

Universidad Autónoma de Guadalajara

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ESTUDIO COMPARATIVO SOBRE EFICIENCIA ENTRE
DOS SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA,
MEDIANTE COLECTORES SOLARES DE PLACA PLANA;
UNO POR TERMOSIFON Y OTRO FLUJO FORZADO.

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO

PRESENTA

GUILLERMO BARAJAS GARCIA

Asesor:

ING. JUAN JOSE TRUJILLO DEL RIO
GUADALAJARA, JAL., 1988



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Í N D I C E

	Página
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: ASPECTOS GENERALES SOBRE ENERGÍA ...	3
1.1 Generalidades y utilización	4
1.2 Conducción, convección y radiación en un tubo con aletas longitudinales	9
CAPÍTULO 2: DIVERSES SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA MEDIANTE COLECTORES SOLARES Y SUS COMPONENTES	17
2.1 Sistemas de calentamiento de agua mediante colectores solares	18
2.1.1 Sistema por termosifón	18
2.1.2 Sistema por flujo forzado .	22
2.2 Componentes de los sistemas de calentamiento de agua	26
2.2.1 Colector	26
2.2.2 Termo acumulador	38
2.2.3 Accesorios	38
2.2.4 Variantes en la circulación para los sistemas	39
2.2.4.1 Flujo por termosifón ..	39
2.2.4.2 Flujo forzado	41
CAPÍTULO 3: DISEÑO DE UN SISTEMA DE FLUJO FORZADO	44
3.1 Bases y antecedentes	45

	Página
3.2 Selección de materiales	46
3.3 Diseño de la placa colectora ..	46
- Formato para diseño	54
3.4 Diseño y fabricación de la car-	
casa para el colector	58
- Dibujos de fabricación	59
3.5 Diseño de termo acumulador	67
3.6 Recipiente alimentador de agua.	67
3.7 Diagrama del sistema de flujo -	
forzado	69
3.7.1 Controlador de flujo C F ..	70
3.8 Descripción y funcionamiento del	
sistema	71
CAPÍTULO 4: SISTEMA DE COMPARACIÓN FLUJO POR TER-	
MOSIFÓN	72
4.1 Descripción del sistema	73
4.2 Diagrama del sistema de flujo -	
por termosifón	74
4.3 Funcionamiento	75
CAPÍTULO 5: RESULTADOS	76
5.1 Sistema de flujo forzado	77
5.1.1 Método de cálculo	77
5.1.2 Método IQBGF para corrección	
de la insolación	78
5.1.3 Ecuaciones para el cálculo .	81
5.1.4 Datos para los días soleados	85
5.1.5 Datos para los días medio so-	
leados	88

	Página
5.1.6 Datos para los días medio nublados	91
5.1.7 Datos para los días nubla dos dos dos	93
5.2 Sistema por termosifón	101
5.2.1 Método de cálculo	101
5.3 Comparación entre dos placas- de diferentes diseños	110
5.3.1 Método de cálculo	110
ANÁLISIS DE RESULTADOS	115
- Sistema de flujo forzado	116
- Sistema por termosifón	118
- Placas de diferentes diseños ..	119
RESUMEN	120
CONCLUSIONES	123
APÉNDICE A: Gráficas utilizadas para factor - de corrección de la insolación K_c	125
APÉNDICE B: Tablas B1, datos experimentales - sistema flujo forzado días solea- dos (S)	134
Tablas B2, datos experimentales - sistema por flujo forzado días me dio soleados (MS).....	152
Tablas B3, datos experimentales - sistema por flujo forzado días me dio nublados (MN)	166

	Página
Tablas B4, datos experimentales - sistema por flujo forzado disas <u>ng</u> blados (N)	172
APÉNDICE C: Datos experimentales sistema flujo por termosifón	179
APÉNDICE D: Datos experimentales, comparación entre las dos placas de diferente diseño	189
BIBLIOGRAFÍA	196

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

En la actualidad ha surgido un gran interés sobre la aplicación de Energía Solar, ha alcanzado niveles de gran importancia, entre los que destacan, hornos solares, termoeléctricas y no digamos el gran auge que ha tenido en el calentamiento de agua de uso doméstico, como sustitución del tradicional calentador de agua (boiler). El sistema de calentamiento de agua mediante energía solar, es increíblemente simple y aunque algunos expertos en la materia tratan de hacer creer todo lo contrario, la mayoría de las técnicas utilizadas son fáciles de entender. Además es muy importante reconocer que con el tiempo el abastecimiento mediante energía solar resultará más económico, debido a sus múltiples ventajas que ofrece en comparación con los combustibles tradicionales; y lo más atractivo hasta el momento; es libre de impuestos.

En nuestro país existe un gran interés en el uso de calentadores solares de uso doméstico ya que la inversión inicial es recuperable. Hablando específicamente de los calentadores comerciales, generalmente son construidos en pequeños talleres, sin bases teóricas sobre el diseño de éstos; son copias de equipos ya instalados, los cuales son fabricados sin hacer modificaciones, ni experimentación para obtener mejores diseños.

Esta investigación tiene como objeto llegar a optimizar un sistema de calentamiento de agua mediante la aplicación de la Energía Solar, variando algunos parámetros, para que al tener un archivo rico en información,

futuros investigadores tengan bases más firmes, y puedan ampliar las investigaciones en este campo, para la obtención de sistemas que sean mejores desde el triple punto de vista, de lo económico, lo eficiente y lo funcional.- Este trabajo plantea el análisis comparativo entre 2 sistemas de calentamiento de agua, uno del tipo termosifón y el otro del tipo flujo forzado. Se trata de optimizar el sistema de flujo forzado y se efectúa una comparación entre dos diseños diferentes de placas colectoras para el calentamiento de agua.

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES SOBRE ENERGÍA

1.1 GENERALIDADES Y UTILIZACIÓN

El problema de los energéticos constituye un tema primordial, de gran discusión en el mundo actual, ya que las reservas no renovables son limitadas, por lo que la tecnología está encaminándose a la investigación de nuevas fuentes de obtención de energía.

La mayor cantidad de energía producida en nuestro universo proviene del sol, ya sea en forma directa o indirecta, lo cual se describe a continuación:

a) Compuestos fósiles.

Son productos del proceso de fotosíntesis mediante energía solar ocurrido hace millones de años.

b) Energía eléctrica.

Las centrales hidroeléctricas utilizan la energía del agua en cascada, la cual posteriormente es evaporada por medio de la energía solar para continuar el ciclo mediante la precipitación pluvial del agua evaporada.

c) Energía eólica.

En este caso los rayos solares al calentur ciertas masas de aire, provocan estratos atmosféricos de diferentes densidades; al reacomodarse se provoca el movimiento de grandes masas de - aire, las cuales son utilizadas convirtiendo - su energía en energía mecánica.

Como se observa, la energía solar tiene una gran importancia a todos los niveles y es una alternativa energética que ha empezado a surgir, ya que puede ser utilizada para realizar trabajo mecánico directamente. Entre otras aplicaciones se le puede utilizar en forma indirecta en procesos de calentamiento de agua para uso doméstico, secado, destilación, calefacción, bombeo de agua, etc.

Entre las investigaciones que han dado muy buenos frutos, la energía solar nos presenta la versatilidad de utilización desde el punto de vista de uso doméstico (casa solar), al uso industrial mediante hornos solares, - conversión fotovoltaica o conversión bioenergética, así como su utilización en la agricultura. (Para mayor información consultar la bibliografía mencionada al final de esta investigación).

La energía solar tiene ventajas muy positivas con respecto a las otras fuentes de energía.

Entre ellas destacan las siguientes:

- No emana partículas nocivas
- Es inagotable
- No produce contaminación
- No produce efectos secundarios sobre el clima, como la energía nuclear
- Está disponible en cantidad suficiente en casi todo el globo terráqueo.

La energía que recibimos del sol se distribuye en la tierra en diferentes formas:

- a) Reflección por la capa de ozono que se encuentra en la atmósfera fig. 1.1.1.
- b) Reflección por la tierra.
- c) Producción de vapores en los mares.
- d) Evaporación procedente de las plantas.

Como se observa en la figura 1.1.2. la tierra recibe solo una pequeñísima parte de energía procedente - del sol. Dicha energía es distribuida en mayor proporción en el Ecuador, ya que los rayos llegan perpendicularmente a la tierra en este punto como se observa en la fig.- 1.1.3.

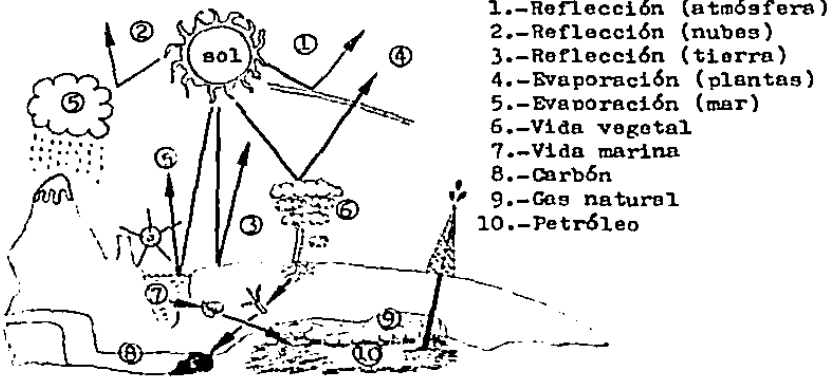


Fig. 1.1.1 Todos los ecosistemas terrestres dependen del del sol, esta figura muestra como es distribuida la radiación solar que llega a la tierra

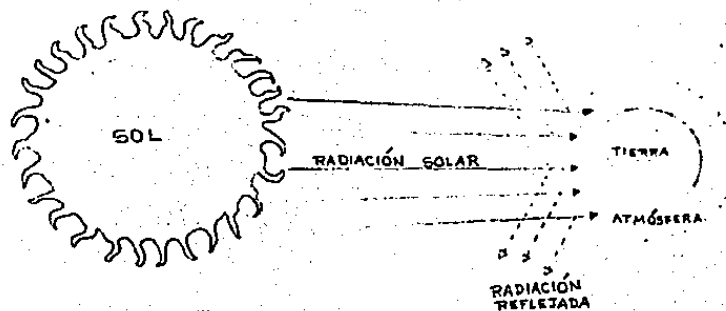


Fig. 1.1.2 La tierra recibe solo una pequeña cantidad de la radiación que emana nuestro astro solar de la cual una gran cantidad es devuelta al espacio exterior.

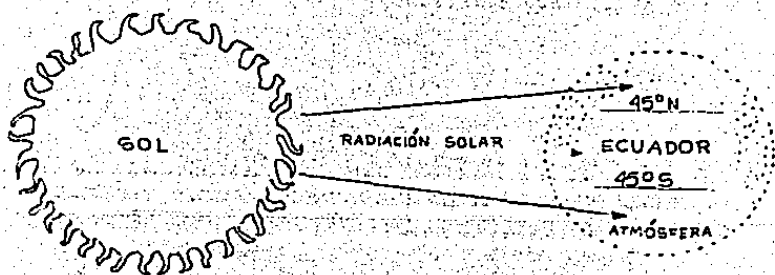


Fig. 1.1.3 La latitud influye notoriamente con la insola-- ción. cuanto más lejos estemos del ecuador, en cualquier di rección la radiación solar debe atravesar más cantidad de atmósfera para alcanzarnos.

La energía solar tiene diferentes componentes entre los cuales están rayos α , β , γ , infrarrojos, UV, visible, etc. Para nuestro estudio nos inclinaremos a UV, visible e infrarrojo. En la fig. 1.1.4 se muestra la distribución espectral de la radiación solar.

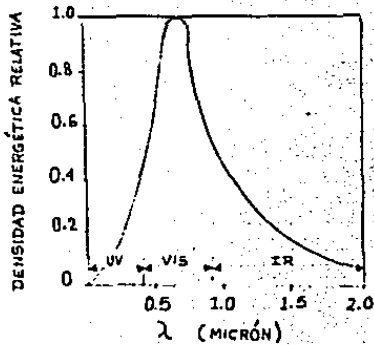


Fig. 1.1.4. Esta curva representa el espectro solar. La radiación visible, la que podemos ver, es la más común. Los rayos UV, en su mayor parte son rechazados hacia el exterior y el IR nos proporciona el calor necesario.

Una vez que la radiación llega a cualquier cuerpo en la tierra, ésta se desplaza a través del mismo, ya sea por conducción, convección o radiación o una combinación de ellas; la transmisión de calor por medio de cualquiera de las formas antes mencionadas depende de las propiedades y características físicas de los materiales en los cuales se lleve a cabo dicho fenómeno.

1.2 CONDUCCIÓN, CONVECCIÓN Y RADIACIÓN EN UN TUBO CON ALETAS LONGITUDINALES.

En la práctica se encuentran combinados estos 3 fenómenos de transmisión de calor. El método más sencillo para calcular la transmisión de calor sería realizar cada uno de ellos por separado, aunque a veces es conveniente realizar un análisis global. Para nuestro estudio haremos un análisis en el cual veremos la relación entre cada uno de ellos. Supongamos que nuestro sistema es un tubo aletado como el que se muestra en la fig. 1.2.1

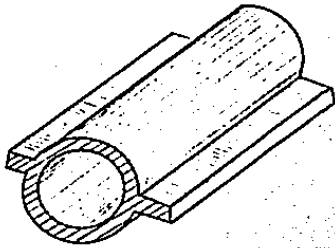
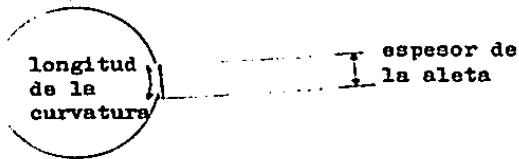


Fig. 1.2.1 Tubo con aletas longitudinales que cumple la función de disipador o captador de calor según sea el caso y la aplicación a la que sea destinado.

Para nuestro objetivo se puede hacer por separado el análisis del tubo y cada aleta.

SUPOSICIÓN: a) El espesor de la aleta es tan pequeño que la longitud de la curvatura es aproximadamente el espesor de la aleta.

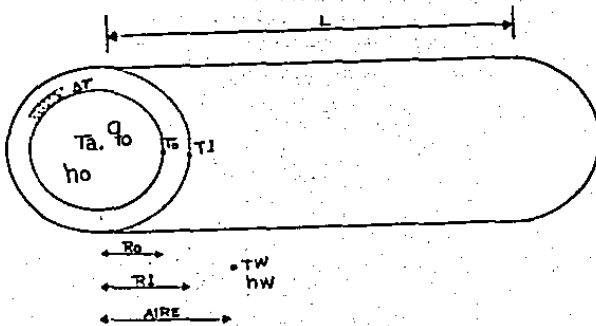


b) Por el interior del tubo fluye un líquido que está disipando una cantidad de calor, que se ve afectada por los gradientes de temperatura entre el interior y exterior del tubo.

Llamemos R_o al radio hasta la pared interior del tubo y R_i al radio exterior así como L a la longitud del tubo, l y W al espesor y ancho de la aleta respectivamente.

ANÁLISIS PARA EL TUBO.

En nuestro tubo se realizará el balance utilizando un incremento Δr como base de control. No será el coeficiente de convección para el líquido y h_w para el aire así como K la conductividad térmica para el material del tubo.



CONVECCIÓN PARA EL FLUIDO Y PARED DEL TUBO

$$q_o = h_o (T_a - T_o) \text{ donde } T_o = T_a - q_o/h_o.$$

CONDUCCIÓN A TRAVÉS DEL TUBO

$$q_r \Big|_r^{2\pi r L} - q_r \Big|_{r+\Delta r}^{2\pi r L} = 0$$

$$r q_r \Big|_r - q_r \Big|_{r+\Delta r} = 0$$

$$\frac{d(rq_r)}{dr} = 0 \quad r q_r = R_o q_o \quad q_r = - \frac{K l d T}{dr}$$

$$- \frac{r K l d T}{dr} = R_o q_o$$

INTEGRANDO

$$K l d T = - R_o q_o \frac{dr}{r} = - R_o q_o \ln r + C$$

$$K l T = - R_o q_o \ln r + C$$

$$\text{Condición límite 1 :} \quad r = R_o \quad T = T_o$$

$$K l T_o = - R_o q_o \ln R_o + C \quad \text{donde } C = K l T_o + R_o q_o \ln R_o$$

$$K l T = - R_o q_o \ln R_o + K l T_o + R_o q_o \ln R_o$$

$$\text{Condición límite 2 :} \quad r = R_l \quad T = T_l$$

$$K l T_l = - R_o q_o \ln R_l + K l T_o + R_o q_o \ln R_o$$

$$K l (T_l - T_o) = R_o q_o \ln (R_o / R_l)$$

$$T_l = T_o - R_o q_o \ln (R_l / R_o) / K l$$

CONVECCIÓN DEL EXTERIOR DEL TUBO AL AIRE

$$q_l = h w (T_l - T_w) \quad \text{si} \quad r q_r = R_o q_o \quad \text{entonces} \quad q_r = \frac{R_o q_o}{r}$$

$$q_l = q_r = \frac{R_o q_o}{R_l} = h w (T_l - T_w)$$

$$T_1 - T_w = \frac{R_{oqo}}{R_{lhw}}$$

$$T_w = T_1 - \frac{R_{oqo}}{R_{lhw}}$$

RADIACIÓN DEL EXTERIOR DEL TUBO

Llamaremos E a la emisividad del material del tubo donde T_a y T_1 se encuentran en Kelvin (K), constante de Stefan Boltzmann.

$$\sigma = 4.92 \times 10^{-8} \text{ KCAL/M}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}^4$$

E_{T1} = Emisividad a T_1

E_{T_a} = Emisividad a T_a

$$q_r = (E_{T_a} T_a^4 - E_{T1} T_1^4)$$

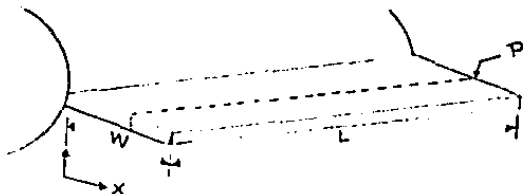
CALOR TOTAL TRANSMITIDO EN EL TUBO

QT = CALOR TRANSMITIDO EN TUBO + CALOR TRANSMITIDO EN ALETA

$$= A_{\text{tub}} (q_{\text{conv}} + q_{\text{cond}} + q_{\text{rad}}) + A_{\text{aleta}} (q_{\text{conv}} + q_{\text{cond}} + q_{\text{rad}})$$

$$QT = 2\pi R L L \left(\frac{R_{oqo}}{R_l} + \sigma (E_{T1} T_1^4 - E_{T_a} T_a^4) \right) + \text{CALOR TRANSMITIDO EN ALETA}$$

