

Oscar D. Corbella, Horácio A. Vielmo y Rodolfo O. Keppeler

Grupo de Energía Solar
PPGEMM-UFRGS
Av. Osvaldo Aranha, 99/6
90000-Porto Alegre-Brasil

RESUMEN

En este trabajo se describe el proyecto de un edificio para el Laboratorio de Energía Solar de la Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre (Brasil), acondicionado con energía solar, por medios pasivos, y un modelo matemático para describir el comportamiento térmico del colector acumulador incorporado.

Los colectores son de tipo "Trombe", inclinados, incorporados en la pared norte y colectores planos comunes. Fueron dispuestos ambientes estancos en el lado sur y se utilizó paredes dobles con capa de aire y aislante interior. El techo fue dispuesto en dos niveles para permitir una entrada profunda de sol durante el invierno e inhibirla durante el verano. El piso está aislado para no permitir el ingreso de humedad ni las fugas térmicas. Puede apreciarse una perspectiva general en la figura 1.

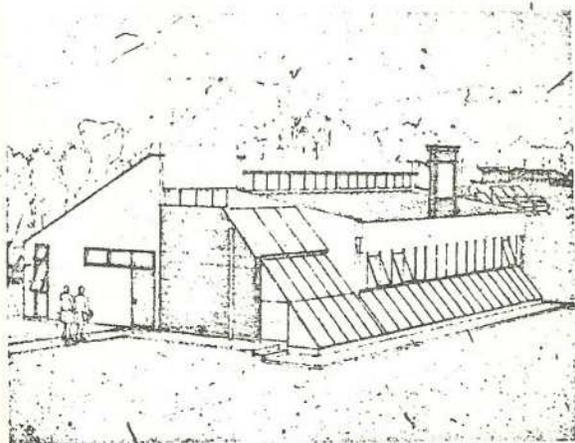


FIG. 1

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas pasivos de aprovechamiento solar en edificios muestran la ventaja de ser simples y no requerir mantenimiento. Su principio básico consiste en permitir la entrada de energía solar en el edificio e incorporar el calor producido en grandes masas sólidas

o líquidas, con grande inercia térmica. Para una mayor profundización del tema pueden consultarse las referencias 1 y 2.

Para caracterizar el clima de Porto Alegre, conviene recordar que está ubicado en la latitud 30°S , siendo sus inviernos fríos y veranos calientes ambos húmedos, predominando vientos del sudeste en casi todo el año.

En el proyecto del Laboratorio de Energía Solar de la UFRGS, se ha querido incorporar estos principios buscándose combinar los sistemas pasivos de ganancia directa e indirecta a fin de lograr dar solución al problema de la ocultación de la visual que suponen los muros Trombe-Michel convencionales. Se propuso entonces un muro inclinado, que da lugar a una ventana amplia, sin disminuir en mucho el área de colección.

En el proyecto de un sistema pasivo debe calcularse el desplazamiento de las ondas de calor en el interior de la masa acumuladora para poder evaluar su capacidad de recibir o entregar calor, manteniendo el ambiente en condiciones de confort térmico. Nótese que se enfrenta un caso de transmisión de calor en régimen transitorio y que el colector-acumulador propuesto tiene una sección triangular, como muestra la fig. 2, con lo cual resulta particularmente difícil la aplicación de los métodos de cálculo utilizados usualmente, ya sean teóricos (3) o experimentales, con modelos distorsionados (4). Se optó, entonces, por efectuar

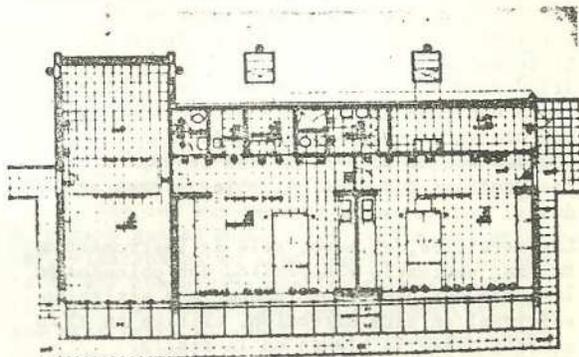


FIG. 2

tuar una simulación del sistema, a través de un modelo matemático que emplea el método de las diferencias finitas.

El método adoptado consiste en dividir la masa según un retículo, en el que en cada nudo representativo de un elemento está concentrada toda su masa, relacionando cada nudo con sus vecinos más próximos a través de ecuaciones de transmisión de calor en régimen transitorio. Se tiene así un sistema en dos dimensiones, cuyos contornos están limitados por el canal vertical posterior, el canal horizontal por debajo y el canal inclinado por encima, cubierto por dos superficies de vidrio, es to es, el retículo cubre la masa térmica, los canales de circulación del aire a ser calentado y la cobertura, con su intercambio para el medio ambiente y el cielo.

