

CALEFACCION EN CASAS SOLARES

Por: .

Israel B. Saravia

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FISICAS

Universidad Mayor de San Andrés

La Paz - BOLIVIA

Este trabajo ha sido realizado por el autor como parte de los requerimientos/
del I Curso de Energía Solar al que asistió en Perpignan (Francia) durante //
el primer semestre de 1975 bajo la supervisión del Prof. J.F. Roberts. El brev
et francés corresponde al Prof. F. Trombe.

1.- INTRODUCCION Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Se presentan las características de funcionamiento de un sistema de calefacción de viviendas, utilizando un muro de hormigón pesado como captor de energía solar. Para este propósito se orientan las casas, de manera que puedan recibir la mayor cantidad de energía solar posible.

La energía proveniente del sol es captada entre una doble cobertura // transparente selectiva (por ejemplo vidrio) y la cara absorbente de un muro en hormigón pesado que se calienta por la incidencia de los rayos solares.

Una parte de la energía así captada es transmitida al aire que se calienta en contacto con la pared, se eleva y penetra dentro del volumen a calentar por un orificio ubicado en la parte superior del muro, permitiendo aspirar el aire fresco en la pieza por un orificio situado en la parte inferior del muro, Figura 1.

Se puede establecer, en período de insolación, una termocirculación // convectiva natural que se presenta a la salida del sol y se puede percibir eficazmente de 2 a 3 horas después de su aparición.

Ahora, una parte de la energía es almacenada en el muro y es transmitida por conducción. Esta se manifiesta, con un desfase que es función principalmente de la composición y del espesor del muro, por una elevación de la temperatura de la cara interior de la pared se restituye su energía al volumen que se está calentando por conducción, convección y radiación.

La cantidad de energía transmitida de una parte por termocirculación y de otra parte por conducción a través del muro captor, son comparadas a la energía solar incidente para establecer el rendimiento de los dispositivos que se utilizan en la calefacción solar.

Considerando las variaciones de las condiciones climáticas exteriores // principalmente temperatura y la velocidad y dirección del viento, los rendimientos podrían ser diferentes de un día a otro.

Un balance global medio y un rendimiento global medio respecto a la energía solar incidente es establecido para varios días.

Desde ya, existen muchas dificultades para la instalación de aparatos // de medida, porque estos instrumentos dentro de las construcciones existentes y // habitadas.

Por ejemplo, no es posible medir los caudales de aire y más bien han sido efectuadas medidas de velocidad.

2.- MEDIDAS EFECTUADAS

Se miden las temperaturas de entrada y salida del muro colector, las /

temperaturas dentro del muro a diferentes profundidades así como las temperaturas de ambas caras del muro.

El caudal de aire dentro del aislante es evaluado a partir de una medida de velocidad del aire en el centro del orificio inferior, la medida se realiza con la ayuda de un anemómetro de baja velocidad de -30 a +30 cm/seg y, con una inclinación de 60° del hilo caliente respecto a la corriente del fluido, de -60 a 60 cm/seg.

Los perfiles de velocidad dentro de los orificios han sido establecidos // para diferentes números de Reynolds y podemos obtener a partir de la velocidad en el centro, la velocidad media dentro del orificio, y el caudal.

Las medidas de temperatura son efectuadas con la ayuda de termopilas // de cobre-constantan.

Estas han sido ubicadas dentro del material de hormigón para determinar // las temperaturas de las paredes o de las masas acumuladoras y están protegidas de la radiación exterior, en el caso de medidas de temperatura de aire de // la habitación.

Además, la energía solar incidente sobre los planos de insuladores es // medida cada hora con la ayuda de un piranómetro.

El conjunto de medidas y los balances de energía que resultan de ellas son efectuados termostatazando a 20°C la pieza a calentar, con el uso de una // estufa eléctrica, de tal manera que se pueda restituir el calor que se pierde // en las horas en que no hay sol para así tener, condiciones normales en la habitación.

3.- ESTABLECIMIENTO DE CAMBIOS TERMICOS

Es posible establecer la cantidad de energía transportada por termocirculación Q_t a partir del caudal de aire y de la diferencia de temperatura de aire entre la entrada y la salida de la parte aislada,

$$Q_t = m C_p (T_s - T_e) \\ = V \rho C_p \Delta T$$

donde V representa el volumen de aire que atraviesa el captor durante una hora // (m³).

C_p , calor específico (1.007 Kcal/Kg⁻¹ °C⁻¹)

ρ , densidad del aire, dentro de las condiciones de Odeillo a 1550 m so // bre el nivel del mar.