ANÁLISIS PARA LA ALETA



$$\text{Perímetro} = P = 2(L+t)$$

Al aumentar x el área varía con respecto a esta, -
llamaremos $a(x)$ al área dependiente de x .

$$Aqx \Big|_x - qxA \Big|_{x+\Delta x} + h(T_w - T_x) \frac{da(x)}{dx} = 0$$

$$- \frac{d}{dx}(qxA) + h(T_w - T_x) \frac{da(x)}{dx} = 0$$

$$qx = - K2 \frac{dT}{dx}$$

$$\frac{d}{dx}(Ax \frac{dT}{dx}) + \frac{h}{K2} (T_w - T_x) \frac{da(x)}{dx} = 0$$

Si llamamos a $\theta_x = T_x - T_w$

Donde $d\theta_x = dT_x$

$$\frac{d}{dx}(Ax d\theta_x) - \frac{h}{K2} \theta_x \frac{da(x)}{dx} = 0$$

$$\text{Si } a(x) = Px \quad da(x) = Pdx \quad \frac{da(x)}{dx} = P \quad Ax = Lt$$

$$\frac{d}{dx} (A x d\theta x) - \frac{h\theta x P}{K^2} = 0$$

$$\frac{d^2 \theta x}{dx^2} - \frac{h P \theta x}{K^2 L t} = 0 \quad \text{si llamamos } m^2 = \frac{h P}{K^2 L t}$$

$$\frac{d^2 \theta x}{dx^2} - m^2 \theta x = 0$$

Resolviendo la ecuación diferencial obtenemos

$$\theta x = C_1 e^{-mx} + C_2 e^{mx}$$

$$\text{Cuando } x = 0 \quad \theta_0 = T_1 - T_w$$

$$x = w \quad \theta x = 0$$

$$\frac{\theta x}{\theta_0} = \frac{T_1 - T_w}{T_1 - T_w}$$

$$\theta_0 = T_1 - T_w = C_1 + C_2$$

$$C_1 = T_1 - T_w - C_2$$

$$\theta_w = 0 = C_1 e^{-mw} + C_2 e^{mw}$$

$$C_1 = - \frac{C_2 e^{mw}}{e^{-mw}} = - C_2 e^{-2mw}$$

$$T_1 - T_w = - C_2 e^{-2mw} + C_2 = C_2 (1 - e^{-2mw})$$

$$C_2 = \frac{T_1 - T_w}{1 - e^{-2mw}}$$

$$C_1 = T_1 - T_w - \frac{(T_1 - T_w)}{1 - e^{-2mw}} = (T_1 - T_w) \left(1 - \frac{1}{1 - e^{-2mw}} \right)$$

Una vez obtenidas las constantes C1 y C2, se puede encontrar el flujo de calor a través de la aleta por integración.

$$Q = \int_{x=0}^{x=w} hP\theta dx \quad \text{POR CONVECCIÓN}$$

$$Q = -AxK2\frac{d\theta x}{dx} \Big|_{x=0} \quad \text{POR CONDUCCIÓN}$$

Utilizando cualquier ecuación, se obtendrá un mismo resultado puesto que el calor transferido por conducción es igual al transferido por convección, resolviendo obtenemos que:

$$Q = AxK2\frac{d\theta x}{dx} \quad \theta x = C1 e^{-mx} + C2 e^{mx} \quad \frac{d\theta x}{dx} = -\theta m$$

$$Q = AxK2\theta m \quad \text{donde } \theta_0 = T1 - T_w \quad \text{y} \quad m = \frac{(Ph)}{K2Lt}^{1/2}$$

$$Ax = Lt \quad P = 2(L+t) \quad Q = LtK2(T1-T_w)\frac{(Ph)}{K2Lt}^{1/2}$$

$$Q = (T1-T_w)\frac{(L^2 t^2 K2^2 h^2 (L+t))^{1/2}}{K2Lt^2} = (T1-T_w)(2LK2th(L+t))^{1/2}$$

RADIACIÓN DE LA ALETA

$$q_r = \sigma (E_{T1} T1^4 - E_{T_w} T_w^4)$$

Calor total perdido por la aleta.

$$Q = (T1-T_w)(2LK2th(L+t))^{1/2} + \sigma(2wL+Lt)(E_{T1} T1^4 - E_{T_w} T_w^4)$$

El calor total perdido por un tubo aletado está dado por la siguiente ecuación.

$$Q_{tot} = 2\pi RL\left(\frac{h_0 q_0}{R1} + E_{T1} T1^4 - E_{T_a} T_a^4\right) + (T1-T_w)(2LK2th(L+t))^{1/2} + \sigma(2wL+Lt)(E_{T1} T1^4 - E_{T_w} T_w^4)$$

C A P Í T U L O 2

DIFERENTES SISTEMAS DE CALENTAMIENTO
DE AGUA MEDIANTE COLECTORES SOLARES Y
SUS COMPONENTES

2.1 SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA MEDIANTE COLECTORES SOLARES.

Fundamentalmente existen 2 sistemas por medio de los cuales podemos calentar agua para uso doméstico, y - la aplicación de éstos depende directamente de aspectos del tipo geográfico donde se vayan a instalar, de la cantidad que se quiera calentar y por supuesto del aspecto-económico. El sistema más convencional o utilizado generalmente en nuestro medio, es el de tipo termosifón, el otro sistema es el de flujo forzado.

2.1.1 SISTEMA POR TERMOSIFÓN

Este sistema también es llamado por convección libre se basa fundamentalmente en la diferencia de densidad, esto se explica de la siguiente manera. (Observar la fig. 2.1.1.1)

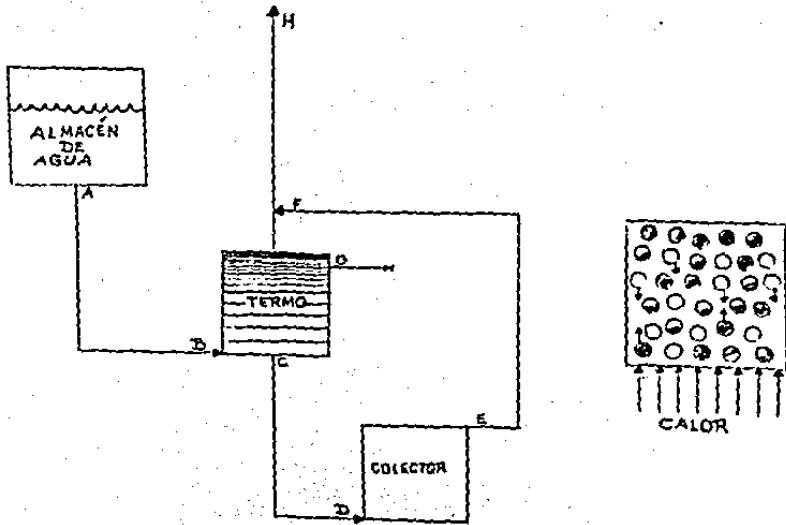


Fig. 2.1.1.1 Sistema por termosifón (izquierda), calentamiento de agua en un recipiente cerrado (derecha).

Para comprender mejor el sistema se partirá de un ejemplo sencillo. Si se observa a la derecha el recipiente y nos trasladamos hasta a su interior a nivel molecular, al aplicar calor por la parte inferior este se va trasladando hasta las moléculas de agua proporcionando a éstas la energía cinética necesaria para aumentar el movimiento entre ellas; a su vez, al obtener dicha energía, las moléculas se hacen poco densas y tienden a subir (moléculas oscuras) las cuales a su vez desplazan el lugar ocupado por las mo-

lécúlas más densas que tienden a bajar (moléculas decolorádas); cuando las moléculas densas van subiendo cierta cantidad de energía que contienen es tomada por moléculas a su paso las cuales permanecen a un nivel promedio (moléculas semicoloradas) entre las dos zonas de concentración.

En base a este ejemplo tan sencillo se facilita la descripción del sistema por termosifón. El agua del almacén llena todo el sistema conduciéndose entre A - B. La entrada se hace por la parte inferior del termo con objeto de mantener un gradiente de temperatura con un perfil de temperatura ascendente entre C - F. Con objeto de tener un sistema parecido al del ejemplo y para que la convección se lleve a cabo a buenos términos es necesario que el almacén de agua se encuentre a un nivel mas arriba de F. En este caso el calor es proporcionado por los rayos solares al colector y éste a su vez al fluido que está contenido en él, aquí es donde inicia el fenómeno, las moléculas que se han calentado tienden a subir a través del colector y a su vez se van calentando mas y al ir disminuyendo su densidad aumenta su velocidad de ascensión y el lugar que éstas van dejando viene a ser ocupado por moléculas de mayor densidad formándose un ciclo; si se observa el termo de la zona superior más coloreada, esto indica una mayor concentración de moléculas poco densas y en la parte inferior sucede

lo contrario, este sistema tiene la particularidad que se auto regula por sí solo, o sea que debido a que trabaja por diferencia de densidades, al descender la energía proporcionada por los rayos solares el sistema se invierte, lo cual no es conveniente que suceda y esto se puede solucionar poniendo una válvula check entre E-F evitando que el sistema tenga un vaso de expansión (H) ya que debido a los cambios de temperatura el vapor generado necesita ser purgado, - de otra forma quedaría atrapado en cualquiera de los conductos y evitaría que se realizara el fenómeno. El agua caliente para su uso sale por la parte G la cual es substituida por agua del almacén. Como se observa es un sistema muy sencillo el cual en base a los aspectos teóricos antes mencionados se puede hacer un sinnúmero de variaciones para su estudio.

2.1.2 SISTEMA POR FLUJO FORZADO

El objetivo es el mismo que el sistema anterior el recorrido es el mismo solo que en este caso el fluido es empujado mediante una fuerza motriz, normalmente una bomba. Un sistema de este tipo puede ser más eficiente, pero requiere un sistema de control, lo cual repercute en el costo del equipo. En la fig. 2.1.2.1 se observa el diagrama de un sistema de este tipo.

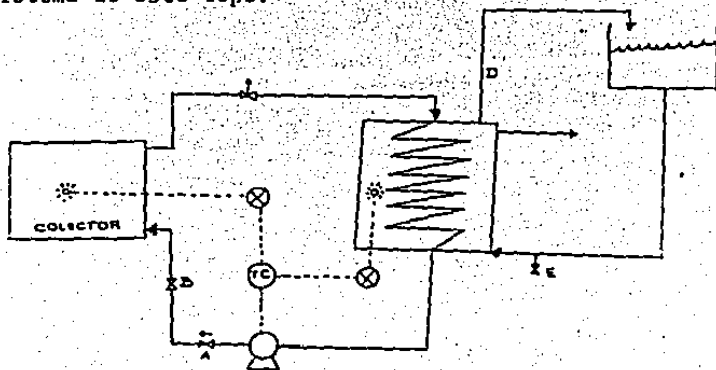


Fig. 2.1.2.1 Diagrama de un sistema por flujo forzado.

En este caso el calentamiento se hace en forma in directa, lo cual se ve reflejado en una disminución de la eficiencia en forma relativa. En este sistema existen 2 fases de transferencia de calor. La primer fase inicia cuando la bomba succiona el fluido que se conduce por el serpentín, pasándolo a través del colector donde dicho flujo se calienta, una vez que sale, al entrar al serpentín se desarrolla la segunda fase en la cual el fluido intercambia su calor con el fluido contenido en el termo acumulador, calentándolo en forma gradual hasta una temperatura determinada. Posteriormente el fluido que ha perdido una cantidad de calor vuelve a entrar al colector formando un ciclo. El fluido utilizado como medio calefactor generalmente tiene que ser un fluido de muy buena capacidad calorífica. Generalmente se usa Etilen--glicol, ya que no congela a baja temperatura. El sistema tiene que ser equipado por lo menos con los siguientes - accesorios:

- a) Controlador de temperatura diferencial Tc. Es un circuito electrónico el cual permite fijar cuántos grados más debe tener el colector con respecto al agua del depósito, para que se inicie la circulación o se evite dicha circulación, dependiendo de la diferencia de temperaturas provoca el encendido o apagado de la bomba. Normalmente se usa una diferencia de temperaturas de 3 a 5°C, con objeto de asegurar que la energía recogida es positiva.

- b) También es muy necesaria una válvula check inmediatamente después de la bomba con objeto de evitar el movimiento del fluido en forma contraria cuando el sistema esta parado, ya que esto puede perjudicar el impulsor de la bomba. Como el fluido se dilata debido a la temperatura es necesario poner una válvula compensadora de presión con objeto de que esta válvula mantenga una presión constante dentro del sistema y evitar una sobrepresión.
- c) Cuando el fluido se calienta se produce una pequeña cantidad de vapor así como se libera aire que está solubilizado en el fluido, para lo cual es necesario poner una válvula atmosférica para eliminar dichos gases incondensables los cuales son purgados hacia el exterior.
- d) Es recomendable dirigir el vaso de expansión del recipiente contenedor del serpentín hacia un nivel más alto con respecto al tinaco o hacia éste así como poner una válvula de purga en la parte inferior de entrada al recipiente calentador. Como se observa este sistema es un poco diferente al primero, pero utiliza las mismas bases teóricas; con una pequeña modificación obtenemos un sistema más sofisticado que nos puede dar un volumen de agua caliente mucho mayor, pero con un costo mayor que nuestro sistema convencional. Ahora cabe la duda sobre que sistema conviene utilizar --

para lo cual queda la pregunta. ¿ El costo de los accesorios para instalar un sistema de flujo forzado - compensará el aumento de agua caliente ?. Al final de este estudio se podrán tener más argumentos para poder realizar una selección de qué tipo de sistema es el más conveniente por sus características y cuál se apega más a nuestras necesidades.

2.2 COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA

2.2.1 COLECTOR

Se puede decir que el colector es el alma del calentador. En una instalación es el equivalente a la caldera, ya que es el dispositivo que calienta el agua. El agua circula a través de todo el colector, donde al estar en contacto directo con la placa, el calor atrapado en esta es arrastrado por las corrientes de agua dentro del colector. El colector a su vez se subdivide en 4 partes principales:

- I .- Placa de absorción.
- II .- Cubierta transparente.
- III.- Aislamiento.
- IV .- Carcasa.

I.- Placa de absorción.

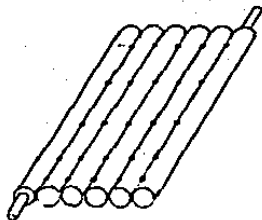
La eficiencia de la placa de absorción depende directamente del diseño de ésta, donde intervienen directamente los materiales de construcción así como la geometría de la misma. La placa de absorción es la encargada de transmitir la energía captada a través de los rayos solares para calentar el fluido. Entre los diferentes tipos se encuentran los siguientes:

DIFERENTES PLACAS DEL TIPO SANDWICH

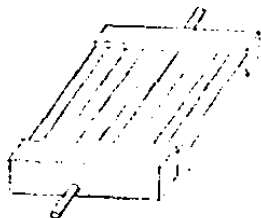
A)
PLACAS
PLANAS



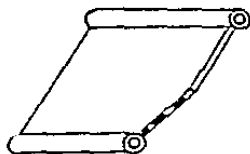
B)
PLACAS
ACANALADAS



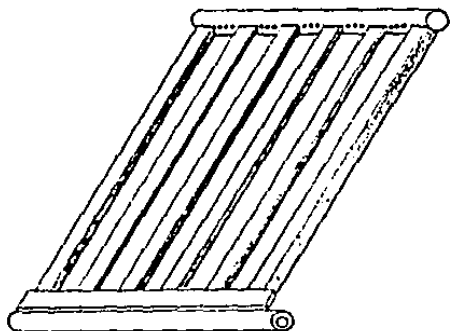
C) TUBOS
RECTANGulares
INDEPENDIENTES
CON CABEZALES



D)
PLACAS PLANAS
DE SECCION
RECTANGULAR

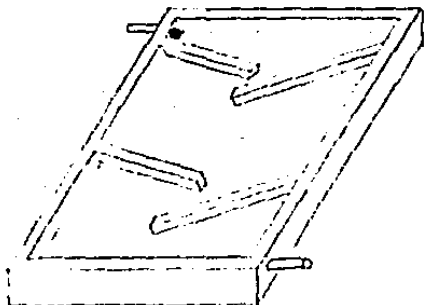


PLACA PARA COLECTOR DEL TIPO ABIERTO



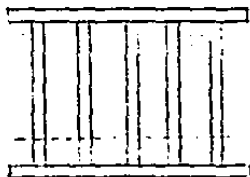
El agua sale por los agujeros del cabezal superior y empieza a recorrer el panel -- desde arriba a abajo en donde es recogida ya caliente por una especie de canalón - hacia el cabezal inferior.

PLACA DE SERIES DE BLOQUEO



Una variación del colector del tipo abierto es el de series de bloqueo el cual devuelve directamente - el agua en forma de zig-zag de un lado hacia otro a través de la placa.

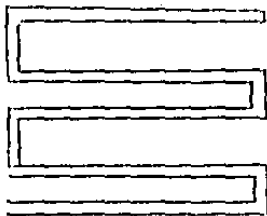
DIFERENTES PLACAS CON DUCTOS DE TUBOS



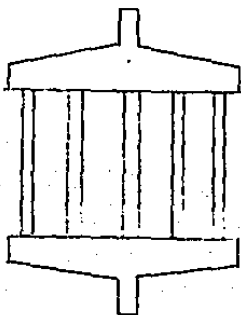
Flujo paralelo con
cabezales circulares.



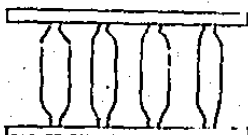
Corte trans-
versal.



Conductos de flu-
jo en serie.



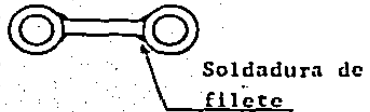
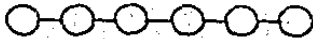
Flujo paralelo con
cabezales planos.



Flujo paralelo con
tubos planos.

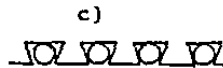
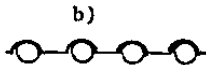
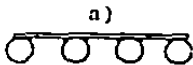
Quando una placa de absorción tiene mayor área perpendicular a los rayos solares mejora el calentamiento del agua, por lo cual se recomienda aumentar esta área de exposición a los rayos solares mediante placas como se muestra en las figuras inferiores.

TUBO-ALETA



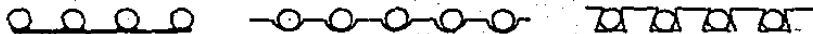
Placas soldadas entre los tubos a toda la longitud del tubo, utilizando soldadura de filete con objeto de que haya una mejor unión tubo aleta para aumentar la conducción.

PLACA SOBRE TUBOS



Puede ser una placa sobre los tubos soldada por la parte inferior o moldeada y metida en los tubos como se muestra en las fig. b) y c).

