

METODOLOGIA PARA ESTIMAR LA OSCILACION DE TEMPERATURA EN ESPACIOS CALEFACCIONADOS CON GANANCIA DIRECTA

Alicia Ravetto*

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV)
Instituto Argentino de Investigaciones de las
Zonas Aridas (IADIZA)
Casilla Correo N° 507 - (5500) MENDOZA

RESUMEN

Este trabajo presenta una metodología para estimar la temperatura media y la oscilación de temperatura interior del aire de un espacio calefaccionado con ganancia directa.

El objetivo es plantear un método de análisis simple para estimar cuantitativamente las condiciones de confort térmico obtenibles mediante la utilización de distintas estrategias de calefacción solar pasiva. El nivel de los cálculos es tan simple que se espera sea útil a los diseñadores en sus propias experiencias para realizar estimaciones y ajustes durante el proceso de diseño.

Es un procedimiento estimativo. Se parte de un modelo teórico para determinar las diferencias que producen los cambios globales. Está basado en el método de la capacitancia global. Se analizan sus limitaciones.

Los resultados se confrontaron con el método de capacidad térmica diurna desarrollado en: Los Alamos Scientific Laboratory.

Se está analizando el mismo grupo de datos con un modelo de simulación por incremento finito desarrollado en el LAHV, no se incluyen aún los resultados. Estos generarán otro grupo de curvas, sin modificar el planteo del método.

INTRODUCCION

El diseñador que puede predecir la temperatura interior de un edificio con ganancia directa, podrá dosificar elementos tales como el tamaño del área vidriada al Norte, la masa térmica necesaria y el tipo y cantidad de aislación térmica a colocar para conseguir óptimo confort interior y ahorros solares efectivos.

Este trabajo propone un método gráfico para predecir la oscilación de temperatura interior a partir de los valores globales de pérdidas de calor y de masa térmica.

Es aplicable solamente a un espacio con vidrioado vertical al Norte. Debe tenerse en cuenta que, en cualquier situación real, la transferencia de calor es un proceso físico complejo y es difícil calcular en forma precisa las temperaturas interiores de cualquier diseño. La disponibilidad de energía en forma de calor en los edificios incluye muchas variables -el nivel de infiltración, entre otras- que hacen difícil considerar cualquier herramienta analítica como totalmente confiable.

Existen varios trabajos en esta línea de investigación que tienden a lograr una herramienta que sea útil, entendible y aplicable por el diseñador en las primeras etapas del diseño.

Se sabe que, teniendo la fachada Norte vidriada, se puede contar con gran cantidad de energía solar, pero ¿cuáles son sus consecuencias en un día claro de julio sobre la temperatura del aire de dicho espacio? ¿qué relaciones de masa térmica, ganancia solar y pérdidas de calor son las más adecuadas dentro del rango de confort aceptable a lo largo del día?

Para dar respuesta a estos interrogantes se evalúa la influencia de las intervenciones posibles sobre la arquitectura misma y sobre sus componentes para su aplicación en las primeras etapas del diseño.

Se propone una herramienta auxiliar al diseño para calcular la fluctuación diaria de temperatura de un espacio calefaccionado en forma pasiva, bajo determinadas condiciones climáticas y arquitectónicas.

Siempre que la temperatura exterior esté por debajo del límite inferior de la zona de confort de 16°C se plantea la necesidad de calefacción solar pasiva y las medidas de conservación de calor minimizando las pérdidas de calor por conducción y por infiltración.

"El punto de equilibrio óptimo de una casa es la temperatura de aire exterior más baja en que el interior se mantiene dentro de los límites de confort, ante una determinada contribución solar. Este punto varía con el clima, el nivel de aislación, la infiltración de aire

* Director de beca: Arq. Carlos de Rosa
Asesor: Inq. Fernando Solanes

METODOLOGIA PARA ESTIMAR LA OSCILACION DE TEMPERATURA EN ESPACIOS CALEFACCIONADOS CON GANANCIA DIRECTA

Alicia Ravetto*

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV)
Instituto Argentino de Investigaciones de las
Zonas Aridas (IADIZA)
Casilla Correo N° 507 - (5500) MENDOZA

RESUMEN

Este trabajo presenta una metodología para estimar la temperatura media y la oscilación de temperatura interior del aire de un espacio calefaccionado con ganancia directa.

