

CONSTRUCCION DE UN DISPOSITIVO PARA ENSAYOS DE MUROS
"COLECTOR-ACUMULADOR". Resultados Preliminares.

E. Alanis, L. Saravia
Universidad Nacional de Salta
Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales
L. Rovetta, G. Lesino y M. Gay *
Universidad Nacional de Salta

Resumen

Se describe un dispositivo experimental para el ensayo de muros "colector-acumulador", consistente en una casilla de madera de 3,5 m x 5 m x 2,8 m, dentro de la cual existen dos pequeños habitáculos termicamente aislados de (1,6 x 2,4 x 2) m³, cuya pared norte es un muro "colector-acumulador".

El muro de uno de los habitáculos está construido en piedra y se utiliza como patrón, mientras que el muro del segundo habitáculo se construye de manera tal que permite el ensayo de diversos materiales, incluidos algunos con cambio de fase. De esta manera se asegura igualdad de condiciones ambientes pa ra ambos muros durante los ensayos, lo que permite realizar una comparación cuantitativa entre los diversos materiales empleados.

Se comunican los resultados de las primeras experiencias realizadas con el muro de piedra.

Este trabajo ha sido financiado por el Plan Nacional de Energías No Convencionales (SECYT).

THE TESTING OF SOLAR COLLECTOR WALLS: PRELIMINARY RESULTS

Abstract

An experimental set up for the testing of solar collector walls is described. It consists on a room made of wood which covers two smaller ones, 1.6x 2.4 x 2 m³ which are thermally isolated and have a collector wall placed on its north side. One of the walls is made of stone, while the other one is built in such a way that different materials, including phase change substances, can be tested. Both walls will be measured at the same time, the stone wall being used as a reference which allows a quantitative comparison of the different materials.

Preliminary results for the stone wall are given.

* Ingeniero Cooperante del Gobierno Francés

1.- Introducción

Los sistemas pasivos de acondicionamiento solar, y en especial los muros colectores-acumuladores propuestos por Trombe, son de particular interés para el país, pudiendo llegar a ofrecer una solución conveniente desde el punto de vista técnico a un costo admisible para las posibilidades económicas actuales.

Existen posibilidades de mejorar las condiciones de funcionamiento y costos, así como adaptar su diseño a las particularidades de clima y condiciones de vida de la región, a través de nuevos diseños geométricos, desarrollo de otros materiales o adaptación de materiales locales.

En esta presentación se describe un dispositivo experimental destinado al ensayo de nuevos materiales y diseños en muros colectores-acumuladores de tamaño real bajo condiciones controladas, con radiación solar natural, que permiten el análisis comparativo de alternativas así como estimación del comportamiento térmico absoluto de cada sistema. Existen ejemplos de desarrollos de este tipo realizados en otros países, (1, 2, 3), habiéndose adaptado dicha experiencia a la temática y posibilidades de la región.

En la sección 2 se describe el sistema experimental construido y en la sección 3 se discuten los primeros resultados obtenidos en relación con el uso de piedras locales como materiales para los muros.

2.- Dispositivo experimental

El dispositivo está compuesto por una casilla de madera de $3,5 \times 5 \times 2,8\text{m}^3$ en cuya pared norte se han instalado dos marcos de chapa de $1,6 \text{ m}$ de ancho por $2,4 \text{ m}$ de alto, dentro de los cuales se pueden armar muros colectores-acumuladores de hasta unos 50 cm de espesor. Entre el marco y la pared se coloca una capa de aislante que evita las pérdidas de calor. Por fuera de la pieza, el o los vidrios están colocados sobre un soporte separable y deslizable sobre ruedas, lo que permite la colocación de sensores de medida o la instalación de nuevos muros. Por dentro de la pieza cada muro está cerrado por un habitáculo pequeño de 2 m de profundidad que es calentado por el muro norte. El habitáculo tiene estructura metálica y está cubierto exteriormente por una capa de poliestireno expandido de 3 cm de espesor. Su cierre hermético impide fugas de aire, La estructura está separada del piso por tacos de madera y tiene su piso propio por el cual se puede caminar o colocar masas internas que simulen la acumulación en paredes, pisos o techos. Las figuras 1 y 2 ilustran la construcción.

El dispositivo puede ser utilizado en dos formas.

En la primera, se pueden realizar estudios comparativos instalando dos muros de interés en los dos habitáculos disponibles, los que serán ensayados en iguales condiciones de radiación incidente y pérdidas de las habitaciones. La colocación de la casilla externa permite asegurar que no existe acción preferencial de los agentes atmosféricos sobre uno de los habitáculos (vientos preferenciales, lluvias laterales, etc.). En una primera etapa se ha instalado un muro de piedra en uno de los marcos, el que servirá de referencia "patrón" para los otros que se midan en el segundo marco. La inalterabilidad de este material asegura la conservación de las propiedades del muro.

En la segunda, se puede determinar en primera aproximación el comportamiento térmico absoluto de un muro. Sobre las paredes pisos y techos de aislante se han colocado 12 termocuplas diferenciales (con los extremos a ambos lados del aislante) que miden la pérdida térmica a través del habitáculo. Las salidas de las termocuplas están colocadas en serie, fijando el peso de cada una en la suma total mediante un divisor resistivo que tiene en cuenta la proporción de área de pared que corresponde a cada termocupla.

La relación entre las pérdidas medidas y la radiación sobre superficie vertical, que se obtiene directamente con un solarímetro, determina la eficiencia de colección, siempre que el sistema se encuentre en estado estacionario, de manera que no se haya acumulado calor en la pared. Esto se verifica mediante un conjunto de termocuplas colocadas a través del muro. Con ellas se determina el porcentaje de energía acumulada si el estado no es estacionario.