PLACA BAJO TUBOS



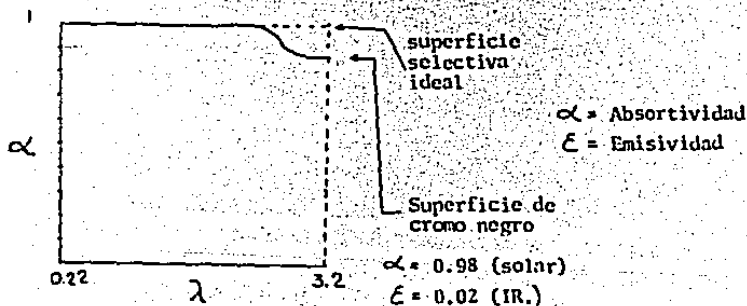
La descripción correspondería al caso contrario al descrito en el anterior.

Para complementar la eficiencia de la placa es necesario depositar sobre la superficie un recubrimiento negro - mate para aumentar la absorción de radiación solar.

RECUBRIMIENTO DE ABSORCIÓN.

Desde el punto de vista térmico se requiere que un colector absorba la mayor cantidad de energía y emita la mínima posible. Esta combinación de características es posible conjuntarlas mediante el uso de una superficie selectiva la cual debe tener una alta absorbancia monocromática-- muy baja en el infrarrojo.

Una superficie selectiva ideal absorbe toda la energía que le llega. Entre las superficies selectivas de gran eficiencia está la superficie de cromo negro.



CONDICIONES PARA LA ELECTROLISIS (Anodo Ni)

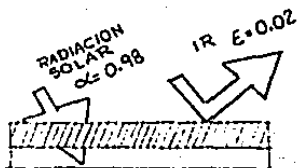
Ph=4 BANO=30°C

2mA/cm² 2-4 min

Formulación níquel negro

Superficie

- | | |
|----------------------------------|--|
| - Negro $\alpha = 1$ (perfecto) | 7.5 gr NiSO ₄ 6H ₂ O |
| - Negro mate $\alpha = 0.91$ | 28 gr Sulfato de Zinc |
| - No mate $\alpha = 0.60$ | 24 gr Sulfato de Amonio |
| - Blanco $\alpha = 0$ (perfecto) | 17 gr Tiocinato de Amonio |
| | 2 gr Acido cítrico |



Película de cromo negro
Metal base cobre

Se pueden hacer superficies selectivas a base de sales de Ni. y depositadas mediante baños electrolíticos sobre las superficies, pero son un tanto costosas aunque también se puede utilizar un recubrimiento a base de un esmalte negro mate; todo depende del objetivo que se pretenda lograr.

II.- CUBIERTA TRANSPARENTE.

El objeto de la cubierta translúcida es evitar que el calor que ha pasado a través de la cubierta vuelva a salir de ella. Sucede el efecto invernadero, evitando una gran pérdida de calor por convección. Se pueden utilizar diferentes materiales entre los que están: plásticos duros, poliéster reforzado, láminas de polietileno, cristal y algunos otros. Debido a que los plásticos, al exponerse a las condiciones climatológicas se van degradando, es conveniente usar cristal. Un buen cristal no debe absorber más del 4% de la radiación que incide sobre éste. El mejor cristal es aquel que sea transparente o con un matiz ligeramente azulado. El cristal de baja calidad es el que normalmente vemos que tiene un matiz verdoso debido al contenido de hierro, pero puede ser utilizado. Si quisieramos utilizar un cristal de alta calidad buscaríamos un cristal templado o un cristal de bajo contenido de hierro y tratado con un revestimiento antirreflejante.

III.- AISLAMIENTO.

Es necesario que los colectores que se destinan a producir agua caliente para uso doméstico cuenten con un cierto espesor de aislante. Entre los materiales utilizados, hay una gran variedad pero es recomendable evitar el

poliestireno expandido ya que podria reblandecer a una temperatura de 80°C. Para la elección de un aislante podríamos utilizar cualquiera que tenga una conductividad térmica -- muy baja, a continuación se muestran algunos de ellos.

COEFICIENTE DE AISLAMIENTO TERMICO DE LOS MATERIALES MAS USUALES.

RÍGIDOS	K (Kcal/M.°C.h)
FIBRA	0.050
Poliestireno expandido	0.037
Lana de madera	0.082
Paja	0.086
Corcho 80 Kg/cm ³	0.040
Fibra de vidrio 16 Kg/m ³	0.037
Fibra de vidrio 36 Kg/m ³	0.033

MALLAS Y ACOLCHONAMIENTO

Fibra de vidrio	0.037
Lana mineral	0.036

MATERIALES DE LANA SUELTA

Fibra de vidrio 16 Kg/m ³	0.037
Mineral expandido	0.043

MATERIALES GRANULADOS SOBRE CIELORRASOS

Poliestireno expandido	0.035
Granulos de corcho	0.036

RELLENOS DE CAVIDADES ESPUMADAS

Formaldehido de urzga	0.030
Poliuretano	0.035

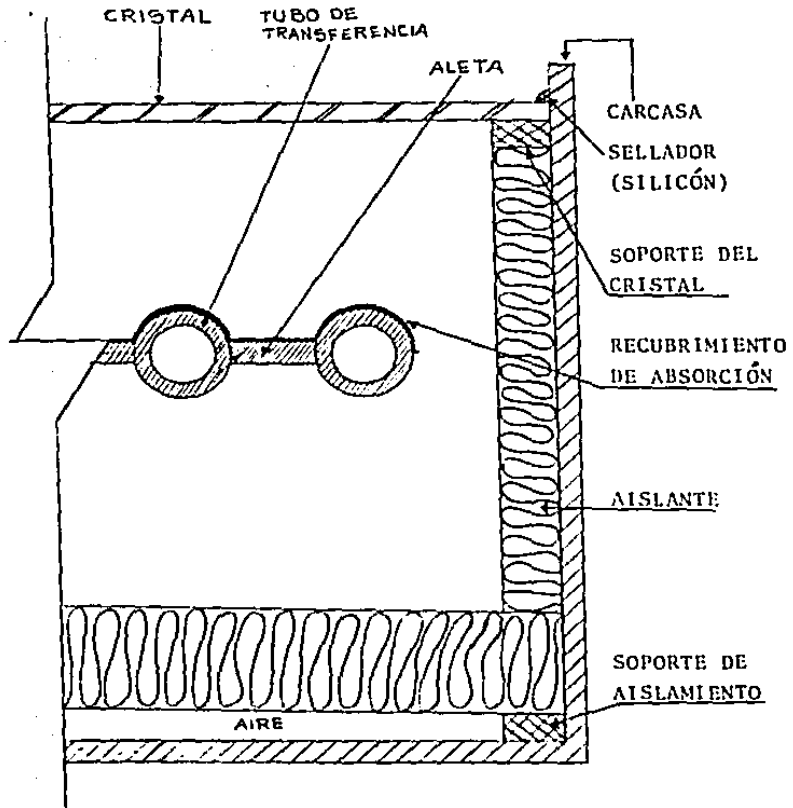
ALGUNOS OTROS

Aire	0.024
Aerogel de silice	0.019
Algodón	0.055
Asbesto	0.165
Diatomita	0.054

IV.- GARCASA

Un detalle muy importante en la elección de los materiales de construcción es la de considerar que sea sólida y duradera. Las de aluminio y fibra de vidrio son mejores que las de madera o fierro ya que éstas tienen el inconveniente de su durabilidad, pues ésta depende de un adecuado mantenimiento.

CORTE TRANSVERSAL DE UN COLECTOR



2.2.2 TERMO ACUMULADOR

El almacén de calor es el punto clave en cualquier instalación, aunque la placa es la parte más importante. Si una instalación tiene un mal acumulador, por muy buena placa que tenga el sistema, se hace ineficiente. El tamaño del termo es función de las dimensiones del o los colectores, así como también de la cantidad de agua diaria que se quiera calentar.

Se acostumbra utilizar un volumen de 75 litros - por cada metro cuadrado de área del colector.

Con respecto a la geometría puede ser un cilindro normal, y sus ventajas son varias, incluyendo la versatilidad de la ubicación, las pérdidas por evaporación y - otras; los materiales recomendados son hierro galvanizado, polipropileno, acero inoxidable y fibra de vidrio, aunque los de hierro galvanizado están expuestos a la corrosión. Es muy importante destacar que el aislamiento de la superficie exterior debe ser total.

2.2.3 ACCESORIOS.

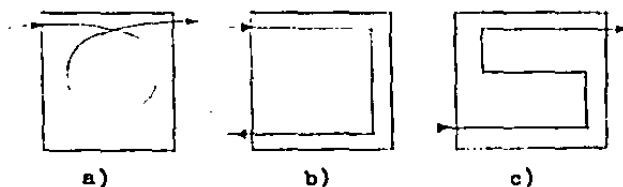
Es necesario hacer una buena elección con respecto a los accesorios y conexiones que llevará el sistema. Es muy importante la elección de los materiales a usar, así como el número de válvulas a instalar ya que éstas - producen caídas de presión que pueden reflejarse en ineficiencia del sistema a su vez que aumenta el costo.

2.2.4 VARIANTES EN LA CIRCULACIÓN PARA LOS SISTEMAS

2.2.4.1 FLUJO POR TERMOSIPÓN

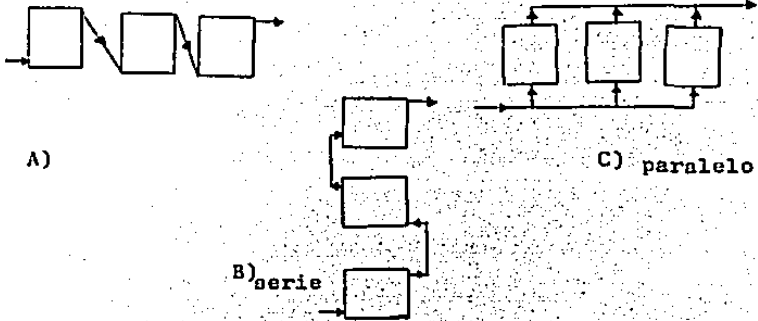
Como ya se vió, las instalaciones por gravedad se basan en el principio de la circulación espontánea del agua al calentarse y producirse corrientes de convección hacia arriba.

COMPARACIÓN ENTRE DIFERENTES DIRECCIONES DEL FLUJO DENTRO DEL COLECTOR.



- a) Al introducir el agua por la parte superior, existe una mezcla de agua caliente con agua fría formando ciertas perturbaciones en las corrientes de convección.
- b) Al alimentar por la parte inferior se facilitan mejor las corrientes de convección pero se producen remansos en las esquinas donde el agua no circula.
- c) Cuando se alimenta por la parte inferior y se procura que el flujo tenga un camino del tipo c) se facilitan las corrientes de convección y se evitan remansos en las esquinas.

COMPARACIÓN ENTRE SISTEMAS DE VARIOS COLECTORES



Cuando se utilizan varios colectores se pueden interconectar en diferentes formas.

A) Este acomodo obliga a que la corriente de agua fluya hacia abajo lo cual no es conveniente ya que -- forma variaciones de velocidades y por lo tanto -- perturbaciones que afectan la convección.

B) En esta forma se permite que el agua fluya en forma continua hacia arriba con una velocidad con variaciones casi nulas este acomodo nos da altas temperaturas pero cantidades de agua un tanto moderadas.

C) Como se observa las temperaturas a las que puede trabajar son menores que el anterior esto aumenta la eficiencia y aumenta la cantidad de agua. Ahora, si a este acomodo se le da una ligera inclinación con respecto a la entrada, esto reduciría la resistencia de la fuerza de convección y el agua circularía aumentando un poco más su velocidad y por lo tanto captando más energía.

2.2.4.2 FLUJO FORZADO



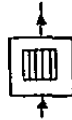
A)



B)



C)



D)



E)



F)



G)

A) Produce remansos donde no hay circulación.

B) Cuando actúa una fuerza impulsora se forman partes donde no existe flujo lo cual disminuye el área de transferencia.

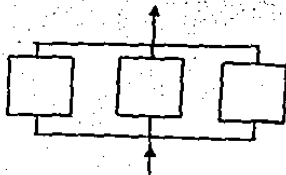
- C) Evita la formación de áreas muertas como en B)
- D) Se consigue que la circulación sea más uniforme -- que en C).
- E) El serpentín tiene la ventaja de permitir una velocidad constante a través de todo el colector.

También puede ser mayor y dar lugar a turbulencias, mediante las que aumenta la transferencia de calor.

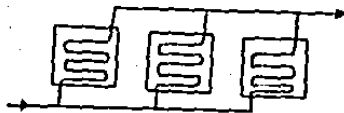
- F) y G) Solamente tienen importancia a la hora de vaciar el sistema.

COMPARACIÓN ENTRE SISTEMAS DE VARIOS COLECTORES.

La aplicación es igual que en el sistema de flujo por termosifón.



D)



E)

D) Este tipo sería la solución para tipos de entrada y salida concentrada.

E) En las placas de absorción de serpentín, la resistencia por presión se puede eliminar; y estas serán más eficientes debido a que trabajan a menores temperaturas.

Este capítulo proporciona la información necesaria para elegir el tipo de sistema que se ajusta a las necesidades para lo cual va a ser usado, así como la selección de los materiales que se pueden utilizar en la fabricación y construcción de cualquier tipo de sistema.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE UN SISTEMA DE FLUJO FORZADO

3.1 BASES Y ANTECEDENTES.

Se tiene un diseño de una placa colectora con 41 tubos de 1.27 cm ϕ , prensados y conectados a un cabezal superior y otro inferior de 2.86 cm ϕ con un flujo de entrada y salida de éste en forma opuesta, con un área perpendicular a la radiación de 0.8203m². Este colector cuenta con una su superficie selectiva absorbente. La placa está representada en la fig. 3.1.1

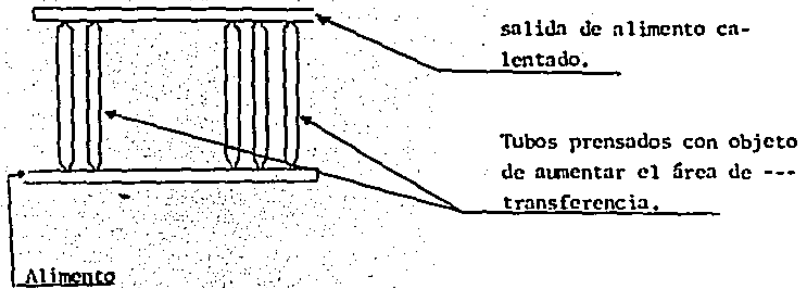


Fig. 3.1.1 Placa colectora utilizada en un sistema por -- termosifón.

Utilizando como referencia la placa de la figura 3.1.1 se hará un diseño diferente procurando tener características similares a dicha placa ya que este trabajo busca - hacer una comparación entre sistemas así como entre dise--

ños diferentes de placas colectoras desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo.

3.3 DISEÑO DE LA PLACA COLECTORA.

Con la finalidad de que la placa pueda ser comparativa se tiene que hacer de un área parecida o igual a la que ya existe. Se elige que dicha área sea aproximadamente de 1 m^2 . El área real la tendremos una vez que haya sido fabricada, ya que debido a que no se cuenta con la herramienta necesaria para la fabricación, pues no se sabe con qué exactitud y precisión se pueda fabricar dicha placa.

3.2 SELECCIÓN DE MATERIALES

En base a la bibliografía se recomienda utilizar tubos de cobre de .9525 cm, 1.27 cm y 1.905 cm de diámetro nominal; no menores, ya que aumentan las pérdidas por convección y radiación, y no mayores por que el calentamiento es muy lento debido a que se aumenta el flujo a circular por éstos. En este caso por criterio nominal se utilizarán tubos de 1.27 cm de diámetro como tubos de transferencia, y tubos de 1.905 cm en los cabezales.

Se les pondrán aletas longitudinales de lámina de cobre # 36. Se eligió usar aletas para aumentar el área de transferencia. Es muy importante utilizar el mismo material en las aletas que el material del tubo de transferencia con objeto de que la conducción de calor se desarrolle con velocidades parecidas y evitar la resistencia generada cuando se usan materiales distintos y como es lógico, de distinta conductividad térmica.

La carcasa se fabricará de fibra de vidrio con objeto de disminuir las pérdidas de calor ya que la fibra de vidrio es un aislante muy bueno que además se utilizará aserrín para aumentar el aislante y darle cuerpo a la carcasa. Se usará vidrio de 4 mm para cubrir el colector y como sellador de este para evitar las fugas de aire caliente, silicón. Las tuberías y conexiones hasta el alimento serán de PVC rígido con objeto de mantener menos pérdidas de calor en dichas tuberías. El tanque de alimentación será de fibra de vidrio y se utilizará una bomba de 1/4 HP como fuerza impulsora ya que las bombas de menor capacidad son muy costosas. Se usarán válvulas de bronce de las medidas requeridas. Se utilizarán termómetros de -20°C a 110°C ya que no son necesarios con rangos mas altos.

En la tabla inferior se resumen los materiales.

TABLA 3.2.1

ACCESORIO	MATERIAL	ACCESORIO	MATERIAL
TUBOS DE TRANSF. 1.27 cmØ	COBRE	TUBERIAS Y conexiones	P V C
Cabezales	COBRE	Bomba 1/4 HP	Acero al carbón
Aletas	COBRE (LAM)	Tanque alimento de agua	Fibra de vidrio
Cubierta	VIDRIO 4mm	Válvulas de paso	Bronce
Carcasa	FIBRA DE VIDRIO	Sellador	Silicón
AISLANTE	ASERRÍN	Soportes del colector	Acero al carbón
Recubrimiento de placa	NEGRO MATE (ESMALTE)		

Si llamamos W a la distancia entre centro de tubos, D_E al diámetro exterior de los tubos, t al espesor de los tubos y X a la distancia exterior entre tubos las dimensiones corresponderían a como se ve en la figura 3.3.1

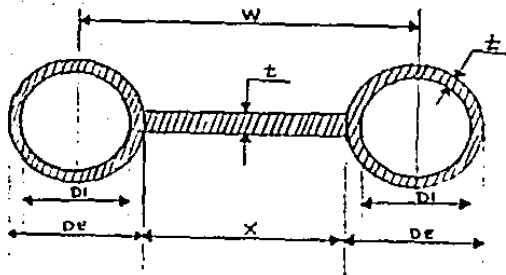


Fig. 3.3.1
Dimensionado de una
placa colectora de
tubos con aletas lon
gitudinales.

