

ENSAYO DE TECHOS COLECTORES SIN CUBIERTA

María Grión y Luis Saravia

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

Resumen

En predios de la Universidad Nacional de Salta se ha instalado un prototipo de vivienda solar de 20 m² de área que utiliza como colector el techo de chapa que ha sido pintado de un color oscuro. Un ventilador mueve aire por debajo del techo recogiendo el calor absorbido y transportándolo hasta un acumulador consistente en una placa de hormigón colocada en el suelo y atravesada por caños de 15 cm de diámetro por los que pasa el aire calentando la placa. El techo no tiene cubierta transparente por lo que el colector es de baja eficiencia y muy bajo costo.

El presente trabajo discute los ensayos realizados hasta el presente. Se ha constatado que la mejor forma de extraer el calor consiste en circular el aire por canales estrechos en contacto con la chapa ya que el aumento de velocidad del aire mejora el coeficiente de transmisión térmica entre el techo y el aire. En esas condiciones se comparan los resultados obtenidos con un modelo computacional sencillo en el que la colección en el techo es tratada analíticamente y el acumulador se divide en 6 masas de 1.3 m de longitud y 0.15 m de altura, lo que resulta suficiente teniendo en cuenta los pequeños saltos de temperatura que se producen.

1. Introducción

En el marco de un proyecto de la Secretaría de Vivienda y Ordenamiento Ambiental el INENCO está construyendo un conjunto de prototipos de edificios en zonas climáticamente diferenciadas destinados al ensayo de sistemas de acondicionamiento no convencio-

nales para viviendas de bajo costo. En un trabajo previo (1) se presentó el diseño y detalles constructivos de un prototipo a ser creado en zonas con clima similar al de la ciudad de Salta, caracterizada por tener exigencias térmicas moderadas tanto en invierno y verano. En él se plantea el uso del techo metálico como colector sin cubierta transparente para lo cual se lo pinta de un color oscuro y se le hace circular una corriente de aire por debajo como método de extracción del calor. Al sistema se agrega un acumulador consistente en una placa de hormigón colocada en el piso y atravesada por caños de 15 cm de diámetro a través de los cuales circula el aire caliente proveniente del colector, según se esquematiza en la Fig. 1. El conjunto es de muy bajo costo ya que prácticamente hace uso de los materiales que forman parte del edificio. Aunque su rendimiento es bajo por no usar una cubierta transparente, la zona a la cual está destinada es de clima moderado por lo que se espera poder satisfacer las necesidades térmicas con una buena relación costo inicial/prescripción. El sistema también puede ser usado durante el verano aunque este aspecto no se discutirá aquí.

El presente trabajo tiene como fin discutir la puesta a punto del conjunto y los resultados experimentales obtenidos en la temporada invernal de 1984.

En la sección que sigue se presenta el modelo computacional utilizado para discutir los resultados experimentales obtenidos. En las siguientes se presentarán las medidas realizadas y los cambios introducidos en el sistema en función de los resultados obtenidos.

