

DISEÑO Y EXPERIMENTACION DE UN CALENTADOR

DE AIRE DE MATRIZ POROSA (*)

por

Algo Fabris, Jorge Souto y Luis Saravia

Departamento de Ciencias Exactas
Universidad Nacional de Salta
Buenos Aires 177
4400 Salta
Argentina

SUBVENCIONADO PARCIALMENTE POR EL CONICET

RESUMEN

Se describe el diseño y construcción de un calentador de aire que utiliza una matriz porosa como elemento intercambiador. Se / discute la ventaja de este tipo de colectores frente a los de // conducto cerrado en lo atinente a la energía necesaria para mo- / ver el aire. Se dan algunos datos experimentales del colector // construído, tomando aire a temperatura ambiente. Se proponen al- / gunas ideas para disminuir o eventualmente eliminar la aislación en la parte posterior del calentador.

IV - 2

(*) Comunicación a ser presentada en la 2da. Reunión de Trabajo de Energía Solar. Julio/76 - Salta - República Argentina.

1.- Introducción.

Los calentadores planos que funcionan utilizando energía solar tienen una gran cantidad de posibles aplicaciones. Entre otras, podemos citar el secado de productos agrícolas y el acondicionamiento ambiental.

Los calentadores que utilizan aire como fluido de trabajo tienen frente a los que utilizan agua, u otro líquido las siguientes ventajas: son de más bajo costo por unidad de superficie, su durabilidad es buena, no tiene problemas ni de congelamiento ni de ebullición, no resultan catastróficos los daños si hay pérdidas de fluido en el sistema y su eficiencia es del mismo orden que la de los calentadores de agua convencionales con el mismo número de cubiertas y trabajando a la misma temperatura de salida (1). Otra ventaja que ofrece en el caso de acondicionamiento ambiental y secado es la de no necesitar intercambiadores adicionales, pues se puede utilizar directamente el aire suministrado por el colector.

Como desventajas, pueden computarse las siguientes: no se puede acumular directamente el fluido de trabajo, necesiándose algún tipo de intercambiador adicional para la acumulación, necesidad de conductos de tamaño relativamente grandes, mayor potencia para mover el aire y la dificultad de detectar las pérdidas.

Los tres tipos de calentadores de aire más comunes han sido estudiados teóricamente por Whillier (2) y pueden verse en la Fig. 1.

El que se ha dado en llamar el de tipo convencional, Fig. 1a, consta de una cubierta transparente, una superficie absorbente y una aislación posterior. El aire circula entre la superficie absorbente y la aislación posterior, calentándose gradualmente a medida que atraviesa el conducto. Puede también circular aire entre la cubierta y la superficie absorbente. Este tipo de calentadores ha sido estudiado por varios autores (2), (3), (4), (5).

En el calentador de láminas de vidrio superpuestas debido a Lof, el aire que entra al colector lame las láminas y se calienta en la última porción de cada una de ellas, que se encuentra ennegrecida. Con este esquema de circulación, el fluido que ingresa al colector y se encuentra en contacto con las cubiertas

DISEÑO Y EXPERIMENTACION DE UN CALENTADOR

DE AIRE DE MATRIZ POROSA (*)

por

Algo Fabris, Jorge Souto y Luis Saravia

Departamento de Ciencias Exactas
Universidad Nacional de Salta
Buenos Aires 177
4400 Salta
Argentina

SUBVENCIONADO PARCIALMENTE POR EL CONICET

RESUMEN

Se describe el diseño y construcción de un calentador de aire que utiliza una matriz porosa como elemento intercambiador. Se / discute la ventaja de este tipo de colectores frente a los de // conducto cerrado en lo atinente a la energía necesaria para mo- / ver el aire. Se dan algunos datos experimentales del colector // construído, tomando aire a temperatura ambiente. Se proponen al- / gunas ideas para disminuir o eventualmente eliminar la aislación en la parte posterior del calentador.

IV - 2

(*) Comunicación a ser presentada en la 2da. Reunión de Trabajo de Energía Solar. Julio/76 - Salta - República Argentina.

1.- Introducción.

Los calentadores planos que funcionan utilizando energía solar tienen una gran cantidad de posibles aplicaciones. Entre otras, podemos citar el secado de productos agrícolas y el acondicionamiento ambiental.

