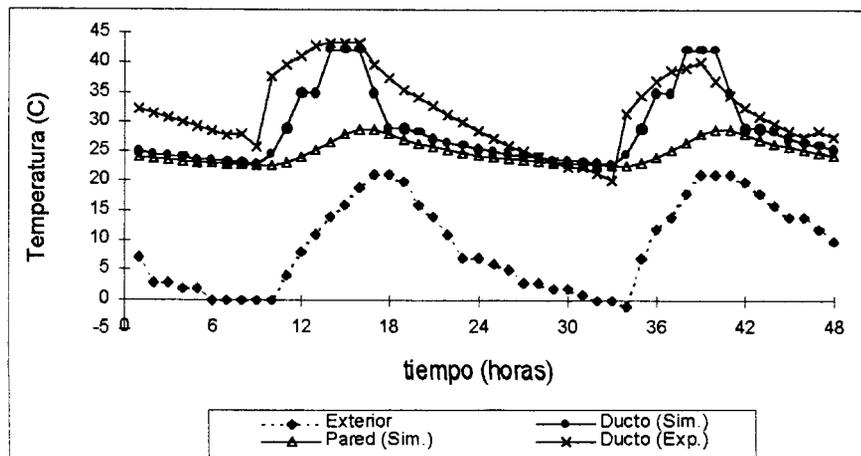


FIGURA 3: INVIERNO - Simulación y resultados experimentales.

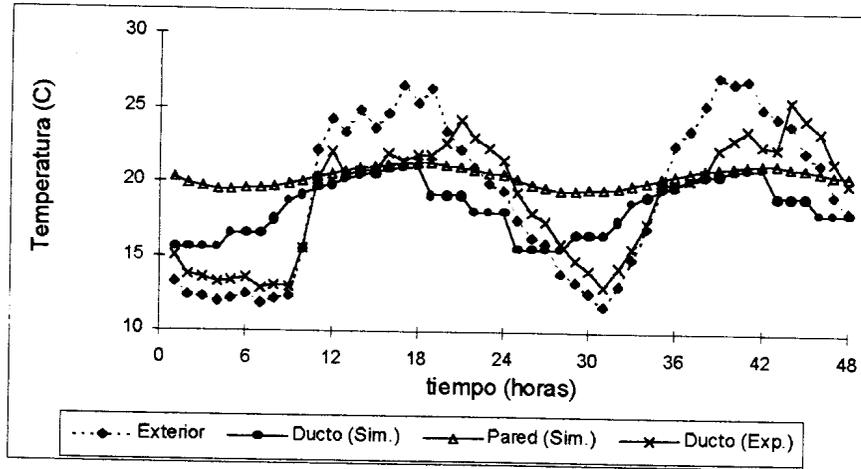


FIGURA 4: VERANO - Simulación y resultados experimentales.

DISCUSIÓN

La comparación de los resultados experimentales con la simulación, como puede verse en las figuras 3 y 4, señala que el modelo de cálculo funciona adecuadamente para ambas estaciones.

La cantidad de calor acumulada en las ocho horas de funcionamiento del ventilador durante un día de invierno es de unos 157.3 W/m^2 , cantidad que debe ser suficiente para mantener la habitación a la temperatura deseada en las dieciséis horas restantes, lo que implica una velocidad promedio de transferencia de calor entre la pared y el ambiente de $9.8 \text{ W/m}^2 \text{ hora}$.

El uso dual del sistema que permite su funcionamiento tanto en invierno como en verano facilita su elección en el momento de analizar costos, por otro lado, podría instalarse en viviendas ya construidas realizando algunas modificaciones en ellas.

REFERENCIAS

- [1] A. Boucíguez y L. Saravía. *Ensayo de un Sistema de Refrescamiento Activo de Edificios*. Actas de 17va. Reunión de ASADES. Rosario, 1994 - pag. 39 - 44.
- [2] A. Boucíguez y L. Saravía. *Sistema Activo de Calentamiento de Edificios para la Ciudad de Salta*. Actas de 18va. Reunión de ASADES. San Luis, 1995 - pag. 7.45 - 7.51.
- [3] A. Boucíguez y L. Saravía. *Active System for Thermal Conditioning of Building in Salta, Argentina*. Presentado en PLEA'96. Louvan-la-Neuve, Bélgica, 1996, publicado.