2. Modelo computacional

En el trabajo ya presentado (1) se desarrolló un modelo computacional del

* Instituto UNSa. - CONICET

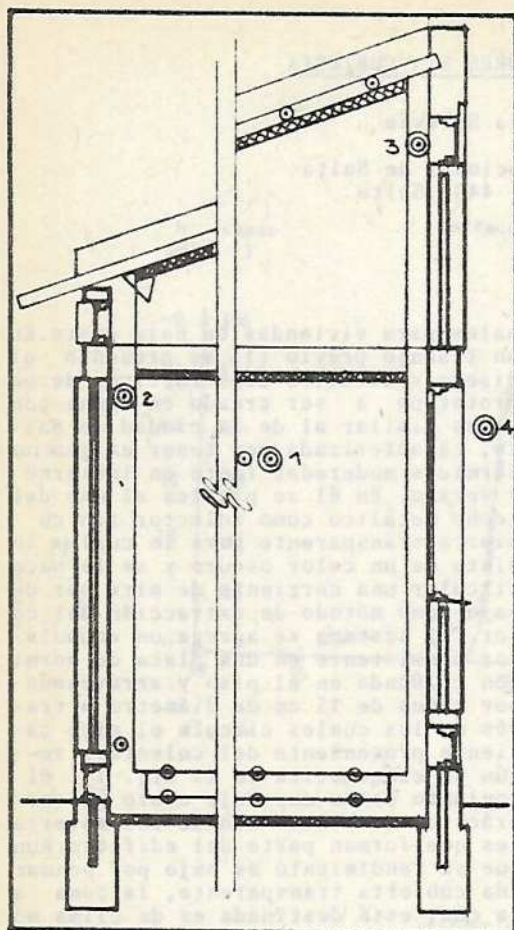


Fig. 1

sistema de calentamiento en el cual se suponía que la radiación incidente I sobre el techo y la temperatura externa T_e eran constantes hora a hora. En cada intervalo de una hora se planteó un modelo analítico del intercambio térmico en el colector del techo y un modelo en diferencias finitas para el acumulador con una grilla tridimensional en la masa de hormigón que tenía en cuenta la geometría de los caños.

Los cálculos realizados muestran que el modelo del acumulador puede ser simplificado sin perder mucha precisión, debido a que las variaciones de temperatura en él son pequeñas, con lo cual se reduce considerablemente el tiempo de cálculo. Se ha adoptado una aproximación en que la masa se divide en 6 según se esquematiza en la Fig. 2, cada una con una temperatura T_{1j} . Las masas de tem-

peratura T_{1j} están en contacto con los caños que transportan el aire caliente a través de una superficie igual a $p \cdot l_t$ donde p es el perímetro del total de los caños y l_t su longitud. Las masas de temperatura T_{2j} están en contacto con la habitación a través del área del suelo A . Una resistencia térmica entre las masas de temperatura T_{2j} y T_{1j} , dada a través de una distancia a_s y conductividad térmica k_s del material, simula el intercambio de calor entre los elementos. En lo que respecta al colector se ha agregado con más detalle que en el trabajo anterior (1) las pérdidas del aire que circula hacia la habitación.

La modelización del sistema completo se encara de la siguiente manera. En un instante dado se conoce el estado de temperatura de las masas del acumulador y de las paredes de la habitación. Sobre esa base se puede calcular analíticamente las temperaturas de entrada y salida del colector, T_i y T_o planteando (Fig. 2) y combinando las ecuaciones para el aire tanto en el colector como en los tubos del acumulador. Por otro lado también se plantea el balance térmico para determinar la temperatura de la habitación, T_e , que está intercambiando con el acumulador, paredes, el interior y la parte inferior del colector. Conocidas T_i , T_o y T_e se determina la evolución de las temperaturas de las distintas masas por un método en diferencias finitas explícito durante el próximo intervalo de tiempo.

La Tabla I contiene las definiciones para los distintos parámetros y variables que aparecen en el modelo.

Planteando los balances térmicos en el colector y los caños del acumulador se obtienen, eliminando variables, dos expresiones para las temperaturas T_i y T_o . En el colector:

$$T_o = \frac{T^*}{\beta} + (T_i - \frac{T^*}{\beta}) e^{-K \cdot L}$$

donde

$$T^* = [(h + 2h_e + h_b)(\alpha I + h_e T_e) + (h + 2h_e + h_b)b_b T_e]$$

$$\beta = [(h + 2h_e + h_b)h_c + (h + 2h_e + h_b)h_b] / \Delta$$

$$\Delta = (h_c + h_e + h)(h_b + h_e + h) - h_e^2$$

$$K = a h \beta L / (G C_p)$$

En el acumulador se cumple

$$T_i = T_{13} + (T_{12} - T_{13}) e^{-K t} + (T_o - T_{12}) e^{-2K t} + (T_o - T_{11}) e^{-3K t}$$