El objetivo es plantear un método de análisis simple para estimar cuantitativamente las condiciones de confort térmico obtenibles mediante la utilización de distintas estrategias de calefacción solar pasiva. El nivel de los cálculos es tan simple que se espera sea útil a los diseñadores en sus propias experiencias para realizar estimaciones y ajustes durante el proceso de diseño.

Es un procedimiento estimativo. Se parte de un modelo teórico para determinar las diferencias que producen los cambios globales. Está basado en el método de la capacitancia global. Se analizan sus limitaciones.

Los resultados se confrontaron con el método de capacidad térmica diurna desarrollado en: Los Alamos Scientific Laboratory.

Se está analizando el mismo grupo de datos con un modelo de simulación por incremento finito desarrollado en el LAHV, no se incluyen aún los resultados. Estos generarán otro grupo de curvas, sin modificar el planteo del método.

INTRODUCCION

El diseñador que puede predecir la temperatura interior de un edificio con ganancia directa, podrá dosificar elementos tales como el tamaño del área vidriada al Norte, la masa térmica necesaria y el tipo y cantidad de aislación térmica a colocar para conseguir óptimo confort interior y ahorros solares efectivos.

Este trabajo propone un método gráfico para predecir la oscilación de temperatura interior a partir de los valores globales de pérdidas de calor y de masa térmica.

Es aplicable solamente a un espacio con vidriado vertical al Norte. Debe tenerse en cuenta que, en cualquier situación real, la transferencia de calor es un proceso físico complejo y es difícil calcular en forma precisa las temperaturas interiores de cualquier diseño. La disponibilidad de energía en forma de calor en los edificios incluye muchas variables -el nivel de infiltración, entre otras- que hacen difícil considerar cualquier herramienta analítica como totalmente confiable.

Existen varios trabajos en esta línea de investigación que tienden a lograr una herramienta que sea útil, entendible y aplicable por el diseñador en las primeras etapas del diseño.

Se sabe que, teniendo la fachada Norte vidriada, se puede contar con gran cantidad de energía solar, pero ¿cuáles son sus consecuencias en un día claro de julio sobre la temperatura del aire de dicho espacio? ¿qué relaciones de masa térmica, ganancia solar y pérdidas de calor son las más adecuadas dentro del rango de confort aceptable a lo largo del día?

Para dar respuesta a estos interrogantes se evalúa la influencia de las intervenciones posibles sobre la arquitectura misma y sobre sus componentes para su aplicación en las primeras etapas del diseño.

Se propone una herramienta auxiliar al diseño para calcular la fluctuación diaria de temperatura de un espacio calefaccionado en forma pasiva, bajo determinadas condiciones climáticas y arquitectónicas.

Siempre que la temperatura exterior esté por debajo del límite inferior de la zona de confort de 16°C se plantea la necesidad de calefacción solar pasiva y las medidas de conservación de calor minimizando las pérdidas de calor por conducción y por infiltración.

"El punto de equilibrio óptimo de una casa es la temperatura de aire exterior más baja en que el interior se mantiene dentro de los límites de confort, ante una determinada contribución solar. Este punto varía con el clima, el nivel de aislación, la infiltración de aire

* Director de beca: Arq. Carlos de Rosa
Asesor: Inq. Fernando Solanes

...y otros factores" (10).

MATERIALES Y METODOS

A través del análisis de los datos climáticos y los requerimientos para el confort humano se definen las estrategias de diseño apropiadas de control climático, frente a un grupo de condiciones de temperatura ambiente y humedad. El concepto de relacionar temperatura y humedad con las necesidades de control climático en el diseño de edificios fue definido por V. y A. Olgay en 1950. Su gráfico bioclimático es un diagrama de temperatura y humedad usado para determinar las "necesidades de confort" de una persona sedentaria. Este diagrama fue actualizado por Arens y otros en 1980 (1).

