

CALCULO TERMICO HORARIO DE EDIFICIOS SOLARES PASIVOS

M. Casermeiro* y L. Saravia

INENCO#, Universidad Nacional de Salta
Buenos Aires 177, 4400 Salta

Resumen

En este trabajo se presenta un programa de cálculo destinado a la simulación del comportamiento térmico horario de un edificio con sistemas solares pasivos. Se ha procurado disponer de una herramienta de cálculo de fácil acceso, uso sencillo y que puede ser adaptada a las necesidades particulares del usuario. A esos efectos se han tenido en cuenta los siguientes puntos: a) el programa será usado en computadoras de tipo personal, b) el lenguaje usado será el BASIC interpretativo, c) los métodos numéricos usados son de tipo sencillo.

El programa calcula la evolución térmica del edificio para series de varios días en forma rápida siendo una herramienta de diseño complementaria de los métodos que estiman ahorros energéticos anuales medios como el propuesto por BALCOMB (2), permitiendo estimar el comportamiento detallado del edificio ante variaciones climáticas de interés.

El edificio es dividido en locales, cada uno de ellos con una temperatura cuya evolución en el tiempo es determinada por el programa conociendo la variación de temperatura externa y radiación. Los locales están térmicamente conectados entre sí y con el exterior a través de paredes, ventanas, etc. cuyos datos son entrados en detalle. Dada la falta de datos horarios de temperatura externa y radiación ellos son evaluados a partir de la radiación diaria y de temperaturas máximas, mínimas y medias.

1. Introducción

* Becaria del CONICET

Instituto UNSa. - CONICET

La simulación detallada del comportamiento térmico horario de edificios solares pasivos a través de períodos extensos constituye un método poderoso de diseño (1). Su uso se encuentra limitado por el costo que implica, por la necesidad de disponer de computadoras grandes, y por la imposibilidad de disponer de series de datos horarios para temperatura y radiación. Con el fin de obviar este problema se han desarrollado métodos sencillos de determinar el ahorro energético involucrado en la adopción de un sistema solar, como ser el propuesto por Balcomb (2).

En muchos casos resulta de interés poder complementar la predicción realizada con métodos sencillos mediante cálculos horarios realizados por períodos de algunos días. Ello permite verificar el comportamiento de los sistemas, en especial el funcionamiento de las masas de acumulación, a lo largo del día en diferentes condiciones climáticas.

La popularización de computadoras personales con velocidades razonables permite encarar el desarrollo de programas de cálculo horario que involucran un tiempo aceptable si se admite un cierto sacrificio en la exactitud de los resultados mediante el uso de modelos numéricos sencillos. Por otro lado, el uso de un lenguaje BASIC interpretativo permite generar programas fácilmente adaptables a las necesidades particulares de cada usuario.

En las secciones que siguen se presenta un método de cálculo de este tipo preparado para computadoras personales que usan el BASIC interpretativo del sistema operativo MS.DOS, uno de los más utilizados actualmente.

Una versión preliminar del programa se encuentra disponible conjuntamente con un manual explicativo que comprende un

manual de uso y una explicación detallada con el fin de introducir modificaciones si es de interés.

2. Descripción del modelo de edificio

A los efectos del cálculo térmico el edificio se supone dividido en "locales identificados por un índice ($L = 1$ a L_{MAX}), cada uno de los cuales se encuentra a una temperatura $T_A(L)$ función del tiempo, las que son el objetivo del cálculo.

Los locales están en contacto térmico entre sí a través de paredes, ventanas, ventanillas con intercambio de aire, etc., con el exterior que se encuentra a una temperatura $T_A(L_{MAX}+1)$ cuya variación en el tiempo es conocida.

Cada uno de los elementos debe ser descrito para que el programa central de cálculo, de nombre SIMEDIF, los incorpore al proceso de cálculo. A esos efectos se dispone de un conjunto de rutinas cuya relación se esquematiza en la Fig.1. Cada una ellas somete al usuario a un interrogatorio para obtener los datos, los que se guardan en un archivo para uso posterior de SIMEDIF. Una rutina DATEDIF, determina la relación espacial entre los elementos y los diferentes locales a cuyos efectos es conveniente preparar un diagrama previo de la planta del edificio como la que se muestra en la Fig. 2, en la que se indican los distintos locales y elementos estableciendo qué lado de cada elemento está en contacto con los distintos locales.

