

# COLECTOR CON INTERCAMBIADOR DE AIRE-AGUA

## RESULTADOS EXPERIMENTALES\*

A.A. Iriarte y D.A. Luna  
Grupo de Energía Solar  
Dpto. de Ciencias Agrarias  
Universidad Nacional de Catamarca

y

L. Saravia<sup>#</sup> e I. De Paul  
Grupo de Energía Solar  
Dpto. de Ciencias Exactas  
Universidad Nacional de Salta

### RESUMEN:

Se presentan los resultados experimentales obtenidos con un prototipo de calentador de agua con aire como fluido de intercambio, con una superficie de colección de dos metros cuadrados y un acumulador de ciento veinte litros de agua. Los resultados obtenidos son analizados en / un modelo numérico desarrollado sobre la base de un trabajo anterior / (1). En el presente ensayo se utiliza una placa colectora formada por una placa ondulada galvanizada y una placa lisa que hace de base entre las cuales circula aire. El acumulador está formado por doce tanques / cilindricos de diez centímetros de diámetro y ochenta centímetros de / longitud, dispuestos en una configuración en tresbolillo de dos filas transversales al flujo.

Del análisis de los resultados del modelo teórico y del sistema experi<sup>u</sup>mental se desprende una buena concordancia global entre ambos.

### INTRODUCCION:

El presente trabajo forma parte de un estudio destinado a evaluar las posibles soluciones para el calentamiento de agua en zonas donde las / bajas temperaturas nocturnas determinan fenómenos de congelamiento del agua en los tubos de la placa absorbadora.

(\*) Financiado por la Secretaría de Estado de Ciencia y Tecnología- (SECYT).

(#) Investigador de la CNIE.

En la primera etapa se realizó la modelización y simulación numérica de un sistema de calentamiento analizando las posibilidades de construcción de un equipo que usará aire como fluido de intercambio (1).

Para una mejor solución al problema planteado, se modificaron en el equipo experimental algunos parámetros de diseño en lo que respecta a tamaño y disposición de los tanques de acumulación. Por ello la disposición original de seis tanques aleteados de 1,5 m longitudinales al flujo de aire, se sustituyó por doce tanques distribuidos en tresbolillo / de dos filas transversales al flujo de aire, asegurando una buena transferencia térmica y evitando el aleteado de los tanques.

A continuación se describe el dispositivo experimental, se presenta el modelo teórico utilizado para el acumulador y se comparan los resultados teóricos y experimentales.

#### DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA

El sistema está constituido por dos secciones:

a) Sistema de colección.

b) Sistema de acumulación.

El colector, Fig. Nº 1, está formado por una placa colectora de chapa / galvanizada ondulada de 0,8 mm de espesor, de 2 m<sup>2</sup> de superficie colectora, pintada de negro y por una chapa galvanizada lisa que hace de base de un ducto entre las cuales circula aire forzado. Este colector es desmontable, de modo que se pueden adaptar distintos tipos de superficies colectoras a fin de evaluar sus comportamientos.

La sección de acumulación está constituida por doce tanques cilíndricos de 0,10 m de diámetro y 0,80 m de longitud, dispuestos según una configuración en tresbolillo de dos filas transversales al flujo, con una capacidad total de ciento veinte litros.

En la Fig. Nº 2, se puede apreciar la forma como están conectados los / tanques de almacenamiento, permitiéndonos asegurar una buena estratificación y mantenerla incluso cuando se produce la extracción por la parte superior del acumulador y, consecuentemente el ingreso de agua fría por su parte inferior.

Ambas secciones, sistema de colección y sistema de acumulación, ubica- / das debajo del colector, están unidas entre sí en sus extremos, Fig. Nº



2 de modo tal que el aire que ingresa a la placa colectora, luego de ca lentarse, pasa al acumulador entregando parte de su calor y reingresa al colector produciéndose de esta manera una recirculación de aire forzado. El aire es movido por un ventilador centrífugo de 0,13 HP de potencia, pudiendo ser desmontado para la realización de pruebas en convección na tural.

El sistema completo colector y acumulador están montados dentro de una caja construida con fibra de vidrio reforzada con poliéster de 1,5 mm de espesor, mientras su parte superior presenta una superficie vidriada de  $2,5 \text{ m}^2$ , Fig N° 3.

Como aislación se usó una combinación de lana de vidrio de 5 cm de espe sor en su parte interior y 5 cm de poliestireno expandido (telgopor) en su parte exterior.

#### MODELO DEL SISTEMA

El modelo teórico para predecir el funcionamiento del sistema, escrito en lenguaje Fortran, contempla, Fig N° 4,

- I. - Determinación de la radiación solar sobre la superficie del colector.
- II. - Determinación de los parámetros de funcionamiento del colector.
- III. - Determinación de pérdidas de calor del sistema colector-acumulador.
- IV. - Determinación de los parámetros de funcionamiento del acumulador.
- V. - Determinación de pérdidas nocturnas.
- VI. - Sistema de consumo de agua ( 120 lt /día )

En el presente trabajo no se entrará en detalle sobre cada uno de los / subprogramas del modelo, con excepción del acumulador, por cuanto las / modificaciones realizadas no son significativas.

Respecto al sistema de acumulación, compuesto por doce tanques transver sales al flujo, se ha supuesto a los efectos del modelo, que los mismos pueden ser apareados de manera tal que su disposición sea de seis tanques en líneas transversales al flujo, con un volumen equivalente a dos de ellos, es decir con una capacidad de 20 litros cada uno. La superficie de transferencia se consideró el doble de cada tanque del modelo ex perimental y el coeficiente de transferencia igual a una disposición en

tresbolillos (2).