B. Givoni hizo una extensión importante del trabajo de Olgay, determinando los límites de efectividad de diferentes prácticas constructivas para conseguir confort. Las estrategias de control climático se dibujaron sobre el diagrama bioclimático. Los límites efectivos de cada estrategia crean una zona efectiva que puede visualizarse como extensión de la zona de confort. El diagrama bioclimático indica que siempre que las condiciones de temperatura exterior y humedad estén dentro de los límites de la estrategia de control, el interior de un edificio diseñado para ejecutar efectivamente esa estrategia se mantendrá confortable.

Como puede observarse en el diagrama bioclimático para Mendoza en la Fig. 1 pueden aplicarse las estrategias de calefacción solar pasiva para conseguir confort interior.

Se consideraron datos promedio para el mes de julio de temperatura exterior (6.90C) y radiación solar incidente sobre plano vertical al Norte (4245 kcal/m²-día) y datos obtenidos para el 01-jul-1982 de 10.410C y 3350 kcal/m²-día, en el prototipo experimental E. Tedeschi. Estas características permiten la utilización de sistemas de ganancia directa con adecuada masa térmica en el interior del espacio para cubrir las necesidades diurnas de calefacción. Es importante incorporar elementos que permitan la acumulación térmica durante el día para ser usada en la noche (muros acumuladores - aislación exterior de muros y ventanas).

Propuesta metodológica

Una manera de aproximarse al estudio de las características térmicas de un espacio habitable es a través de la simulación de las condiciones reales. Esta simulación puede hacerse de un modo teórico o a través de modelos matemáticos que interpreten datos experimentales.

En este caso se planteó un procedimiento teórico, estimativo, para la determinación de la variación de la temperatura interior en función de las condiciones climáticas exte-

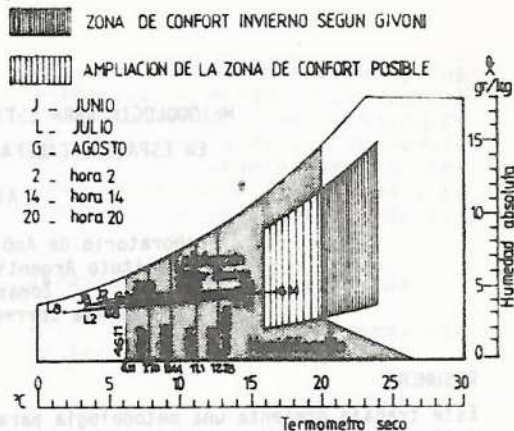


FIG.1 GRAFICO BIOCLIMATICO PARA MENDOZA
Valores medios horarios (1928 - 1937)

riores, como primera aproximación al estudio de los fenómenos de transferencia de calor y análisis de alternativas en un marco limitado de posibilidades.

No se analiza la influencia de la forma del espacio sobre las condiciones de confort interior, como tampoco se considera la manera de distribuir la masa térmica en el espacio. Esta limitación está implícita en el método de conductancia global adoptado. Se considera que la temperatura de un sólido es "especialmente uniforme", en cualquier instante, en un estado transitorio o estacionario. No se tienen en cuenta entonces, los gradientes de temperatura dentro del sólido (7).

La ley de Fourier dice que "la conducción de calor en ausencia de un gradiente de temperatura implica la existencia de una conductividad térmica infinita". Dicha condición es claramente imposible, pero, a pesar de ello, es aproximado suponer muy pequeña la resistencia a la conducción dentro del sólido, comparado con la resistencia a la transferencia de calor entre el sólido y su entorno.

Los parámetros climáticos y constructivos considerados son:

- temperaturas del aire exterior horarias
- radiación solar sobre plano vertical al Norte horaria
- área de colección solar
- niveles de aislación fija exterior
- valor de conductancia global de la envolvente
- cantidad de masa térmica global dentro del espacio

Los objetivos son básicamente dos: mantener la oscilación de temperatura interior (ΔT) lo más baja posible y mostrar la variación que se produce en las condiciones de confort para los casos analizados (temperatura interior del aire).