Los calentadores que utilizan aire como fluido de trabajo tienen frente a los que utilizan agua, u otro líquido las siguientes ventajas: son de más bajo costo por unidad de superficie, su durabilidad es buena, no tiene problemas ni de congelamiento ni de ebullición, no resultan catastróficos los daños si hay pérdidas de fluido en el sistema y su eficiencia es del mismo orden que la de los calentadores de agua convencionales con el mismo número de cubiertas y trabajando a la misma temperatura de salida (1). Otra ventaja que ofrece en el caso de acondicionamiento ambiental y secado es la de no necesitar intercambiadores adicionales, pues se puede utilizar directamente el aire suministrado por el colector.

Como desventajas, pueden computarse las siguientes: no se puede acumular directamente el fluido de trabajo, necesiándose algún tipo de intercambiador adicional para la acumulación, necesidad de conductos de tamaño relativamente grandes, mayor potencia para mover el aire y la dificultad de detectar las pérdidas.

Los tres tipos de calentadores de aire más comunes han sido estudiados teóricamente por Whillier (2) y pueden verse en la Fig. 1.

El que se ha dado en llamar el de tipo convencional, Fig. 1a, consta de una cubierta transparente, una superficie absorbente y una aislación posterior. El aire circula entre la superficie absorbente y la aislación posterior, calentándose gradualmente a medida que atraviesa el conducto. Puede también circular aire entre la cubierta y la superficie absorbente. Este tipo de calentadores ha sido estudiado por varios autores (2), (3), (4), (5).

En el calentador de láminas de vidrio superpuestas debido a Lof, el aire que entra al colector lame las láminas y se calienta en la última porción de cada una de ellas, que se encuentra ennegrecida. Con este esquema de circulación, el fluido que ingresa al colector y se encuentra en contacto con las cubiertas

superiores está fría, eliminándose de esta forma las pérdidas / convectivas. Las radiativas se minimizan ya que la parte de las láminas de vidrio que intercambian radiativamente con la cubierta superior se encuentran prácticamente a la misma temperatura del aire que ingresa. La velocidad del aire en los conductos es de aproximadamente 0,3 m/seg (7).

El colector que utiliza un lecho poroso como superficie intercambiadora, Fig. 1 c, absorbe la radiación solar en profundidad, esta energía es cedida luego a una corriente de aire que / atraviesa el lecho. En cuanto a las pérdidas, el efecto es análogo al obtenido en el calentador de láminas de vidrio.

Los trabajos (2), (8), (9) y (10) tratan distintos aspectos de este tipo de colector.

Los colectores - 1b y 1c - presentan a primera vista ventajas frente al del tipo convencional en lo que a eficiencia se / refiere. Según se muestra en (9), el de matriz porosa muestra / ventajas frente a los otros tipos en relación a la potencia necesaria para mover el aire en los colectores por unidad de energía colectada. Haremos notar, que en los sistemas de calefacción solar de aire hasta ahora construídos, la mayor caída de presión estática se produce en el sistema de distribución y acumulación, siendo en todos los casos pequeña la porción que le / corresponde al colector.

El mayor inconveniente de los colectores que utilizan una / matriz porosa metálica, es el alto costo resultante del lecho / poroso, compuesto por varias láminas de metal perforado y expandido superpuestas. Lawand (5) utiliza para incrementar la superficie de intercambio entre el fondo y la superficie absorbente una pantalla de fibras de vidrio que transmite aproximadamente un 55% de la radiación incidente sobre ella, Fig. 2(a). Buchberg (11), utiliza en su trabajo un lecho absorbente de fibras de vidrio, pintado de negro y comprimido, para obtener un flujo uniforme en toda la superficie del lecho Fig. 2(b). Estos trabajos, nos indujeron a estudiar el comportamiento de este tipo de calentadores de aire utilizando como matriz, láminas de fibra / de vidrio ennegrecidas, utilizadas normalmente para armar las / protecciones asfálticas que se colocan en los techos de las viviendas.

El costo de una matriz porosa de este material, lo suficientemente grueso como para absorber un gran porcentaje de la ra-

diación solar incidente es muy bajo.

Una matriz de este tipo, debe tener un alto coeficiente volumétrico de intercambio térmico con un fluido que la atraviese, ya que la superficie disponible para el intercambio por unidad de volumen de matriz debe ser grande, debido al pequeño diámetro de las fibras.

2.- Descripción del colector.

Se construyó una caja de chapa galvanizada remachada y soldada cuyas dimensiones exteriores son: 200 x 110 x 40 cm., Fig. 3, con pestañas para proteger la aislación lateral de lana de vidrio de 5 cm. en la periferia y 10 cm. en el fondo. La aislación fue recubierta con una caja construída en cartón prensado y ésta a su vez fue recubierta con papel de aluminio. Luego de las primeras pruebas fue necesario del lado externo sobre la periferia del colector una aislación de 5 cm. de poliestireno expandido, debido a la gran pérdida térmica por falta de aislación en esta zona del equipo.