El balance sobre un tanque genérico  $i$  se detalla a continuación, indicándose en tabla I el significado de las distintas variables y constantes.

$$C_{pa} A_c G (T_{ai} - T_{ai+1}) dt = M C_{pH} dT_{hi} = h A (T_{ai} - T_{hi}) dt \quad (1)$$

De estas expresiones se obtiene:

$$W \frac{dT_{ai+1}}{dt} + T_{ai+1} = T_{ai} - \epsilon \frac{dT_{ai}}{dt} \quad (2)$$

donde:

$$W = \frac{M C_{pH}}{h A} \quad \epsilon = \frac{M C_{pH} \left( 1 - \frac{G A_c C_{pa}}{h \cdot A} \right)}{C_{pa} G A_c}$$

$$T_{hi} = T_{ai} (1 - \beta) + \beta T_{ai+1} \quad (3) \quad , \quad \beta = \frac{C_{pa} G A_c}{h A}$$

Resolviendo la ecuación (2) para valores de  $i = 1, 6$ , usando como condición de borde que:

$$T_{a1} = T^{\circ} a_1 = T_{fs}$$

y que para  $t = 0$

$$T_{ai+1} = T^{\circ} a_{i+1} = \frac{T^{\circ} h_i - T_{ai} (1 - \beta)}{\beta}$$

De esta manera se obtienen soluciones de la siguiente forma:

$$T_{ai+1} = T_{ai} + e^{-t/w} \left[ b_i + \sum_{k=2}^i c(k,i) \frac{t^{k-1}}{k-1} \right]$$

para  $i = 1, 6$ , donde  $b_i$  y  $c(k,i)$  son constantes de integración.

Reemplazando en (3) para cada valor de  $i$  se obtiene la temperatura del agua en cada tanque.

## RESULTADOS

Los registros de temperatura se realizaron con termocuplas de cobre constantan instalados adecuadamente y un registrador gráfico monocanal con / un selector de quince puntos construido especialmente. Los datos de funcionamiento para la simulación numérica se detallan en la Tabla II.



Es de destacar que como el modelo teórico calcula la radiación sobre / superficie inclinada cada media hora, usando como dato la medición experimental de la radiación global diaria sobre superficie horizontal, y sus resultados difieren en un 2% con respecto a los valores horarios medidos con un solarímetro Kipp-Zonen, se omite en las gráficas la radiación teórica.

La política de consumo adoptada para ambos sistemas prevee un consumo/diario de 120 lt , distribuidos de la siguiente manera: 8 h - 20 lt ; / 12 h - 40 lt ; 16 h - 40 lt y 20 h - 20 lt; cubriendo diariamente la capacidad total de los tanques del acumulador.

Del análisis de la Fig. Nº 5 , se observa una marcada correspondencia/ entre las curvas teóricas y experimentales de la temperatura del aire a la salida del colector en función del tiempo. Sin embargo hay alguna diferencia a partir del medio día solar. Dicha diferencia se la puede atribuir a que en el modelo teórico no se tuvo en cuenta la inercia // térmica del sistema, la cual se torna importante cuando comienza a decaer la radiación.

En la misma figura se observa la evolución de la temperatura del agua a la salida del acumulador, teórica y experimental, así como la temperatura del agua a la entrada del sistema y la temperatura ambiente, todas ellas en función del tiempo. Se observa una diferencia en el perfil, fundamentalmente a partir del medio día solar, debido a que en el modelo no se tuvo en cuenta totalmente el aporte solar en el circuito/ de alimentación de agua, distribuida mediante una manguera de plástico negra desde un tanque intermediario distante cuarenta metros del colector.

En las Fig. Nº 6 y Nº 7 se muestran los perfiles de temperatura, antes y después de la extracción en función de la longitud del acumulador. / Se aprecia una buena correlación con el modelo, repitiéndose la diferencia a partir del medio día solar. La distribución de temperatura en los extremos del acumulador se muestra en la Fig. Nº 8.

Del análisis de los resultados del balance energético, Tabla III, se / desprende una buena concordancia global entre el modelo teórico y el / experimental. Es de destacar la diferencia entre la eficiencia de // transferencia en ambos casos, lo que nos indicaría que se deben modifi

car en un 6% los coeficientes de transferencia en el modelo teórico. Además se observa que una parte importante del calor transferido al acumulador ha quedado en él, en virtud de que el sistema no estaba en condiciones de régimen.

#### REFERENCIAS:

- 1.- A.Iriarte, A.Varela, I. De Paul y L.Saravia- "Calentamiento Solar de Agua con aire como fluido de Intercambio". ASADES 1979, CORDOBA.
- 2.- W.H. Mc Adams- "Transmisión de Calor"- Mc Graw Hill.-

#### AGRADECIMIENTOS:

Se agradece la valiosa colaboración del Grupo de Energía Solar de la Universidad Nacional de Salta, así como el apoyo prestado por la Secretaría de Estado de Ciencia y Tecnología (SECYT), Departamento de Ciencias Agrarias, Centro de Investigaciones en Zonas Áridas y Semi-áridas, Secretaría de Investigaciones de la Universidad Nacional de Catamarca y muy especialmente la valiosa colaboración del Sr. Alberto Amaya.