El Instituto de Investigaciones Energéticas y Nucleares de Brasil ha realizado una serie de investigaciones, en las cuales arrojaron los siguientes resultados en base a la máxima eficiencia alcanzada, dichos resultados se muestran en la tabla 3.3.2

W/DE	PARAMETRO INVESTIGADO	EFICIENCIA
ENTRE 3.5 Y 4	Para cualquier temperatura de fluido entre 40°C y 80°C	MAX
4.1	Material de placa colectoras de cobre o aluminio para - <u>Tamb - Tfluido</u> Insolación	MAX
4	Para una distancia entre - placa y vidrio de 8 cm.	MAX
	1 Cub. vidrio <u>Tamb-Tfluido</u> Insolación $\leq 0.028^{\circ}\text{C m}^2/\text{W}$	MAX
	2 Cub. vidrio <u>Tamb-Tfluido</u> Insolación $> 0.028^{\circ}\text{Cm}^2/\text{W}$	MAX

TABLA 3.3.2

Resultados obtenidos en investigaciones - realizadas por el -- Instituto. de Inves- tigaciones Energéti- cas y Nucleares de - Brasil

En base a lo anterior se utilizará un valor de $W/DE=4.1$ para los cálculos y dimensionado de la placa colectoras.

$$W/DE = 4.1$$

$$W = X + DE$$

$$W = X + DI + 2t$$

$$W = 4.1 DE$$

$$X = W - DE = 4.1 DE - DE = 3.1 DE$$

Si llamamos A_c al área del colector y sus dimensiones son L como longitud y h el ancho tendríamos que el área -- está dada por

$$A_c = Lh$$



Llamaremos N al número de tubos el cual deduciremos -- mediante una ecuación. Si observamos la figura 3.3.1 podemos decir que el valor de N está dado por:

$$N = \frac{h - DE}{W} + 1 \quad \text{Donde } W = 4.1DE$$

$$N = \frac{h - DE}{4.1 DE} + 1$$

Cuando se obtiene un número de tubos fraccionario se puede hacer dos cosas; ya sea cerrar al entero superior o al entero inferior, posteriormente se calcula h y con el área A se calcula L .

Con objeto de evitar las caídas de presión y cambios de velocidad que afectarían directamente en la transferencia de calor es muy importante que el área de flujo de las tuberías de entrada y salida del colector, así como de los cabezales sea mayor o igual al área total de los tubos de transferencia.

Llamaremos A_t al área de flujo de los tubos de transferencia, A_{cab} al área de los cabezales así como al área de las tuberías y DI_{cab} al diámetro interior del cabezal.

$$A_t = 0.25 \pi DI^2$$

$$A_{cab} = NA_t$$

$$DI_{cab} = (4 A_{cab} / \pi)^{1/2}$$

Se busca entre las tuberías comerciales un tubo correspondiente a un diámetro interior de DI_{cab} y si no lo hay se usa el de diámetro interior inmediato superior.

Si los cabezales se quieren hacer rectangulares - el área tiene que ser bajo el mismo principio.

Para realizar con más rapidez el diseño de una - placa colectora se da el siguiente formato que ayudará a realizar un diseño para cualquier dimensión para placas - específicamente de tubos, ya sea con aletas o sin ellas.

DISEÑO DE PLACA ABSORBEDORA PARA COLECTOR SOLAR

Acab = Área de flujo en cabezal (m^2)

At = Área de flujo en tubos de transferencia (m^2)

DE = Diámetro exterior de tubos de transferencia (mm)

DEcab = Diámetro exterior de cabezal (mm)

DI = Diámetro interior de tubos de transferencia (mm)

DIcab = Diámetro interior de cabezales (mm)

h = Ancho de placa absorbedora (m)

L = Longitud de tubos de transferencia (m)

N = Número de tubos

t = Espesor de tubos de transferencia (mm)

tcab = Espesor de cabezales (mm)

V = Volumen de agua a calentar ()

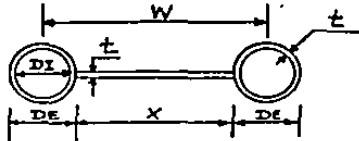
W = Distancia entre centros de tubos de transferencia (mm)

X = Ancho de aletas (mm)

Ac = Área real de placa absorbedora (m^2)

TUBO DE COBRE TIPO M

	Dnom	Dint(mm)	Dext(mm)		Dnom	Dint(mm)	Dext(mm)
+	1/4"	9.52	8.88	+	5/8"	19.05	18.29
+	3/8"	12.70	11.36	*	3/4"	22.22	21.41
+	1/2"	15.88	15.17	*	1"	28.58	27.69
+	Recomendable usar en tubos de transferencia.						
*	Recomendable usar en tubos para cabezales.						



TUBOS DE TRANSFERENCIA

$$DI = \quad \text{mm} \quad DE = \quad \text{mm} \quad t = \quad \text{mm}^2$$

$$V = \quad \quad \quad AC = V/75 = \quad /75 = \quad \text{m}^2$$

Suponer un valor de L, tomar en cuenta que $L \geq h$

$$L = \quad \text{m} \quad h = AC/L = \quad / \quad = \quad \text{m}$$

Si $h > L$ suponer otro valor de L

$$W = 4.1 DE = 4.1(\quad) = \quad \text{mm}$$

$$N = (1000 h - DE)/W + 1 = ((1000)(\quad) - \quad) / \quad + 1 =$$

$$h = N W + DE = 2(\quad)(\quad) + \quad = \quad \text{mm}^2$$

$$At = (DI/1000)^2/4 = (\quad /1000)^2/4 = \quad \text{m}^2$$

CABEZALES

$$Ac = N At = (\quad)(\quad) = \quad \text{m}^2$$

$$DI_{cab} = (4 Acab/ \quad)^{1/2} = 1000(4 \quad / \quad)^{1/2} = \quad \text{mm}$$

El diámetro anteriormente calculado es el diámetro necesario por diseño; ahora por aspectos desde el punto de vista práctico y económico, se elegirá según la tabla anterior.

$$DI_{cab} = \quad \text{mm} \quad DE_{cab} = \quad \text{mm} \quad t_{cab} = \quad \text{mm}$$

$$Acab = (DE_{cab}/1000)^2/4 = (\quad /1000)^2/4 = \quad \text{m}^2$$

ALETAS

$$L = \quad \text{m} \quad X = 3.1 DE = 3.1(\quad) = \quad \text{mm}$$

$$t = \quad \text{mm} \quad Ac = h(L + 2 DE_{cab}) = (\quad + 2 \quad) = \quad \text{m}^2$$

CÁLCULOS DE PLACA COLECTORA.

- Área propuesta $A_c = 1\text{m}^2$

* TUBOS

Material cobre

DE = 15.875 mm

DI = 13.843 mm

= 1.016 mm

L = 1 m

$h = A_c/L = (1/1) = 1\text{m}$

- Número de tubos,

$N = (h-DE)/(4.1DE) + 1 = (1000-15.875)/(4.1 \times 15.875) + 1 = 16.12$

$N = 16$ tubos

ÁREA DE FLUJO

$A = 0.25 \pi DI^2 = (0.25 \pi) (13.843/1000)^2 = 1.50505 \times 10^{-4} \text{m}^2$

- 16 TUBOS 15.875 mm DE x 13.843 mm DI x 1 m LG

* CABEZALES

Material cobre

Área de flujo

$A_{cub} = N A_f = (16) (1.50505 \times 10^{-4} \text{m}^2) = 2.40808 \times 10^{-3} \text{m}^2$

Diámetro interior

$$D_{cab} = (4 A_{cab} / \pi)^{1/2} = [4(2.40808 \times 10^{-3}) / \pi]^{1/2} \times 1000 = 55.372 \text{ mm}$$

Usar tubo comercial de las siguientes características:

$$D_{Ecab} = 66.675 \text{ mm}$$

$$D_{icab} = 62.611 \text{ mm}$$

$$t_{cab} = 2.032 \text{ mm}$$

Area de flujo

$$A_{cab} = 0.25 \pi (D_{icab})^2 = 0.25 \pi (62.611/1000)^2 = 3.07887 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

OBSERVACIONES:

Por criterio personal y con objeto de que la comparación con la placa del calentador ya instalado sea más real desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo, se utilizará tubo de cobre de 22.23 mm DE. Ahora que por diseño en base a lo antes calculado, nunca se debe omitir lo referente a las áreas de flujo. Lo más correcto es utilizar cabezales como fueron calculados.

* CABEZALES UTILIZADOS

Material cobre

$$D_{Ecab} = 22.225 \text{ mm}$$

$$D_{icab} = 19.939 \text{ mm}$$

$$t = 1.143 \text{ mm}$$

$$A_{cab} = 0.25 \pi (D_{icab})^2 = (0.25 \pi) (19.939/1000)^2 = 3.1225 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Comparando área de diseño contra área utilizada.

$$\frac{\text{Autilizada}}{\text{Adiseño}} = \frac{3.122 \times 10^{-4}}{2.40808 \times 10^{-3}} = 0.1297 \times 100 = 12.97\%$$

Lo que nos indica esta relación es que del total del área, solamente tenemos un área del 12.97% del área requerida para flujo. Los resultados los veremos al finalizar esta investigación.

* ALETAS

Material: Lámina de cobre # 36

L = 1 m

X = 3.1DE = 3.1(15.875) = 49.21 mm

t = 0.4 mm

OBSERVACIONES:

El espesor que se debe utilizar es de 1.016 mm pero debido al costo de los materiales se utilizó el de 0.4 mm que no es lo más correcto.

* TUBERIAS Y CONEXIONES.

Se utilizó tubería de PVC rígido de 19.05 mm de diámetro nominal. También deben ser del diámetro calculado para cabezales.

* ÁREA REAL DEL COLECTOR

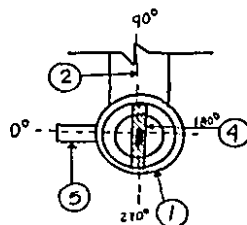
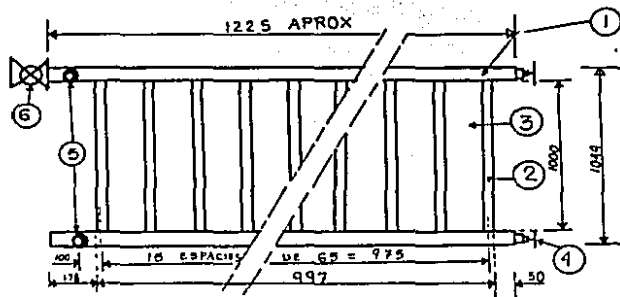
$$Ac = h (L+2 DEcab) = (1m) (1m+2(22.225/1000)) = 1.04445m^2$$

Ahora del área real del colector, al área final de fabricación existe una pequeña diferencia debido a la precisión utilizada para la fabricación de la placa. El área -- real obtenida de fabricación es de 1.050625m².

3.4 DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LA CARCASA PARA EL COLECTOR.

Las dimensiones para la carcasa dependen directamente de las dimensiones de la placa colector, se recomienda dejar 2.5 cm entre pared de carcasa y perímetro del colector y entre unos 6 cm de la placa hasta el exterior del colector en la parte inferior incluyendo el aislante, así como una distancia entre 6 y 8 cm de la superficie de la placa al cristal.

Los dibujos de fabricación son los siguientes.



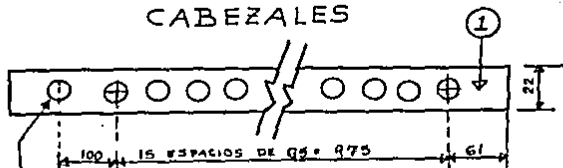
NOTAS:

- LAS COTAS SON EN mm
- LAS DIMENSIONES EN LA REALIDAD SON APROX

VISTA DE PLANTA

PZA	CANT	DESCRIPCIÓN	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUADALAJARA		
1	2	CABEZALES TUBO 22.2X19.3 DI X 1225 mm LG	ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS		
2	16	TUBOS TRANSFERENCIA 15.7 DI X 13.8 DI X 1011 mm LG	PLACA COLECTORA		
3	15	PLACAS CONDUCCION (ALETAS) 48 X 117 mm LG	GUILLEERMO BARRAJAS GARCÍA		
4	2	VALVULAS DE DREN DI = 15 mm	TESIS		DIB. 1
5	2	P/TERMÓMETRO 9.5 DI X 8 DI X 30 mm LG	CALENTADOR SOLAR POR FLUJO FORZADO		
6	1	VALVULA DE PASE SOLDABLE 19.1 mm Ø NOMINAL			

CABEZALES

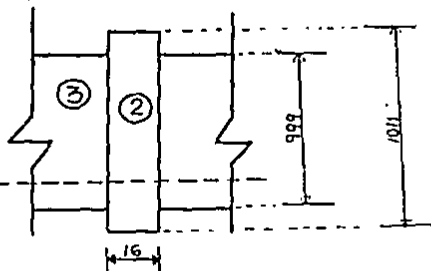


CONEXIÓN
P/TERMOMETRO
HACER BARRENO
DE 12mm

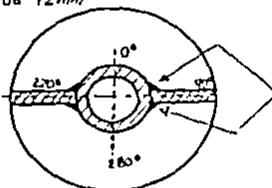
HACER 16 BARRENOS DE
19 mm PARA TUBOS DE
TRANSFERENCIA

CORTE
TRANSVERSAL
VER DETALLE

ALETAS Y TUBOS



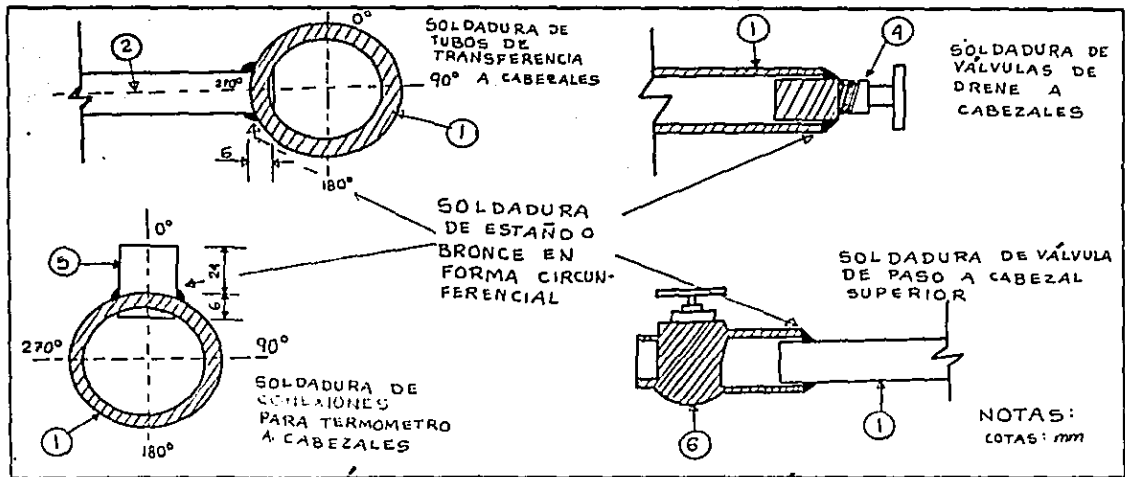
NOTAS:
COTAS : mm



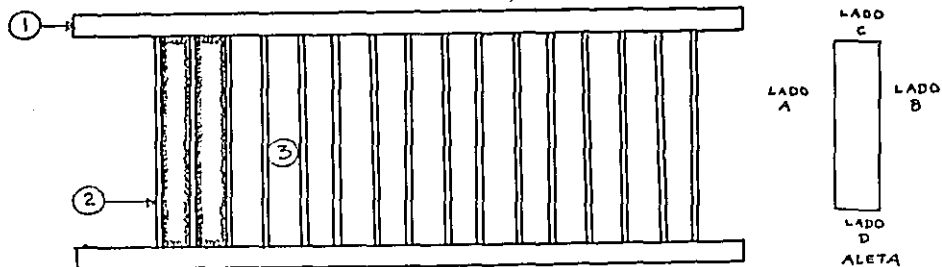
DETALLE DEL
CORTE

SOLDAR
ALETAS
A TUBOS
CON SOLDADURA
DE ESTAÑO O
BRONCE POR
AMBOS EXTREMOS
(EN FILET)

PZA	CANT	DESCRIPCIÓN	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUADALAJARA	
1	2	CABEZALES	ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS	
2	16	TUBOS DE TRANSFERENCIA	DETALLES DE FABRICACIÓN	
3	15	ALETAS	GUILERMO BARRAJAS GARCÍA	
			TESIS	DIB. 2
			CALENTADOR SOLAR POR FLUJO FORZADO	



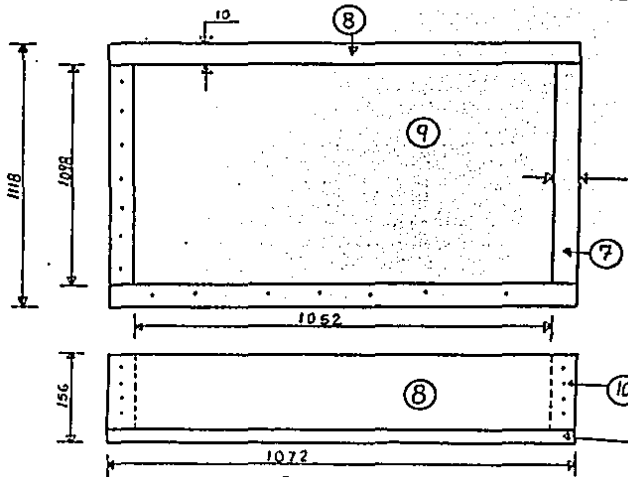
PIZA ICANI		DESCRIPCIÓN	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUADALAJARA	
1	2	CABEZALES	ESCUELA DE CIENCIAS INGENIERIAS	
2	16	TUBOS DE TRANSFERENCIA	DETALLES DE SOLDADURA	
4	2	VÁLVULA DE DRENE	GUILLELMO BARRAJAS GARCÍA	
5	2	CONEXIÓN PARA TERMOMETRO	TESIS	
6	1	VÁLVULA DE PASO	CALENTADOR SOLAR POR FLUJO FORZADO	
			DIB. 3	



SOLDAR ALETAS A TUBOS DE TRANSFERENCIA Y CABEZALES EN FORMA ALTERNADA.
 CON OBJETO DE EVITAR LA DEFORMACION POR DILATACION TERMICA SE SOLDARA
 EN LA SIGUIENTE SECUENCIA:

- 1.- LADO A PARA TODAS LAS ALETAS
- 2.- LADO B " " " "
- 3.- LADO C " " " "
- 4.- LADO D " " " "

PZA	CANT	DESCRIPCION	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA	
1	2	CABEZALES	ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS	
2	16	TUBOS DE TRANSFERENCIA	SOLDADURA DE ALETAS	
3	15	ALETAS	GUILLERMO BARRAJAS GARCIA	
			TESIS	CALENTADOR SOLAR POR FLUJO FORZADO
				OIB. 4

