

SIMULACION COMPUTACIONAL DEL COMPORTAMIENTO TERMICO  
DE EDIFICIOS PARA VERANO

Adriana Binda\* y Graciela Lesino\*\*

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

RESUMEN.

En el INENCO se ha desarrollado un programa de simulación del comportamiento térmico de edificios para computadoras personales, SIMEDIF (1) bien adaptado, por sus posibilidades de cálculo y módulos de uso, al tratamiento de problemas de calefacción.

Para permitir una descripción detallada más precisa en lo que se refiere al comportamiento en verano, se han realizado las modificaciones y agregados siguientes:

- a) conexiones por convección natural a través de aberturas (puertas)
- b) incorporación de valores horarios de dirección y velocidad del viento.
- c) variación en forma horaria del número de renovaciones de aire de los locales.

Para facilitar la tarea de entrada de datos, generalmente tediosa por el grado de detalle de descripción del edificio que es necesaria, se ha modificado el programa DESCRIP ( descripción de vivienda y datos climáticos). Además, y con el objeto de disminuir el tiempo de cálculo se ha traducido el programa original escrito en BASIC intérprete, a QUICKBASIC compilado.

Los datos horarios de temperatura y radiación pueden entrarse directamente, o bien, si no se cuenta con ellos, estos se estiman a partir de la radiación diaria y de temperatura máximas, mínimas y medias de cada día de cálculo. A partir de estos datos y conocida la temperatura inicial de los locales, se calcula la evolución térmica de cada local en el tiempo según sus conexiones con otros locales.

INTRODUCCION.

La popularización de computadoras personales con velocidades razonables permite encarar el desarrollo de programas de cálculo horario que involucren un tiempo aceptable si se admite un cierto sacrificio en la exactitud de los resultados mediante el uso de modelos numéricos sencillos.

El programa que se presenta VSIMEDIF es una versión modificada del SIMEDIF (1), que implementa un método de cálculo de este tipo, con el objeto de adaptarlo al cálculo de verano. El agregado de un módulo PUERTAS, permite simular la convección natural entre recintos conectados por puertas que se abren y cierran a horas determinadas por el usuario. En los datos meteorológicos se han incorporado los valores horarios de dirección y velocidad del viento.

\* Becaria del Consejo de Investigación UNSA.

\*\* Investigador del CONICET

# Instituto UNSA.- CONICET

Con esa información es posible calcular y modificar en forma horaria los coeficientes peliculares externos de convección a partir de la fórmula  $h = 2.8 + 3.5 \cdot v$  donde  $v$  es la velocidad del viento en (m/s)  $h$  en ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ).

Para poder simular ventilación a través de ventanas abiertas por el usuario eventualmente en función del viento, se incorporó la posibilidad de poner número de renovaciones variables hora a hora en cada local. En las secciones que siguen se presenta el programa con mayor detalle.

#### EL PROGRAMA.

El programa puede dividirse en cuatro módulos bien diferenciados:

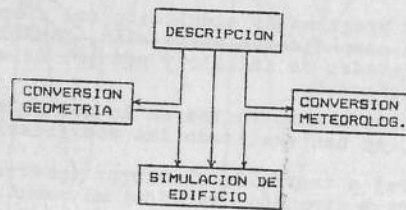


Fig. 1

El programa VCONVGEN genera a partir de los archivos creados por el módulo anterior, otros con cálculos de constantes para cada elemento que luego serán usados en la simulación. Además produce un archivo (.HOR) con los datos que son variables hora por hora.

VCONVMET, a partir de datos de temperatura y radiación que le provee descrip, genera un archivo (.RRR) para cada una de las horas de cálculo con: a) Datos de radiación sobre cada superficie. b) Datos de temperatura.

El módulo VSIMEDIF es el programa principal, toma datos de todos los archivos anteriores y realiza la simulación hora por hora para cada uno de los días de cálculo. Los resultados obtenidos son:

- temperatura de cada local.
- la temperatura de paredes y muros de agua cada intervalo de hora.

#### EL MODELO DE EDIFICIO.

A los efectos del cálculo, el edificio se supone dividido en locales, los cuales se encuentran a una temperatura  $T_{AI}$ , función del tiempo, las cuales son el objeto del cálculo.