El volumen (V) (m³) es calculado a partir de la velocidad media (v) en // el centro del orificio. Los perfiles establecidos para diferentes números de // Reynolds

$$R_e = \frac{V\delta}{\eta}$$

os permiten calcular la velocidad media $\bar{v} = k\eta$, y el caudal, siendo δ el diámetro hidráulico de la abertura. Para una abertura rectangular, tenemos la siguiente ecuación, con las dimensiones dadas por a y b,

$$\delta = \frac{2ab}{a+b}$$

(η = viscosidad dinámica del aire a 20°C, $1.7 \cdot 10^{-5}$ Nsec/m²)

Son dos los casos estudiados distintamente:

- Si $Re \ll 1000$: el flujo de aire frío es laminar
- Si $Re \gg 1000$: el flujo es turbulento.

A partir del conocimiento de diferentes valores del número de Reynolds/ podemos trazar los perfiles de velocidades, de donde podemos deducir los valores/ de las velocidades medias en los casos anteriormente citados, ver figuras 2 y 3.

Se deduce que el número de calorías captadas por termocirculación es // proporcional a la elevación de temperatura del aire dentro del captor, y al volúmen de aire que ha de circular.

$$Q_{th} = V C_p (T_s - T_e)$$

Teniendo en cuenta la imperfección de las medidas efectuadas, tales como la temperatura y sobre todo en la velocidad del aire deducida de perfiles de / velocidades, el error relativo sobre este balance de termocirculación es 28 %.

4.- CALCULO DE LA RADIACION

Los cambios radiativos entre dos paredes son regidos por la ley de Stefan-Boltzman, que es dada por la ecuación siguiente:

$$Q_r = E \sigma E_{e,i} (T_e^4 - T_i^4)$$

donde E es el factor total de emisión de la superficie.

σ constante de Stefan Boltzman igual a 5.699×10^{-8} (W/m² °K⁴)

T_e temperatura de la pared exterior

T_i temperatura de la pared interior

$E_{e,i}$ factor de cambio entre las dos paredes.

Por el razonamiento ya realizado, es posible dentro de una habitación / de forma cualquiera, establecer los factores de cambio de una pared, en el caso / de un muro captor acumulador compuesto de varias paredes juntas.

Por lo tanto, si todas las temperaturas de superficie de estas paredes son conocidas, podemos evaluar los cambios radiativos entre el muro solar y cada una de las otras superficies, el flujo total intercambiado será la suma de los / flujos parciales.

La energía total intercambiada por radiación, considerando que todos / los factores de emisión son iguales, está dada por la siguiente relación:

$$Q_R = E \sigma \sum_{i=1}^n E_{1i} (T_1^4 - T_i^4) \\ = E \sigma S_1 T_1^4 - \frac{\sum_{i=1}^n E_{1i} T_i^4}{S_1}$$

donde $\sum_{i=1}^n E_{1i} = S_1$, donde S_1 es la superficie del muro solar.

Es necesario conocer las temperaturas T_1 y T_n por consiguiente, e- /fectuar las medidas con la ayuda de termocuplas y registradores.

De esta manera existen varios registros por analizar, pero podemos sim- /plificar este trabajo buscando una aproximación para el término

$$\frac{\sum_{i=1}^n E_{1i} T_i^4}{S_1}$$

A partir de los conocimientos de los factores de forma entre las pare- /das que constituyen el muro solar y las medidas de temperatura realizadas en las diferentes paredes, se llega a determinar la temperatura media con una buena a- /proximación.

Podemos constatar evidentemente que, la energía total intercambiada // se vuelve

$$Q_R = E \sigma S_1 (T_1^4 - T_{Ref}^4)$$

y a partir de este análisis, podemos llegar a la expresión siguiente, con una su- /perficie unitaria,

$$Q_R = E \sigma (T_1^4 - T_{Ref}^4)$$

5.- CONVECCION

En este acápite vamos a examinar los flujos de calor por convección en- /tre una pared a la temperatura T_p y el aire a la temperatura T_a utilizando una /

relación de la forma:

$$a = h (T_p - T_a)$$

donde T_p y T_a son valores fáciles de determinar. Para este propósito vamos a considerar el valor de T_a , temperatura medida a 1.5 m desde el nivel del suelo. El coeficiente h dependerá de una serie de factores. Podemos evaluar estos factores de la siguiente manera:

Si se considera un régimen laminar, tendremos

$$h_L = K (T_o - T_w)^{1/4}$$

y si el sistema es turbulento

$$h_t = K' (T_o - T_w)^{1/3}$$

Es necesario que las diferencias de temperaturas medidas entre la pared y el aire de estos ambientes experimentales sean de -3°C a $+7^\circ\text{C}$.