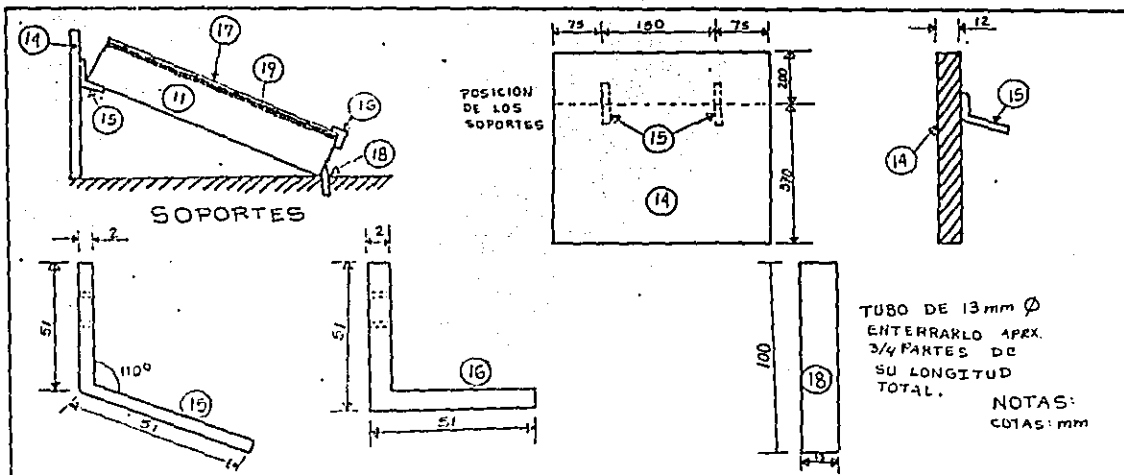


- PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN DE LA CARCASA
- A) PONER ANTIADHERENTE AL MOLDE
 - B) PONER UNA CAPA DE FIBRA DE VIDRIO SECUCIADA POR UNA CAPA DE RESINA PREVIAMENTE PREPARADA
 - C) PONER LAPAS SUBSECUENTES HASTA OBTENER UN ESPESOR DE 4 mm
 - D) DEJAR SECAR EL MOLDE Y DESPEGARLO

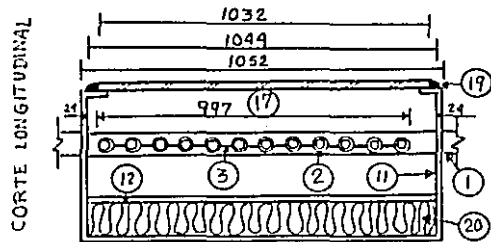
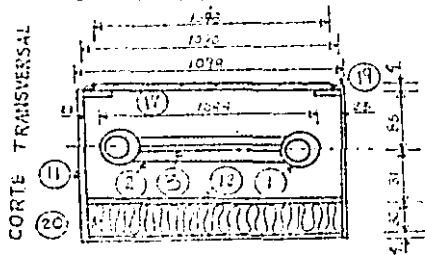
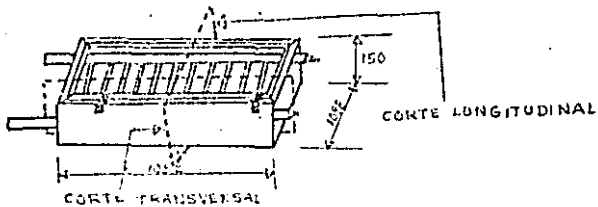
NOTAS:
CAPAS: mm

PZA	CANT	DESCRIPCIÓN
7	2	TABLA DE 1098 X 150 X 10 mm
8	2	TABLA DE 1072 X 150 X 10 mm
9	1	TRIPLAY DE 1118 X 1072 X 6 mm
10	44	CLAVOS DE 25 mm LG

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUADALAJARA	
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS	
MOLDE PARA CARCASA	
GUILLERMO BARRAJAS GARCÍA	
TESIS	CALENTADOR SOLAR POR FLUJO FORZADO
	DIB. 5



PZA	CANT	DESCRIPCION	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA	
11	1	CARCAZA	ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS	
14	1	BASE DE SOPORTE PARA CARCAZA (MADERA)	SOPORTES	
15	2	SOPORTE PARA CARCAZA	GUILLELMO BABAJAS GARCIA	
16	2	SOPORTE PARA VIDRIO	TESIS	DIB.
17	1	VIDRIO DE 1078X1032.4mm		
18	2	SOPORTES INFERIORES	CALENTADOR SOLAR POR FLUJO FORZADO	7
19	2	A SELLO PARA ACRISTALAMIENTO (SILICONA)		



PZA	CANT	DESCRIPCION		
20	200	ALUMINIO	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA	
1	2	CONEXIONES	ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS	
2	10	TUBERIA DE TRANSFERENCIA	CORTES LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL	
3	15	VALVULAS	GUILHERMO BABAJAS GARCIA	
12	1	LAMINA AISLANTE	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA	
17	1	VIDRIO	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA	
19	200	ALUMINIO PARA ARMAMIENTO	TESIS	CALENTADOR SOLAR POR FLUJO FORZADO

DIB.
8

3.5 DISEÑO DE TERMO ACUMULADOR

Cuando hablamos de un sistema de flujo por termosifón el termo acumulador es función del área del colector solar y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$V = \phi A$ Donde ϕ es la relación que existe del volumen (l) con relación al área (m^2), $\phi [-]$ l/m^2 .

$\phi = 75l/m^2$ quedando la fórmula en la siguiente forma

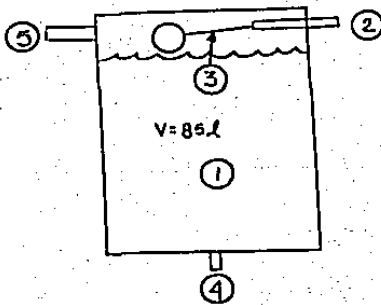
$$V = 75A.$$

Para nuestro caso específico no aplica esta fórmula, ya que nuestro flujo es varias veces mayor; por lo que el volumen será calculado por otras ecuaciones, en base a las condiciones óptimas del sistema.

3.6 RECIPIENTE ALIMENTADOR DE AGUA.

Se optó por tener un recipiente con una carga hidrostática casi constante con objeto de que la bomba trabajara a condiciones se puede decir teóricamente estables para obtener velocidades de flujo y una caída de presión entre un rango pequeño, que nos ayudaría a mantener un flujo promedio durante el día.

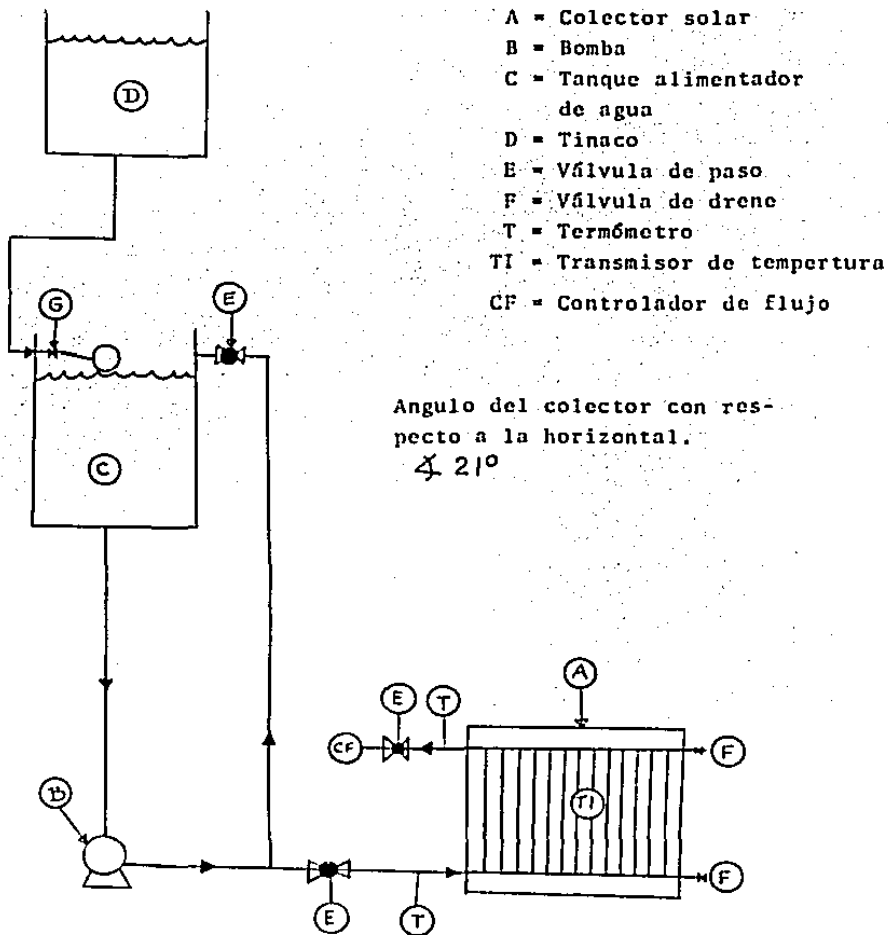
Para mantener una carga hidrostática con pocas variaciones se conecta una línea directa de agua con una válvula de cierre mediante un flotador. Teóricamente se puede decir que el agua que sale del recipiente es substituída por agua que entra por la línea directa.



- 1.- Cuerpo del recipiente;
- 2.- Entrada de agua.-
- 3.- Válvula tipo flotador.
- 4.- Succión por la -- bomba.
- 5.- Recirculación.

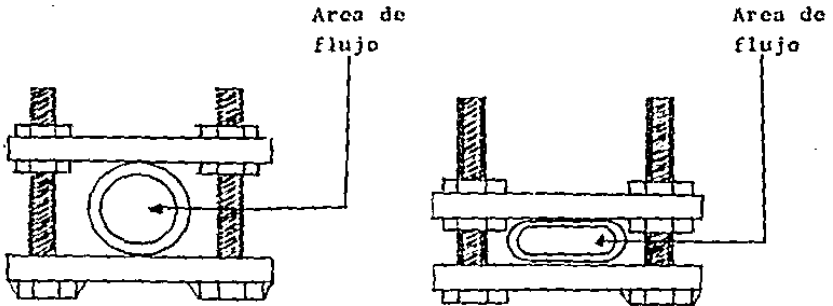
Fig. 3.6.1 RECIPIENTE ALIMENTADOR DE AGUA.

3.7 DIAGRAMA DEL SISTEMA DE FLUJO FORZADO.



3.7 .1 CONTROLADOR DE FLUJO C P

Se habfa pensado inicialmente en usar una vlvula de-
aguja pero por el costo de esta se desechó y se diseñó una
vlvula en base al mismo principio utilizado por una vlvu-
la de aguja que consiste en reducir el área de flujo dando
algo así como la figura inferior.



3.8 DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El sistema es de un solo paso ya que el agua pasará una sola vez a través del colector; con objeto de controlar el flujo, tiene una serie de válvulas, que mediante el abrir y cerrar de éstas, se puede llevar un buen control del flujo.

El proceso inicia llenando el recipiente de alimentación, manteniendo cerrada la válvula de entrada al colector. Una vez lleno el recipiente se abre la válvula de paso para que el flujo circule al colector abriendo la válvula de drene que está en la parte superior con objeto de purgar el aire contenido en el colector. Posteriormente se cierra dicha válvula y se abre la válvula de salida del colector y se calibra a un flujo determinado el cual se mantiene en un promedio mediante el controlador de flujo. Cuando se necesita un flujo mucho mayor se utiliza la bomba y el control del flujo se realiza en la misma forma.

CAPÍTULO 4

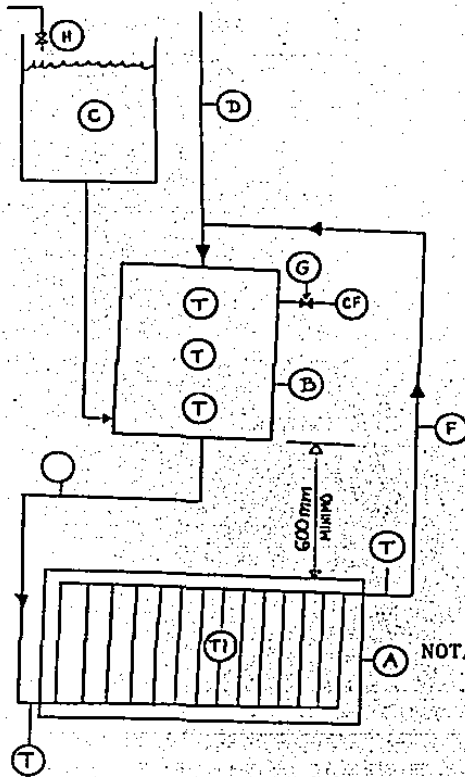
SISTEMA DE COMPARACIÓN FLUJO POR TERMOSIFÓN

4.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En este caso existe una recirculación continua - del agua a través del colector, ya que el agua se está - calentando continuamente.

El calentador utiliza una placa absorbadora con - una superficie selectiva para un mayor aprovechamiento - del calor recibido. Cuenta con 41 tubos prensados con un área perpendicular de 0.8203 m^2 . Los tubos prensados hacen la función de aletas, la carcasa es de acero al carbón y el aislante es de fibra de vidrio. Tiene un termocomulador de 57.6 litros el cual consiste en un recipiente dentro de otro con fibra de vidrio en el espacio anular con objeto de evitar las pérdidas de calor, el vidrio es de un espesor de 4 mm, la tubería y conexiones son de acero galvanizado aislados con cartón. El vaso de expansión consiste en un tubo de vidrio.

4.2 DIAGRAMA DEL SISTEMA DE FLUJO POR TERMOSIFÓN.



- A - colector solar
- B - Termo acumulador
- C - Tanque alimentador
- D - Vaso de expansión
- E - Línea de agua fría
- F - Línea de agua caliente
- G - Válvula de salida de flujo de agua utilizable.
- H - Válvula de entrada de agua a tanque alimentador.
- T - Termómetro
- TI - Transmisor de temperatura.
- CF - Controlador de flujo.

NOTA:

Las flechas indican la dirección de los flujos.

4.3 FUNCIONAMIENTO

El proceso de calentamiento de agua mediante este sistema inicia una vez que todo el sistema está completamente lleno de agua y que se ha purgado el aire contenido dentro del colector. Se mantiene un nivel en el tanque alimentador y el fenómeno inicia en la rejilla. Cuando se empieza a calentar el agua, disminuye la densidad haciendo que ésta se desplace hacia la parte mas alta, lo que hace que el agua suba por el tubo aislado, hasta llegar al tanque acumulador de su parte superior, mientras esto sucede, el agua fría proveniente del termo-acumulador entra en la parte inferior de la rejilla provocando así el fenómeno de termosifón en forma continua y cíclica.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

5.1 SISTEMA DE FLUJO FORZADO

5.1.1 MÉTODO DE CÁLCULO

Experimentalmente se obtuvieron datos de flujo y temperatura y posteriormente mediante una integral, valores -- promedio. Con la finalidad de analizar el sistema se aumentó en forma ascendente el flujo día con día, pero tratando de mantenerlo constante durante el experimento, con objeto de obtener la eficiencia del sistema para un flujo determinado y, posteriormente poder cuantificar gráficamente, y mediante una ecuación que se apegue al sistema los parámetros óptimos desde el punto de vista de la eficiencia y el flujo másico.

En la bibliografía se encuentran tablas de insolación promedio durante el mes, dicha información no puede ser aplicable a un día en específico ya que durante el mes tenemos diferentes días los que se pueden clasificar como sigue;

- días soleados
- días medio soleados
- días medio nublados
- días nublados

Viendo la necesidad de utilizar la insolación correspondiente al día del experimento, fué necesario diseñar un método de cálculo, el cual en base a las tablas se puede obtener una aproximación de la insolación para el día requerido. Lo llamaremos " Método IQGEC para corrección de la insolación ", que a continuación se describe

5.1.2 MÉTODO IQBG PARA CORRECCIÓN DE LA INSOLACIÓN.

Se inicia por estimar la insolación promedio diaria para cada día del año; para esto el Ing. José A. Manrique nos proporciona la radiación global mensual para cada mes del año; en su libro "Energía Solar" Fundamentos y Aplicaciones Fototérmicas ed Harla, esta información se encuentra para varias ciudades del país.

Se grafica en un diagrama de barras meses del año - contra insolación promedio mensual; la amplitud de las barras equivalentes a cada mes debe ser proporcional al número de días correspondientes para el mes.

Se suaviza la gráfica cuidando de que exista una buena correlación; una vez suavizada la gráfica se obtiene la insolación promedio diaria para cada día del año.

De los datos obtenidos mediante la experimentación se calcula el calor por unidad de tiempo que se absorbe para cada flujo utilizado. Se grafican los puntos correspondientes mediante una gráfica para días soleados, días medio soleados, días medio nublados y días nublados. Las gráficas se hacen todas juntas con objeto de ver la diferencia que existe entre los diferentes días y poder comparar el funcionamiento para las diferentes condiciones. Posteriormente -

para cada una de las gráficas en base a un método matemático (estadístico) se saca la ecuación correspondiente para cada clasificación.

Se puede decir que la mayor insolación se tiene en días soleados y la menor insolación en días nublados. En base a este principio se parte para calcular la proporción en que disminuye la insolación desde un día soleado hasta un día nublado.

Observando las gráficas se puede apreciar que siguen probablemente una ecuación parabólica cada una de ellas pero que se encuentra una por debajo de la otra esta diferencia no es más que la proporción en que disminuye la insolación de un día soleado a cualquiera otra, esta proporción será el factor de corrección para la insolación.

Q_s = Calor/t absorbido en días soleados

Q_{ms} = Calor/t absorbido en días medio soleados

Q_{mn} = Calor/t absorbido en días medio nublados

Q_n = Calor/t absorbido en días nublados.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Cada ecuación está en función del flujo o sea en cada ecuación dependiendo del flujo será el calor absorbido.

K_c = Factor de corrección para la insolación

- SOLEADO

$$K_c = \frac{q_s f(\text{flujo})}{q_s f(\text{flujo})} = 1$$

- MEDIO SOLEADO

$$K_c = \frac{q_{ms} f(\text{flujo})}{q_s f(\text{flujo})}$$

- MEDIO NUBLADO

$$K_c = \frac{q_{mn} f(\text{flujo})}{q_s f(\text{flujo})}$$

- NUBLADO

$$K_c = \frac{q_n f(\text{flujo})}{q_s f(\text{flujo})}$$

Una vez que se tiene el factor de corrección se procede a calcular la insolación corregida.

I = Insolación promedio diaria.

K_c = Factor de corrección para la insolación.

I_c = Insolación promedio diaria corregida.

$$I_c = K_c I$$

Esta insolación será la utilizada en los cálculos necesarios para los fines requeridos.

5.1.3 ECUACIONES PARA EL CÁLCULO.

PROMEDIOS OBTENIDOS.

El mejor método para calcular éstas es mediante el uso de una integral para la cual tenemos la siguiente ecuación.

$$T = (1/t_{tot}) \int_0^t T dt = (1/2tn) \sum_{i=1}^{n-1} (T_i + T_{i+1})(t_{i+1} - t_i)$$

NOTA: Para el flujo cambia el parámetro T por G .