Conocidas las características constructivas del modelo teórico, se hace un balance térmico aplicando la siguiente fórmula simplificada*:

$$M_c \frac{\Delta T}{\Delta t} = (T_{ext} - T_t) h_A + S$$

M_c = masa térmica total del espacio [kcal/°C]

ΔT = diferencial de temperatura [($T_t + t$) - T_t] [°C]

Δt = diferencial de tiempo (1 hora)

T_{ext} = temperatura ambiente exterior [°C]

T_t = temperatura interior en el instante t (incógnita) °C

h_A = coeficiente global de pérdidas de calor, incluidas las pérdidas por infiltración kcal/°C h

$$h_A = \sum U_j \times A_j + V \times c_p \times N$$

$\sum U_j \times A_j$ = sumatoria de conductancia por superficie de todos los elementos: muros, techo, piso, área vidriada

V = volumen de aire

c_p = capacidad calorífica del aire

N = número de renovaciones de aire por hora

S = radiación solar incidente sobre plano vertical al Norte

$$S = S_t \times A_v \times \tau \times \alpha$$

S_t = radiación horaria [kcal/h-m²]

A_v = área vidriada [m²]

τ = transmitancia [%]

α = absortancia [%]

Se obtiene luego la temperatura interior hora a hora.

$$T(t + \Delta t) = T_t \left(1 - \frac{\sum h_A}{\sum M_c}\right) + T_{ext} \left(\frac{\sum h_A}{\sum M_c}\right) + S_t \frac{A_v \tau \alpha}{\sum M_c}$$

Se considera estabilizado el sistema cuando, luego de una sucesión de lazos, el error es 0.001.

Los términos entre paréntesis se reemplazan por A, B y C, que se calculan para cada caso, quedando la expresión de la siguiente manera:

$$T(t + \Delta t) = T_t \times A + T_{ext} \times B + S_t \times C$$

Los datos que se requieren para el programa de cálculo son:

- . Temperatura exterior y radiación hora a hora
- . Masa térmica, pérdidas de calor, infiltración y área vidriada *
- . Hora y temperatura inicial

* Comunicación personal de Balcomb, J.D.

RESULTADOS

Se analizaron distintas alternativas para un espacio cúbico de 3 m de lado, con el área vidriada al Norte y masa de acumulación en las 3 caras restantes y el piso, aislados exteriormente. También se obtuvo otro grupo de datos generales para condiciones de temperatura exterior y radiación horarias, promedios para julio.

Se mantiene constante:	Se varía:
Pérdidas, Área Vidriada	Masa
Masa, Área Vidriada	Pérdidas
Pérdidas, Masa	Área Vidriada

En la Fig. 2 se presenta la variación horaria de la temperatura interior para condiciones promedio de clima exterior de julio para algunos ejemplos.

Se observa que la variación en el nivel de pérdidas afecta la temperatura media, haciendo ascender o descender la curva según se disminuya o aumente dicho valor respectivamente.

Al aumentar la masa térmica para un mismo nivel de pérdidas e igual área vidriada, disminuye la oscilación de temperatura interior.

Al diseñador le interesa poder definir el nivel de pérdidas de calor aceptable, el área colectora adecuada y la masa térmica necesaria para obtener condiciones de confort en el interior de los espacios. Esas condiciones se expresan a través de la temperatura media interior y la oscilación de temperatura, según puede observarse en las Figuras 3 y 4, donde se graficaron las siguientes relaciones:

1. Temperaturas globales (en °C) en función de la relación entre pérdidas globales de calor y área colectora (en kcal-h°C/m²). Se define un rango máximo de confort entre 16°C y 26°C que determina los límites de P/AC y se tiene un rango útil entre 19°C y 23°C para una fluctuación máxima de 10°C. Como la variación en la temperatura media interior varía fundamentalmente en función de las condiciones de clima exterior, se obtendrán distintas curvas para cada grupo de datos mensuales.
2. Oscilación de temperatura interior (en °C) en función de la relación entre masa térmica y área colectora (en kcal-h°C/m²). La fluctuación de temperatura interior depende fundamentalmente de la capacidad térmica de la masa del espacio. A partir de decidir una temperatura media interior óptima, el diseñador podrá conocer el área colectora, el nivel de pérdidas, la masa térmica y la oscilación de temperatura interior. Con esos valores globales se podrán proponer distintas alternativas constructivas, teniendo presente el costo de cada decisión y la posibilidad técnica de realizarlo.