Los elementos que han sido introducidos hasta el presente son:

a) paredes o techos con masa

Son paredes formadas por capas sucesivas de distintos materiales que pueden tener o no masa con excepción de las dos en los bordes. Las superficies de la pared están en contacto térmico con los dos locales por intermedio de coeficientes de transmisión térmica. Sobre esas superficies puede incidir radiación siendo absorbidas con un coeficiente dado.

b) ventanas

Las ventanas son elementos sin masa que conectan dos locales con un coeficiente de transmisión térmica dado. Se pueden colocar aisla-

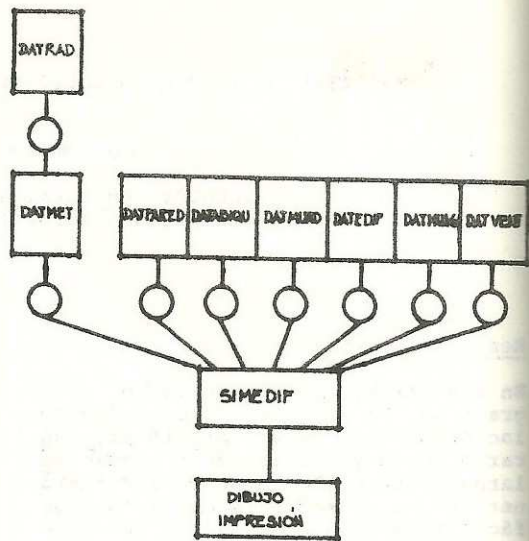


Figura 1

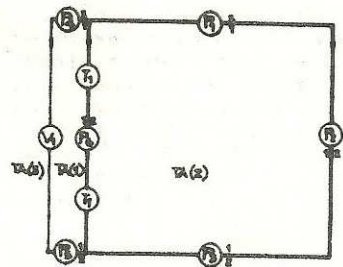
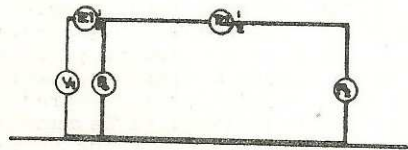


Figura 2



ciones nocturnas.

c) tabiques

Son elementos sin masa y opacos caracterizados por un coeficiente de transmisión térmica y por la posible absorción de radiación en ambas caras.

3) muros de agua

Es una pared constituida por una masa de agua con una sola temperatura.

4) ventanillas

Son aberturas en la parte superior e inferior de una pared que permiten la circulación de aire por convección natural entre los dos locales. Están caracterizadas por el área de la apertura y la diferencia de altura entre las dos. Es un elemento importante en la simulación de muros Trombe.

5) renovaciones de aire

Es necesario disponer de los datos horarios de temperatura y radiación. Dado que usualmente es difícil obtener archivos de este tipo en Argentina, se han creado dos subrutinas: DATRAD y DATMET destinadas a generar dichos valores en forma aproximada a partir de datos globales tales como la radiación total diaria, temperaturas máxima, mínima y media. Estos programas generan los datos para una secuencia de días a lo largo de los cuales se estudiará el comportamiento térmico del edificio. La rutina DATRAD genera datos de radiación horarios de un día para una superficie cualquiera y eventualmente cubierta por vidrios mediante el método de Liu-Jordan. La rutina DATMET genera los datos de radiación para la sucesión de días ordenando convenientemente los valores calculados por DATRAD. Además calcula los valores aproximados de temperatura usando una función analítica que se obtiene a partir de las temperaturas mínima, máxima y media de un día y la mínima del siguiente. El uso de este cálculo debe evaluarse críticamente en cada localidad ya que la función analítica no tiene validez general.

Es usual incorporar al edificio colectores solares que en realidad están formados por varios "elementos". Tal es el caso de los muros Trombe o los invernáculos. En el marco de la presente descripción ellos serán considerados como un local más cuyos elementos se incorporarán a los del resto del edificio.

3. Método del cálculo

Como método de cálculo se utilizará un esquema en diferencias finitas ex

plicito avanzando a intervalo de tiempo $\Delta \bar{t}$ donde $\Delta \bar{t}$ es un submúltiplo de \bar{T} hora. Los resultados obtenidos serán almacenados cada hora para estudio posterior del comportamiento del edificio.

Las temperaturas incógnitas en el problema son las temperaturas $TA(L)$ de los locales y las temperaturas de los nodos que el esquema en diferencias finitas define en cada elemento con masa. Conociendo los valores en un instante \bar{t} , el esquema determina los valores en $\bar{t} + \Delta \bar{t}$ según se esquematiza en la Fig. 3.