Los nudos exteriores a la masa térmica son tratados con ecuaciones en régimen permanente, mientras los interiores, en transitorio.

Se estudia la evolución del sistema por computador, pidiéndose una solución a cada 15 minutos, obteniéndose la temperatura de cada nudo y los flujos de aire en los canales. Para el cálculo de la temperatura interna del edificio fueron despreciadas las masas térmicas del resto de la construcción.

2. CARACTERISTICAS DEL EDIFICIO Y DEL MURO COLECTOR.

Como puede ser apreciado en la fig. 1 el edificio tiene forma alargada en el sentido E-O, de modo que pueda recibir una gran insolación por su parte norte durante el invierno, parte donde están situados los sistemas de colección solar. El área construida es de 177m^2 , con 24m^2 de muro colector inclinado, 22m^2 de ventanas al norte, 16m^2 de invernadero y 9m^2 de colectores planos para calentamiento de agua. Las paredes este y oeste, que reciben una gran radiación durante el verano, tienen un área relativamente pequeña y serán pintadas de blanco, lo mismo que el techo.

Todas las paredes exteriores son dobles, de ladrillos macizos, con una camada de aire de 3cm y de 6cm de poliestireno en su interior. El techo está aislado por 5cm de lana de vidrio, 2,5cm de aire y 1cm de madera. El piso tiene una capa de aislante de cemento liviano, con vermiculita y cemento portland. Las puertas son de madera, de 4cm de espesor, y las ventanas con vidrios dobles y bien selladas.

Los servicios, el baño, sala de instrumentos, cocina, vestuario y depósito, son ubicados en la parte sur para proporcionar una aislación adicional en esta dirección, crítica en el invierno; véase la planta en la fig. 3.

El colector acumulador posee una superficie de 24m^2 , está orientado hacia el norte, e inclinado 50° con relación al plano horizontal. En la superficie expuesta presenta pequeñas

cavidades (2,3cm de diámetro por 5cm de profundidad) pintadas de negro para presentar una gran absorción solar. Está cubierto por dos capas de vidrio y su masa es de hormigón ciclópico con piedras de granito (con buena difusión térmica) de granulometría variada, alcanzándose aproximadamente un 60% de granito para un 40% de argamasa.

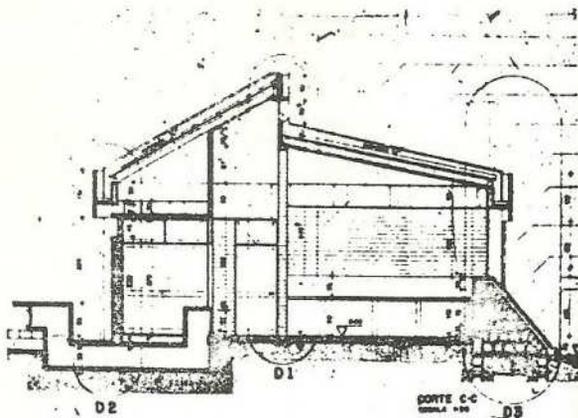


FIG. 3

El sistema pasivo de ganancia directa permite incorporar energía solar directa a través de las ventanas sobre el muro y las ventanas sobre el techo, mientras que durante el verano, aleros de dimensiones adecuadas prohíben la entrada de sol, como puede ser observado en la fig. 2. El sistema pasivo de ganancia indirecta también tiene dos modos de operación: en el invierno el aire más frío del ambiente pasa por los canales del colector, calentándose y retornando al ambiente; en el verano, se fuerza al aire del colector a salir por la chimenea, cerrando el pasaje al ambiente interior; así un volumen de aire, igual al expulsado, entra a través de dos ductos desde la parte sur, causando una benéfica corriente cruzada.

Para proporcionar agua caliente para uso sanitario en la fachada norte, sobre el invernadero, se incorporan 6m^2 de colectores planos convencionales, capaces de calentar un tanque térmico de 500 litros de capacidad.

3. CALCULO DE UA

Dadas las características de aislamiento térmico del edificio, la carga térmica en invierno es de 7.089 Kcal/h y la carga térmica de refrigeración de 2,7 TR, valores muy inferiores a los de un edificio de construcción convencional y de superficie idéntica, que tendría aproximadamente 17000 Kcal/h y 6,4TR, respectivamente. El coeficiente global de pérdida térmica de todo el edificio es de $U = 2,1$

$$\text{Kcal m}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

En lo que sigue se describirá el cálculo del coeficiente de intercambio de calor de la zona climatizada por el muro colector, con un área de 99m², esto es, el 56% del área construida (Área del laboratorio y taller; véase fig. 3).