Es muy importante hacer notar que las diferentes medidas realizadas (como temperatura, velocidad del aire, etc.) se efectúan en casas habitadas y esto lógicamente acarrea una serie de errores, debido a que hay movimiento de personas dentro de los ambientes, corrientes de aire, debido al cierre y aperturas de puertas y ventanas, que es bastante difícil de controlar.

La gradiente de temperatura ΔT , entre la temperatura de entrada del aire fresco y la temperatura de salida, está sujeta a estas variaciones, de donde nació la idea de efectuar dos balances de intercambios conectivos, el uno en corriente laminar y el otro en corriente turbulenta.

El primero nos permite estudiar el intercambio mínimo y el segundo el intercambio máximo, el intercambio real deberá situarse entre estos dos límites. Los resultados obtenidos nos ayudarán a encuadrar los valores dados por las fórmulas de ventilación por convección en los paneles radiantes verticales.

Por consiguiente, utilizaremos los valores siguientes para los coeficientes de cambio superficiales por convección:

$$h_{\text{mín}} = 5.108 (T_p - T_a)^{1/4} \quad (\text{Kj/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C})$$

$$h_{\text{máx}} = 6.364 (T_p - T_a)^{1/3} \quad (\text{Kj/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C})$$

Para las cantidades de cambio de energía por convección tendremos:

$$q_{\text{mín}} = 5.108 (T_p - T_a)^{5/4} \quad (\text{Kj/h m}^2)$$

$$q_{\text{máx}} = 6.364 (T_p - T_a)^{4/3} \quad (\text{Kj/h m}^2)$$

Entonces se obtienen los balances establecidos para cada hora en las piezas tamostatizadas a 20°C , para cada una de las tres maneras de transmisión de energía, a partir de los valores medios.

Se han realizado medidas en tiempos de 24 horas para establecer un rendimiento global diario. Teniendo en cuenta la imprecisión de estas medidas efectuadas, se puede cifrar en un 13 % la precisión en el balance de la termocirculación.

6.- CONCLUSION

Los cálculos precedentes muestran, que un muro captor en hormigón armado pesado, bien construido para favorecer la circulación de aire, es capaz de producir un rendimiento de 39.16; 37.87 y 40.48 % con una energía total = 18350 Kj/m^2 recibida durante el día.

Los rendimientos antes indicados se han obtenido en un día con un máximo de horas-sol.

En nuestro país se podrían obtener muchos mejores rendimientos, ya que tenemos muchas horas de sol sobre todo en invierno que es cuando más falta hace la calefacción en los hogares.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus sinceros agradecimientos al Prof. F. Bombé, Director de Estudios de Energía Solar, que no ha escatimado ningún esfuerzo porque el trabajo se realice en buenas condiciones, e igualmente a los profesores conferencistas e investigadores de los diferentes laboratorios que han prestado toda su cooperación.

En particular expresa toda su gratitud al Prof. J.F. Roberts que ha sido el gestor de este trabajo.

REFERENCIAS

- 1.- Brevet N° 2144 du 29 Juin 1971, certificat d'addition du 20 Juin 1972 N°/ 2.189.686.
- 2.- W.H. Mc.ADAMS "Heat Transmission" Tird Edition, 1954.
- 3.- ASHRAE Hand book and product directory 1973, Systems, p. 8-5.
- 4.- T.C. Min et al, "Natural convection and radiation in a panel heated room", ASITAE transaction, Vol. 62, 337, 1956.
- 5.- AICVF, Guide de Chauffage, Techniques d'Ingénieur (3), 1974-C 777
- 6.- R. Giblin, "Transmission de la chaleur par convection naturelle", Collection de l'ANRT, Ed. Eyrolles (1972).