Para los nodos con masa los valores de la temperatura en $\bar{t} + \Delta \bar{t}$ se obtiene de la ecuación de balance energético del nodo. A título de ejemplo se considera el caso de un elemento tipo pared. La Fig. 4 muestra una pared tipo para el caso de un solo material. La generalización es inmediata si se tienen varias capas de distintos materiales. Los nodos 1 a 4 tienen temperaturas $TP(i)$ en el instante \bar{t} . Las ecuaciones para los nodos 1 y 4 son distintas de la de los nodos 2 y 3. Por ejemplo, para el 1 se tiene:

$$M_1 c_p \frac{dTP(1)}{d\bar{t}} = U_1 A (TA(L_1) - TP(1)) + \frac{\lambda}{e} A (TP(2) - TP(1)) + \alpha_1 I_1 A$$

donde M , es la masa asociada con 1, λ la conductividad del material, e la distancia entre nodos, A el área del muro U_1 y U_2 los coeficientes convectivos de la superficie de la pared y $TA(L_1)$ y $TA(L_2)$ las temperaturas de los locales adyacentes; I_1 e I_2 son las radiaciones que inciden sobre las paredes y α_1 y α_2 los coeficientes de absorción correspondientes.

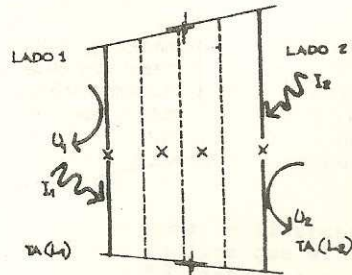


Figura 4

Al cambiar la derivada por su expresión

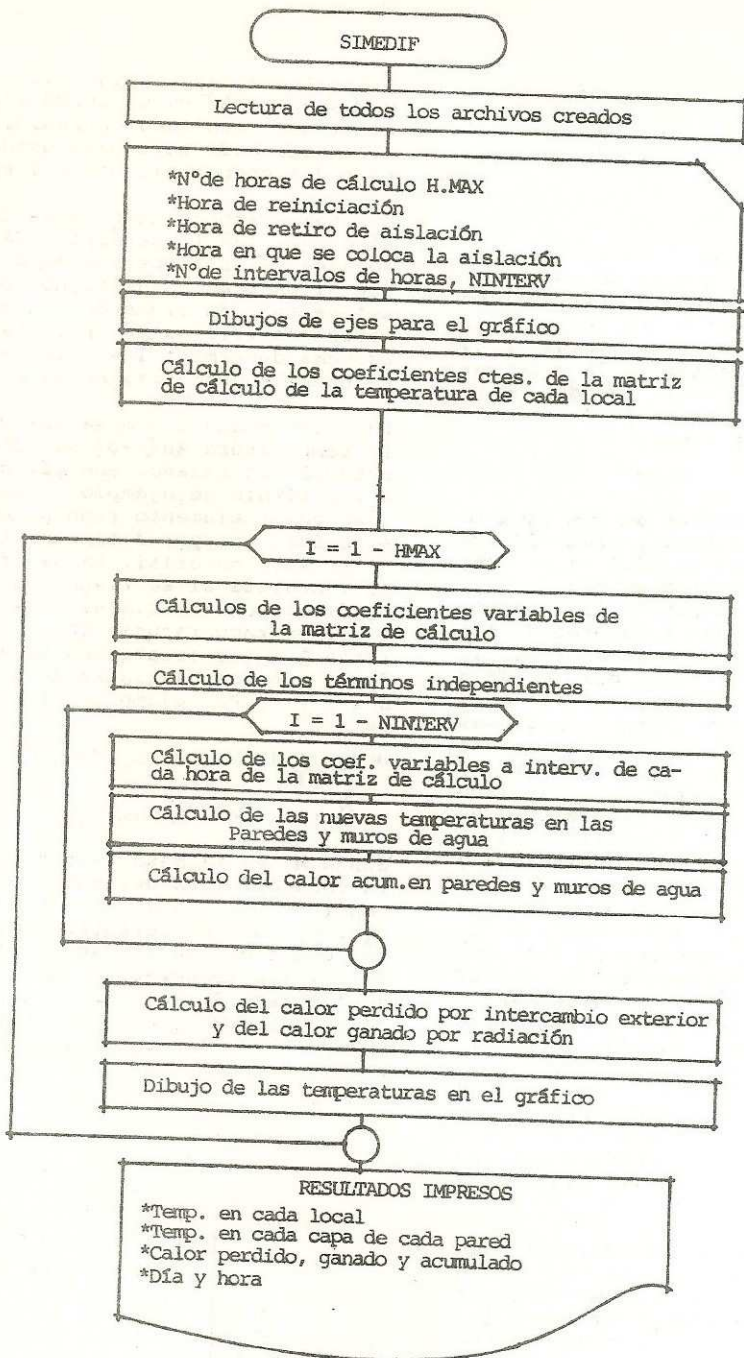


Figura 3

Incremental se obtiene la nueva temperatura del nodo en $\bar{T} + \Delta\bar{T}$, TP'(1):

$$TP'(1) = TP(1) + \frac{\Delta\bar{T}}{M_1 C_p} A U_1 (TA(L_1) - TP(1)) + (TP(2) - TP(1)) + \alpha_1 I_1$$

Para obtener las temperaturas TA(L) de los locales se debe plantear la ecuación de balance energético de cada uno. La Fig. 5 muestra un ejemplo sencillo. La ecuación para el local 1 será:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^n A_i^P (TP(1,i) - TA(1)) + \\ & \sum_{j=2}^n A_j^P (TP(2,j) - TA(1)) + \\ & + \sum_{i=1}^n A_i^V (TA(2) - TA(1)) + \\ & + \sum_{j=2}^n A_j^V (TA(3) - TA(1)) = 0 \end{aligned}$$

En este caso el local 1 está en contacto con el otro local a través de una pared y una ventana y con el exterior a través de otra pared y otra ventana. Se aprecia que las ventanas hacen aparecer las temperaturas de los otros locales en la ecuación, razón por la cual no es posible obtener directamente el nuevo valor de TA(1). Lo que ahora se tiene es un sistema de ecuaciones lineales con tantas ecuaciones como incógnitas si se admite que los coeficientes de convección