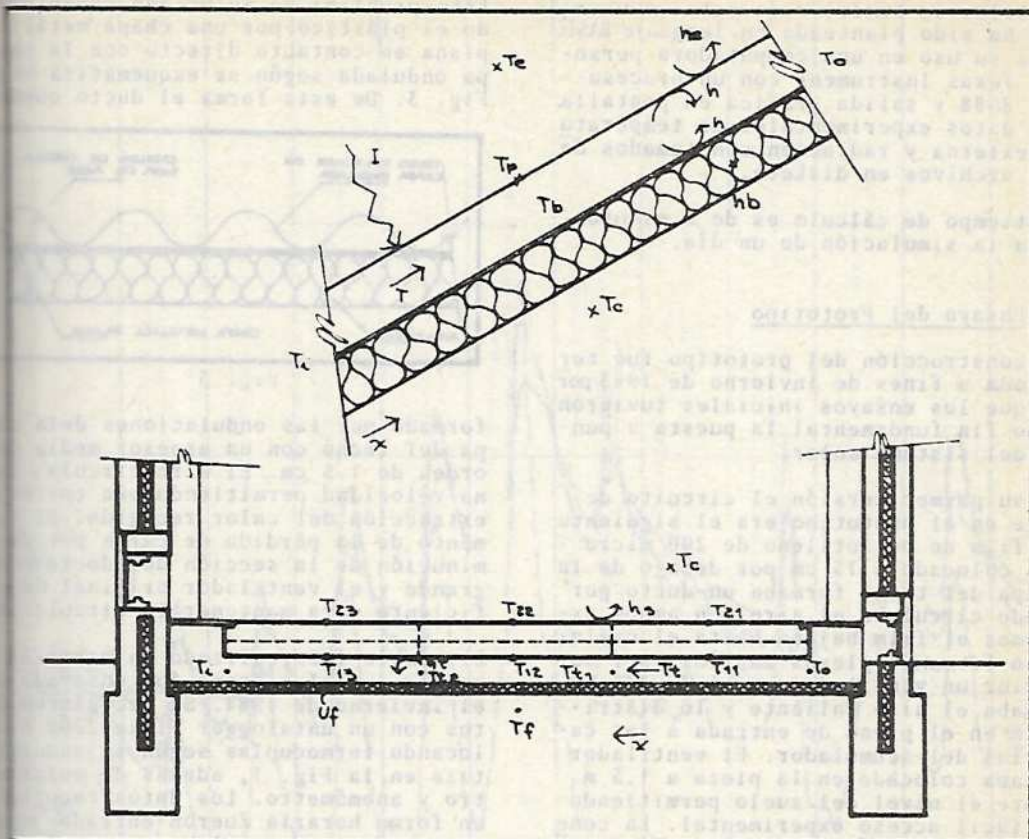


Fig. 2

onde

$$K_t = h_t p l_t / (3G c_p)$$

Entre las dos ecuaciones se despejan T_p y T_o en función de las temperaturas de los acumuladores, temperatura externa y radiación.

Para la habitación, la ecuación de balance térmico determina la temperatura del local T_c , en función de las temperaturas para las masas:

$$h_a A_m (T_m - T_c) + \frac{A}{3} h_s (T_{z1} + T_{z2} + T_{z3} - 3T_c) + \dots = 0$$

El primer término de la ecuación da el intercambio con las paredes, el segundo con el acumulador, el tercero con el colector, el cuarto da la potencia que se disipa en el ventilador y el quinto las pérdidas por renovaciones de aire ocasionadas por la puerta y ventana.

Para las masas que intervienen se es-

criben ecuaciones diferenciales que luego se expresan en diferencias finitas. Para las masas de las paredes vale:

$$c_p m \frac{dT_m}{dt} = A_m v_h (T_e - T_m) + A_m h_m (T_c - T_m)$$

donde el primer término del segundo miembro es el calor intercambiado con el exterior mientras que el segundo es el intercambiado con la habitación.

Para el acumulador en el piso se escriben a continuación las ecuaciones para dos de las temperaturas, T_{z1} y T_{z2} ya que las otras son similares:

$$c_p s M_i \frac{dT_{z1}}{dt} = -G c_p (T_o - T_{z1}) (e^{-K_t t}) + \dots$$

En la primer ecuación el intercambio con la cañería constituye el primer término, entre las dos masas es el segundo y con el suelo el tercero. En la segunda ecuación el intercambio con la habitación está dado por el primer término y con la otra masa por el segundo.