FIG. 1

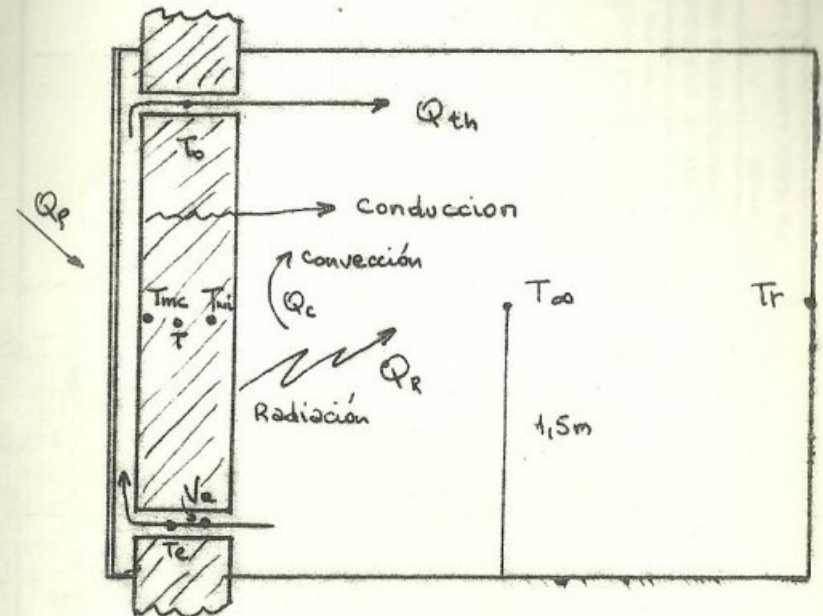


Fig 2

Laminar

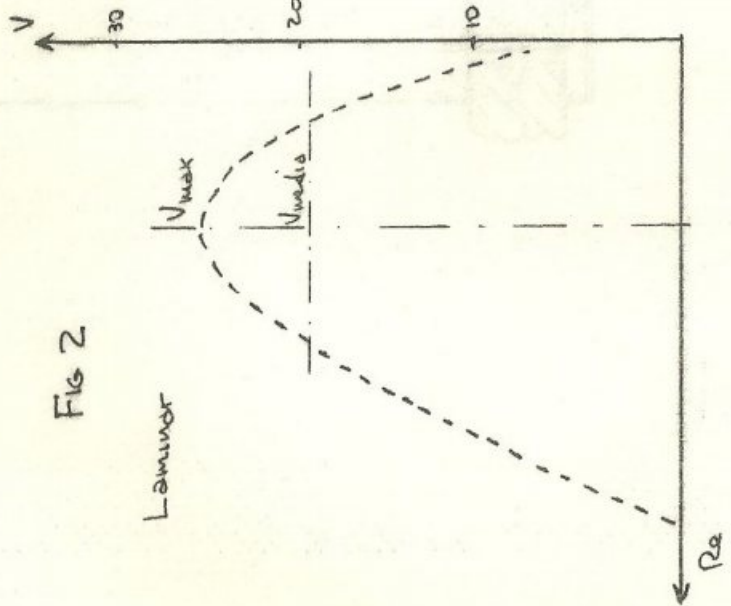
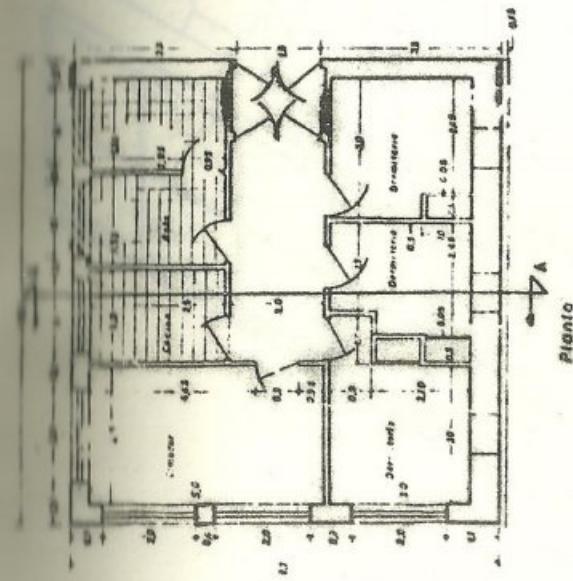
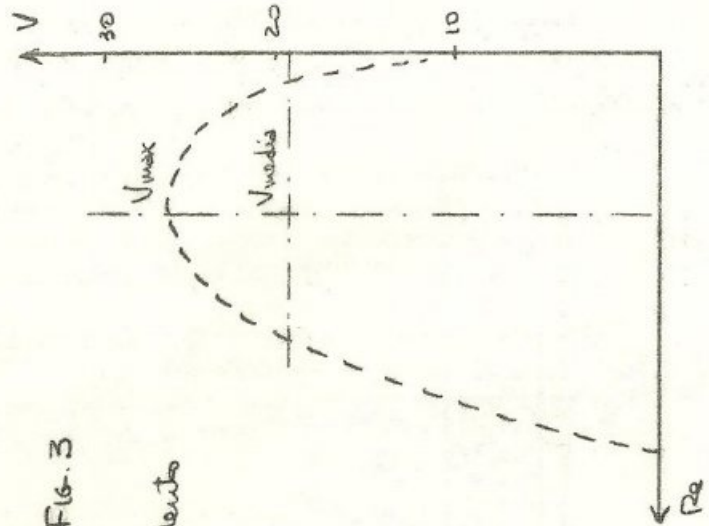
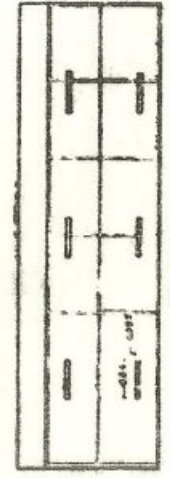