La aplicación del método requiere seguir los siguientes pasos:

1. El diseñador conoce las dimensiones del espacio y determina un nivel de pérdidas globales de calor (envolvente opaca + área vidriada + infiltración).
2. Se le presentan dos alternativas:
 - a) Debe dimensionar el área colectora, o
 - b) Tiene establecida un área colectora y desea conocer la T_{med} interior y la masa térmica necesaria para obtener una determinada oscilación máxima de temperatura.

Para el caso a) se requiere conocer, por ejemplo, una $T_{med} = 21^{\circ}C$ para el mes de julio. Para el punto correspondiente en la curva se lee el valor P/AC sobre el eje de las abscisas. Como el nivel de pérdidas es conocido, se obtiene luego el área colectora, por lo tanto se podrá establecer la T_{med} por medio de la Figura 3.

3. Determinación de la masa térmica y la correspondiente oscilación de temperatura interior.

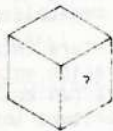
Es necesario señalar que se analiza la capacidad de acumulación efectiva de la masa térmica sin hacer expresa referencia a la distribución y espesor de la misma dentro del espacio. Por lo tanto, de la Figura 4 puede obtenerse el valor global de la masa necesaria para mantener una oscilación de temperatura interior adecuada. Si se desglosa dicho valor y se fija el espesor útil (2), puede obtenerse la superficie expuesta, sin precisar su localización.

Masa por m^2 = densidad x calor específico x espesor útil

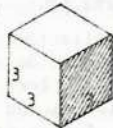
Masa total = masa por m^2 x superficie expuesta

Si los resultados fueran incompatibles con las posibilidades constructivas del espacio (por ejemplo, la distribución de la masa de acumulación térmica) o con el costo de dicha alternativa, debe retomarse el paso 2, admitiendo otras T_{med} , dentro del rango máximo.

Ejemplos: 1



2



PERDIDAS GLOBALES = 55 kcal/h $^{\circ}C$

1 Área colectora = a dimensionar

2 Área colectora = 9 m^2

Paso 1:

Se tiene un espacio de 3x3x3 m y un nivel de pérdidas de 55 kcal/h $^{\circ}C$.

Paso 2:

a) Dimensionar el área colectora.

Para una $T_{med}=21^{\circ}C$, para condiciones del

mes de julio ($T_{ext}=6.9^{\circ}C$)

$P/AC=9.5$ kcal/h $^{\circ}C$ - m^2 (Fig.3) luego $AC=5.8m^2$

Para condiciones promedio del mes de julio ($T_{ext}=7.8^{\circ}C$)

$P/AC=10$ kcal/h $^{\circ}C$ - m^2 (Fig.3) luego $AC=5.5 m^2$

Para condiciones promedio del mes de agosto ($T_{ext}=9.9^{\circ}C$)

$P/AC=12$ kcal/h $^{\circ}C$ - m^2 (Fig.3) luego $AC=4.6 m^2$

Evidentemente se adoptará el tamaño más adecuado para los 3 meses de invierno, por ejemplo $AC=5.3 m^2$, y se obtendrán las siguientes T_{med} : 20 $^{\circ}C$ (julio); 20.5 $^{\circ}C$ (junio) y 22.5 $^{\circ}C$ (agosto).

b) $P/AC=6.1$ kcal/h $^{\circ}C$ - m^2 , luego $T_{med}=29^{\circ}C$ (julio).

Paso 3:

T máximo=7 $^{\circ}C$, luego $M/AC=325$ kcal/h $^{\circ}C$ - m^2 (Fig. 4).

Si $AC=5.3 m^2$; $M=1722$ kcal/h $^{\circ}C$

De acuerdo al material que se desea usar se tendrán las masas unitarias.

Ladrillo 1600 kg/ m^3 x0.22 kcal/kg $^{\circ}C$ x0.15mx1 m^2 = 52.8 kcal

Máxima superficie expuesta=32.6 m^2

Adobe 1900 kg/ m^3 x0.22 kcal/kg $^{\circ}C$ x0.15mx1 m^2 = 62.7 kcal

Máxima superficie expuesta=27.5 m^2

Hormigón 2400 kg/ m^3 x0.22 kcal/kg $^{\circ}C$ x0.15mx1 m^2 = 79.2 kcal

Máxima superficie expuesta=21.7 m^2

De esta manera pueden analizarse todas las soluciones que el diseñador vaya planteando, convirtiéndose en una herramienta útil en la primera etapa del diseño.