3.- Ensayo de muros de piedra

Este tipo de material es abundante en toda la zona andina y preandina siendo utilizado como material de construcción. Su capacidad térmica similar a la de los hormigones y su mayor conductividad térmica permiten pensar que es un material adecuado para un muro colector. El hecho de que no interaccione con el agua evitaría el problema a veces denunciado en relación con el hormigón, según el cual no se logran buenos rendimientos por largos períodos, hasta que el muro seca completamente.

Se ha ensayado un muro construido con el tipo de piedra que será utilizado en una casa solar a construir en Abra Pampa, provincia de Jujuy, la que se obtiene de una cantera cercana a la localidad.

La piedra es una cuarcita con alto contenido de cuarzo, que se fractura fácilmente según el plano preferencial y permite obtener lajas de 10 a 20 cm de espesor, con las que se construye el muro con relativa facilidad. Se han rellenado los huecos entre piedras con hormigón, estimándose que el volumen de éstos está entre el 10 y el 15% del total de la pared.

El muro tiene una ventanilla de entrada de aire en la parte inferior, con una superficie de $0,091 \text{ m}^2$ y dos en la parte superior, con una superficie total de $0,19 \text{ m}^2$. Dos láminas de plástico muy fino permiten cerrar las ventanillas superiores cuando el flujo se revierte.

Un conjunto de termocuplas mide el estado de temperaturas del muro y las de entrada y salida del aire en las ventanillas. También se registran las temperaturas del aire en el habitáculo y en el exterior.

La figura 3 muestra un esquema de la disposición de dichas termocuplas.

A continuación se dan los resultados de un día soleado (2/7/79-3/7/79) en el primer ensayo realizado con el dispositivo. Debe tenerse en cuenta que no se ha instalado acumulación en el habitáculo por lo que las condiciones de trabajo son muy distintas de las usuales para un muro Trombe. La temperatura del aire en el interior sigue muy de cerca a la temperatura del aire que sale por la ventanilla superior del muro, lo que hace que el muro entregue la mayor parte del calor directamente a través de las ventanillas, llegando mucho

menos de lo usual por vía de convección y radiación del muro. Ello hace que la fluctuación de la temperatura entre el día y la noche sea bastante grande, del orden de los 11°C .

La figura 4 muestra la radiación solar sobre el muro vertical, la temperatura del aire a la salida del muro, la del muro en su punto medio y la temperatura de la habitación. Se aprecia que las cuatro variables están muy correlacionadas, indicando la importancia de la contribución directa en la determinación de la temperatura del cuarto.

La figura 5 muestra la variación de la temperatura a través del muro pudiéndose apreciar el desfase del máximo de la temperatura con el tiempo a distintas profundidades.

La figura 6 compara la temperatura en el habitáculo y en la pared del muro con la externa y la interior al cuarto de madera. El muro logra mantener en el habitáculo una diferencia con el exterior oscilante alrededor de los 17°C y con el cuarto de unos 12°C .

La radiación solar total que llega al muro en todo el día es de $65,2 \text{ MJ}$, mientras que las pérdidas por paredes, techos y piso, medida por el método indicado en la sección anterior, es de $20,6 \text{ MJ}$, un 32% de la radiación incidente. El sistema no se encontraba en condiciones estacionarias ya que al comenzar el nuevo día, la temperatura del muro era de alrededor de $2,5^{\circ}\text{C}$ superior a la del día previo.

Dada la masa del muro, ello significa que se acumuló una cantidad importante, del orden de $9,9 \text{ MJ}$, por lo que el aprovechamiento total llega al 46,8%.

La entrega de calor del muro al habitáculo a lo largo del día para los distintos rubros (contribución directa, convección y radiación) se muestra en la figura 7. La primera ha sido medida mientras que las otras dos fueron calculadas sobre la base de las temperaturas internas del muro y la temperatura del habitáculo. La contribución directa es predominante, un valor de 11 MJ mientras que las otras suman $4,5 \text{ MJ}$ y $3,5 \text{ MJ}$, respectivamente.

Estas últimas dan su contribución durante la noche. Durante el día la temperatura del cuarto sube mucho debido a la falta de material de acumulación, superando a la del muro que deja de entregar calor por convección y radiación. La medida de la contribución directa es imprecisa debido a que el instrumento utilizado en la determinación de la velocidad del aire en la ventanilla (utilizada para calcular el gasto de aire) tiene poca sensibilidad en la zona de interés. No obstante, el balance entre lo que entrega el muro (19 MJ) y lo que pierde el habitáculo ($20,6 \text{ MJ}$) es razonable. Estos valores deberían ser iguales ya que no existe acumulación en el habitáculo debido a la ausencia de paredes masivas.

4.- Propiedades de los muros de piedra

La piedra ofrece propiedades interesantes como material para un muro colector, a saber, una buena conductividad térmica y un buen peso específico. El material es particularmente importante donde abunda localmente, evitándose los costos de transporte.

No obstante, debe destacarse que existen diversos tipos de piedra disponible, con propiedades térmicas muy variadas.

Una de las propiedades más importantes es la velocidad de onda V en una pared plana de espesor infinito, dada por

$$V = 2. (\pi. \alpha / T)^{\frac{1}{2}}$$

donde α es la difusividad térmica $K/\rho.c$, siendo K la conductividad térmica, ρ la densidad y c el calor específico. T es el período de la onda.

Otro parámetro es el que define la posibilidad de acumulación y facilidad de recuperación del calor en el material, el cual está dado por el producto $K. \rho.c$, donde $\rho.c$ define la capacidad de acumulación y K la facilidad de recuperación.