En la tabla I se presentan los resultados de los cálculos efectuados con la ayuda de las referencias 5, 6, 7 y 8.

4. ECUACIONES PARA EL MÉTODO DE DIFERENCIAS FINITAS

A continuación se describe el sistema pasivo de ganancia indirecta; el muro solar, para su estudio, fue simplificado como se muestra en la fig. 4, tomándose una profundidad de 1m. Los nudos están clasificados según un sistema cartesiano.

4.1. ECUACIONES PARA LOS NUDOS INTERNOS

Nudos internos son los que intercambian calor con sus vecinos, sólo por conducción, en régimen transitorio. Obedecen al siguiente sistema de ecuaciones:

$$\left(\frac{T_{i,j+1}^t - T_{i,j}^t}{R_{i,j+1-i,j}} + \frac{T_{i+1,j}^t - T_{i,j}^t}{R_{i+1,j-i,j}} + \frac{T_{i,j-1}^t - T_{i,j}^t}{R_{i,j-1-i,j}} + \frac{T_{i-1,j}^t - T_{i,j}^t}{R_{i-1,j-i,j}} \right) \Delta\theta = C_{i,j} (T_{i,j}^{t+1} - T_{i,j}^t) \quad (4.1)$$

- donde:
- $\Delta\theta$ es el intervalo de tiempo considerado
 - $T_{i,j}^t$ es la temperatura del nudo (i,j), en el tiempo t
 - t + 1 es el tiempo después de transcurrido $\Delta\theta$
 - $R_{i,j-k,\ell}$ es la resistencia térmica por conducción entre los nudos (i,j) y (k,ℓ)
 - $C_{i,j}$ es la capacidad térmica de la masa asociada al nudo (i,j)

La resistencia térmica por conducción entre dos nudos es:

$$R = \frac{\Delta X}{kA} \quad (4.2)$$

- donde:
- ΔX es la distancia entre los nudos en cuestión
 - k es la conductividad térmica del material
 - A es el área de intercambio de calor en

tre nudos.

La capacidad térmica de la masa asociada a cada nudo es:

$$C = C_p \rho v = C_p \rho \Delta X A \quad (4.3)$$

donde C_p es el calor específico del material y ρ la densidad.

Reemplazando las (4.2) y (4.3) en las ecuaciones (4.1) y despejando la temperatura "futura" $T_{i,j}^{t+1}$, obtenemos:

$$T_{i,j}^{t+1} = (1 - 4b) T_{i,j}^t + b(T_{i,j+1}^t + T_{i+1,j}^t + T_{i,j-1}^t + T_{i-1,j}^t)$$

donde:

$$b = \frac{a\Delta\theta}{\Delta X^2} \quad \text{y} \quad a = \frac{K}{C_p \rho} \quad (\text{difusividad térmica})$$

4.2. ECUACIONES PARA NUDOS CANAL-MASA

Los nudos en los límites entre los canales posterior e inferior y la masa térmica, como por ejemplo los (4;0) y (0,34;4), responden a ecuaciones similares a la (4.1), pero con menor masa asociada y con una resistencia térmica por convección en el intercambio de calor con el nudo correspondiente dentro de el canal. El sistema de ecuaciones será entonces:

$$T_{i,j}^{t+1} = T_{i,j}^t \left[1 - \frac{2a\Delta\theta}{\Delta X} \left(\frac{2}{\Delta X} + \frac{\bar{h}_c}{K} \right) \right] + \frac{2a\Delta\theta}{\Delta X^2} \left(T_{i,j+1}^t + \frac{T_{i+1,j}^t}{2} + \frac{\bar{h}_c \Delta X T_{i,j-1}^t}{K} + \frac{T_{i-1,j}^t}{2} \right)$$

donde:

- \bar{h}_c es el coeficiente de intercambio de calor por convección, valor promedio, en la pared, calculado de modo aproximado con fórmulas y gráficos de las referencias 5 a 8, con valores distintos para los canales posterior e inferior.

4.3. ECUACIONES PARA NUDOS SOBRE EL ABSORVEDOR

Estos nudos, por ejemplo los (4,3) y (5,2), se relacionan con sus vecinos como muestra la fig. 5. Nótese que el nudo (i,j) recibe radiación solar, almacena en su masa asociada, intercambia calor por conducción con los nudos (i,j-1) e (i-1,j), por convección con el nudo (i+1,j), que está entre el canal y la cobertura interna, y por radiación con el nudo (i+2,j), en la cobertura interna.