El aire ingresa al colector por uno de los extremos a través de perforaciones que atraviesan la caja metálica, la aislación y la caja interna de cartón prensado. El aire que ingresaba al colector era filtrado para evitar que se ensucie el sistema. La extracción se realizaba mediante un caño de chapa que sale lateralmente del colector en el otro extremo y que tenía un diámetro de aproximadamente 7,5 cm. Este caño penetraba dentro del colector aproximadamente 1 m.

Se construyó un pleno de salida con el fin de uniformizar / el flujo dentro del sistema. Este se hizo cerrando una cavidad en un extremo mediante una pieza de cartón prensado agujereado en toda su superficie.

Se construyó un marco de madera para soportar el vidrio que ofició de cubierta. El marco se construyó de tal forma que asentara lo mejor posible sobre el borde superior de la caja. Con el fin de que éste asentara lo mejor posible y evitar así las pérdidas de aire, se colocó en la línea de apoyo y sobre el marco un generoso burlate de goma. Se sellaron todas las uniones entre las maderas y entre el vidrio y la madera con goma sintética siliconada. El espesor del vidrio de la cubierta es de 4 mm.

Una vez colocada la cubierta sobre el colector, el marco se

sugetaba a la caja metálica con unas grampas de tensión que presionaban leverete el burlete de unión.

Se hicieron pruebas de humo para detectar las pérdidas de / aire. Se corrigieron bastante apreciablemente las existentes mejorando el asiento entre el marco de la cubierta y la caja metálica del colector.

Las dimensiones de los conductos de aire del colector se // dan en la Tabla I.

Las láminas de fibra de vidrio fueron pintadas con pintura negro mate comercial a soplete. Luego de dos manos de pintura, las láminas aparentaban haber tomado bien el color. Luego de un par de meses de exposición del colector no se apreció ninguna / disminución apreciable del color, comparándolas con láminas no expuestas.

El lecho poroso se construyó superponiendo cuatro láminas.

En el lado interno del colector y sobre los laterales se atornillaron dos guías de madera enfrentadas entre las que se tejó con hilo de nylon una trama sobre la que se apoya el lecho.

Se colocaron dentro del colector 9 termocuplas cuyas posiciones se indican en la Fig. 4.

3.- Mediciones realizadas e instrumental utilizado.

Se midió la temperatura ambiente en la zona donde se encontraba el colector y la temperatura del aire de salida con termómetro de mercurio cuya menor división era 0,2°C. En todos los casos, el aire que entraba al calentador se tomaba del ambiente.

La radiación solar total incidente sobre el colector se midió utilizando un solarímetro Kipp y Zonen de constante $7,4 \frac{mV}{ly/min}$ inclinado al mismo ángulo que la cubierta. La tensión del solarímetro se midió con un multímetro digital de 3 1/2 dígitos marca Weston mod. 1240, la sensibilidad de este instrumento era de // 0,1 mV.

El caudal se midió con un tubo Pitot y un manómetro diferencial de columna inclinada, cargado con agua destilada. El ángulo de inclinación del manómetro es tal, que se obtiene una amplificación de 10 veces con respecto a una columna de agua vertical. La sensibilidad en la medida del manómetro se estimó en 0,2 mm. de H₂O.

El tubo pitot fue colocado centrado en el caño de salida //

del aire del colector. El factor utilizado para tener en cuenta el perfil de velocidades dentro del conducto con el fin de determinar el caudal fue de 0,84, indicado por el fabricante.

Las 9 termocuplas colocadas dentro del colector son de cobre-constantan. Las tensiones de las termocuplas fueron registradas con un registrador potenciométrico Health-Schumberger monocanal, con amplificador potenciométrico y un ancho de carta / de 30 cm. Se utiliza en la escala de 5mV.

Se midió también el ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre el colector.

Todas las mediciones fueron realizadas en días de poco viento y cerca del medio día solar.

El colector se orientó mirando al norte y formando con la / horizontal un ángulo de aproximadamente 30°.

Se midieron algunas características del lecho poroso.

Para las definiciones se toma como guía (12), los resultados obtenidos se dan en la Tabla II. El detalle de estas mediciones no se explicará aquí.

4.- Resultados obtenidos.

Con los valores medidos se calculó la eficiencia.