CÁLCULO DEL CALOR QUE INCIDE

I_c = Insolación diaria corregida (kcal/h m²)

A = Area efectiva del colector (m²)

Q_i = $I_c A$

CÁLCULO DEL CALOR QUE SE ABSORBE

G = Gasto másico (kg/h)

C_p = Capacidad calorífica (kcal/kg °C)

T_s = Temperatura de salida del agua (°C)

T_e = Temperatura de entrada del agua (°C)

Q_a = $G C_p (T_s - T_e)$

EFICIENCIA DEL COLECTOR (%)

η = (Q_a / Q_i) 100

PARÁMETRO PARA LA TEMPERATURA DE ESTANCAMIENTO

($T_p - T_e$) / I_c

Usando el método de mínimos cuadrados se obtuvieron las siguientes ecuaciones para las gráficas. Ver apéndice A, gráficas A1, A2, A3 y A4.

- SOLEADO

$$Q_a = 120.4556 + 26.0638G - 0.3640G^2$$

$$K_c = 1$$

- MEDIO SOLEADO

$$Q_{ms} = 1.5431 + 48.3676G - 0.2664G^2 - 0.0016G^3$$

$$K_c = Q_{ms} / Q_u$$

- MÉDIO NUBLADO

$$Q_{mn} = - 118.6914 + 31.4738G - 0.3809G^2 - 0.0011G^3$$

$$K_c = Q_{mn}/Q_s$$

- NUBLADO

$$Q_n = -82.5653 - 1.1368G + 1.3966G^2 - 0.0278G^3$$

$$K_c = Q_n/Q_s$$

$$I_c = I K_c$$

DATOS PARA EL CÁLCULO

$$A = 1.050625 \text{ m}^2$$

$$C_p = 1 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

FLUJO (G)

TA

TE

TP

TS

I - VER APÉNDICE A TABLA DE INSOLACIÓN

PARÁMETROS CALCULADOS

Kc

Ic

Qi

Qa

η

(TP-Ta)/Ic

DIA 16 DE FEBRERO DE 1987 (SOLEADO)

DATOS PARA EL CÁLCULO

$$A = 1.050625\text{m}^2$$

$$C_p = 1 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$G = 4.721 \text{ Kg/h}$$

$$T_A = 30.286^\circ\text{C}$$

$$T_E = 30.286^\circ\text{C}$$

$$T_P = 78.791^\circ\text{C}$$

$$T_S = 77.958^\circ\text{C}$$

$$I = 582 \text{ Kcal/h m}^2$$

PARÁMETROS CALCULADOS

$$Q_s = 120.4556 + 26.0638 (4.721) - 0.364(4.721)^2 = 235.39 \text{ Kcal/h.}$$

$$K_c = 235.39/235.39 = 1 \text{ VER APENDICE A TABLA DE INSOLACION}$$

$$I_c = (582 \text{ Kcal/h}\cdot\text{m}^2)(1) = 582 \text{ Kcal/h}\cdot\text{m}^2$$

$$Q_i = (1.050625\text{m}^2)(582 \text{ Kcal/h}\cdot\text{m}^2) = 611.46 \text{ Kcal/h.}$$

$$Q_a = (4.721 \text{ Kg/h})(1 \text{ Kcal/kg}^\circ\text{C})(77.958 - 30.286)^\circ\text{C} = 225.06 \text{ Kcal/h.}$$

$$\eta_l = (225.06/611.46) \times 100 = 36.81\%$$

$$(T_p - T_a)/I_c = (78.791 - 28.688)^\circ\text{C}/582 \text{ Kcal/h}\cdot\text{m}^2 = 86.09 \times 10^{-3} \text{ oc.h}\cdot\text{m}^2/\text{Kcal.}$$

5.1.4 DATOS PARA LOS DIAS SOLEADOS (S)

**Valores obtenidos ver apendice B
hojas de datos B1**

SOLEADO

FLUJO FORLEADO

FECHA	FLUJO kg/h	TA °C	TE °C	TP °C	TS °C	I Kcal/h.m ²
16-II-87	4.721	28.688	30.286	78.791	77.958	582
17-II-87	7.073*	27.333	29.133	74.967	73.300	584
10-III-87	10.341	28.336	28.724	66.983	65.112	656
11-III-87	10.387*	27.841	28.572	66.162	64.468	660
18-II-87	10.443	27.966	28.433	67.267	65.562	588
2-III-87	10.481	29.155	25.759	63.453	61.638	628
3-III-87	10.548	29.415	28.169	65.879	64.217	631
9-III-87	10.551	25.717	27.449	66.806	64.936	652
4-III-87	10.652	24.864	27.744	63.296	61.483	634
12-III-87	10.801*	28.523	29.374	63.753	71.960	663
19-II-87	12.197	25.799	27.764	61.167	59.473	591
5-III-87	15.128	21.425	24.184	55.004	53.179	638
17-III-87	17.794	30.611	29.689	59.806	57.653	684
18-III-87	18.820*	29.861	28.961	55.393	53.287	688
30-III-87	30.467	30.954	29.913	50.336	47.952	749
2-IV-87	36.893	33.241	31.724	49.586	47.310	760
3-IV-87	38.379	29.483	29.034	46.414	44.034	764

Kc	Ic Kcal/h.m ²	Qi Kcal/h	Qa Kcal/h	η	(Tp-Ta)/Ic °C.h.m ² /Kcal	No.
1	582	611.46	225.06	36.81	86.09x10 ⁻³	1
1	584	613.57	312.39	50.91	81.57x10 ⁻³	2
1	656	689.21	380.29	55.17	58.91x10 ⁻³	3
1	660	693.41	372.85	53.77	58.06x10 ⁻³	4
1	588	617.77	387.74	62.76	66.79x10 ⁻³	5
1	628	659.79	376.05	56.99	54.61x10 ⁻³	6
1	631	662.94	380.23	57.36	57.79x10 ⁻³	7
1	652	681.01	395.53	57.74	63.02x10 ⁻³	8
1	634	666.10	359.39	53.95	60.62x10 ⁻³	9
1	663	696.56	351.96	50.53	53.14x10 ⁻³	10
1	591	620.92	386.75	62.29	59.89x10 ⁻³	11
1	638	670.30	438.64	65.44	52.63x10 ⁻³	12
1	684	718.63	497.59	69.24	42.68x10 ⁻³	13
1	688	722.83	457.82	63.34	37.11x10 ⁻³	14
1	749	786.92	549.59	69.84	25.88x10 ⁻³	15
1	760	798.48	575.01	72.01	21.51x10 ⁻³	16
1	764	802.68	575.69	71.72	22.16x10 ⁻³	17

5.1.5 DATOS PARA LOS DIAS MEDIO SOLEADOS (MS)

Valores obtenidos ver apéndice B

hojas de datos B2

MEDIO SOLEADO

FLUJO FORZADO

FECHA	FLUJO Kg/h	TA °C	TE °C	TP °C	TS °C	I Kcal/h.m ²
13-II-87	4.313	22.436	27.118	62.317	60.892	573
13-III-87	10.745	26.810	27.603	58.259	56.328	666
24-II-87	15.040	25.067	25.267	50.867	48.667	608
6-III-87	16.381	22.118	24.341	47.492	45.128	642
23-III-87	20.097	29.733	29.367	51.267	48.967	713
25-III-87	23.229	31.250	28.179	49.000	46.750	723
31-III-87	32.841	29.015	29.024	47.241	44.990	752
1-IV-87	34.831	32.310	30.552	47.897	45.276	756
6-IV-87	40.397	28.897	29.034	44.724	42.103	772
7-IV-87	42.281	27.702	28.133	40.363	37.734	775
23-IV-87	51.079	31.586	34.207	44.793	42.517	805
29-IV-87	59.703	29.448	30.517	39.483	36.724	812

Kc	Ic Kcal/h.m ²	Qi Kcal/h	Qn Kcal/h	η	(Tp-Ta)/Ic °C.h.m ² /Kcal	No.
0.4874	279.28	293.42	145.67	49.64*	142.80x10 ³	1
0.7036	468.60	492.32	308.65	62.69	67.11x10 ³	2
0.7736	470.35	494.16	351.94	71.22*	54.85x10 ³	3
0.7902	507.31	532.99	340.51	63.89	50.02x10 ³	4
0.8279	590.29	620.17	393.90	63.51	36.48x10 ³	5
0.8527	616.50	647.71	431.39	66.60	28.79x10 ³	6
0.9027	678.83	713.20	529.34	73.52	26.85x10 ³	7
0.9091	687.28	722.07	512.85	71.02	22.68x10 ³	8
0.9202	710.39	746.35	527.95	70.74	22.28x10 ³	9
0.9214	714.09	750.24	405.94	54.11*	17.73x10 ³	10
0.9031	727.00	763.80	424.47	55.57	18.17x10 ³	11
0.8098	657.56	690.85	370.58	53.64	15.26x10 ³	12

5.1.6 DATOS PARA LOS DIAS MEDIO NUBLADOS (MN)
Valores obtenidos ver apéndice B
hojas de datos B3

MEDIO NUBLADO

FLUJO FORZADO

FECHA	FLUJO Kg/h	TA °C	TE °C	TP °C	TS °C	I Kcal/h.m ²
20-11-87	13.159	22.922	24.582	47.511	44.759	594
16-III-87	17.576	26.955	27.518	48.286	45.655	680
26-III-87	26.114	31.000	28.862	47.345	44.690	728
8-IV-87	44.236	29.071	29.929	41.411	38.839	778
28-IV-87	55.034	28.138	30.517	39.069	36.379	810

Kc	Ic Kcal/h.m ²	Qi Kcal/h	Qa Kcal/h	η °C.h.m ² /Kcal	No
0.5670	336.80	353.85	265.51	75.03*	73.01x10 ³ 1
0.6669	453.49	476.45	318.78	66.91	47.04x10 ³ 2
0.7667	558.16	586.42	413.33	70.48	29.28x10 ³ 3
0.7717	600.38	630.77	394.14	62.49	20.55x10 ³ 4
0.6111	494.99	520.05	322.61	62.03	22.08x10 ³ 5

5.1.7 DATOS PARA LOS DÍAS NUBLADOS (N)
Valores obtenidos ver apéndice B
hojas de datos B4

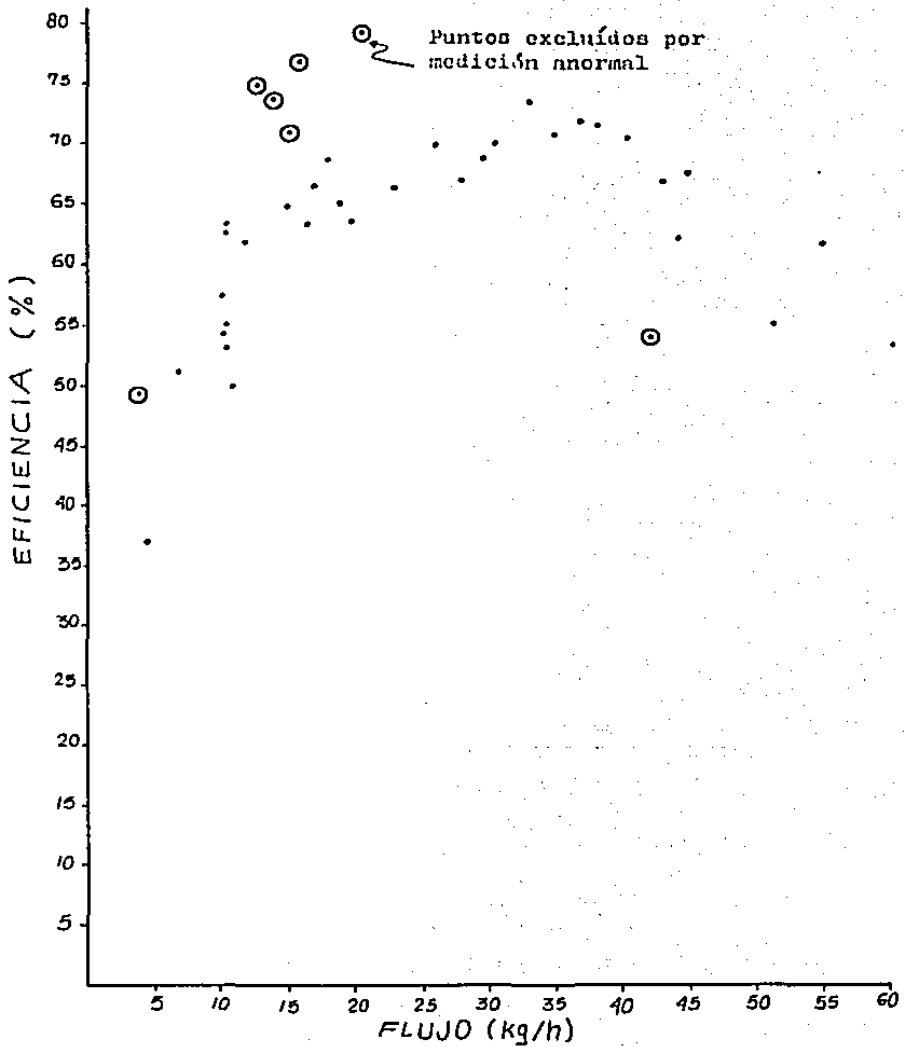
NUBLADO

FLUJO FORZADO

FECHA	FLUJO Kg/h	TA °C	TE °C	TP °C	TS °C	I Kcal/h m ²	Kc
23-II-87	14.259	17.808	20.126	31.384	28.384	604	0.2501
25-II-87	16.042	19.741	22.098	34.923	32.182	611	0.3233
24-III-87	22.260	29.131	26.951	44.101	41.429	718	0.5334
27-III-87	28.207	29.000	26.897	41.862	38.966	733	0.6584
20-IV-87	42.572	30.759	34.138	42.483	40.138	802	0.4475
21-IV-87	44.768	27.536	32.357	39.286	36.286	803	0.3071

Ic Kcal/h m ²	Qi Kcal/h	Qa Kcal/h	η %	(Tp-Ta)/Ic °C.h.m ² /kcal	No
151.06	158.71	117.75	74.19*	89.87x10 ³	1
197.54	207.54	161.77	77.95*	76.86x10 ³	2
382.98	402.37	322.28	80.10*	39.08x10 ³	3
482.61	507.04	340.43	67.14	26.65x10 ³	4
358.90	377.07	255.43	67.74	32.67x10 ³	5
246.60	259.06	175.89	67.89	47.65x10 ³	6

5.1.8. GRÁFICA DE EFICIENCIA CONTRA FLUJO



Observando la gráfica anterior se puede suponer que la mayoría de los puntos tienen un orden definido y algunos de ellos (entre los círculos) están fuera de dicho orden que se puede decir que estas discordancias obedecen a varios factores entre los que tenemos:

- error experimental
- vaga apreciación en cuanto a si se trataba de día; soleado, medio soleado, medio nublado y nublado.
- error acumulativo de los cálculos en base a gráficas utilizadas para los mismos.
- Algunos otros no considerados en los anteriores.

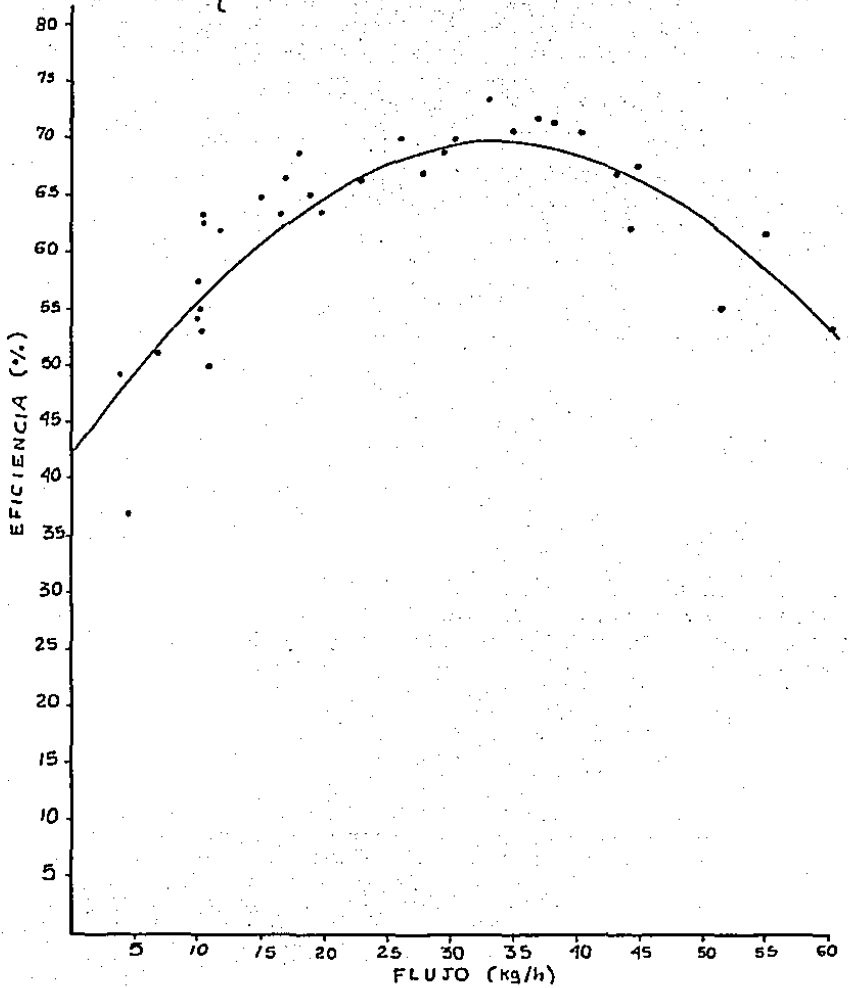
Con objeto de tener una mayor apreciación gráfica del comportamiento del sistema eliminaremos los puntos de mayor desviación esto en base al criterio y apreciación personal de la gráfica.

Con los puntos restantes se procederá a encontrar una ecuación que mas se apegue al comportamiento de nuestro sistema esto con la ayuda de regresión lineal.

Llamaremos al flujo variable X y a la eficiencia variable Y .