Valores usuales de las propiedades térmicas y de estos parámetros para los tipos de piedra más comunes se dan en la Tabla 1, donde incluso se comparan con materiales fabricados artificialmente como el hormigón y el ladrillo. Estos valores pueden tener variaciones de importancia dada la falta de uniformidad del material.

Como puede apreciarse, algunas de las piedras tienen propiedades bastante favorables respecto a otras para este tipo de uso.

El material utilizado en este muro es una cuarcita con $\rho=2500 \text{ kg/m}^3$ y $c_p = 900 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$. Con el fin de determinar la difusividad se utilizó el corrimiento de los picos de máxima temperatura en la pared, los que se muestran en la figura 8.

Estos valores dan una velocidad de $62 \text{ mm/hr} = 17,2 \times 10^{-6} \text{ m/s}$, con la que se calcula $\alpha = 2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{seg}$ y $K = 4,6 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. Estos valores están dentro de los esperados según la bibliografía, siendo notoriamente superiores a los del hormigón.

TABLA I

Material	$\alpha, (\text{m}^2/\text{s}) \times 10^{-6}$	$K, (\text{W/m}^\circ\text{C})$	$\rho, (\text{Kg/m}^3)$	$v, (\text{m/s}) \times 10^{-6}$	$K. \rho. c \times 10^6$
Cuarcita	2	4,5	2600	17,2	10,5
Granito	1,1	2,3	2600	12,6	5,2
Marmol	1,1	2,6	2700	12,6	6,3
Basalto	0,7	1,6	3000	10	4,8
Sandstone	1,3	2,5	2300	14	4,6
Limestone	0,9	2,0	2600	11,4	4,2
Hormigon	0,72	1,6	2200	10,2	3,5
Ladrillo	0,38	0,6	1600	7,4	0,86
Agua + Bentonita	0,2	0,8	1000	5,5	3,1

Referencias

- 1.- J.O. Balcomb, J.C. Hedstrom, R.D. Mc. Farland.
"Passive Solar Heating Of Building"
Workshop of Solar Energy Applications Associated Universityes Inc; Jun 27 -
Jul 31-1977
- 2.- L. Palmiter, W. Caswell and R.J. Corbett
"Measured and Modeled Passive Reformance in Montana"
Technical Research Staff
The National Center for Appropriate Technology Butte, Montana, U.S.A.
- 3.- P.Ohanessian and W.W.S. Chartes
"Thermal Simulation of Passive Solar House Using a Trombe-Michell wall Struc-
ture"
Solar Energy - Vol. 20 - Numb. 3 pp 275-281

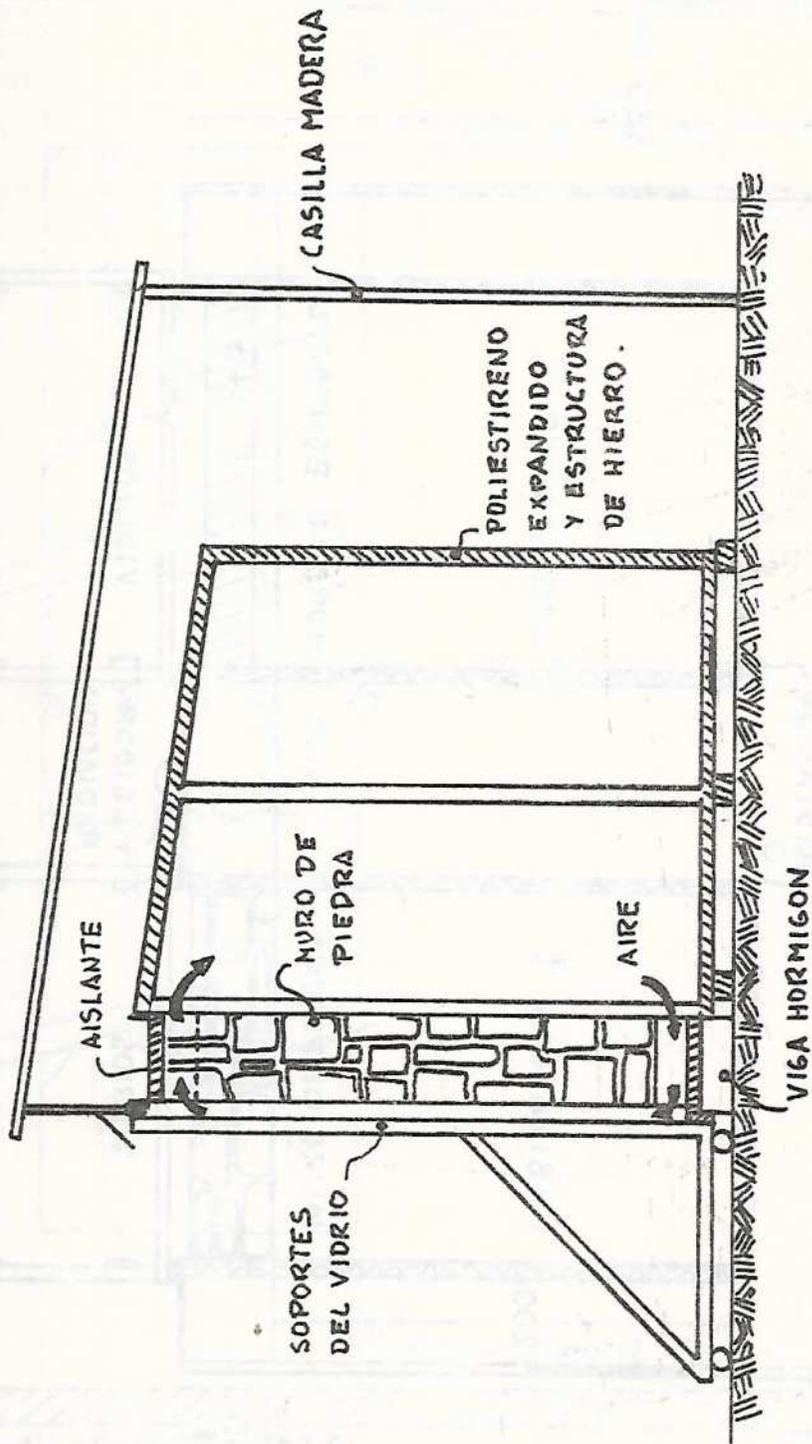


FIG. 1.- CORTE MOSTRANDO LA CASILLA DE MADERA, MURO COLECTOR Y HABITACULO.