Fig. 3

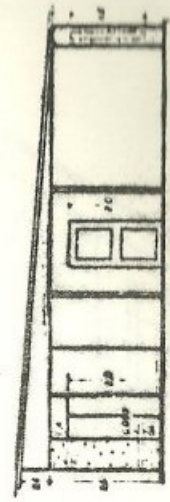
Turbulento



Planta

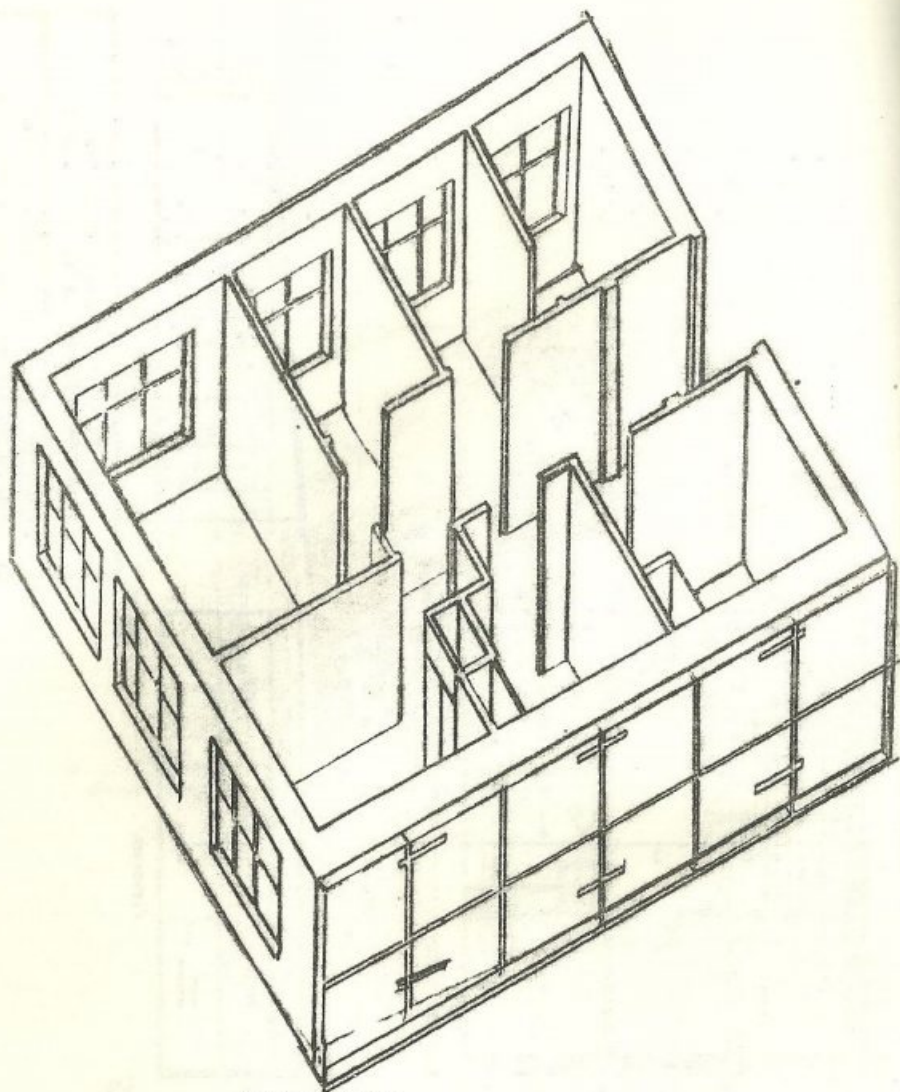


Elevación



Sección A-A

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FISICAS	
APLICACION DE ENERGIA SOLAR EN VIVIENDAS	
PROYECTO	ESCALA 1:50
ING. ISRAEL SARAYIA	LA PAZ JULIO 1975



Perspectiva