Se graficó η versus $\frac{T_s - T_a}{I}$, siendo T_s la temperatura del aire a la salida del colector, T_a la temperatura ambiente e I la insolación medida en el plano del colector. En la Fig. 5 pueden verse este gráfico y la recta de ajuste obtenida (cuadrados mínimos):

$$\eta = 0,72 - 0,0095 \frac{\Delta T}{I}$$

Las mediciones se realizaron con caudales que van desde // 0,5 Kg/m² min hasta 2,3 Kg/ m² min correspondiendo a estas velocidades del aire en el conducto del colector, que van desde // 3,8 m/min hasta 17,5 m/min aproximadamente.

La intensidad de la radiación incidente sobre el colector / fue de alrededor 1,5 ly/min en todos los casos.

En la Tabla III se muestra los valores de las temperaturas obtenidas para caudales altos y caudales bajos con las eficiencias correspondientes a cada caso.

Todas las mediciones fueron realizadas para un ángulo de incidencia en el colector menor que 20°.

De una estimación de los errores cometidos en la experiencia debido al instrumental utilizado para la medición, surge para la eficiencia un error de aproximadamente 12 % para caudales pequeños y 7 % para caudales altos.

En la figura 5 puede verse graficado este error para distintos puntos experimentales obtenidos.

En la figura 5 puede verse también la curva obtenida, para un calentador de aire de conducto cerrado y dos cubiertas (1) .

5.- Caída de presión en colectores.

Si se calcula la caída de presión en un colector convencional de // conducto cerrado, y se compara con la que se obtendría en un colector de // matriz porosa, este último, dará ventajas en cuanto a la potencia mecánica empleada para mover el aire.

La ventaja de los colectores de matriz porosa, son de alrededor de // dos órdenes de magnitud.

Es decir que la potencia necesaria para mover el aire en un colector plano de conducto cerrado será del orden de 100 veces mayor que la necesaria en un colector de matriz porosa.

Sin embargo esta ventaja es de significación dudosa, ya que los colectores no son el elemento crítico en la pérdida de carga de un sistema // de calefacción solar.

O sea, que si bien puede existir ventaja de este tipo de colectores, en ese sentido, en términos absolutos es de poca importancia.

Si la superficie necesaria para la colección es muy grande, la ventaja se torna más significativa.

Se intentó medir la caída de presión de una corriente de aire que // atravesaba el lecho poroso, sin éxito, debido a que el instrumento de que // disponíamos no era lo suficientemente sensible.

Las fórmulas utilizadas para la comparación indicada más arriba se // dan en (13) .

6.- Posibilidad de disminuir la aislación.

Si se arma un colector como se indica en la figura 6 y el // aire entra a temperatura ambiente , la lámina inferior de fibra de //

vidrio, trabajará como un intercambiador a contracorriente. Por // lo tanto, es de esperar que la superficie de la lámina que cubre // el fondo se encuentre prácticamente fría.

Si el aire que ingresa al colector, es aire que se recircula // a mayor temperatura que la ambiente, el fondo es de esperar, // se encontrará a la temperatura del aire que ingresa al colector.

7.- Conclusiones.

El colector de matriz porosa ensayado, tiene eficiencias // aceptables a baja temperatura.

Ofrece ventajas desde el punto de vista de costos, por // dos // razones, el bajo costo de la matriz, y la posibilidad de // eliminar aislación en la parte posterior.

8.- Trabajo futuro.

Se insistirá en las mediciones de eficiencia para // distintas // velocidades del aire en el colector, reduciendo el // área del // conducto de circulación de aire.

Se ensayará el esquema propuesto en la Fig. 6.