FIG. 1

CORTE EN PLANTA DE LA CASILLA DE MADERA, MUROS Y HABITACULOS.

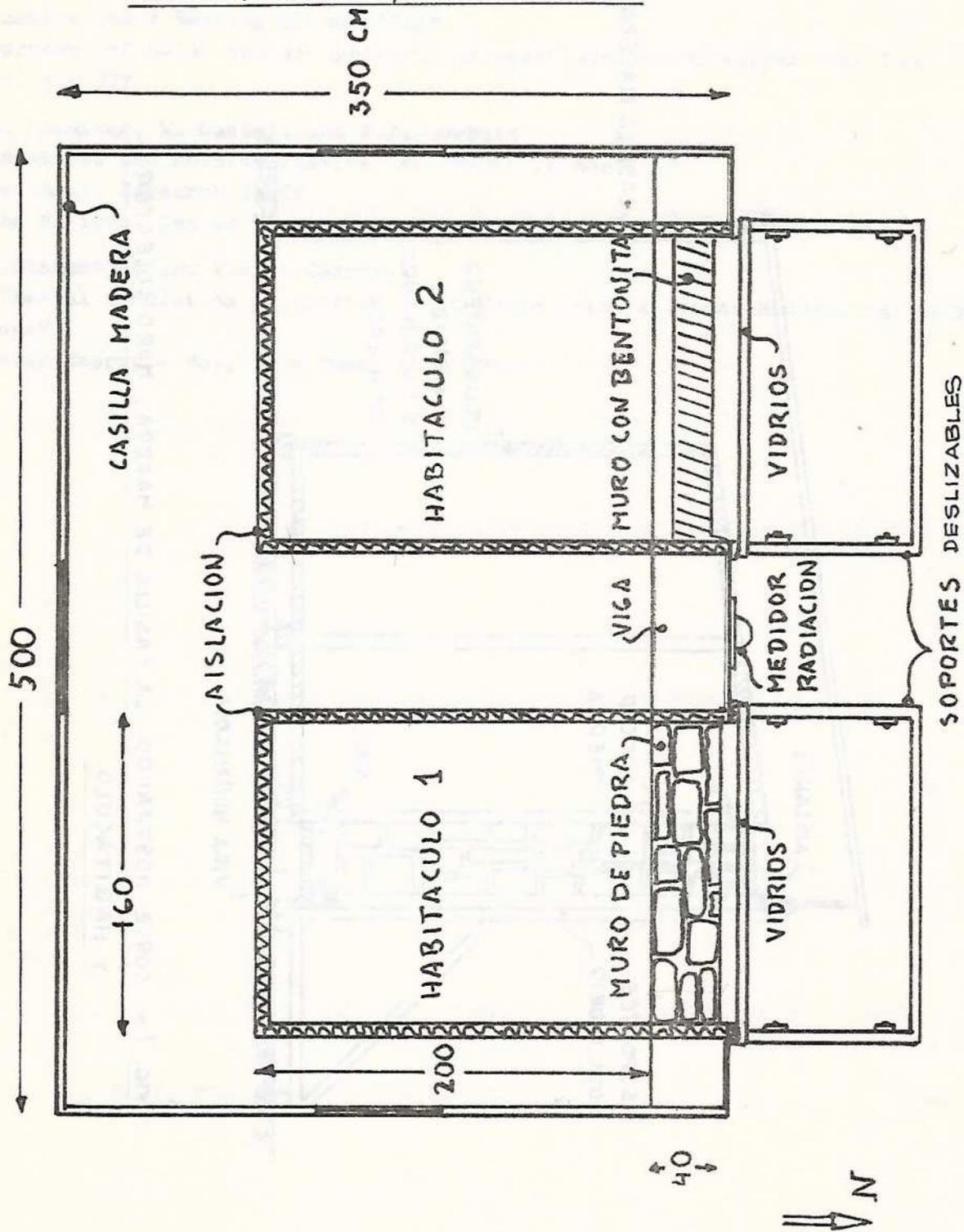
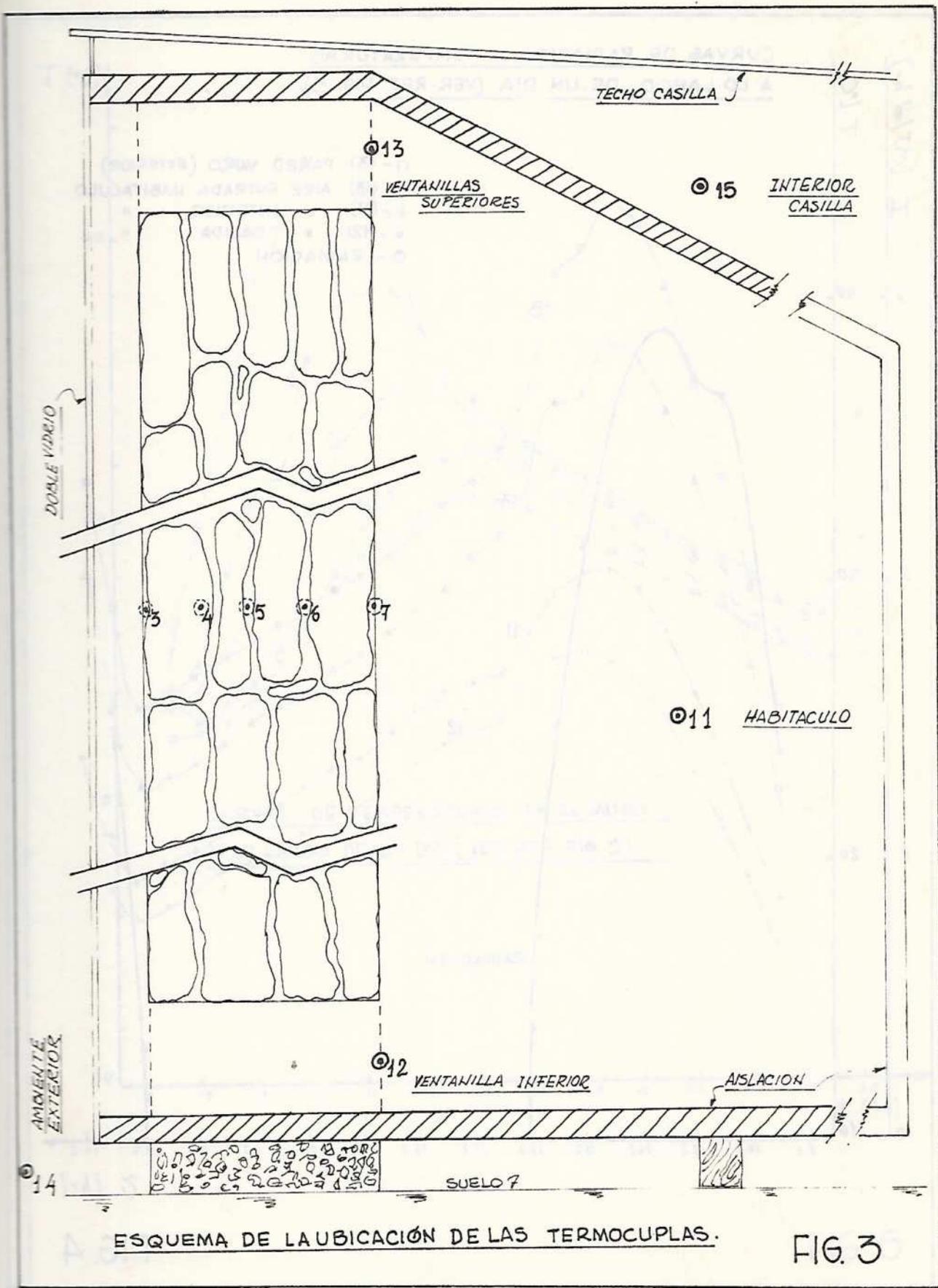