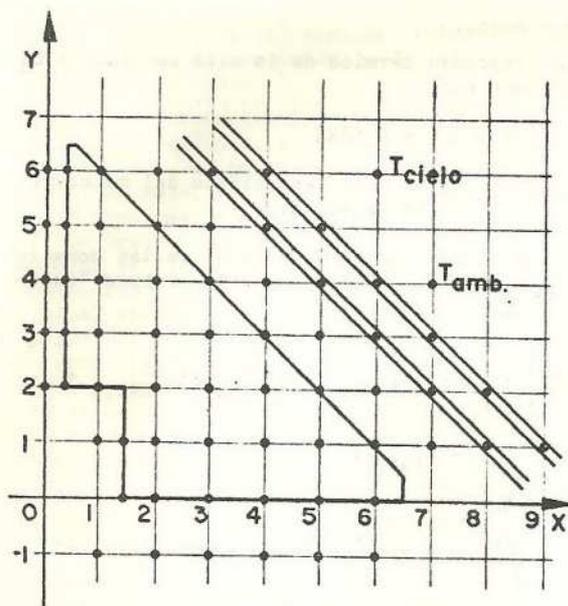


FIG. 4

Las ecuaciones son:

$$T_{i,j}^{t+1} = T_{i,j}^t + \frac{2a\Delta\theta}{K\Delta X} \left[1,414 H_{45} \sigma \tau \alpha + 1,414 \bar{h}_{CA} \right. \\ \left. (T_{i+1,j}^t - T_{i,j}^t) + \frac{K}{\Delta X} (T_{i,j-1}^t - T_{i,j}^t) + \frac{K}{\Delta X} \right. \\ \left. (T_{i-1,j}^t - T_{i,j}^t) + \frac{\sigma(T_{i+2,j}^t + T_{i,j}^t)^3 (T_{i+2,j}^t - T_{i,j}^t)}{1,414 \left(\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1 \right)} \right]$$

donde:

H_{45}^o es la radiación sobre un plano a 45^o

$\tau\alpha$ es el producto transmitancia-absortancia para las dos coberturas

\bar{h}_{CA} es el coeficiente medio de intercambio de calor por convección en la pared del absorbedor

σ es la constante de Stefan-Boltzmann

ϵ_p la emisividad de la superficie absorbedora

ϵ_c la emisividad de la cobertura

T la temperatura en grados centígrados

T la temperatura en grados Kelvin

4.4. ECUACIONES PARA LOS NUDOS DE LA PRIMERA COBERTURA

Los nudos de la primera cobertura se relacionan con los vecinos como muestra la fig.

5. Se considera a la cobertura sin masa y opa ca para las emisiones radiantes del absorbedor y la otra cobertura.

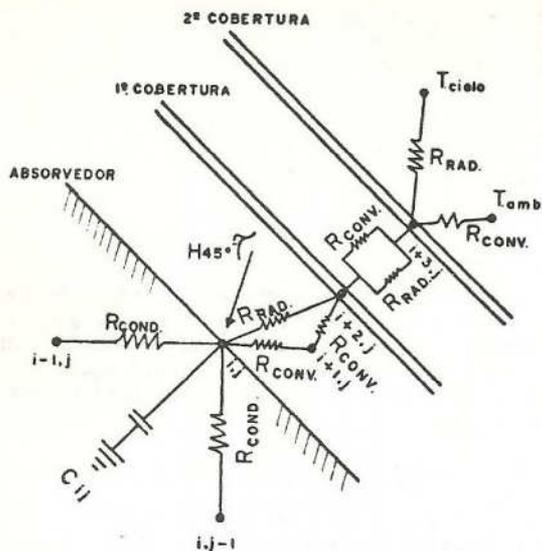


FIG. 5

El sistema de ecuaciones, en régimen permanente, será:

$$T_{i,j} = \frac{N_1}{D_1}$$

$$N_1 = \frac{\sigma(T_{i-2,j} + T_{i,j})^3 T_{i-2,j} + \bar{h}_{cc} T_{i-1,j} + T_{i+1,j} \left[\bar{h}_{ccc} + \frac{\sigma(T_{i,j} + T_{i+1,j})^3}{\left(\frac{4}{\epsilon_c} - 2 \right)} \right]}{\left(\frac{2}{\epsilon_c} + \frac{2}{\epsilon_p} - 2 \right) + \bar{h}_{cc} + \bar{h}_{ccc} + \frac{\sigma(T_{i,j} + T_{i+1,j})^3}{\left(\frac{4}{\epsilon_c} - 2 \right)}}$$

donde:

\bar{h}_{cc} es el coeficiente de intercambio de calor por convección en la superficie interna de la primera cobertura

\bar{h}_{ccc} es el coeficiente de intercambio de calor por convección entre las dos coberturas

4.5 ECUACIONES PARA LOS NUDOS DE LA SEGUNDA COBERTURA

La segunda cobertura, además de intercambiar calor por convección y radiación con la primera, intercambia por radiación con el cielo y por convección con el ambiente exterior, como muestra la fig. 5.

En este caso, el sistema de ecuaciones, para régimen permanente, será:

$$T_{i,j} = \frac{N_2}{D_2}$$

$$N_2 = T_{i-1,j} \left[\bar{h}_{ccc} + \frac{\sigma(T_{i-1,j} + T_{i,j})^3}{\left(\frac{4}{\epsilon_c} - 2\right)} \right] +$$

$$+ 0,5 \sigma \epsilon_c T_{\text{cielo}} (T_{\text{cielo}} + T_{i,j})^3 + T_{\text{AMB}} \bar{h}_{\text{CAM}}$$

$$D_2 = \frac{\sigma(T_{i-1,j} + T_{i,j})^3}{\frac{4}{\epsilon_c} - 2} + \bar{h}_{ccc} +$$

$$+ 0,5 \sigma \epsilon_c (T_{\text{cielo}} + T_{i,j})^3 + \bar{h}_{\text{CAM}}$$

donde:

T_{AMB} es la temperatura del ambiente externo en $^{\circ}\text{K}$.

T_{cielo} es la temperatura equivalente del cielo en $^{\circ}\text{K}$

\bar{h}_{CAM} es el coeficiente de intercambio de calor por convección en la superficie externa de la segunda cobertura.

4.6. ECUACIONES PARA LOS NUDOS EN LOS CANALES PARA AIRE.

El sistema de ecuaciones para los nudos ubicados entre el absorbedor y la primera cobertura, está desarrollado en base a la fig. 6. Por tratarse de una superficie a 45° , el área de intercambio de calor en el absorbedor y en las coberturas es mayor que el área entre los nudos interiores.

$$A_{45^{\circ}} = \frac{A}{\cos 45^{\circ}} = 1,414 A$$

El balance de energía para el nudo (i,j) de el sistema

$$\bar{h}_{\text{CA}} 1,414 A (T_{i-1,j} - T_{i,j}) + \bar{h}_{\text{CC}} 1,414 A (T_{i+1,j} - T_{i,j}) = \text{GH } C_p (T_{i,j,2} - T_{i,j,1}) \quad (4.4)$$

donde GH es la descarga de aire en el canal, en Kg/h. Conociendo que:

$$T_{i,j,1} = T_{i+1,j-1,2} \text{ y suponiendo una varia-}$$

ción lineal de la temperatura de $T_{i,j,1}$ a $T_{i,j,2}$ se puede afirmar que:

$$T_{i,j} = \frac{T_{i+1,j-1,2} + T_{i,j,2}}{2} \quad (4.5)$$

Reemplazando la (4.5) en la (4.4) y explicitando $T_{i,j,2}$, se tiene:

$$T_{i,j,2} = \frac{1,414 A \bar{h}_{\text{CA}} \left[T_{i-1,j} - \left(\frac{T_{i+1,j-1,2}}{2} \right) \right]}{0,707 A (\bar{h}_{\text{CA}} + \bar{h}_{\text{CC}}) + \text{GH } C_p} + \frac{1,414 A \bar{h}_{\text{CC}} \left[T_{i+1,j} - \left(\frac{T_{i+1,j-1,2}}{2} \right) \right] + \text{GH } C_p T_{i+1,j-1,2}}{0,707 A (\bar{h}_{\text{CA}} + \bar{h}_{\text{CC}}) + \text{GH } C_p}$$

A partir de ésta, se calcula $T_{i,j}$ por la ecuación (4.5).

Las ecuaciones se resuelven en forma secuencial, a partir del primer nudo del canal, donde $T_{i,1,1}$ es la temperatura de entrada al colector-acumulador.

Los nudos del canal vertical posterior y del horizontal inferior, son tratados con una ecuación similar en la que la "cobertura" es totalmente opaca y aislada, de modo que \bar{h}_{CC} es despreciado.