Se tratará de elaborar un modelo teórico para el mismo.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración prestada en este trabajo a // los // técnicos Oscar González y Miguel Meyer que colaboraron // en la // construcción del colector experimental.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Lof, G; Shah, M. Y. et al., R. : "Comparison of solar collectors of the air heaters and other heating types" A.S.E.S. Meeting, Setiembre 1975. Los Angeles. U.S.A.
- 2.- Whillier, A. : "Black-Painted Solar Air Heaters of Conventional Design"- Solar Energy Vol. 8, N° 1 (1964)- pp31-37.
- 3.- Buelow, F.; Boyd, J. : "Heating Air by Solar Energy"; Agricultural Engineering - Vol. 38 - Enero (1957) - pp 28-30.
- 4.- Close, D.J. "Solar Air Heaters for Low and Moderate temperature Applications". SOLAR ENERGY Vol. 7 N° 3 (1963) pp 117-124.
- 5.- Lawand, T.A. "Preliminary Report on Solar Air Heaters Test". Technical Report N° T 3 - Marzo 1963 - BRACE RESEARCH INSTITUTE.
- 6.- Lof, G. : Solar Air Heaters.
- 7.- Selouk, K. "Thermal and Economical Analysis of the overlapped-glass plate Solar Air Heater". SOLAR ENERGY, Vol. 13 (1971) pp 165-191.
- 8.- Gupta, C.L.; Garg, H.P. "Performance Studies on Solar Air Heaters". SOLAR ENERGY, Vol. 11, N° 1 (1967) pp 25-31.
- 9.- Chou, J.; El-Wakil, M.; Duffie, J. "A Slit and Expanded Aluminum Foil Matrix Solar Collector". SOLAR ENERGY, Vol. 9, N° 2 (1965, pp 73-80).
- 10.- Shoemaker, M.J. "Notes on a Solar Collector with unique air permeable media" SOLAR ENERGY.
- 11.- Rudberg, H.; Lalude, O.; Edwards, D. "Performance characteristics of rectangular honeycomb solar-thermal converters" SOLAR ENERGY, Vol. 13 (1971), pp 193-221.
- 12.- Tong, S.L.; London, A. "Heat Transfer and Flow Friction Characteristics of Wire-Screen and crossed-rod Matrices" ASME TRANSACTION, Octubre 1957 pp. 1558-1570.
- 13.- Charters, W.W.S. "Some aspects of flow design for solar air heaters applications" SOLAR ENERGY, Vol. 13 (1971). pp. 283-288.

TABLA I: Dimensiones de los conductos de aire del calentador.

Largo interior	189,2 (cm)	Area del conducto de aire	3,29 (m ²)
Ancho interior	97,4 (cm)	Area de coleccion	1,84 (m ²)
Altura interior	30 (cm)	Area libre del conducto de salida	43 (cm ²)

TABLA II: Características del lecho utilizado (los valores dados deben tomarse sólo como indicativos).

Característica	1 Lámina	Lecho (4 Láminas)
Peso por unidad de superficie (gr/m ²)	35	140
P (porosidad) $p = \frac{\text{Volumen de vacíos}}{\text{Volumen de matriz}}$	0,95	0,95
d (diámetro de las fibras) (μ)	6	6
e (espesor) (mm)	0,4	1,6
τ (transparencia) luz transmitida a incidencia normal	32%	1%
σ área disponible para el intercambio por unidad de su superficie de lámina.	3,4	13,6
Costo sin pintura (1/6/76) (\$/m ²)	25,00	100,00