Los locales y cada uno de los elementos térmicos existentes entre ellos deben ser completamente descriptos por el usuario. A tal efecto se recomienda, previo uso del programa, realizar un diagrama con la planta del edificio y las relaciones entre locales y elementos según se muestra en la figura 2. Los datos necesarios para cada local son:

- nombre - volumen (VOL) - índice de renovaciones de aire para cada día (RENOV) -

Los elementos que se han tenido en cuenta hasta el presente son:

- Paredes o techos con masa. Son paredes formadas por capas sucesivas de distintos materiales que

pueden tener masa o no con excepción de las de los bordes. Se encuentran en contacto térmico con los locales por medio de coeficientes de transmisión térmica. Sobre ellas puede incidir radiación. Los datos requeridos son:

- área (ARP)
- número de capas (NCAP)

Y para cada lado:

- coeficientes de absorción (CABS)
- índice de radiación (INDRP)
- índice de convección por día (UPA)
- área de radiación (ARRAD)

b) tabiques

Son elementos opacos sin masa. Se caracterizan por un coeficiente de transmisión térmica y la posible absorción de radiación. Se requieren los siguientes datos:

- área (ART)
- coeficiente de conductividad (CK)

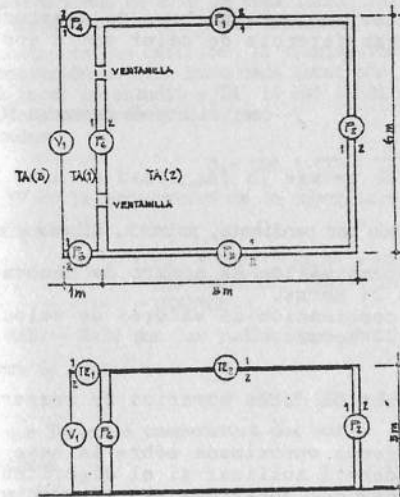


Fig. 2

Y para cada lado:

- coeficiente de absorción (ABSART)
- índice de radiación (INDRT)
- índice de convección por día (UTA)
- área de radiación

c) Muros de agua.

Son paredes constituidas por una masa de agua con una sola temperatura. Se necesita conocer:

- área (ARH)
  - espesor (ESPH)
- Y para cada lado los mismos datos que los elementos anteriores.
- coeficiente de absorción (ABSARH)
  - índice de radiación (INDRH)
  - índice de convección por día (UTH)
  - área de radiación.

d) Ventanas

Son elementos sin masa que conectan dos locales con un coeficiente de transmisión térmica dado. Se pueden colocar aislaciones nocturnas. Los datos requeridos son:

- área (ARV)
- coeficiente de día
- coeficiente de noche

e) 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. Es un elemento importante en la simulación de muros trombe. Se caracteriza por los siguientes datos:

- área (ARE)
- lado convección

- altura convección

- coeficiente de descarga (CD)

f) puertas

Son elementos sin masa que se caracterizan por una hora de apertura y una hora de cierre permitiendo la transferencia de calor entre dos locales. Sus datos son:

- altura (ALT)  
- ancho (ANCHO)

- coeficiente de descarga (CD)

Uso de índices.

Para facilitar la entrada de datos se provee la facilidad de usar índices:

- de radiación : cada uno caracterizado por pendiente, azimuth, albedo y número de vidrios.
- de renovaciones: cada uno es una combinación de número de renovaciones de aire para 24 horas.
- de convección : cada uno es una combinación de valores de velocidad del viento para 24 horas.

#### MODELO DE TEMPERATURA Y RADIACION

Es necesario para el programa disponer de datos horarios de temperatura y radiación.

El modelo genera dichos valores en forma aproximada sobre la base de datos diarios globales. El usuario deberá analizar si el algoritmo usado es apropiado para las condiciones del lugar que se está estudiando.

El programa (convmet):

- 1.- Genera datos de la radiación de un día que llega a una superficie de cualquier orientación y que puede estar cubierta por uno o dos vidrios mediante el método de Liu Jordan. Usa como base la radiación total diaria sobre una superficie horizontal.
- 2.- Realiza el cálculo anterior para cada superficie de interés y para cada día de cálculo sobre la base de los valores anteriores.
- 3.- Genera la sucesión de datos horarios de temperatura correspondiente a la sucesión de días elegidos. Para ello usa una función analítica que se obtiene a partir de los valores de temperatura máxima, media y mínima de cada día. Los datos para realizar este cálculo son:
  - temperatura mínima
  - temperatura máxima
  - temperatura media
  - número de radiaciones

La temperatura externa horaria se simula por medio de una parábola y una exponencial decreciente entre valores medios para el lugar en que se realiza el cálculo.

#### METODO DE CALCULO.

El objetivo del programa SIMEDIF es calcular hora a hora las temperaturas en cada local en que se ha dividido el edificio. Las incógnitas son:

- a) la temperatura de cada local hora a hora
- b) la temperatura de cada punto de las masas de los muros de estructura sólida o líquida.