La solución numérica de estas ecuaciones ha sido planteada en lenguaje BASIC para su uso en una computadora personal Texas Instrument con un procesador 8088 y salida gráfica en pantalla. Los datos experimentales de temperatura externa y radiación son tomados de los archivos en diskete.

El tiempo de cálculo es de 6 minutos para la simulación de un día.

3. Ensayo del Prototipo

La construcción del prototipo fue terminada a fines de invierno de 1983 por lo que los ensayos iniciales tuvieron como fin fundamental la puesta a punto del sistema solar.

En su primera versión el circuito de aire en el prototipo era el siguiente. Un film de polietileno de 200 micrones colocado a 15 cm por debajo de la chapa del techo formaba un ducto por donde circulaba el aire. En ambos extremos el film bajaba hasta el cielo raso formando plexos amplios. Del superior un ventilador axial de 1/2 HP tomaba el aire caliente y lo distribuía en el pleno de entrada a las cañerías del acumulador. El ventilador estaba colocado en la pieza a 1.5 m sobre el nivel del suelo permitiendo un fácil acceso experimental. La conexión a los ductos se hacía mediante cañerías de chapa galvanizada con una fuerte forma cónica (1.50 m de ancho a la altura del pleno y 0,4 a la altura del ventilador) para distribuir el aire en los plenos. A la salida del acumulador dos ductos anchos de 1.5 m x 0.3 m volvían el aire al techo.

La circulación del aire fue buena, con una distribución adecuada en el acumulador. El ventilador es algo grande lo que permite obtener velocidades mayores de aire para experimentación. Las medidas realizadas mostraron una eficiencia muy baja en el colector, que se reflejaba en un aumento de temperatura del aire muy pequeño. Un análisis del problema mostró que el defecto se encontraba en el ducto chapa-plástico del techo con una distancia muy grande entre chapa y plástico. El aire se estratificaba y el ventilador sólo recirculaba aire frío. Por otro lado la baja velocidad del aire daba lugar a un coeficiente convectivo chapa-aire en el ducto pequeño junto al correspondiente entre la chapa y el aire exterior movido por el viento, por lo que el calor recogido se perdía hacia el exterior.

Este problema se solucionó reemplazando el plástico por una chapa metálica plana en contacto directo con la chapa ondulada según se esquematiza en la Fig. 3. De esta forma el ducto queda

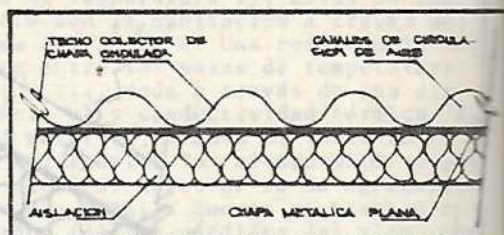


Fig. 3

formado por las ondulaciones de la chapa del techo con un espesor medio del orden de 1.5 cm. El aire circulaba a buena velocidad permitiendo una correcta extracción del calor recogido. El aumento de la pérdida de carga por disminución de la sección del ducto no es grande y el ventilador original fue suficiente para mantener la circulación.

El cambio fue realizado en marzo/84 por lo que el sistema fue ensayado en el invierno de 1984. Se recogieron datos con un datalogger Fluke 2200 B colocando termocuplas según se esquematiza en la Fig. 1, además de solarímetro y anemómetro. Los datos recogidos en forma horaria fueron entrados en una computadora personal Wang para su tratamiento y comparación en el modelo computacional ya descrito.