FIG. 2



ESQUEMA DE LA UBICACION DE LAS TERMOCUPLAS.

FIG. 3

CURVAS DE RADIACION Y TEMPERATURAS
A LO LARGO DE UN DIA (VER REF. FIG. 3).

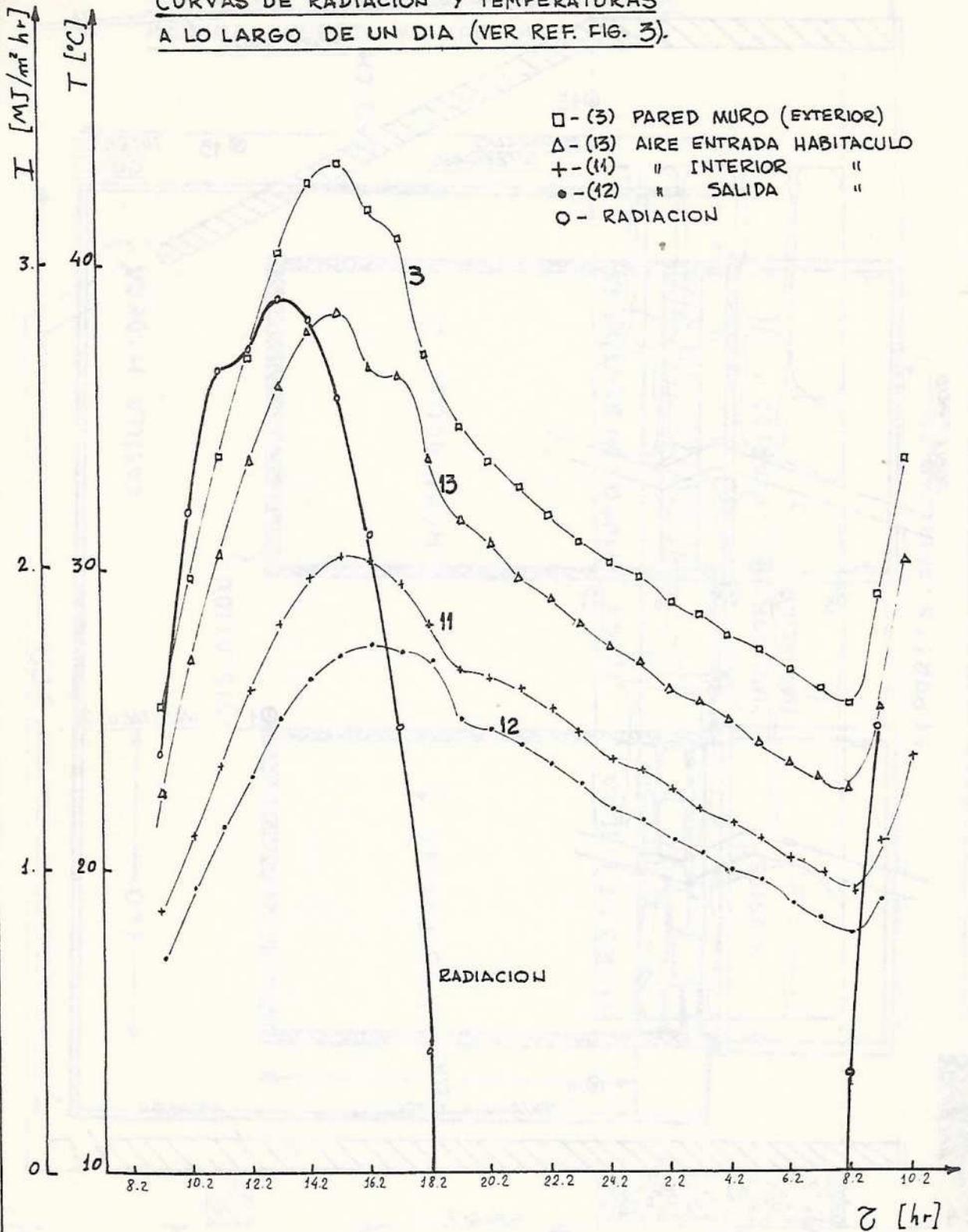


FIG. 4

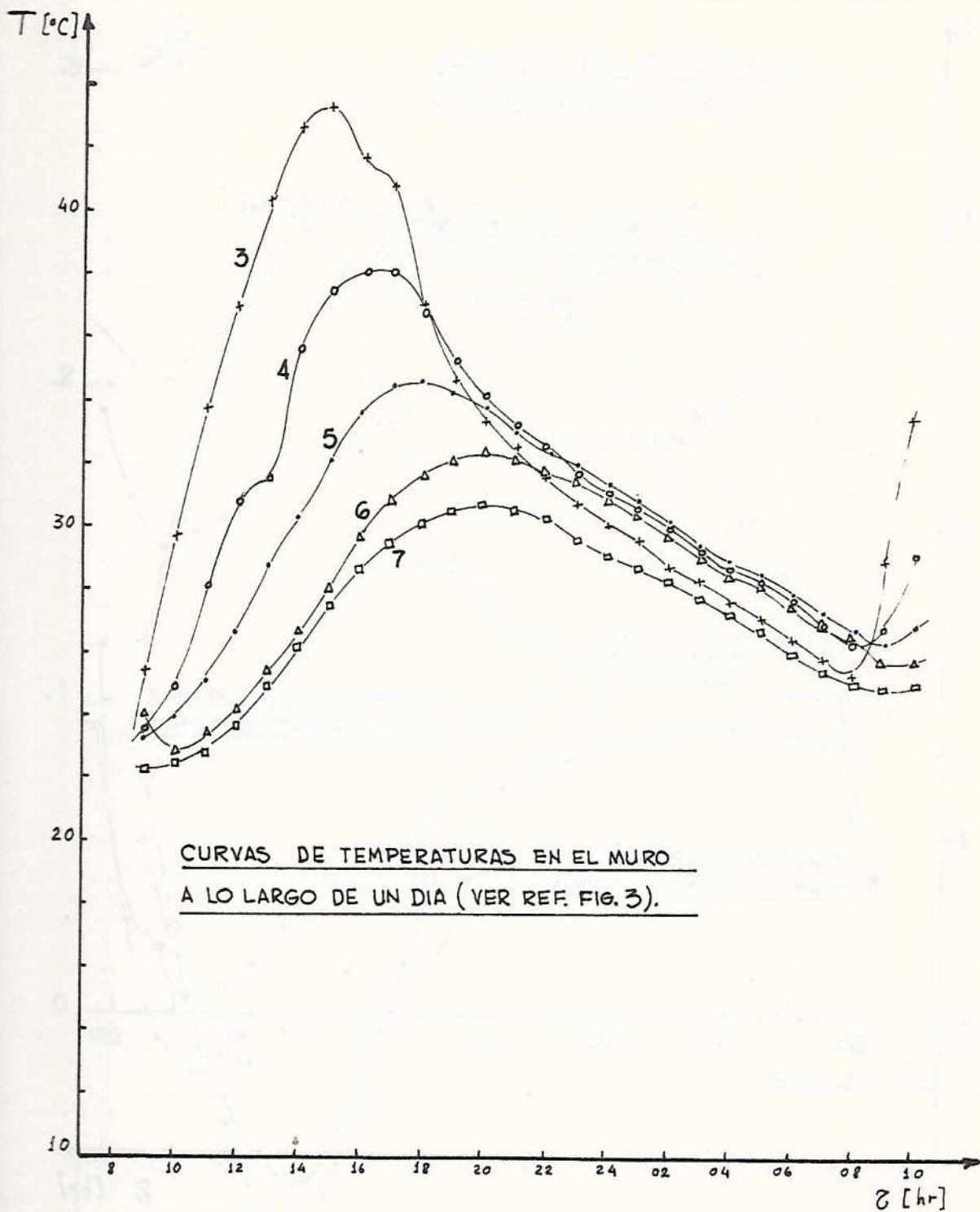
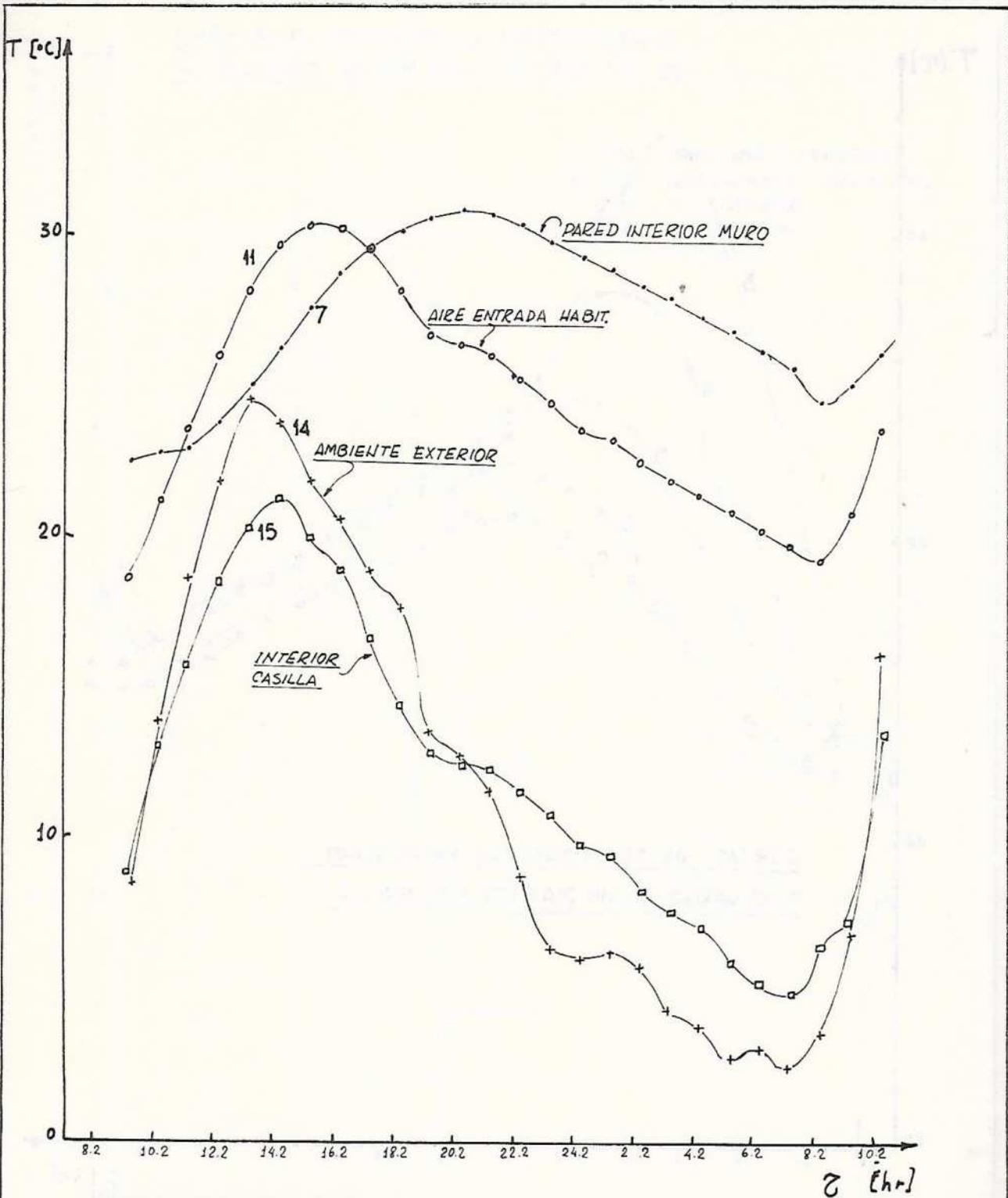