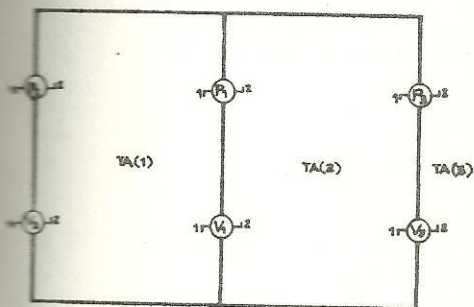


Figura 5

son constantes. Ellas se resuelven con las técnicas numéricas usuales. Este esquema no funciona exactamente en esta forma usando el contacto entre los locales se realiza mediante las ventanillas de un muro Trombe ya que el flujo de aire varía como la raíz cuadrada de las temperaturas y por tanto el coeficiente de la ecuación no es más constante. En este caso el sistema de ecuaciones se resuelve en forma iterativa para tener en cuenta la falta de linealidad.

Determinadas las temperaturas se realiza un cálculo de las cantidades de calor aportadas por la radiación solar, el calor perdido por el edificio y el acumulado en las distintas masas. El balance horario para todo el edificio debe tener lo que es utilizado como un chequeo final. Ello permite detectar posibles problemas con los datos que se introducen.

4. Resultados

El método de cálculo ha sido programado en lenguaje BASIC. Los resultados horarios pueden obtenerse en papel o en disco para posterior análisis. Simultáneamente se dispone de gráficos de las temperaturas de los locales en pantalla permitiendo seguir de cerca la evolución del cálculo. La Fig. 6 muestra un resultado típico para una vivienda con dos locales a lo largo de 5 días tal cual se obtiene en pantalla.

El tiempo de cálculo usando un BASIC interpretativo del sistema operativo MS-DOS en una máquina equipada con un microprocesador 8088 es del orden de los 15 minutos de cálculo e impresión por día de simulación para una vivienda sencilla.

Por esa razón sólo resulta factible el cálculo de una secuencia de algunos días. Si se usase una versión en FORTRAN con un microprocesador 8086 y archivo de los resultados en disco el tiempo puede acortarse por un factor del orden de 40 haciendo posible cálculos anuales en un tiempo moderado.