5. CÁLCULO DE LA TEMPERATURA INTERIOR DEL EDIFICIO

Para este cálculo, se supone que el edificio gana calor del muro solar, de la radiación solar que atraviesa las ventanas, de las personas y los aparatos en su interior, y que pierde por transmisión (U.A) y por renovación de aire.

Considerando que en este trabajo se quiere estudiar fundamentalmente el confort térmico proporcionado por el muro solar, durante el invierno, establecemos la siguiente hipótesis de trabajo, para un día típico del mes de julio:

Calor perdido por renovación = Ganancia directa + personas + aparatos.

y durante la noche: (5.1)

Renovación = 0, Ganancia directa = 0,

Personas = 0, Aparatos = 0

Para controlar la validez de la hipótesis, calculamos el índice de renovación de aire, el cual deberá encontrarse dentro de límites razonables.

Tomando como datos $272 \text{ Kcal/m}^2 \text{ h}$, como la radiación en una pared vertical norte, en Porto Alegre (10), $\tau_{a,r} = 0,73$ (6), 12 m^2 el área de

ventanas y estimando en 15% las pérdidas por el piso, obtenemos 2025 Kcal/h por ganancia directa. Sumando a esta cantidad el calor producido por 3 personas (promedio de ocupación) a 80 Kcal/per.h y 0,3 kW como la potencia media disipada por aparatos, el calor ganado es igual a 2523 Kcal/h.

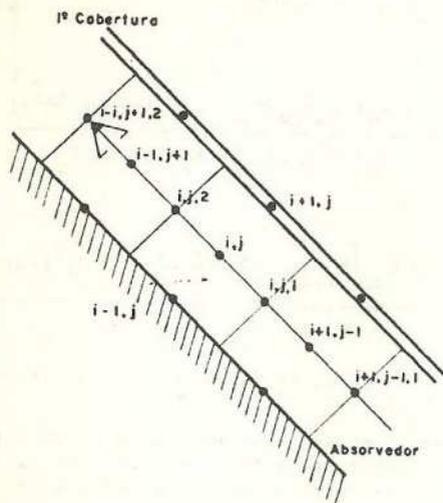


FIG. 6

El índice de renovación se puede calcular con la fórmula: Calor perdido por renovación = $n V \rho C_p (T_{int} - T_{amb})$

donde V es el volumen de la zona climatizada. Por nuestra hipótesis (5.1), el calor perdido por renovación debe ser igual a 2523 Kcal/h y tomando $T_{amb} = 14,8^{\circ}\text{C}$, como temperatura media durante las horas de sol (9) y eligiendo $T_{int} = 22^{\circ}\text{C}$, resulta $n \approx 3$, lo que significa que el volumen de aire de la zona climatizada debe ser renovado 3 veces por hora. Dado que este valor está de acuerdo con la renovación que se da en forma natural por aberturas y frestas, se puede concluir que la hipótesis (5.1) es razonable.

Entonces, en régimen permanente, el calor ganado por el muro solar es igual al calor perdido por transmisión para el exterior. Esta condición nos permite escribir

$$UA(T_{int} - T_{amb}) = C_p GN (T_G - (T_{int} - T_c))$$

donde G es la descarga de aire caliente por cada modulo estudiado (1m de profundidad), calculada segun ref (4), en Kg/h, T_G es la temperatura del aire que sale del muro. T_c es un coeficiente de estratificación que corrige la T_{int} dado que la temperatura de ingreso al colector es menor que ésta. Se adopta $T_c = 1,39^{\circ}\text{C}$ (4).

De esta forma, la T_{int} del edificio resulta

$$T_{int} = \frac{UA T_{amb} + 2,9 G (T_G + T_c)}{UA + 2,9 G}$$

6. PROGRAMA PARA RESOLUCIÓN DE LAS ECUACIONES

Se desarrolló un programa en lenguaje ALGOL, trabajándose con un computador Burroughs B6700.

Los datos suministrados al programa fueron la radiación solar incidente sobre el muro inclinado y la temperatura ambiente, un dato cada 15 minutos durante los días que se quiere simular.

Todas las ecuaciones fueron resueltas cada 15 minutos e impresas las temperaturas en cada nudo de un formato que reproduce el muro. Se imprime también el tiempo, el flujo en el canal horizontal GH y en el vertical GV, en Kg de aire/h, la descarga total $G = GH + GV$, la temperatura del aire de descarga T_G , la temperatura hipotética del cielo y la temperatura ambiente, todas en $^{\circ}\text{C}$, la radiación solar incidente en $\text{Kcal/m}^2\text{h}$ y la temperatura interna del edificio en $^{\circ}\text{C}$.