FIG. 5

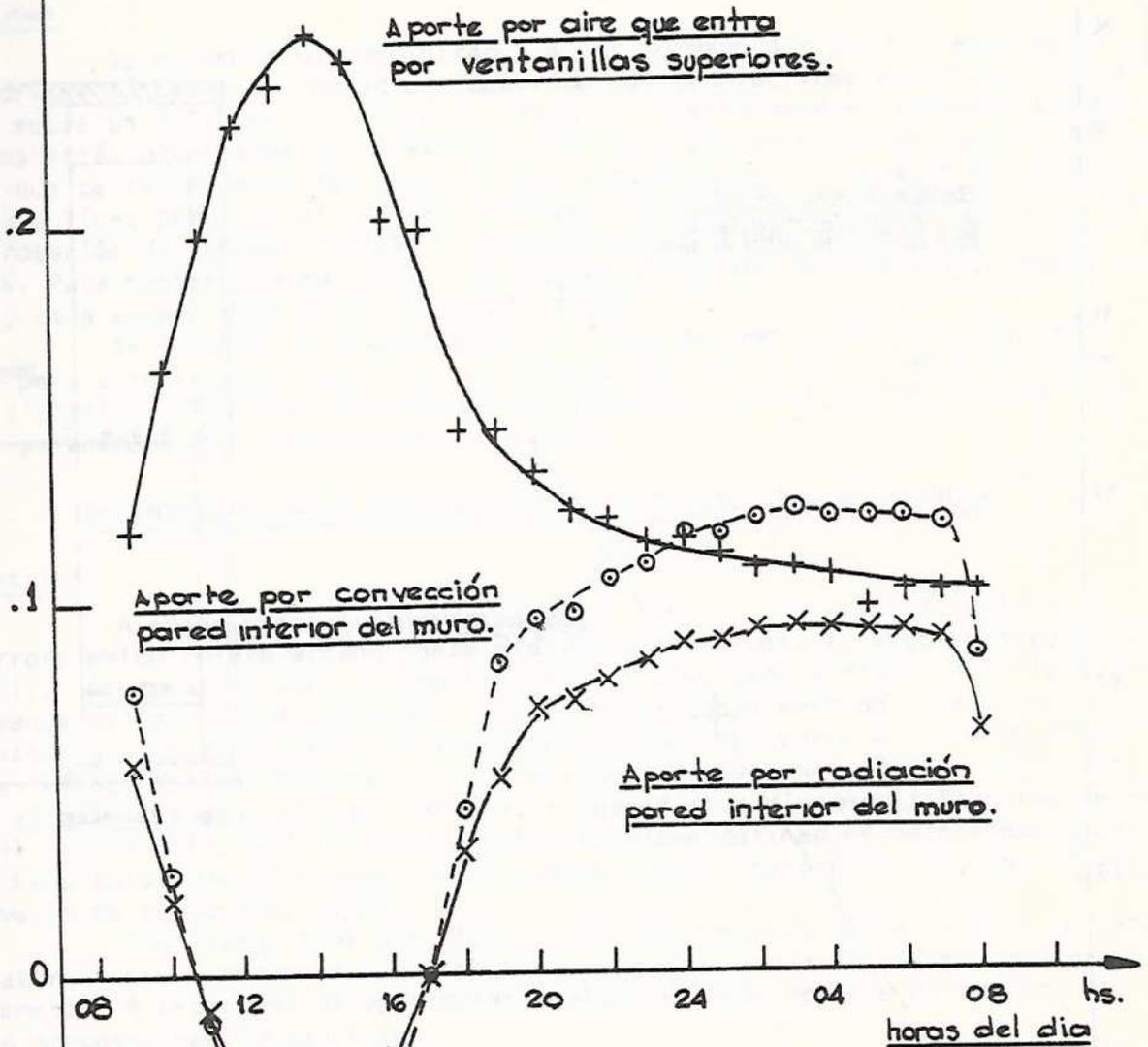


CURVAS DE TEMPERATURAS A LO LARGO DE UN DIA (REF. FIG. 3).

FIG. 6

$\frac{MJ}{m^2 h}$

APORTES DE ENERGIA A LO LARGO DE UN DIA.