4. Resultados experimentales y teóricos

Del conjunto de datos experimentales en la Fig. 4 se muestra un grupo correspondiente a 15 días sucesivos con distintas situaciones de radiación correspondientes al período 6/6/84 al 20/6/84. Las temperaturas que se muestran corresponden a la temperatura externa, temperatura interna y temperaturas de entrada y salida al colector. Los aspectos más interesantes a destacar son:

- la temperatura media del prototipo se encuentra unos 7°C por encima de la temperatura ambiente externa media, indicando la acción del aporte solar.
- la variación de la temperatura del prototipo entre el día y la noche está situada en el orden de los 4°C frente a unos 12°C de la exterior, indicando que la acción combinada

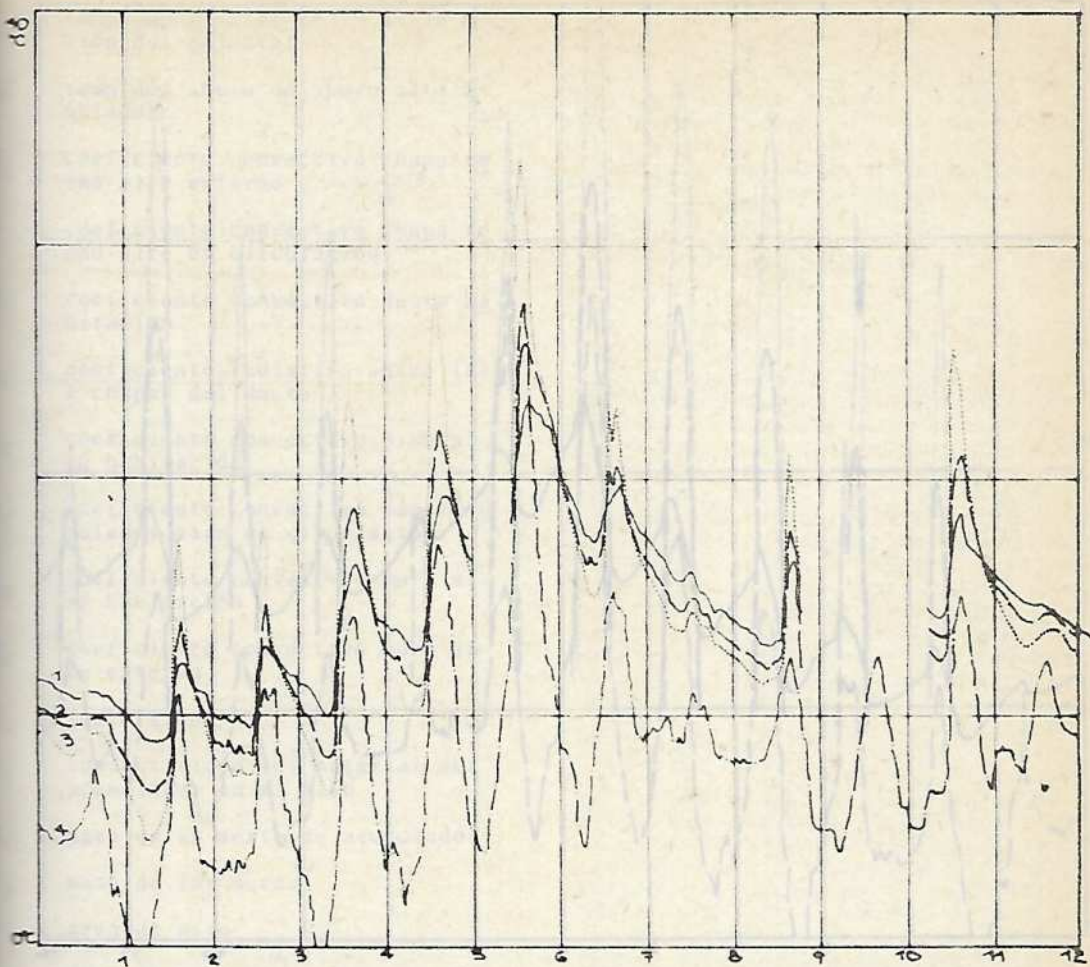


Fig. 4

de la aislación y masa de pared y acumulador es efectiva en este sentido

- c) la eficiencia del colector se encuentra en el orden del 15%, valor esperado teniendo en cuenta que no se usa vidrio superior
- d) la temperatura de salida está en el orden de los 30°C a 35°C lo que es adecuada teniendo en cuenta que el acumulador está situado directamente en el piso y no se lo puede calentar mucho
- e) la capacidad de acumulación parece ser algo escasa por lo que será necesario optimizar el espesor de la placa de hormigón. De cualquier manera debe tenerse en cuenta que el prototipo tiene una superficie pequeña (20 m²) por lo que los problemas de inercia térmica a varios días se agudizan.