El uso de un esquema en diferencias finitas explícito implica que el incremento de tiempo $\Delta\bar{T}$ debe ser elegido lo bastante pequeño como para que no aparezcan oscilaciones en las soluciones numéricas. Para los casos ensayados hasta ahora, con nodos en las paredes ubicados cada 5 cm, un $\Delta\bar{T}$ de 20 minutos ha sido suficiente para asegurar la esta-

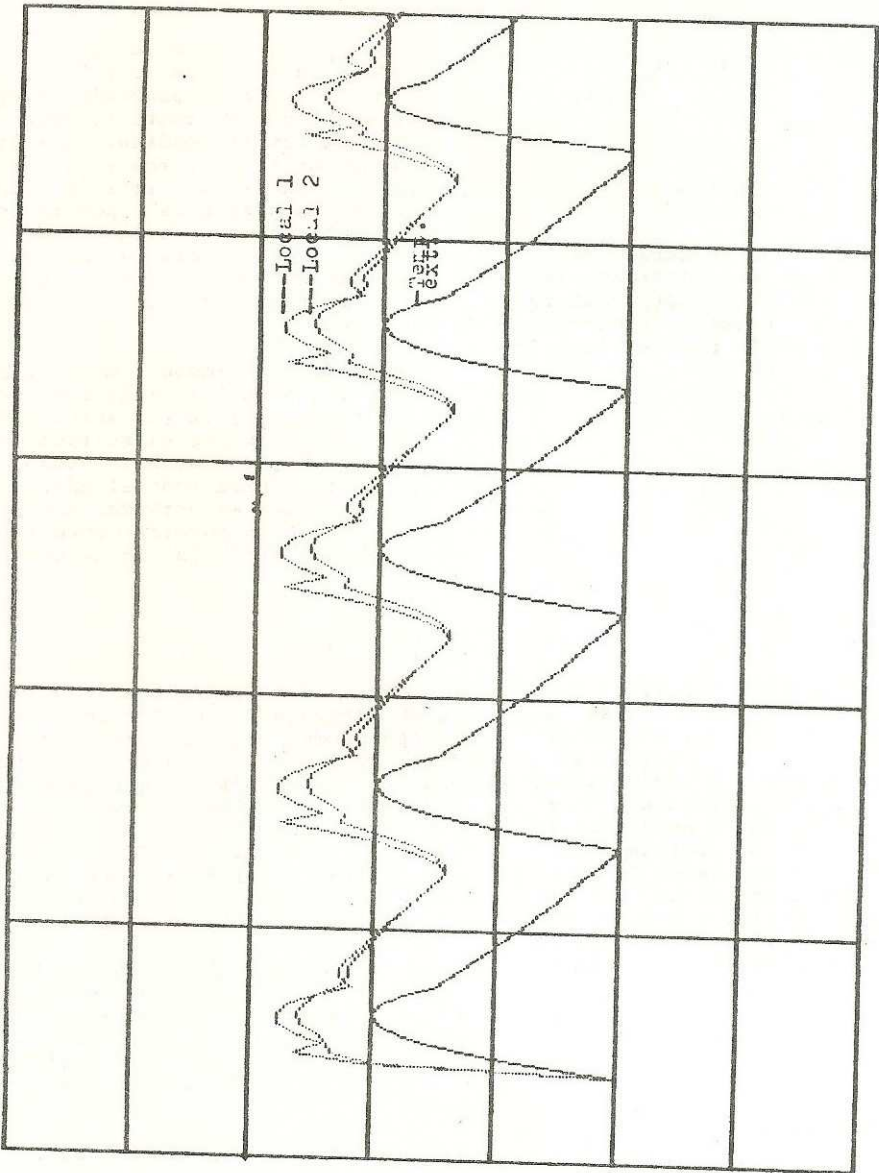


Figura 6

bilidad de la solución.

El programa puede ser solicitado a los autores siendo conveniente su distribución en diskette de 5 1/4" de diámetro dada su longitud. Se dispone de un manual de uso y una explicación detallada para aquéllos que quieran introducirle modificaciones. Es de esperar que en un tiempo razonable se disponga de otros "elementos" y que aumenten su versatilidad.

Referencias

1. "Simulation Analysis of Passive Solar Heated Buildings-Preliminary Results".
Balcomb, J.D., Hedstrom, J.C., and McFarland, R.D. Solar Energy, 19, 277 (1977).
2. Passive Solar Desing Handbook; Three Volumes.
Passive Solar Desing Analysis.
January 1980.
U.S. Departament of Energy.
Prepared by Los Alamos Scientific Laboratory University of California.
J.D. Balcomb.
Balcomb, J.D. and Wray, W.O.
Evaluation of Passive Solar Heating
Los Alamos Scientific Laboratory.