-0.1

FIG. 7

POSICION DEL MAXIMO DE TEMPERATURA EN EL MURO
EN FUNCION DEL TIEMPO, EN UN DIA.

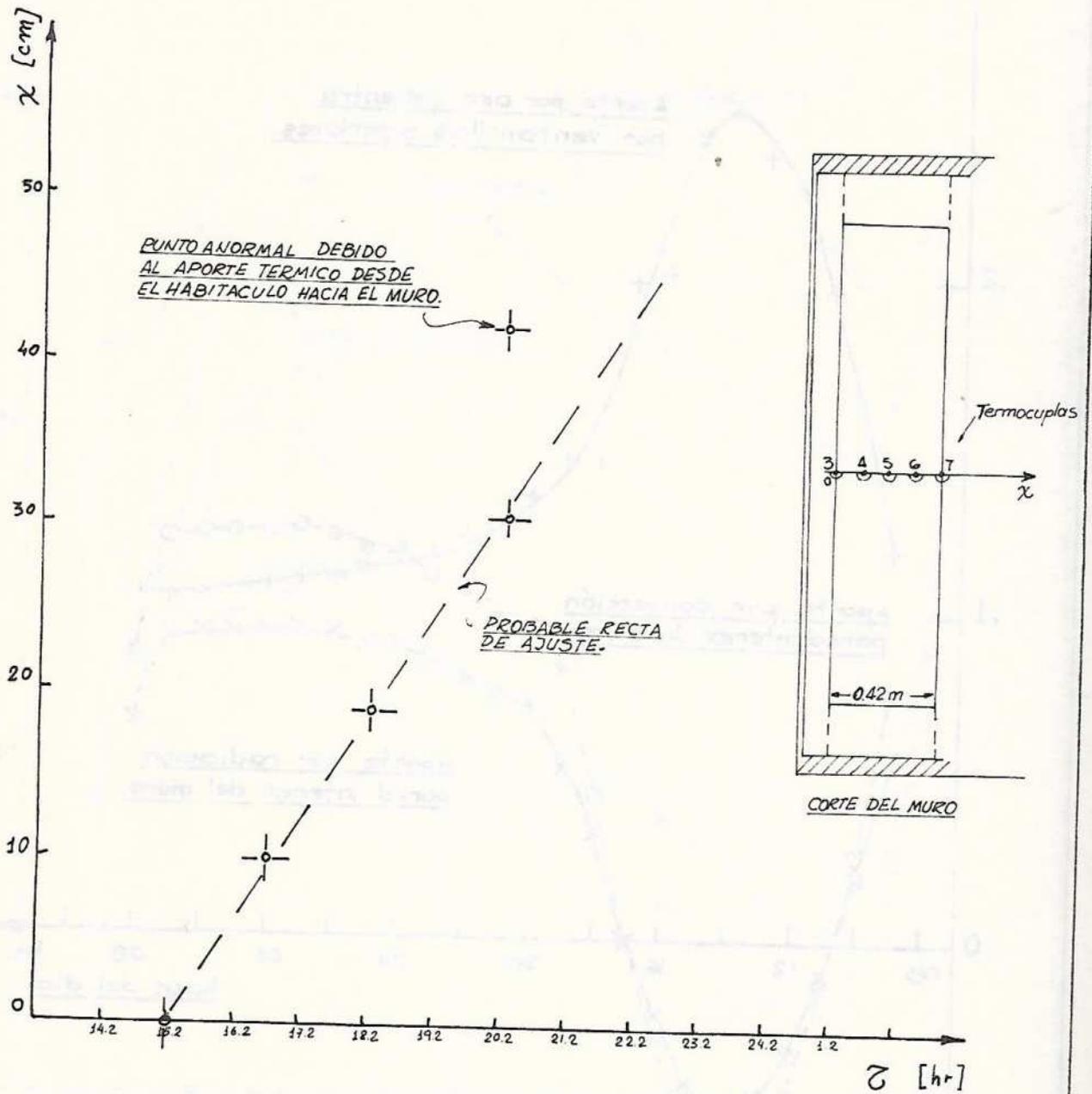


FIG. 8