En la Fig. 5 se muestran los resultados del cálculo teórico, obtenido con los siguientes valores de los parámetros más importantes:

El comportamiento de la temperatura interior del prototipo es muy similar al dato experimental. Las temperaturas de salida del colector son más altas. Este es un problema típico de casi todas las simulaciones de sistemas pasivos ya que el efecto de inercia a corto tiempo de masas pequeñas como la de las chapas, vidrios y ductos no se tienen en cuenta en la evaluación teórica.

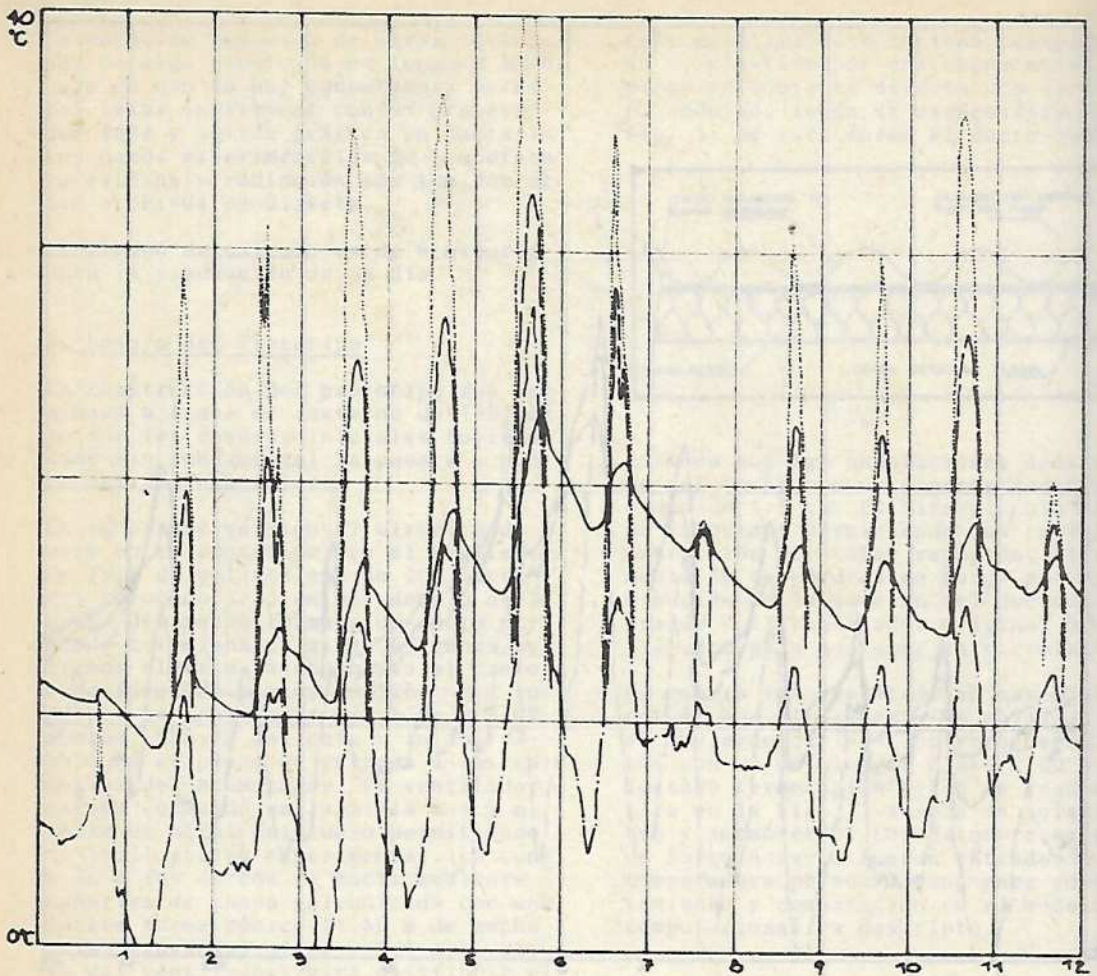


Fig. 5

5. Conclusiones

Después de los cambios introducidos en 1984 este sistema está dando resultados en el orden de lo esperado. Por su bajo costo es de esperar que pueda ser implementado en las viviendas de tipo económico en las zonas climáticas de temperaturas moderadas y con poco viento. A continuación de be encararse la etapa de diseño industrial del sistema además de los estudios correspondientes a su uso en verano.

Referencia

1. "Prototipo de Viviendas para Ensayo de Techos Colectores sin Cubierta y Acumulación en el Piso" Castro Padula, L., Grión, M., Le Sino, G., Saravia L. Actas de la 8va. Reunión de ASADES La Pampa 1983, pp. 25.

Tabla I: Definición de las variables y parámetros del modelo

T_e	: temperatura externa
T_c	: temp.del aire en la vivienda
$T_{(x)}$: temp.del aire que lame la cubierta
$T_{t(x)}$: temp.del aire en los ductos del acumulador
T_{ij}	: temp.de las masas del acumulador
T_1	: temp.de entrada(salida)en el colector (acumulador)
T_0	: temp.de salida(entrada)en el colector (acumulador)
T_p	: temp.de la placa absorbadora del colector

- : temp.superficial de la aislación del colector
- : temp.del suelo de apoyo al acumulador
- : coeficiente convectivo chapa techo-aire externo
- : coeficiente convectivo chapa techo-aire en circulación
- : coeficiente convectivo ducto-habitación