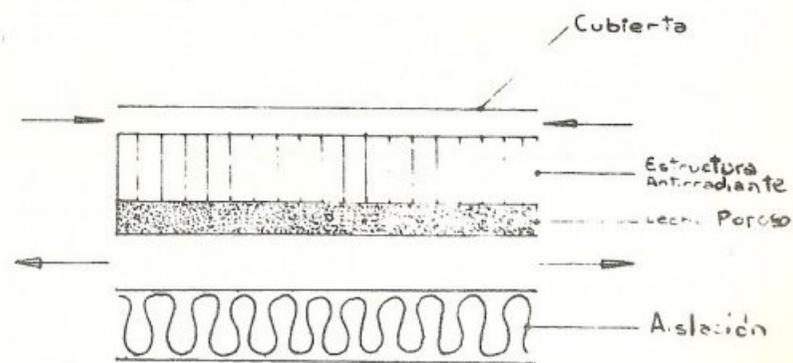
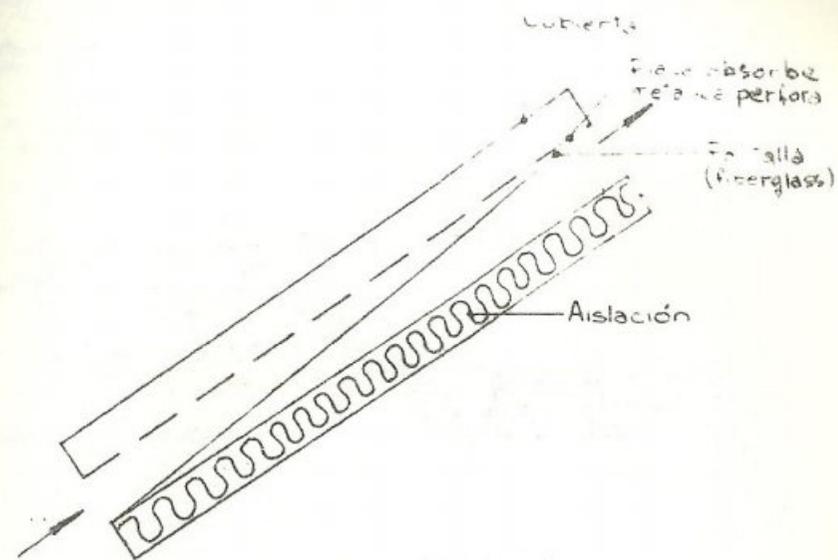
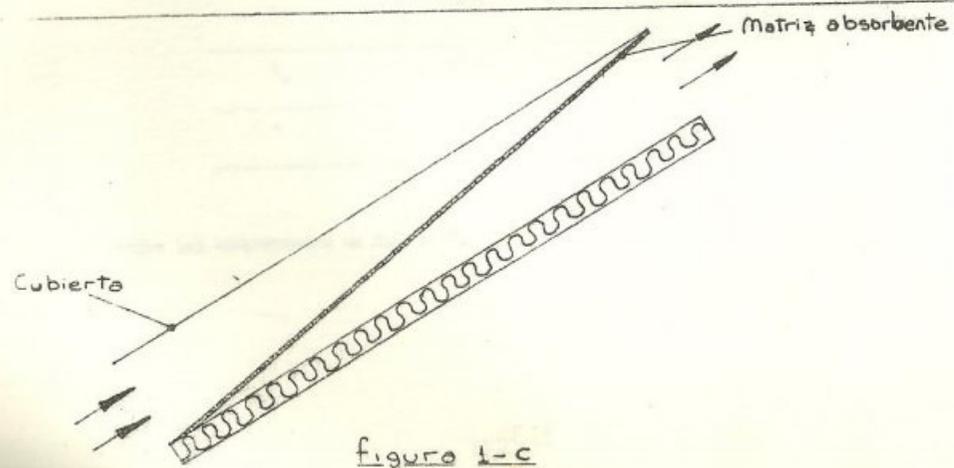
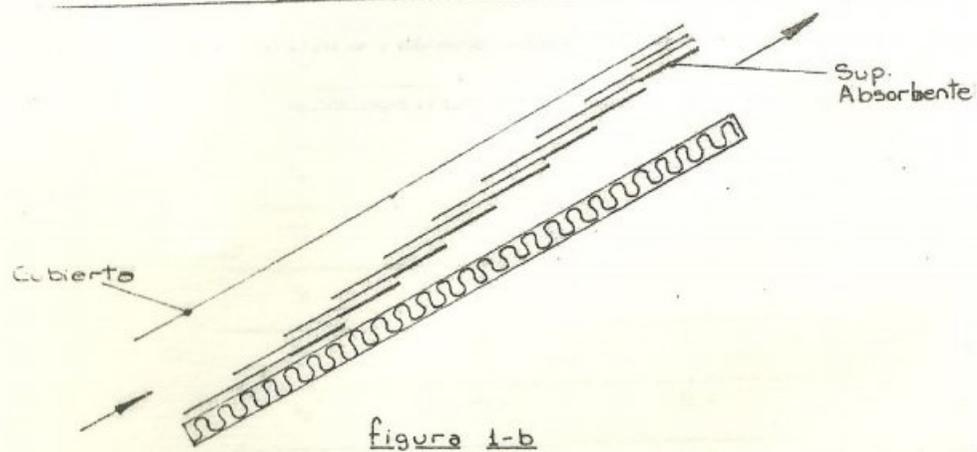
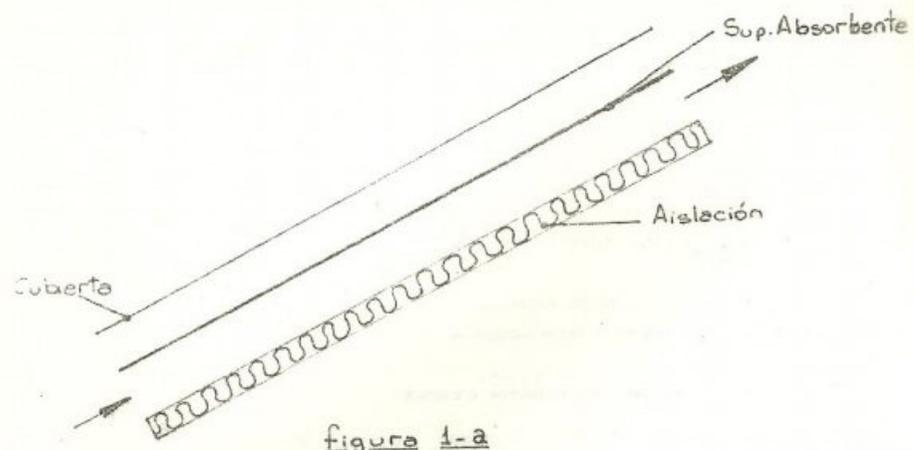
TABLA III : Se dan las temperaturas indicadas por las termocuplas para dos caudales distintos.