Una vez obtenidos los datos definitivos se podrán elaborar tablas que complementen los gráficos presentados.

CONCLUSIONES

Se pueden verificar las condiciones bajo las que la aplicación del método de capacitancia global es válida, calculando el número "BIOT", que cumple un rol fundamental en los problemas de conducción que incluyen los efectos de la convección superficial. Brinda una medida de la caída de temperatura en un sólido, en relación a la diferencia de temperatura entre la superficie y el fluido.

Si $B_i = \frac{hL}{k} \leq 0.1$, el error asociado al uso de este método será pequeño.

(h =resistencia superficial; L =espesor; k =conductividad térmica).

El método tendrá mayor validez para espesores muy pequeños.

Es importante analizar este trabajo desde el punto de vista del aporte de una metodología de análisis de los datos de temperaturas interiores obtenidos. El objetivo es siempre el análisis de las condiciones de confort.

Los resultados concretos han sido una herramienta indispensable para poder formular este tipo de relaciones. Puede emplearse cualquier

otro método de cálculo que permita obtener la T_{med} , $T_{máx}$, $T_{mín}$ y T .

El tema presenta muchas posibilidades de análisis y de convalidación con otros métodos más específicos. Hasta el momento se confrontó sólo con el de capacidad térmica diurna. Se está en condiciones de obtener resultados con un modelo de simulación por incrementos finitos y un modelo de admitancia térmica desarrollados en el LAHV.

DISCUSION

El aporte principal del trabajo se sintetiza en las Figuras 3 y 4. Los datos necesarios para construir dichas curvas pueden obtenerse por medio de distintos métodos de cálculo de la variación de temperatura interior de un espacio calefaccionado por ganancia directa.

Interesa remarcar esto ya que los valores presentados son meramente indicativos y facilitaron el entendimiento de los mecanismos de transferencia de calor en un espacio simple.

La limitación principal del modelo reside en la consideración global de la masa de acumulación térmica dentro del espacio, con un espesor óptimo, la cual acumulará y entregará el calor al espacio en un ciclo de un día. No permite diferenciar el aporte de calor de cada superficie al aire en función de sus características propias y ubicación relativa. Se tendrá una temperatura igual en la superficie que en el aire, considerando que la temperatura de la masa, hasta la profundidad óptima es independiente del espesor y homogénea en el mismo. En una situación real las temperaturas de las superficies serán más elevadas con un consiguiente aumento en la transferencia de calor al aire. El modelo tendrá validez para los casos con masa térmica planteados (hormigón y ladrillo). Existen dos casos extremos en que podrían verificarse resultados cercanos a los reales como es el agua como acumulador, donde no existe un espesor óptimo y si se tiene aislación donde se aplicarían los dos conceptos limitantes de masa térmica y conductividad nula.

Además se ha considerado que toda la radiación incidente se distribuye internamente como difusa.

Cuando se convaliden los resultados de diferentes métodos de análisis, se podrán incluir todas las consideraciones necesarias para elaborar tablas y gráficos definitivos que se convertirán en una herramienta de gran utilidad para el diseñador.

EQUIVALENCIA DE UNIDADES EN S.I.

1 kcal-h C/m² 1.163 Watt/m² -C

BIBLIOGRAFIA

1. ARENS, E. et al. "A new bioclimatic chart for environmental design". Proceedings of the Fifth National Passive Solar Conference, Amherst, USA, 1980.
2. BALCOMB, J.D. "Heat storage effectiveness of concrete masonry units". Los Alamos Scientific Laboratory.
3. BALCOMB, J.D., BARLEY, D., McFARLAND, R., PERRY, J. Jr., WRAY, W., NOLL, S. Passive Solar Design Handbook - Volume Two of two volumen - "Passive Solar Design Analysis".
4. BROWN, G.Z., NOVITSKY, B.J. "A method for climate analysis based on architectural response". University of Oregon, USA, 1981
5. FAIREY, P. "Human Comfort".
6. GIVONI, B. "Man, climate and architecture" Applied Science, 1976.
7. INCROPERA, F.P., DeWITT, D.P. "Fundamentals of heat transfer". John Wiley Sons, USA, 1981.
8. ROSEN, J., MOORE, J. "A graphic method for predicting temperature swings". Proceeding of the Sixth National Passive Solar Conference, Portland, Oregon, USA, 1981.
9. WATSON, D. "Bioclimatic analysis and design methods". Proceedings of the Fifth National Passive Solar Conference, Amherst USA, 1980.
10. WATSON, D. FAIA, LABS, K. "Climatic design. Energy efficient building principles and practices". McGraw-Hill Book Company, USA, 1983.