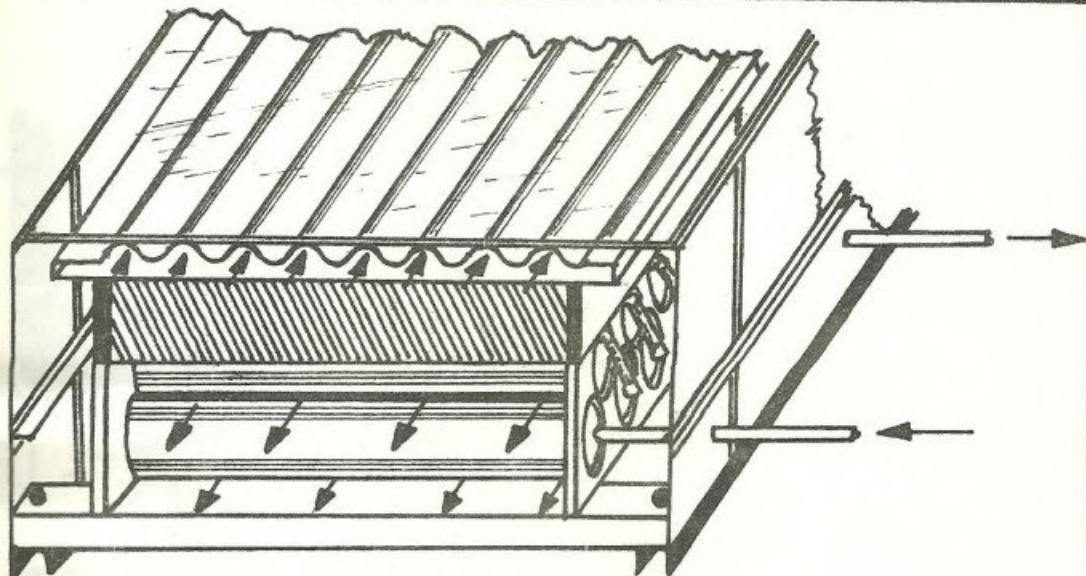


FIGURA N° 1

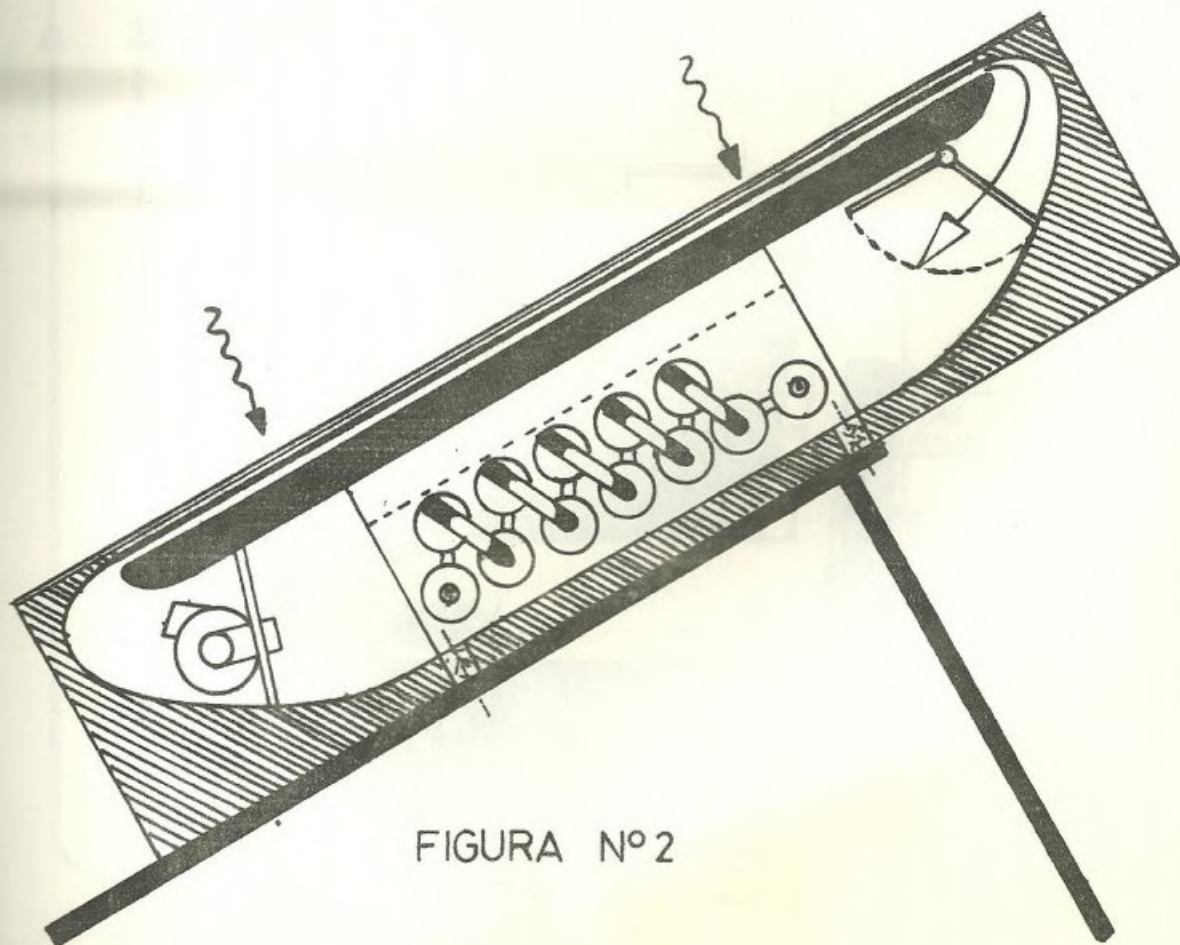