7. RESULTADOS OBTENIDOS

Las figuras 7 a 11 muestran la radiación disponible (H_{450}), la temperatura ambiente (T_{AMB}), la temperatura en el absorvedor (T_{ABS}), representada por el nudo (4,3), la temperatura en el baricentro (T_{BM} , correspondiente al nudo (3,2)) y la temperatura interior del edificio (T_{INT}) para el sistema en régimen periódico. En la Fig. 7, se presentan los gráficos para un día típico de julio (invierno) en Porto Alegre. En las Fig. 8 y 9, se representan cuatro días de sol con cielo despejado y temperatura ambiente 1°C por encima del promedio y en las Fig. 10 y 11, cuatro días nublados con temperatura ambiente 1°C por debajo del promedio. Tiene que destacarse que en esta simulación el muro solar no posee ningún tipo de control de flujo en sus canales, por lo cual la temperatura interior puede pasar los límites confortables. Por otro lado, la excesiva fluctuación de la temperatura interna se debe al hecho de que no se ha considerado la masa interna del edificio, que deberá amortiguar y defasar las variaciones de su temperatura interior con relación a la externa.

Los resultados obtenidos, que son lógicos y esperados comparados con los obtenidos en los tratamientos unidimensionales de muros solares, constituyen un estudio del muro colector en sí e son una primera etapa de un trabajo más general. Como prosecución se deberá considerar la masa interna del edificio dentro del sistema de ecuaciones y a posteriori, comparar estos resultados con mediciones experimentales. Otro trabajo posterior será simular el comportamiento del sistema bajo condiciones ambientales correspondientes al verano.