FIG 2 : VARIACION TEMPERATURA INTERIOR

1, 2, 3, 4, 5 PERDIDAS = 100 kcal/h°C ; AREA COLECTORA = 9m² ; M=1000, 2000, 3000, 4000, 5000.
 6, 7, 8, 9, 10 PERDIDAS = 100 kcal/h°C ; AREA COLECTORA = 56m² ; M=1000, 2000, 3000, 4000, 5000.
 11 TEMPERATURA EXTERIOR
 12 RADIACION SOLAR

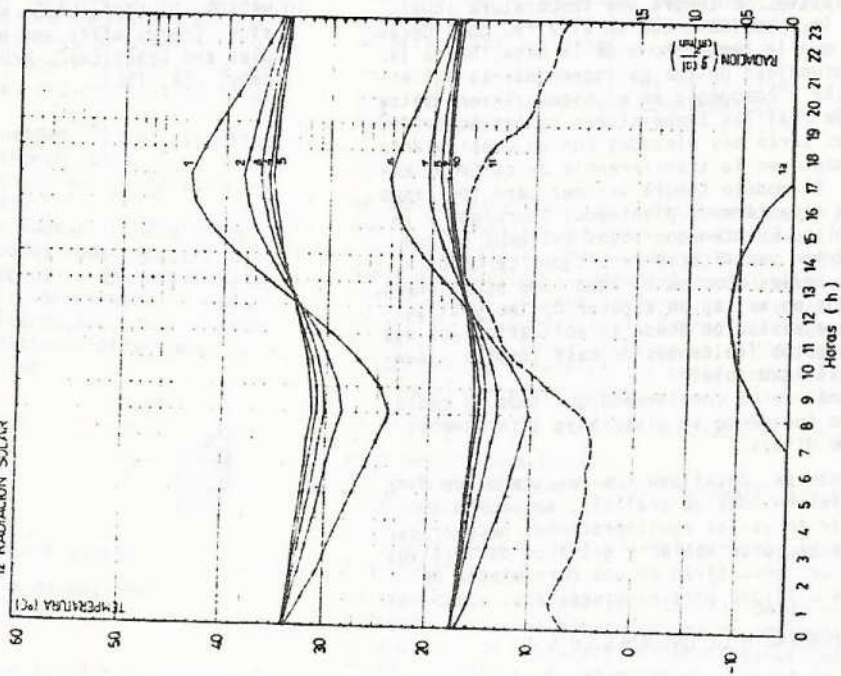


FIG. 3 : TEMPERATURA MEDIA Y RELACION DE PERDIDAS/AREA COLECTORA

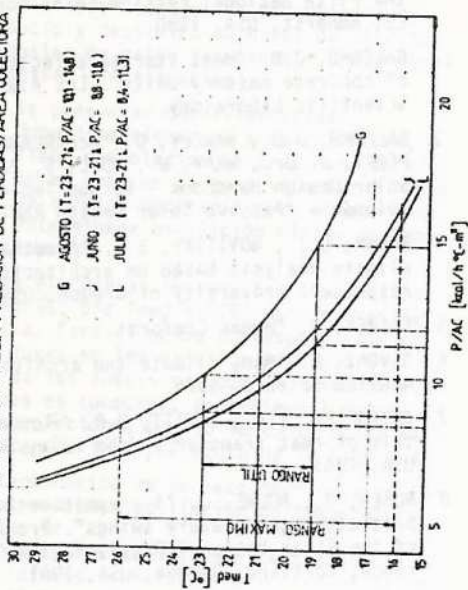


FIG. 4 : OSCILACION DE TEMPERATURA Y RELACION MASA TERMICA/AREA COLECTORA