FIGURA N° 2

FIGURA Nº3

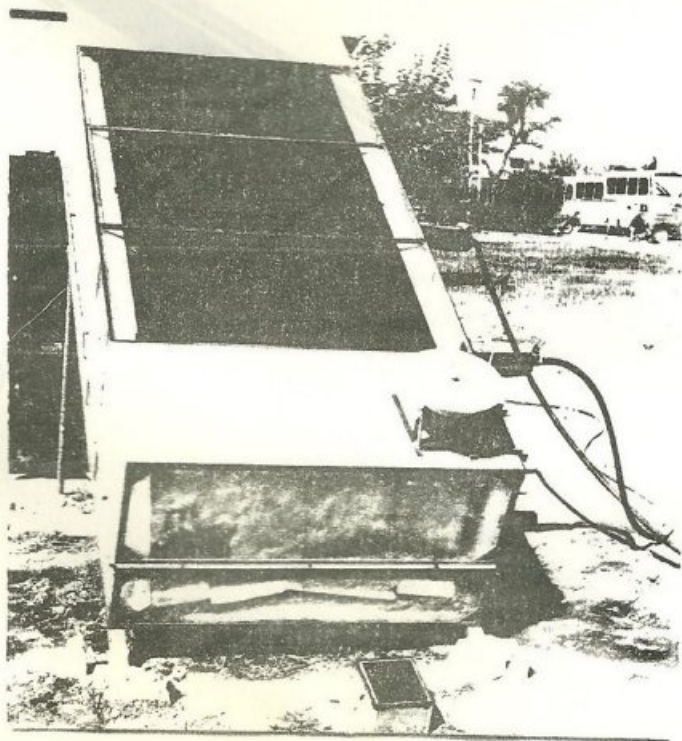
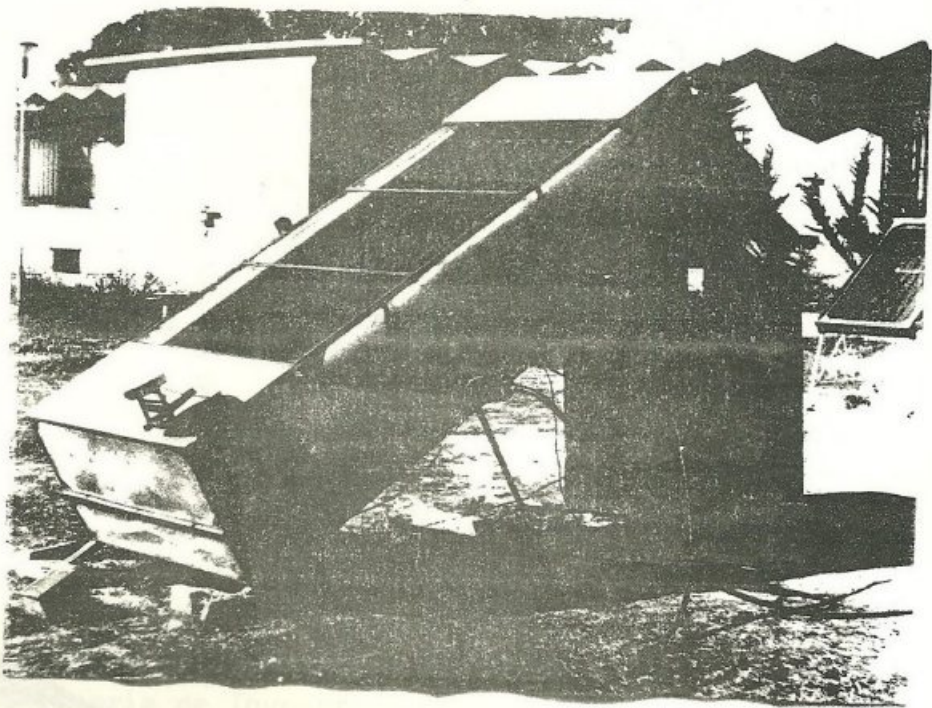