G ($\frac{\text{Kg}}{\text{min}}$)	1.27 Kg/min	3.11 Kg/min
t_0	48.4	31.5
t_1	58.1	41.6
t_2	41.2	38.3
t_3	48.4	40.9
t_4	67.5	42.9
t_5	45.8	38.2
t_6	31.2	30.2
t_7	37.9	32.9
t_8	39.2	25.4
t_9	16.7	17.0
t_{10}	55.2	38.4
n	.44	.61

Todas las temperaturas se dan en °C.

LEYENDAS DE LAS FIGURAS

- 1.- Muestra distintos tipos de calentador de aire.
- 2.- Muestra dos tipos de calentadores de Aire donde se utilizan fibras de vidrio como elemento intercambiador.
- 3.- Muestra un esquema del colector ensayado.
- 4.- Muestra la ubicación de las termocuplas en el colector.
- 5.- Muestra los valores experimentales obtenidos y su recta de ajuste.
- 6.- Muestra el colector propuesto para futuras experiencias.



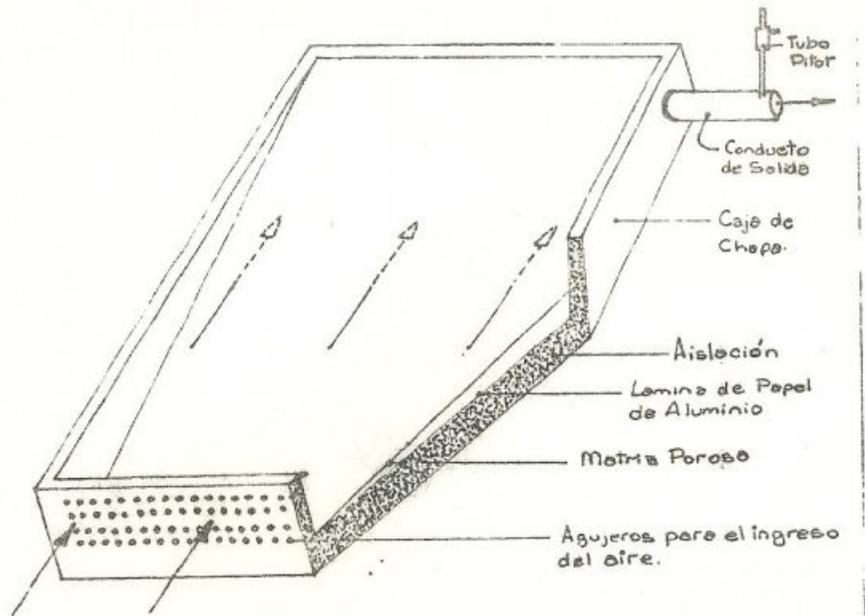
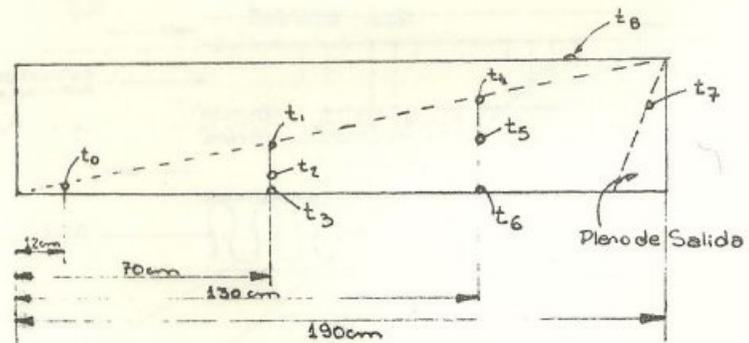


FIGURA 3



t_0, t_1 y t_4 ; están tocando la parte inferior de la matriz
 t_2 y t_6 ; están adheridas al fondo del conducto de aire