- : coeficiente radiativo entre las 2 chapas del ducto
- : coeficiente convectivo piso-aire habitación
- : coeficiente convectivo caños acumulados-aire en circulación
- : coeficiente convectivo muro-aire habitación
- : coeficiente convectivo muro-aire externo
- : flujo aire
- : conductividad del material del acumulador en el piso
- : masa de un sexto de acumulador
- : masa de los muros
- : área de piso
- : área de muro
- : longitud del techo
- : longitud caños acumulador
- : perímetro del total de caños
- : ancho del techo.

... de la aislación del colector...
 ... temp.del suelo de apoyo al acumulador...
 ... coeficiente convectivo chapa techo-aire externo...
 ... coeficiente convectivo chapa techo-aire en circulación...
 ... coeficiente convectivo ducto-habitación...
 ... coeficiente radiativo entre las 2 chapas del ducto...
 ... coeficiente convectivo piso-aire habitación...
 ... coeficiente convectivo caños acumulados-aire en circulación...
 ... coeficiente convectivo muro-aire habitación...
 ... coeficiente convectivo muro-aire externo...
 ... flujo aire...
 ... conductividad del material del acumulador en el piso...
 ... masa de un sexto de acumulador...
 ... masa de los muros...
 ... área de piso...
 ... área de muro...
 ... longitud del techo...
 ... longitud caños acumulador...
 ... perímetro del total de caños...
 ... ancho del techo.

11. Descripción del sistema

El sistema consta de un colector solar...
 ... un ducto horizontal...
 ... un acumulador...
 ... un piso...
 ... un muro...

... durante el invierno el agua caliente...
 ... por el colector solar...
 ... según las variaciones...
 ... correspondiente al esquema de instalación.

En verano, el colector será protegido...
 ... por una lámina de aislación del suelo...

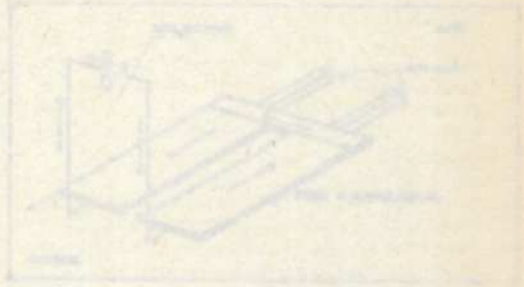


Figura-Estado 3. Instalación del sistema solar