FIGURA N° 4

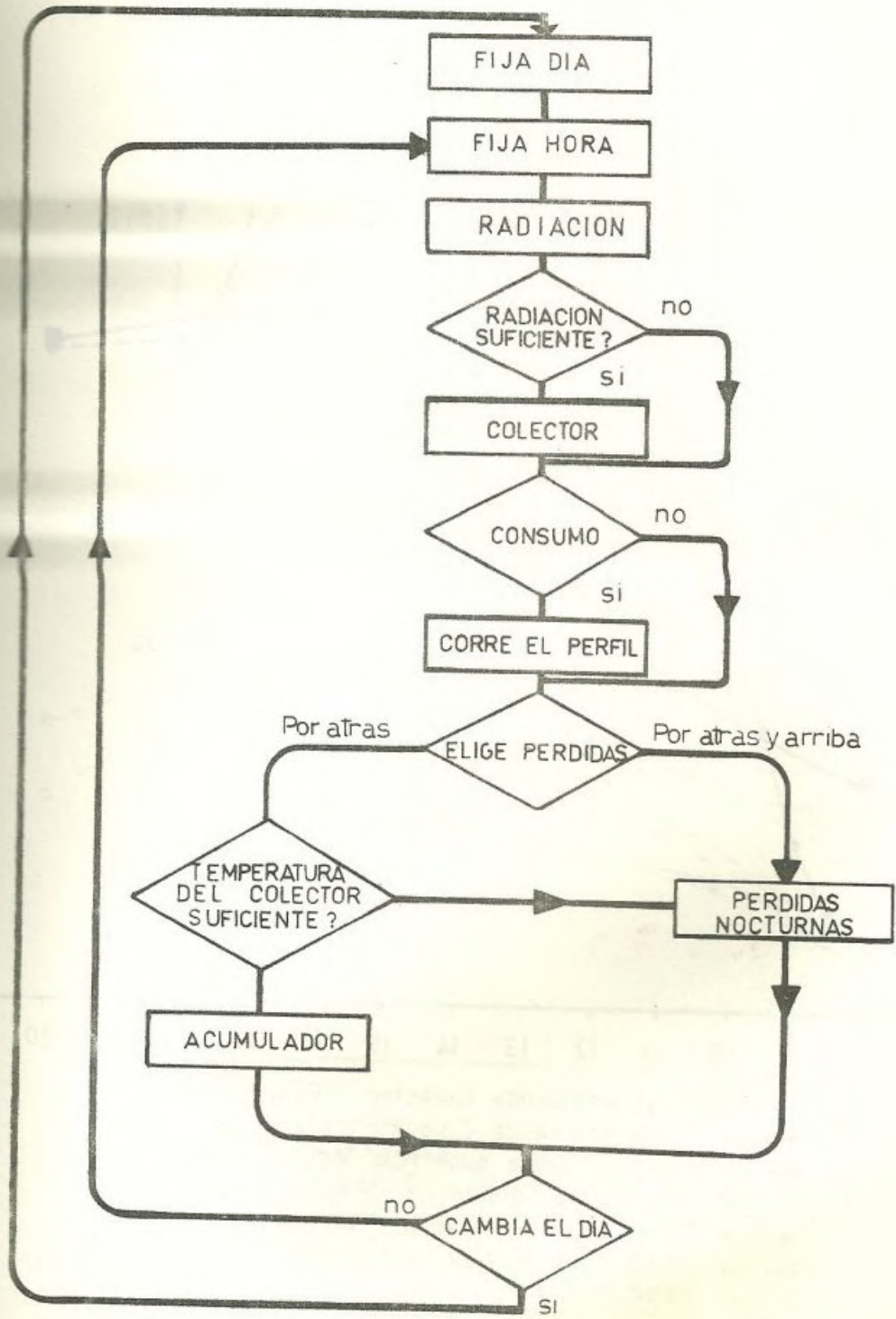
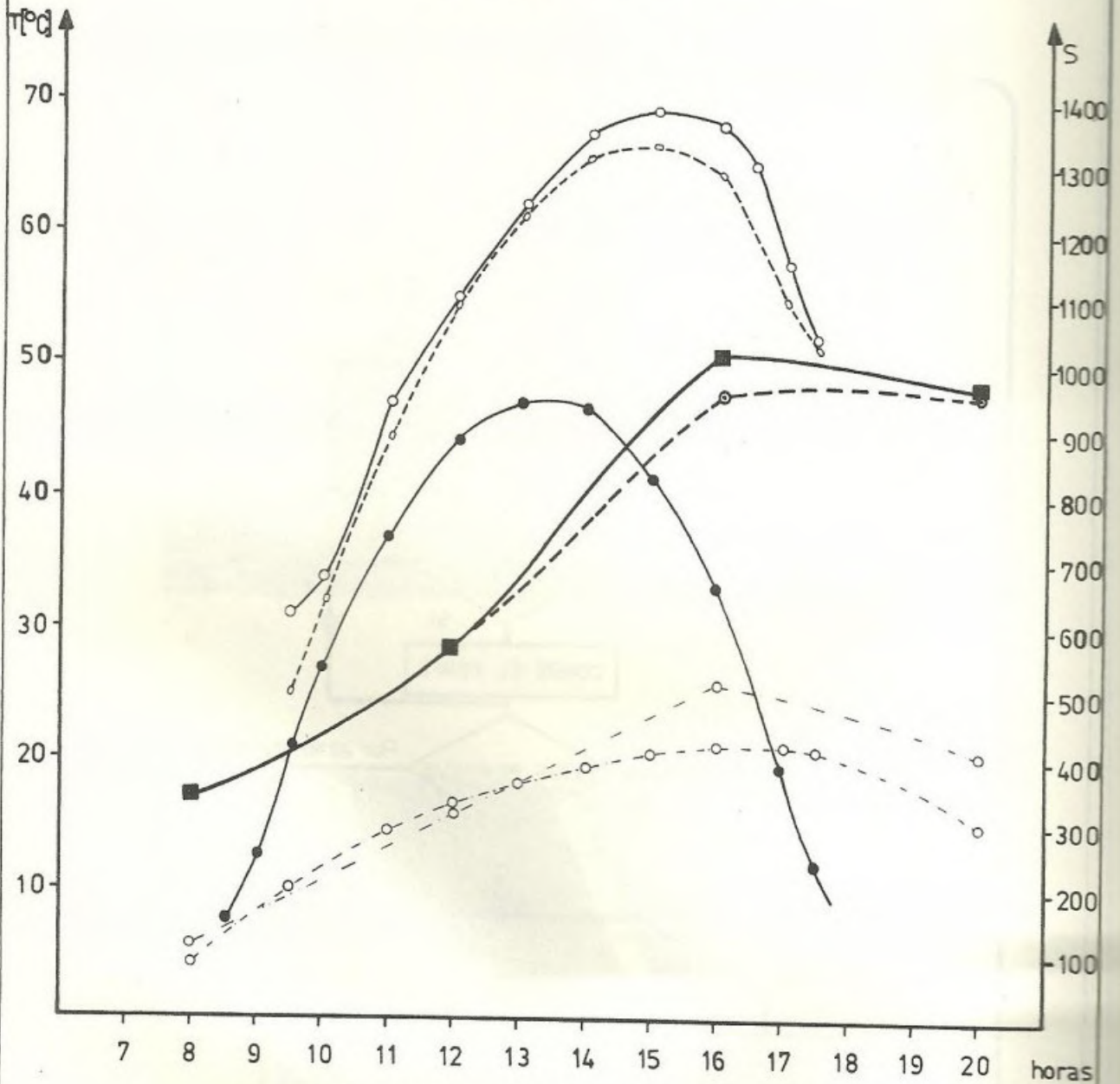