La solución propuesta para cada una de ellas es:

- a) se plantea un sistema de ecuaciones lineales de  $l_{max}$  ecuaciones con  $l_{max}$  incógnitas donde  $l_{max}$  es el número de locales. Se resuelve el sistema para cada hora. Conocidos los valores en el tiempo  $t$ , se calculan para  $t+dt$  según lo muestra la figura 3.

b) método de diferencias finitas explícitas para el intervalo de tiempo especificado. Ambos usan los datos de temperatura externa horaria y de radiación incidente horaria.

Solución del inciso a

Cálculo de calor entregado a los locales

En un sistema cerrado (edificio + medio ambiente), la suma de los calores transmitidos

debe ser nula.

El calor se transmite a través de los elementos que forman parte de los locales y de las renovaciones de aire de cada local. Este depende del elemento de que se trata, de su temperatura y del medio ambiente.

Las ecuaciones que describen la transmisión de calor a través de cada elemento y por renovación de aire para cada local son: (en todos los casos TA es la temperatura del local en estudio y TA' la del local adyacente, el resto de las variables fue definido anteriormente.

a) paredes

$$Q = UPA * (TP - TA) * ARP$$

donde TP es la temperatura de la superficie de la pared

b) tabiques

$$Q = (UTA1 * UTA2 * RAD1) + CK * UTA1 * RAD1 + CK * UTA1 * RAD2 + UTA1 * UTA2 * CK * (TA' - TA) * ART) * 1 / (UTA1 * CK + UTA * UTA2 + UTA2 * CK)$$

donde RAD1 y RAD2 son las radiaciones incidentes en los lados.

c) Muros de Agua

$$Q = UPH * (TM - TA) * ARH$$

en la que TM es la temperatura del muro.

d) Ventanas

$$Q = UV * (TA' - TA) * ARV$$

e) Aberturas de intercambio de aire

$$Q = CD * ARE * RO * CP * H * \sqrt{G/H * (TA' - TA / TA' + 273)} / 2 * (TA' - TA)$$

en que RO es la densidad del aire, CP el calor específico y G la aceleración de la gravedad.

f) puertas

$$Q = 15.4/3 * ANCHO * CD (ALT * (TA' - TA))^{1.5}$$

g) renovaciones de aire

$$Q = CP * RO * RENO * VOL * (TAMB - TA) / 3600$$

donde CP y RO se definen como antes, RENO es el número de renovaciones de aire por hora, VOL el volumen del local y TAMB la temperatura externa.

Sistema de ecuaciones para los locales.

Para calcular la temperatura interna de cada local se plantea el siguiente sistema de ecuaciones:

$$i = 1 \dots n \text{ (número de elementos que transmiten calor para cada local)} \\ j = 1 \dots l_{max} \\ \text{Calor total } (i, j) = 0$$

Para cada local:  $\sum Q_i = 0$

$n = \text{número de elementos que transmiten calor.}$

Si se estructuran adecuadamente las ecuaciones se obtiene un sistema en el que:

- el primer miembro de la ecuación es la matriz de coeficientes para  $l_{max}$  locales (C) multiplicada por el vector de temperaturas TA para los  $l_{max}$  locales.
  - el segundo miembro son los términos independientes (B).
  - si TA' es la temperatura externa, los términos del segundo miembro que incluyen TA' forman parte del vector B.
  - si TA' es la temperatura de otro local, los términos del segundo miembro que incluyen TA' forman parte de los elementos fuera de la diagonal de la matriz C.
- El sistema es lineal de donde se deriva la sencillez del cálculo.

Solución del inciso b.

Muros de estructura sólida (paredes)

El muro se divide en las distintas capas de que está construido. Para cada capa se

da como dato el número de puntos donde se quiere calcular la temperatura. Las capas son numeradas a partir de 1. Para el punto en la superficie del lado 1 del muro:

$$MP(I,1) * (TPP(1) - TP(I,1)) / DT = UPA(I,1) * (TA - TP(I,1)) + UP(I,1) * (TP(I,2) - TP(I,1)) + RAD1 * CAB1 * ARRADI$$

donde I es el número de pared, MP la masa \* el calor específico TPP(1) la temperatura del punto 1 después de DT (intervalo de tiempo dentro de una hora).

El cálculo de MP y de UP se realiza según el método de incrementos finitos:

$$MP(I,K) = ARP * CP * RO * ESP / (NPUNT + 1) * 2 + MP(I,K)$$

$$UP(I,K) = ARP * COND / ESP / (NPUNT + 1) + UP(I,K)$$

Para calcular la temperatura de los puntos interiores de la pared se realiza el siguiente cálculo:

$$TPP(K) = TP(I,K) + \left[ UP(I,K-1) * (TP(I,K-1) - TP(I,K)) + UP(I,K) * (TP(I,K+1) - TP(I,K)) \right] / MP(I,K) * DT$$

El cálculo de la temperatura del punto sobre la superficie del lado 2 se realiza de la misma forma que sobre el lado 1, usando los datos del lado 2.