5.1.8.1 GRÁFICA DE EFICIENCIA CONTRA FLUJO

$$\eta = 42.0222 + 1.6645G - 0.0247G^2$$



Mediante la ecuación encontrada para el sistema se obtienen los parámetros óptimos de eficiencia y flujo mediante un análisis de máximos y mínimos:

$$Y = 42.0222 + 1.6645 x - 0.0247 x^2$$

$$\frac{dy}{dx} = 0 \quad (\text{parámetros óptimos})$$

$$\frac{dy}{dx} = 1.6645 - 2(0.0247)x$$

$$\frac{dy}{dx} = 1.6645 - 0.0494x$$

$$0 = 1.6645 - 0.0494x$$

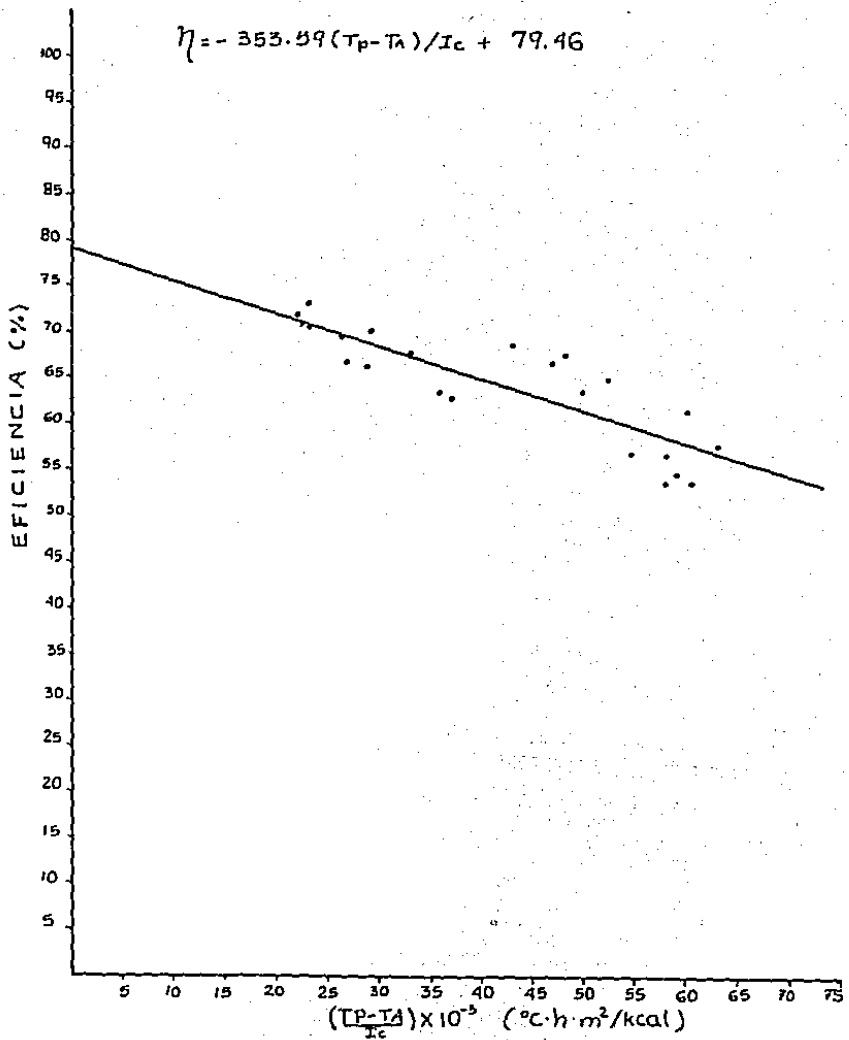
$$x = \frac{1.6645}{0.0494}$$

$$x = 33.694 \quad \text{donde } Y = 70.064$$

óptimo

Graficando eficiencia contra $(T_p - T_A) / I_c$

Obtenemos la siguiente gráfica.

5.1.8.2 GRÁFICA DE EFICIENCIA CONTRA $(T_p - T_A)/I_c$ 

Mediante regresión lineal se obtuvo la ecuación -
siguiente:

$$\eta = 79.46 - 353.59 (T_p - T_A) / I_c$$

La eficiencia máxima sería obtenida cuando la tem
peratura de la placa igualara la del medio ambiente o sea
($T_p - T_A$)/ $I_c = 0$. La eficiencia máxima sería del 79.46%.

El punto de estancamiento lo obtendríamos cuando-
la eficiencia sería igual a cero.

$$\eta = 0 = 79.46 - 353.59 (T_p - T_A) / I_c$$

$$\frac{T_p - T_A}{I_c} = \frac{79.46}{353.59} = 0.2247235$$

$$T_p = 0.2247235 I_c + T_A$$

Si se tiene que en el mes de abril la insolación-
promedio diaria es de 795 Kcal/m²h y la temperatura pro
medio durante el mes es de 29.8 °C.

$$T_p = 0.2247235 (795) + 29.8 = 208.46 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Punto de estancamiento } T_p = 208.46 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Máxima eficiencia del sistema $\eta_{\text{máx}} = 79.46\%$

5.2 SISTEMA POR TERMOSIFÓN

5.2.1 MÉTODO DE CÁLCULO

Es necesario hacer un balance de calor parcial para cada componente del sistema así como un balance global.

- BALANCE DE CALOR EN EL COLECTOR

* Inicio de actividades

Temp. de entrada (TEI)

Temp. de salida (TSI)

Temp. promedio $TCI=0.5(TEI+TSI)$

* Final de actividades

Temp. de entrada promedio durante varios intervalos de tiempo (TEF)

Temp. de salida promedio durante varios intervalos de tiempo (TSF)

Temp. promedio $TCF=0.5(TEF+TSF)$

Intervalo de tiempo (t)

* Calor en la placa QP

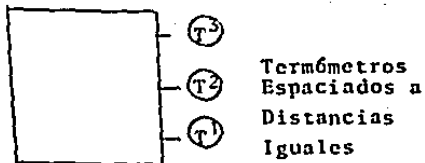
MC=Masa de agua contenida en el colector

CP=Capacidad calorífica del agua

TP=Temp. de placa promedio durante varios int. de tiempo.

$QP=MC.CP.(TCF-TCI)/t$

- BALANCE DE CALOR EN EL TERMO



TEMPERATURA PROMEDIO EN EL TERMO

$$\frac{1}{2} \left[\frac{(T_1+T_2)}{2} + \frac{(T_2+T_3)}{2} \right] = \frac{1}{4} (T_1+2T_2+T_3)$$

* Inicio de actividades

Temp. No. 1 T1I

Temp. No. 2 T2I

Temp. No. 3 T3I

Temp. promedio TTI

* Final de actividades

Temp. promedio No. 1 durante varios interv. de tiempo T1F

Temp. promedio No. 2 durante varios interv. de tiempo T2F

Temp. promedio No. 3 durante varios interv. de tiempo T3F

Temp. promedio final TTF

MT = Masa contenida en el termo

t = Intervalo de tiempo

* CALOR EN EL TERMO

$$QT = NT.CP.(TTF-TTI)/t$$

- BALANCE DE CALOR DEL AGUA DE SALIDA DEL TERMO

Temp. de entrada promedio durante int. de tiempo (TET)

Temp. de salida promedio durante int. de tiempo (TST)

Flujo promedio promedio durante int. de tiempo (flujo)

* CALOR ABSORBIDO POR EL AGUA Qs

$$Qs = \text{FLUJO.CP.}(TST-TET)$$

- CALOR TOTAL Qt

$$QTOT = QP + QT + Qs$$

- CALOR QUE INCIDE QI

Ac = Área del colector

I = Insolación

Kc = Constante para corrección de la insolación (-1)

$$Ic = KcI = I$$

$$QI = AcIc$$

- EFICIENCIA DEL SISTEMA

$$\eta = (Q_{TOT}/Q_I) \times 100$$

- PARÁMETRO $(TPF-TA)/I$

Temp. de placa promedio durante int. de tiempo TPF

Temp. de ambiente promedio durante int. de tiempo TA

$(TPF-TA)/I$

5.2.2 DATOS DE RESULTADOS OBTENIDOS

- VER APÉNDICE C

CLIMA	SOLEADO	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL	SOL
FECHA	14-III-87	21-III-87	9-IV-87	18-III-87	28-III-87	2-IV-87	24-IV-87	30-III-87
TA (°C)	26.9	28.6	25.8	30.1	29.2	33	29	28
TEI (°C)	26.3	27.4	26.6	27.2	25.6	27.7	25.6	27.8
TIF (°C)	34.2	36.9	35.6	35.8	37.2	39.8	39.2	37.3
T2F (°C)	43.4	46.7	44.5	45.3	46.5	49.6	50.3	46.8
T3F (°C)	46.9	49.7	48.8	49.1	49.8	53	52.9	50.6
TST (°C)	45.1	48.1	46.5	47.1	48.2	51.4	51.6	48.4
TEF (°C)	32.1	35.1	34.7	34.2	35.9	39.2	38.7	35.4
TPF (°C)	52.1	52.3	50.3	50.6	51.9	55.1	54.3	52
TSF (°C)	50.1	50.9	48.7	49.3	48.2	53.3	52.3	50.6
FLUJO Kg/h	10.5	10.6	10.77	10.4	10.4	10.75	10.8	10.4
T1I (°C)	21	26	23	23	21	30	21	25
T2I (°C)	37	38	31	36	37	40	45	37
T3I (°C)	38	40	34	38	38	41.5	46	39
TEI (°C)	21	17.5	16	16	17	22	19	15
TSI (°C)	25	25	18	24.5	31	36.5	35	22
TII (°C)	33.25	35.5	29.8	33.25	33.25	37.9	39.25	34.5
TYF (°C)	41.48	45	43.4	43.88	45	48	48.18	45.4
TCI (°C)	23	21.25	17	20.25	24	29.3	26.5	18.5
TCF (°C)	41.1	43	41.7	41.75	42.05	39.5	45.5	43
t (h)	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.0	7.5	7.5
I (Kcal/m ² h)	673	702	779	688	738	760	807	749

QT (kcal/h)	62.548	72.2	103.33	80.788	89.3	82.25	67.87	82.24
QP (kcal/h)	12.3	14.79	16.79	14.616	12.3	7.43	12.91	16.66
QS (kcal/h)	197.4	219.42	214.32	206.96	235.04	254.78	280.8	214.24
QTOT (kcal/h)	272.248	306.41	334.44	302.364	336.64	344.46	361.58	313.74
QI (kcal/h)	552.06	575.85	639.01	564.366	605.38	623.43	661.98	614.4
η (%)	49.31	53.20	52.33	53.56	55.6	55.3	54.62	51.06
(TPF-TA)/I $\frac{^{\circ}\text{Cm}^2\text{h}}{\text{kcal}}$	37.44×10^3	33.76×10^3	31.45×10^3	29.8×10^3	30.75×10^3	29.08×10^3	31.13×10^3	31.04×10^3

$$A_c = 0.8203 \text{ m}^2$$

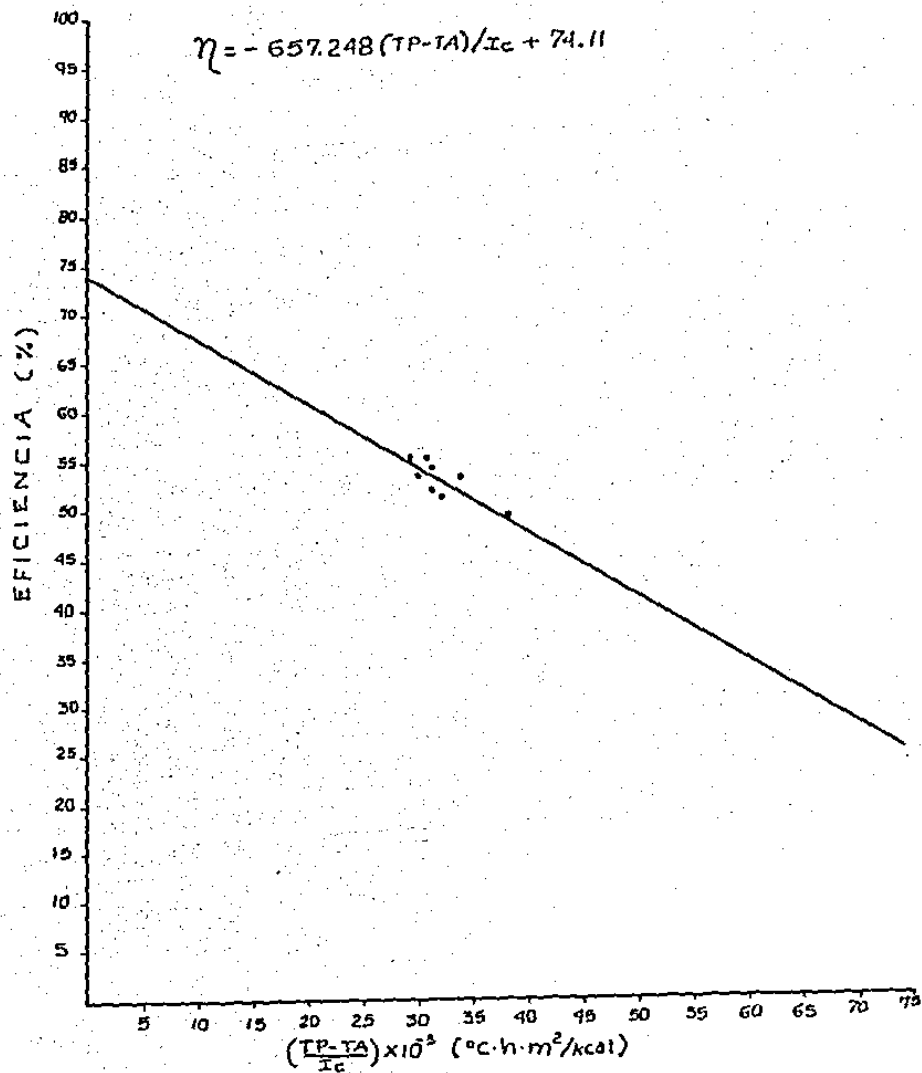
$$M_T = 57 \text{ Kg}$$

$$M_C = 5.0985 \text{ Kg}$$

$$C_p = 1 \text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$K_c = 1$$

Graficando η contra (TPF-TA)/I obtenemos la siguiente gráfica.

5.2.2.1 GRÁFICA DE EFICIENCIA CONTRA $(TP-TA)/I_c$ 

Mediante regresión lineal se obtuvo la ecuación

$$\eta = 74.11 - 657.248 (T_p - T_A) / I_c$$

La eficiencia máxima se obtiene cuando la temperatura de la placa se iguala con la del medio ambiente o sea $(T_p - T_A) / I_c = 0$. La eficiencia máxima sería del 74.11%.

El punto de estancamiento lo obtendríamos cuando la eficiencia sería igual a cero.

$$\eta = 0 = 74.11 - 657.248 (T_p - T_A) / I_c$$

$$\frac{T_p - T_A}{I_c} = \frac{74.11}{657.248} = 0.112758$$

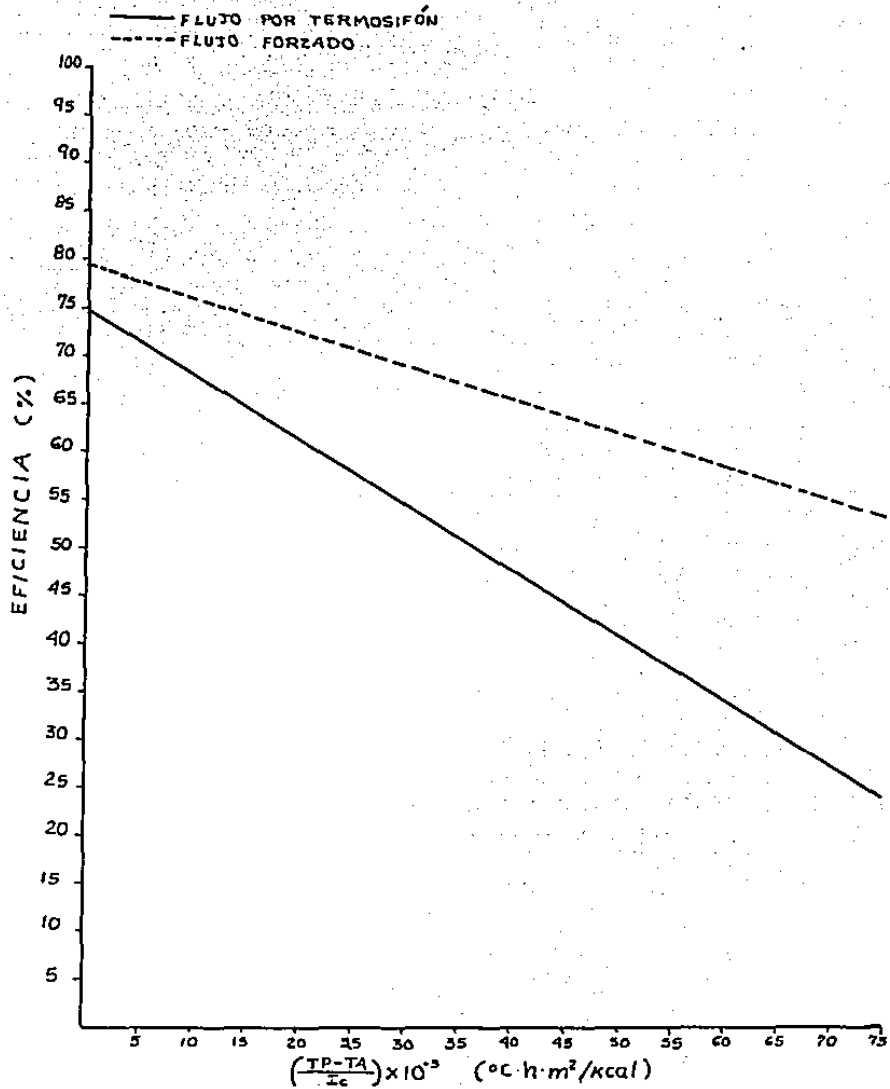
$$T_p = T_A + 0.112758 I_c$$

Si tenemos que en el mes de abril la insolación promedio diaria es de 795 kcal/m².h y la temperatura promedio durante el mes es de 29.8 °C.

$$T_p = 29.8 + 0.112758 (795) = 119.443 \text{ °C}$$

$$\text{PUNTO DE ESTANCAMIENTO } T_p = 119.443 \text{ °C}$$

COMPARACIÓN ENTRE SISTEMAS



5.3 COMPARACIÓN ENTRE DOS PLACAS DE DIFERENTES DISEÑOS

5.3.1 MÉTODO DE CÁLCULO

Puesto que en este caso solamente se está buscando -- qué tanto mejor es una placa con respecto a la otra mediante una relación de ecuaciones, podemos llegar a nuestro objetivo.