FIGURA N° 5



- Temp. aire salida Colector [Experimental]
- - -○ Temp. aire salida Colector [Teórica]
- Radiación sobre superficie inclinada [w/m²]
- Temp. agua Consumida [Experimental]
- - -● Temp. agua Consumida [Teórica]
- - -○ Temp. agua entrada acumulador
- - -○ Temp. ambiente



FIGURA N° 6

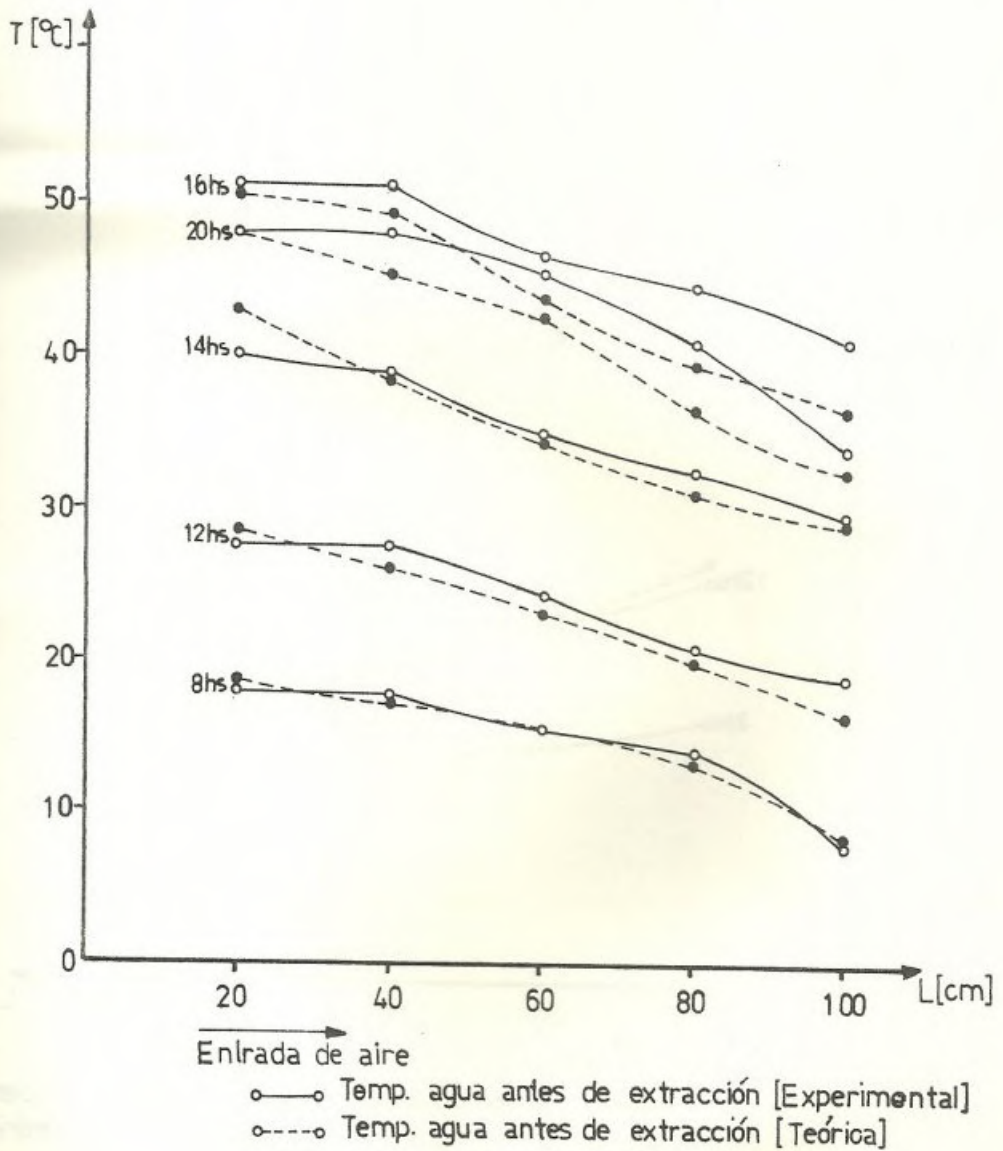


FIGURA N° 7

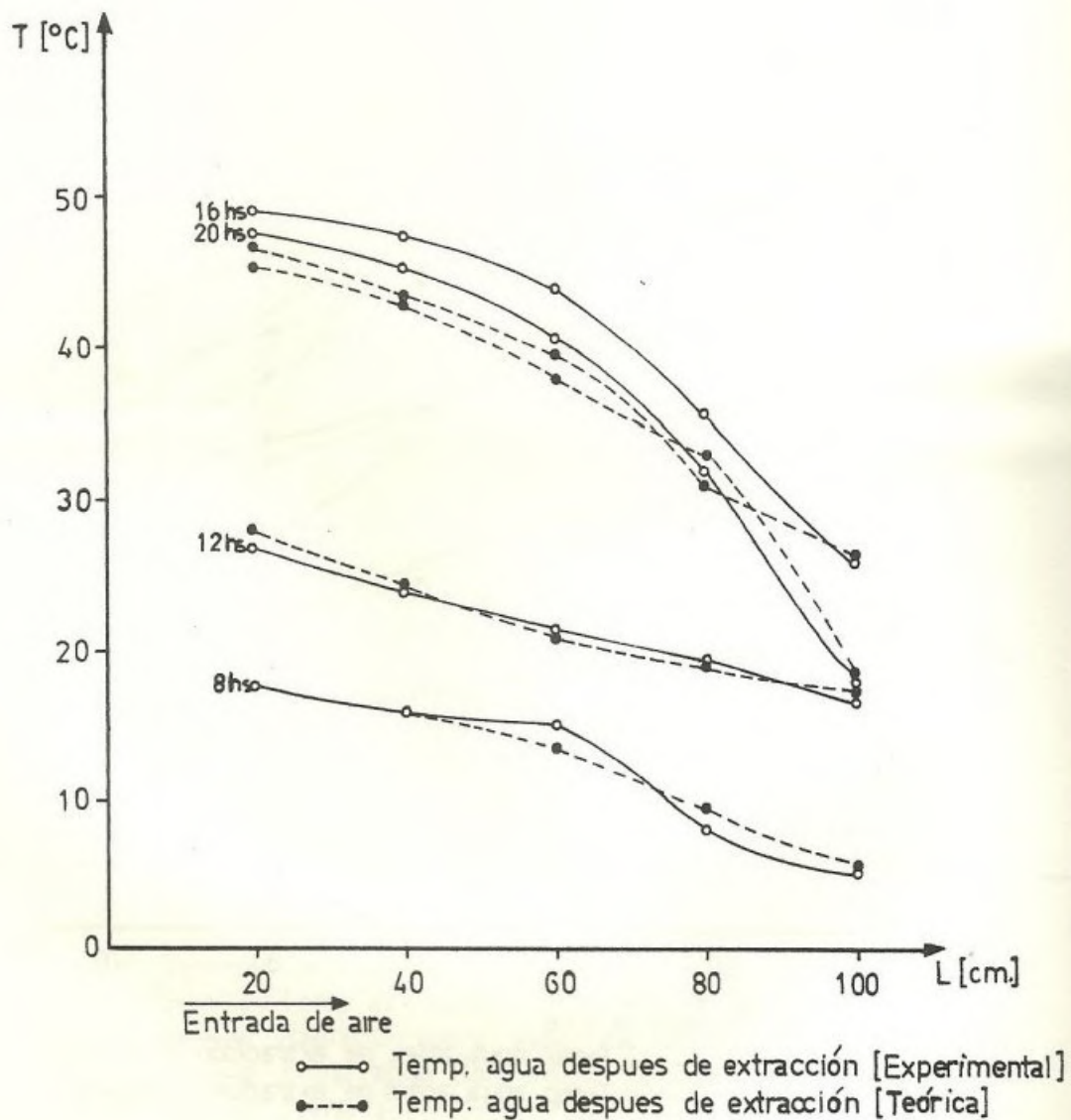
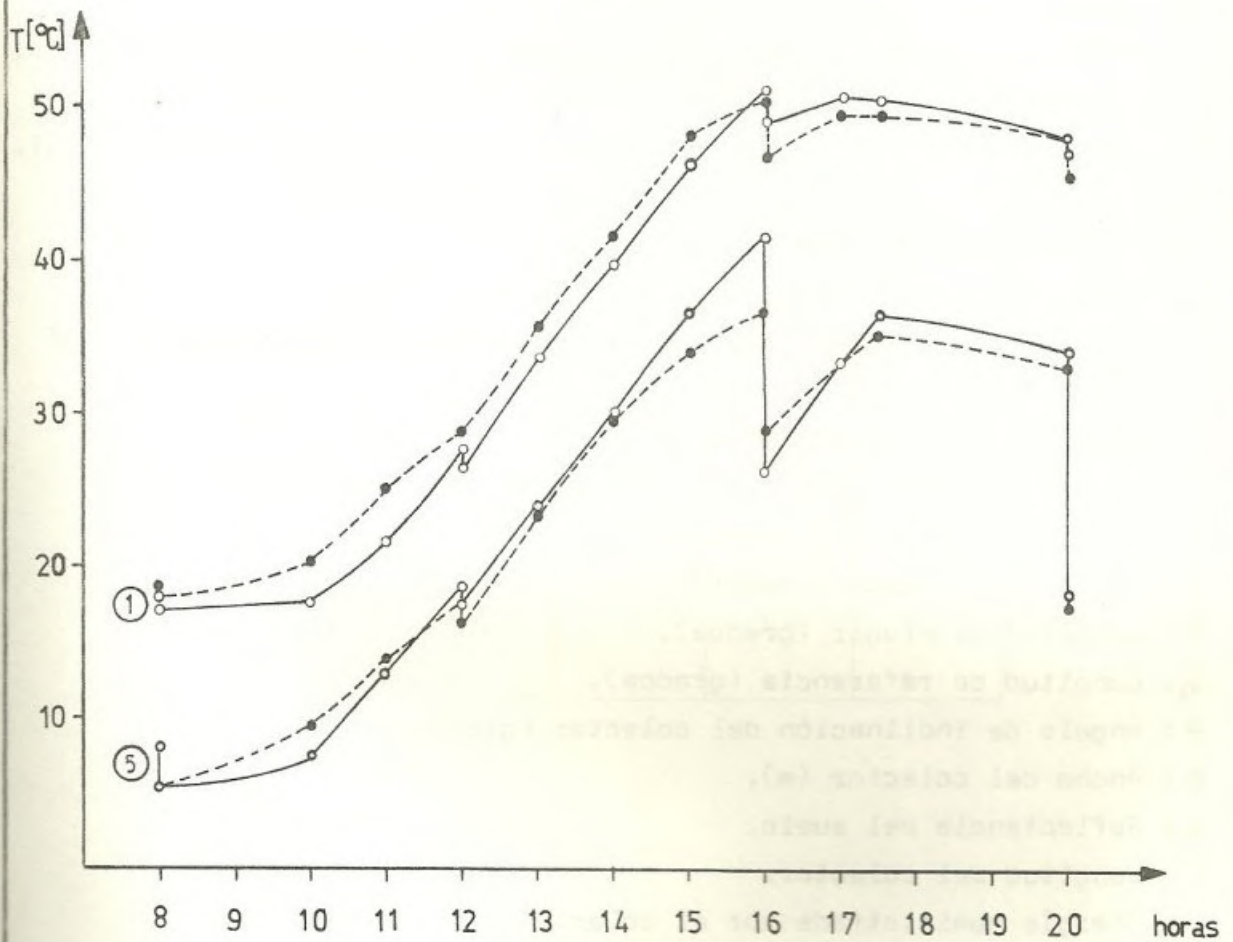