FIGURA 4

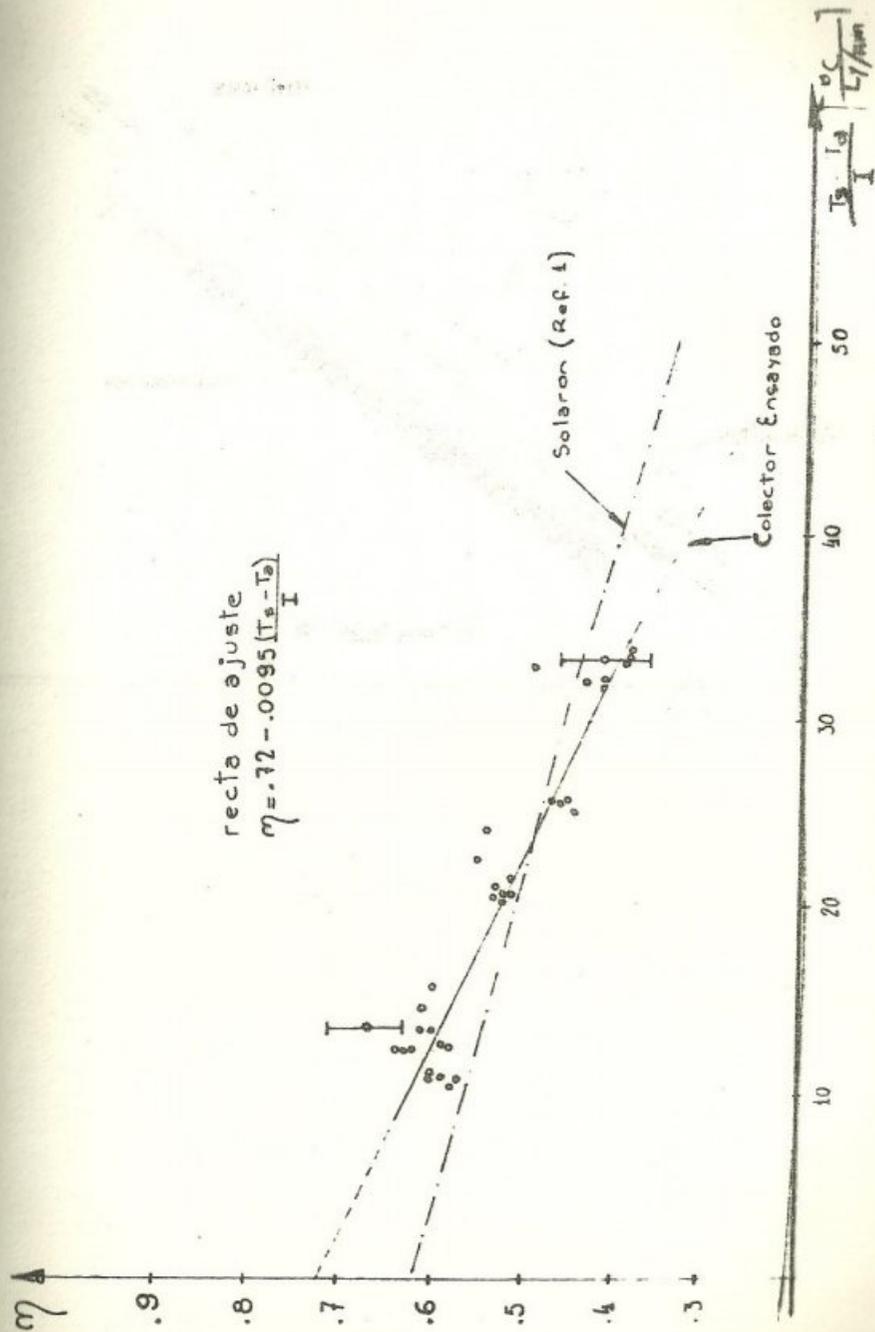


FIG. 5

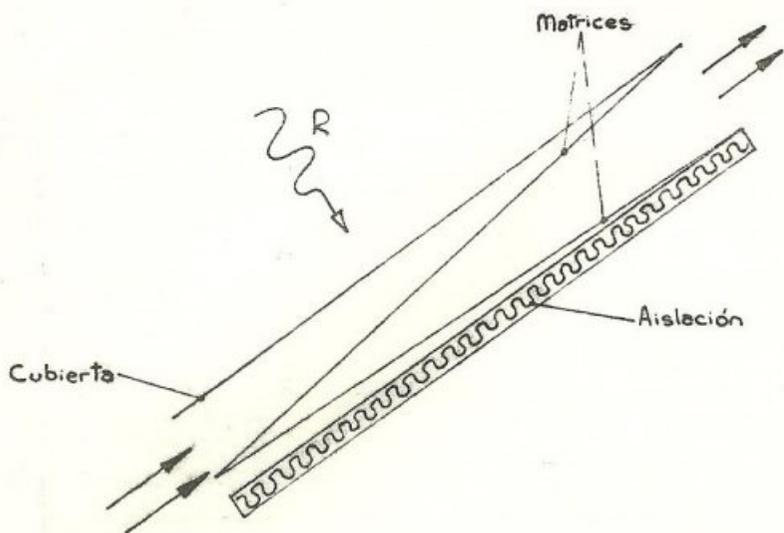


FIGURA 6