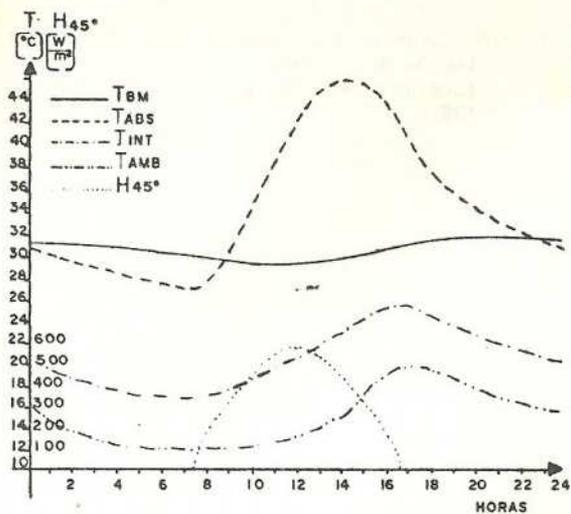


FIG. 7

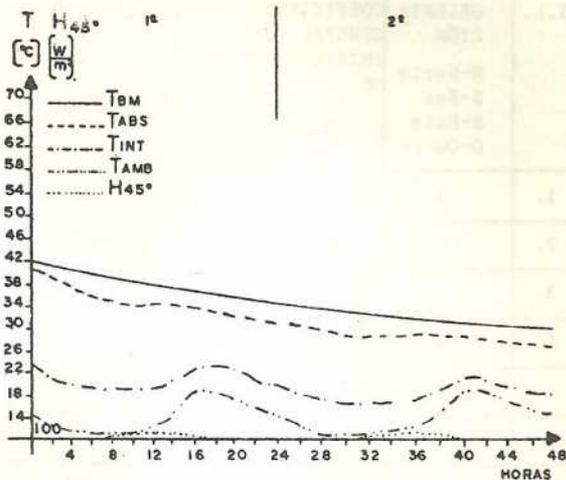


FIG. 10

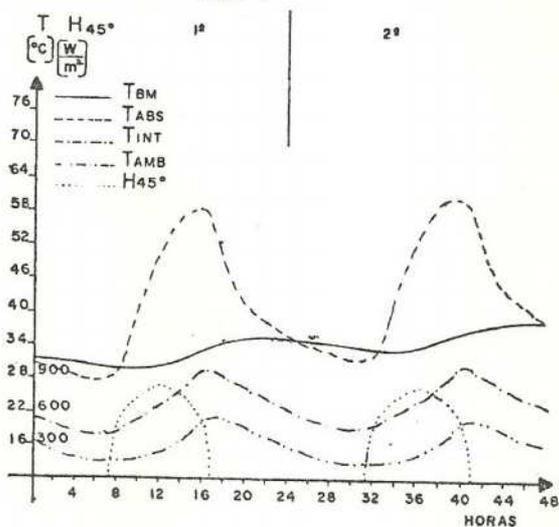


FIG. 8

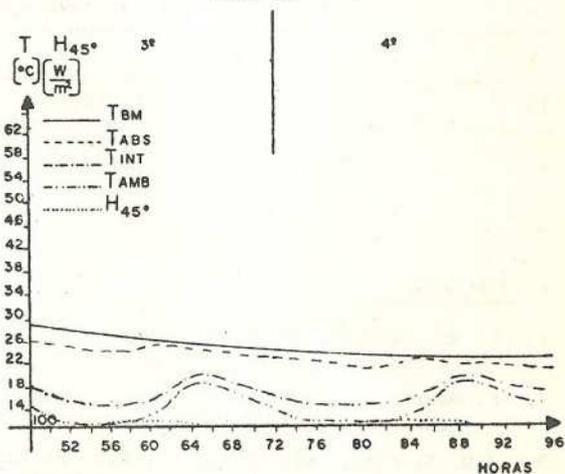


FIG. 11

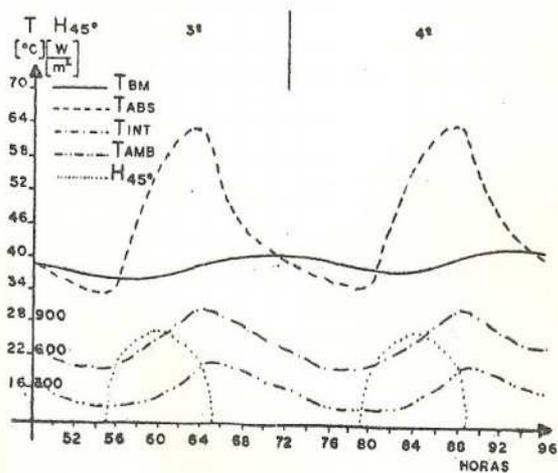


FIG. 9

SUPERFICIES LIMITANTES CONSIDERADAS EN TABLA I

1. PARED INTERNA SUR-VOLUMEN DE AIRE-PARED EXTERNA DOBLE.
- 2.3. PARED EXTERNA DOBLE
4. PARED DE HORMIGÓN (15 cm)
5. COBERTURA
- 6.7. VENTANA CON DOBLE VIDRIO
8. PARED EXTERNA DE MADERA
9. CHIMENEA
10. CIMENTOS

S.L.	ORIENTACIÓN N-Norte S-Sur E-Este O-Oeste	COEFICIENTE GENERAL DE INTERCAMBIO DE CALOR $U \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}$	ÁREA A m^2	ADICIONAL POR ORIENTACIÓN
1.	S	0,30	79,0	23,7+20%=28,4
2.	O	0,35	23,0	8,1+10%=8,9
3.	E	0,35	6,9	2,4+10%=2,6
4.	N	2,56	10,2	26,1+6%=27,7
5.		0,40	103,4	41,4+6%=43,9
6.	N	1,30	30,3	39,4+6%=41,8
7.	O	1,30	0,7	0,9+10%=1,0
8.	O	2,25	2,1	4,7+10%=5,2
9.		0,35	4,1	1,4
10.				14,1

TABLA I

$$\Sigma \text{UA} = 175 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}^\circ\text{C}}$$

10. O.D. Corbella y T. Loureiro. Potencial Solar do Rio Grande do Sul. Publicación Interna - PPGEMM/UFRGS - Porto Alegre, 1981.

8. BIBLIOGRAFIA

1. B. Anderson. Solar Energy. Fundamentals in Building Design. Mc Graw Hill, 1977.
2. E. Mazria. The Passive Solar Energy Book. Rodale Press, 1979.
3. J.D. Balcomb, J.C. Hedstrom y R.D. Mc Farland. Passive Solar Heating of Buildings. Report LA-UR-77-1162 Los Alamos, 1977.
4. D.P. Grimmer. Theoretical Considerations in the Use of Small Passive-Solar Test Boxes to Model the Thermal Performance of Passive Solar. Heated Buildings Designs. Solar Energy. Vol. 22, 343-350, 1979.
5. F. Kreith. Principios da Transmissão de Calor (3ª Ed.) Blucher, 1977.
6. J.A. Duffie y W.A. Beckman. Solar Energy Thermal Processes. J. Willey, 1974.
7. TRANE Air Conditional Manual. La Crosse, 1968.
8. K.G.T. Hollands. Free Convection in Solar Energy Conversion, Pergamon, 1979.
9. Instituto Coussirat Araujo. Temperatura Média de Porto Alegre nos últimos 15 anos - Porto Alegre, 1979.