FIGURA N° 8



○—○ Temp. de Agua en los tanques [Experimental]  
 ●- - -● Temp. de Agua en los tanques [Teórica]

TABLA I

- S : Radiación global diaria (MJ).
- F : Producto absorbanca-transmitancia colector.
- $T_{fs}$  : Temperatura del aire a la salida del colector. (°C).
- $C_{pa}$  : Calor específico del aire ( J/ Kg °C ).
- G : Gasto por unidad de sección transversal del colector (Kg/seg m<sup>2</sup>).
- $T_{ai}$  : Temperatura del aire sobre un tanque genérico i (°C).
- $T_{ai+1}$  : Temperatura del aire sobre un tanque siguiente al genérico i (°C).
- $T_{hi}$  : Temperatura del agua en el tanque genérico i (°C).
- M : Masa de agua de cada tanque i (Kg).
- $C_{pw}$  : Calor específico del agua ( J/Kg °C ).
- h : Coeficiente de transferencia fluido-tanques de acumulación ( w/ m<sup>2</sup> °C ).
- A : Area total del acumulador (m<sup>2</sup>).
- $T_{ai}$  : Temperatura del aire a la entrada del acumulador (°C).
- $A_c$  : Sección transversal del colector ( m<sup>2</sup> ).
- $\phi$  : Latitud del lugar (grados).
- $\psi$  : Longitud del lugar (grados).
- $\psi_R$  : Longitud de referencia (grados).
- $\theta$  : Angulo de inclinación del colector (grados).
- B : Ancho del colector (m).
- $\rho_R$  : Reflectancia del suelo.
- L : Longitud del colector.
- $E_s$  : Energía suministrada por el colector diaria (KJ).
- $\eta_c$  : Eficiencia del colector ( $E_s/S$ ).
- $E_c$  : Energía consumida en las extracciones diarias (KJ).
- $\eta_g$  : Eficiencia global del sistema ( $E_c/E_s$ ).
- $E_R$  : Energía residual en el acumulador al final del día (KJ).
- $E_A$  : Energía total acumulada diaria (KJ).
- $\eta_T$  : Eficiencia de transferencia (  $E_A / E_S$  ).



TABLA II

DATOS DE FUNCIONAMIENTO

$\phi$	$\psi$	$\psi_R$	$\varphi_R$	S
28,46	65,7	45	0,2	46,2
$\theta$	B	L	f	G
38	1	2	0,8	2,7

TABLA III

RESUMEN	MODELO	EXPERIENCIA
RADIAC. SOBRE COLECTOR	46.200 KJ	45.100 KJ
ENERGIA SUMINISTRADA POR COLECTOR	22.200 KJ	21.600 KJ
EFICIENCIA COLECTOR	48%	47,9%
ENERGIA CONSUMIDA EXTRACCIONES	9.800 KJ	9.870 KJ
EFICIENCIA GLOBAL	45%	45,7%
ENERGIA RESIDUAL	10.400 KJ	11.000 KJ
ENERGIA TOTAL ACUMULADA	20.200 KJ	20.900 KJ
EFICIENCIA DE TRANSFERENCIA	90,9%	96,6%