Muros de estructura líquida.

Se supone que la temperatura es la misma para todos los puntos del muro por lo que:

$$THH(I) = TH(IH) + \left[ UPH(1, IH) * (TA1 - TH(IH)) + UPH(2, IH) * (TA2 - TH(IH)) + RAD1 * ARADH1 * CABSH1 + RAD2 * ARADH2 * CABSH2 \right] / MPH(IH) * DT$$

donde THH es la temperatura del muro después de DT y TH antes de DT y MPH = ESPH \* ARCH \* CPH \* RDH.

### CONCLUSIONES

Los resultados se obtienen en papel y en un archivo RES. También pueden analizarse en el gráfico que genera el programa de la evolución de las temperaturas de cada local como se muestra en la figura 4.

El tiempo de cálculo crece con la complejidad de la vivienda. El tiempo estimado para una vivienda sencilla es de aproximadamente 10 minutos para calcular la evolución en un día.

Dado el crecimiento de tiempo de cálculo con el tamaño de la vivienda y por problemas de capacidad de memoria sólo es posible el cálculo de una secuencia de algunos días (hasta 10).

El uso de un esquema en diferencias finitas explícito implica que el incremento de tiempo dt debe ser elegido lo bastante pequeño como para que no aparezcan oscilaciones en las soluciones numéricas.

El programa puede ser solicitado a los autores siendo conveniente su distribución en diskettes de 5 1/4". Se dispone de un manual de uso y una explicación detallada para posibilitar modificaciones. A corto plazo se incorporará:

1. un módulo de intercambio de calor por radiación entre las paredes según los factores de forma entre ellas. Por el momento este cálculo no es realizado.
2. La determinación por parte del programa del área de radiación de cada elemento debido a la presencia de una abertura (ventana) en una pared de la habitación. En el programa actual este dato es ingresado por el usuario.
3. Incorporación del cálculo de renovaciones a partir de las velocidades del viento y de su dirección con respecto a las aberturas según los resultados para velocidades interiores de Givoni (2).

VSIMEDIF

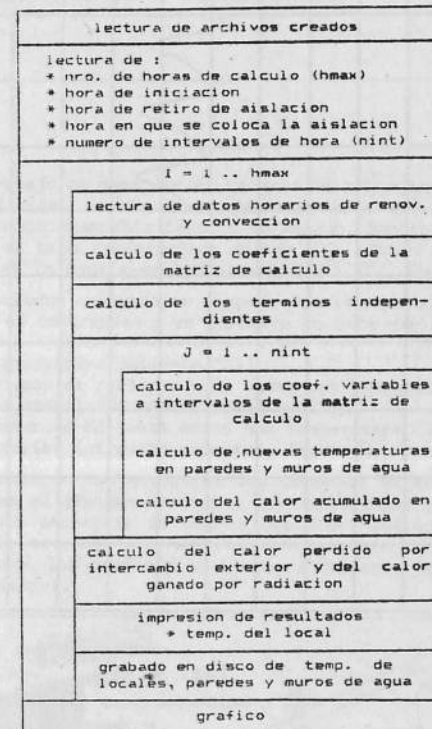


fig. 3

### REFERENCIAS

1. M. Casermeiro y L. Saravia. Cálculo térmico horario de edificios solares pasivos, Actas de la 9a. Reunión de trabajo de ASADES, San Juan, 1984.
2. Givoni, B. Man Climate and Architecture, Ed. Applied Science Publishers Ltd. London, 1986.

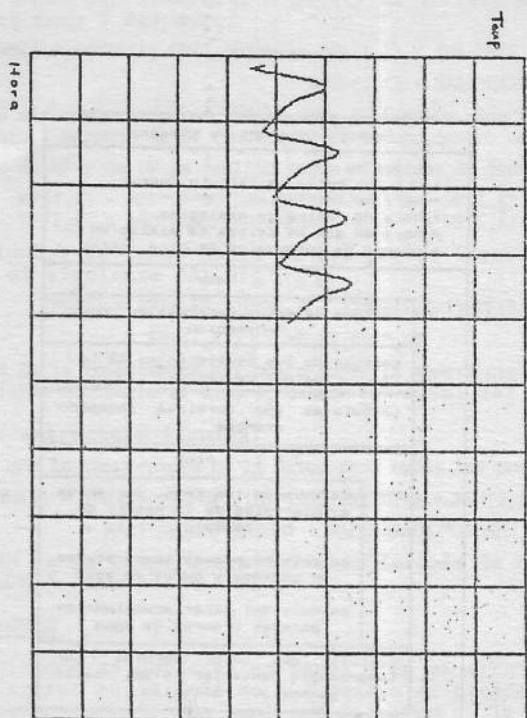


Fig. 4