- NOMENCLATURA

* Placa con recubrimiento selectivo (Usada en flujo termosifón)

Temp. de entrada al colector (TE)_s

Temp. de salida del colector (TS)_s

Flujo masico a través del colector flujo (s)

Area del colector ACS

Eficiencia del colector η_s

* Placa sin recubrimiento selectivo (usada en flujo forzado)

Temp. de entrada al colector (TE)

Temp. de salida del colector TS

Flujo másico a través del colector flujo

Area del colector A_c

Capacidad calorífica C_p

Insolación I

Eficiencia del colector η

- PLACA CON RECUBRIMIENTO SELECTIVO

+ Calor absorbido

$$Q_{as} = \text{flujo (s)} \cdot C_p \cdot (T_S - T_E)_S$$

+ Calor que recibe

$$Q_{is} = \text{Acs} \cdot I$$

+ Eficiencia

$$\eta_s = Q_{as}/Q_{is} = [\text{flujo(s)} \cdot C_p \cdot (T_S - T_E)_s] / [\text{Acs} \cdot I]$$

- PLACA SIN RECUBRIMIENTO SELECTIVO

+ Calor absorbido

$$Q_a = \text{flujo} \cdot C_p \cdot (T_S - T_E)$$

+ Calor que recibe

$$Q_I = \text{Ac} \cdot I$$

+ Eficiencia

$$\eta = Q_a/Q_I = [\text{Flujo} \cdot C_p \cdot (T_S - T_E)] / [\text{Ac} \cdot I]$$

$$\frac{\eta_s}{\eta} = \frac{\text{Flujo(s)} \cdot C_p \cdot (T_S - T_E)_S}{\text{Acs} \cdot I} = \frac{\text{Flujo(s)} \cdot C_p \cdot (T_S - T_E)_s \cdot \text{Ac} \cdot I}{\text{Flujo} \cdot C_p \cdot (T_S - T_E) \cdot \text{Acs} \cdot I}$$

$$\frac{\eta_s}{\eta} = \frac{\text{Flujo(s)} \cdot (T_S - T_E)_s \cdot \text{Ac}}{\text{Flujo} \cdot (T_S - T_E) \cdot \text{Acs}} \quad \text{DONDE} \quad \text{ACS} = 0.8203$$

$$\text{AC} = 1.050625$$

$$\frac{\eta_s}{\eta} = \frac{1.050625 \text{ Flujo(s)} (T_S - T_E)_s}{0.8203 \text{ Flujo} (T_S - T_E)} = \frac{1.2808 \text{ Flujo(s)} (T_S - T_E)_s}{\text{Flujo} (T_S - T_E)}$$

5.3.2 DATOS OBTENIDOS COMPARACIÓN ENTRE PLACAS

VER APÉNDICE D

PLACA CON MATERIAL SELECTIVO

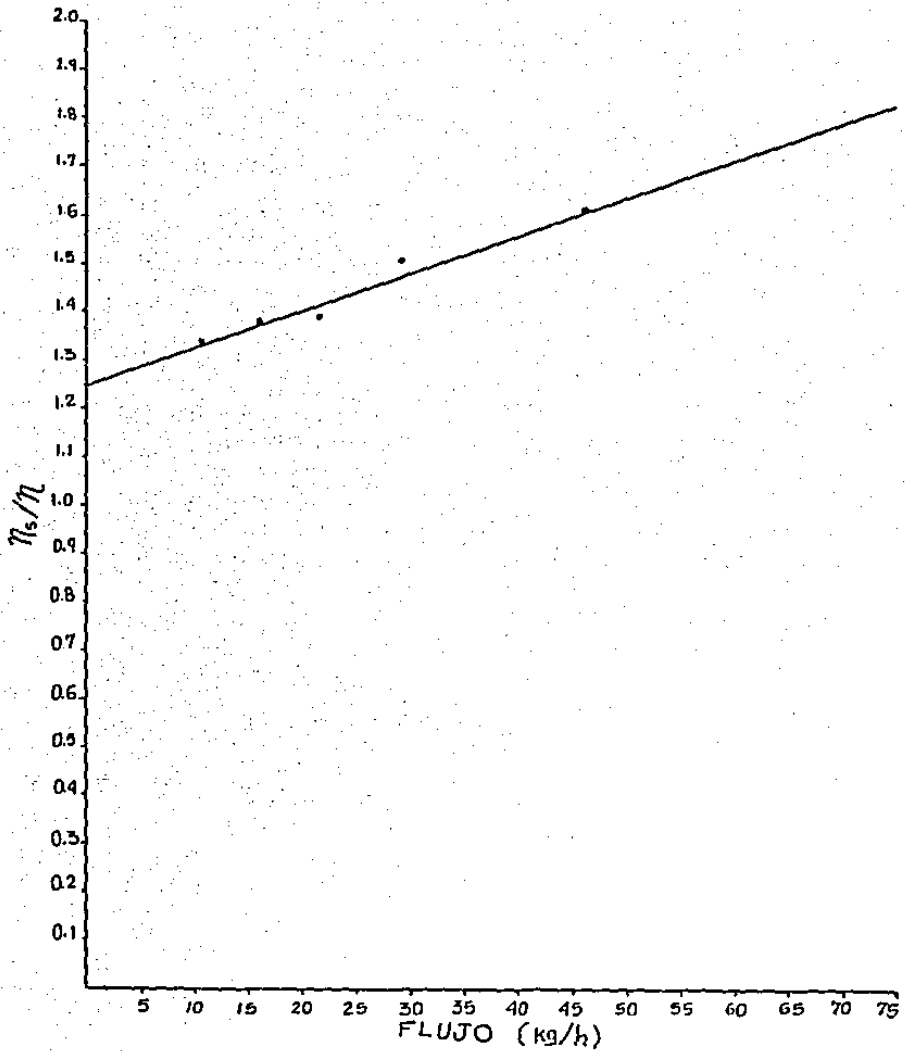
PLACA CON MATERIAL NEGRO
MATE COMERCIAL

RELACIÓN DE
EFICIENCIAS

$A_s = 0.8203 \text{ m}^2$

$A = 1.050625 \text{ m}^2$

FECHA	Condi- ciones	Flujo kg/h	TE °C	TP °C	TS °C	TA °C	Flujo kg/h	TE °C	TP °C	TS °C	Flujo medio kg/h	$\frac{\eta_s}{\eta}$
4-V-87	MS	10.31	28.8	62.3	60.8	30.65	10.9	30.7	61.4	59.7	10.605	1.3368
5-V-87	S	15.9	30.273	61.6	59.591	33.55	15.991	33.818	62.727	60.773	15.9455	1.3852
6-V-87	S	23.62	28.86	47.68	46.09	30.5	23.54	32	49.86	48	23.58	1.3839
7-V-87	N	29.15	27.5	41.25	37.55	28.4	27.83	29.3	42.05	38.25	28.49	1.5064
8-V-87	S	46.76	28.9	43.9	40.4	32.5	48.03	32.6	44.7	41.4	47.395	1.6295

5.3.2.1 GRAFICA DE η_s/η CONTRA FLUJO

Observando la gráfica se puede decir que la placa colectora con material selectivo es más eficiente que la placa sin material selectivo. La eficiencia depende mucho del diseño y en este caso el diseño de la placa con material selectivo es más eficiente para cualquier flujo que la placa que no tiene dicho recubrimiento.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

SISTEMA DE FLUJO FORZADO

El sistema de flujo forzado con las características específicas desde el punto de vista del diseño incluyendo los materiales y la estructura física funciona en condiciones óptimas para:

- Flujo másico de 33.694 Kg/h
- Eficiencia de 70.064%

Se obtuvo que para el mes de Abril se tiene:

- Punto de estancamiento de $T_p = 208.46^\circ\text{C}$
- Máxima eficiencia del 79.46%

El punto de estancamiento es un parámetro que es función de la insolación y de la temperatura ambiente lo que nos indica que dependiendo de las condiciones climatológicas este parámetro va a tener diferentes valores.

Ahora como se mencionó en uno de los capítulos anteriores éste no es el mejor diseño, pero para el objetivo trazado ha cumplido su misión, lo que se podría hacer pensando en aumentar la eficiencia del colector es utilizar un nuevo diseño cambiando únicamente los cabezales a medidas requeridas por el diseño como se calcularon en este trabajo; entre otros sería quitar el aserrín utilizado como -

aislante y dejarle únicamente una capa de aire para mejorar el aislamiento.

Haciendo estos cambios en forma anticipada se podría asegurar un aumento en la eficiencia.

También se podría utilizar esta placa en un sistema de flujo por termosifón lo que complementaría esta investigación y aumentaría el material de información para futuros trabajos sobre el tema.

En la gráfica comparativa con el termosifón observamos que en cualquier condición ambiente el sistema de flujo forzado tiene una eficiencia más alta que el sistema por termosifón, ya que al no utilizarse un termo, se están evitando las pérdidas debidas al almacenamiento en esta parte del equipo, pérdidas que se tendrán en un sistema operado ya que es forzoso el almacenamiento para dar servicio en las noches y en días soleados.

SISTEMA POR TERMOSIFÓN

Observando la gráfica del sistema por termosifón, nos dá los siguientes parámetros:

1) .- Eficiencia máxima del 74.11%

Como se observa, es menor que en el de flujo forzado; para el mes de abril se obtiene una temperatura del punto de estancamiento de 119.443 °C.

Si los flujos utilizados los compararemos contra los obtenidos mediante la gráfica de flujo forzado llegamos a la conclusión de que son menores, lo que nos indica que como sistemas en este caso específico para flujos iguales funciona mejor el de flujo forzado.

Con objeto de obtener mejores resultados se pueden hacer varios cambios en este sistema entre los cuales se propone cambiar el material de la carcasa a fibra de vidrio, aplicando el mismo criterio que en diseño de la carcasa para el colector de flujo forzado; además, - cambiar los cabezales calculandolos en base a la área de flujo de las rejillas (tubos aplanados), así como las tuberías y conexiones, también se podría cambiar a un diámetro mayor el vaso de expansión térmica pues se presentaron ciertos problemas, ya que al iniciar el fenómeno y calentar el agua cierta cantidad de aire disuelto en el agua así como vapor producido generaban burbujas que bloqueaban el paso de agua y como consecuencia evitaban la recirculación del agua.

Quizá algo muy importante que se debe tomar en cuenta es que para que pueda trabajar bien este sistema, tiene que estar bien nivelado y no tiene que haber burbujas de aire dentro del sistema.

Como se observa la comparación entre ambos sistemas existe una mejor eficiencia en el de flujo forzado, debería calcularse económicamente si la disminución en eficiencia es compensada por el ahorro en el sistema de bombeo, cálculo que no se incluye en los objetivos de este trabajo.

PLACAS DE DIFERENTES DISEÑOS

2) Diseño de las placas

Si observamos la gráfica fácilmente se puede deducir que para cualquier flujo la placa con material selectivo y diseño especial es mucho más eficiente que el colector sin material selectivo y diseño común.

Como diseño, el de placa de tubos prensados es mucho más eficiente pero sería cuestión de hacer un análisis económico y ver si el costo justifica el aumento en la eficiencia.

RESUMEN

El presente trabajo está dividido en tres partes, de las cuales todas tienen la misma importancia, y consisten en lo siguiente:

- 1.- Optimización de un sistema de calentamiento de agua mediante flujo forzado.
- 2.- Comparación entre dos sistemas de calentamiento de agua, uno por termosifón y el otro por flujo forzado.
- 3.- Comparación entre dos placas de absorción de diseños diferentes.

En el primero, se realizó una toma de datos durante varios días (soleados, medio soleados, medio nublados y nublados) a diferentes condiciones, con objeto de que fuera una muestra representativa, del funcionamiento del colector para cualquier día del año. Gracias a este muestreo se desarrolló el método ICGBC, utilizado para corregir, la insolación promedio diaria a partir de la insolación promedio mensual.

A partir de los datos experimentales, se obtuvieron las ecuaciones matemáticas, las cuales rigen con gran aproximación el comportamiento del colector, pudiendo optimizar el sistema distinguiendo entre agua caliente y eficiencia.

Para el segundo, se realizó un muestreo para cada sistema, usando condiciones semejantes durante varios días, en este caso específico se obtuvieron los resultados esperados, en base a las características de cada sis

tema la hipótesis planteaba que, un sistema de flujo forzado es más eficiente que uno por termosifón, lo cual se concluyó con satisfacción.

Para el tercero, se utilizaron solo las placas de absorción; en condiciones similares se muestreó durante varios días y se obtuvieron resultados satisfactorios, - indicando qué diseño es más eficiente. Además, surgen -- nuevas alternativas para variar y modificar el diseño en cada placa con objeto de hacerlas más eficientes.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos se concluye que el sistema de flujo forzado es más eficiente que el sistema de flujo por termosifón. A su vez presenta la versatilidad de poner un controlador de flujo variable que puede ser utilizado en épocas de gran nubosidad en las cuales sería más -- conveniente la utilización de un flujo menor. Se observó que en los tubos cercanos a las válvulas de drenaje había temperaturas más altas que en los otros tubos, esto se puede explicar ya que la formación de vapor pudo ser originada por fallas en la válvula que se obstruye con basuras.

Comparando los dos diseños de los colectores es más -- eficiente el diseño de tubos aplanados con material selectivo, tomando en cuenta como base lo antes ya discutido en el análisis de resultados.

Sería interesante que futuras investigaciones se hicieran en base al diseño propuesto en este trabajo, ya que se considera que es el más adecuado para utilizarse en -- cualquiera de los dos sistemas ya sea flujo por termosifón o flujo forzado.

A P É N D I C E A

**Gráficas utilizadas para factor de corrección
de la insolación Kc**

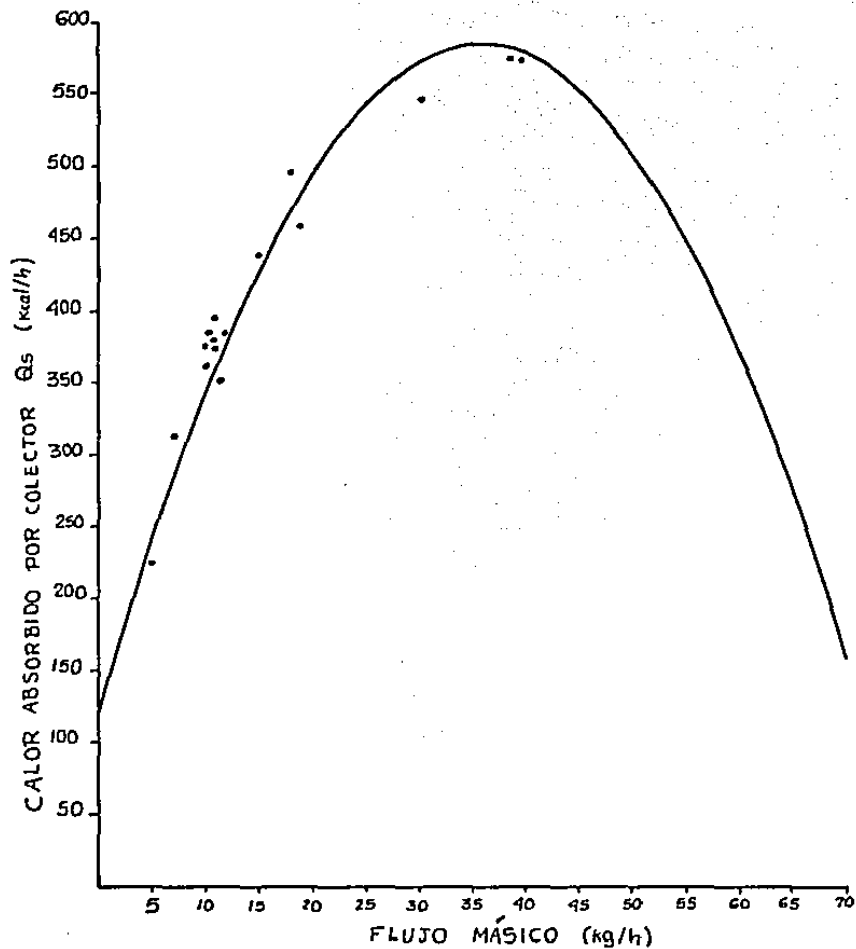
Las gráficas presentadas en este apéndice, fueron deducidas a partir de los datos experimentales, mediante el colector utilizado en el sistema de flujo forzado, utilizando el método estadístico de mínimos cuadrados para diferentes días respectivamente entre los cuales tenemos.

- Días soleados (S)
- Días medio soleados (MS)
- Días medio nublados (MN)
- Días nublados (N)

Por otra parte los valores de insolación promedio diaria se dedujeron a partir de la insolación promedio mensual que nos proporciona el Ing. José A. Manrique en su libro Energía Solar de Editorial Harla.

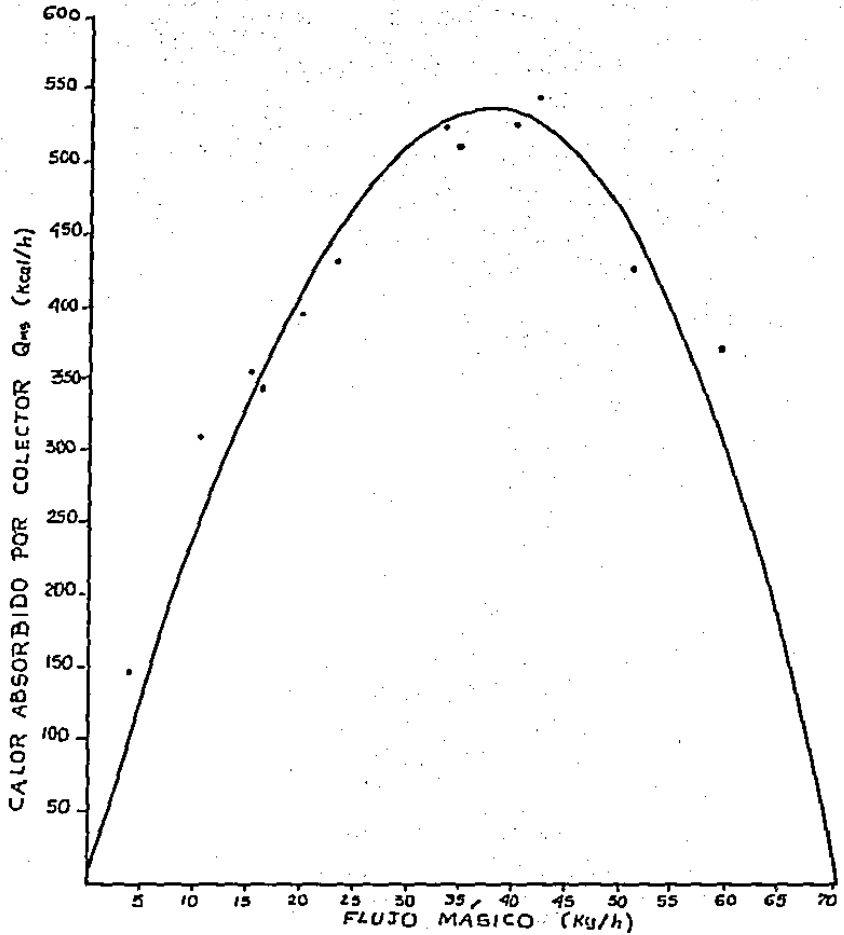
GRÁFICA A1 SOLEADO

$$Q_s = 120.4556 + 26.0638G - 0.3640 G^2$$



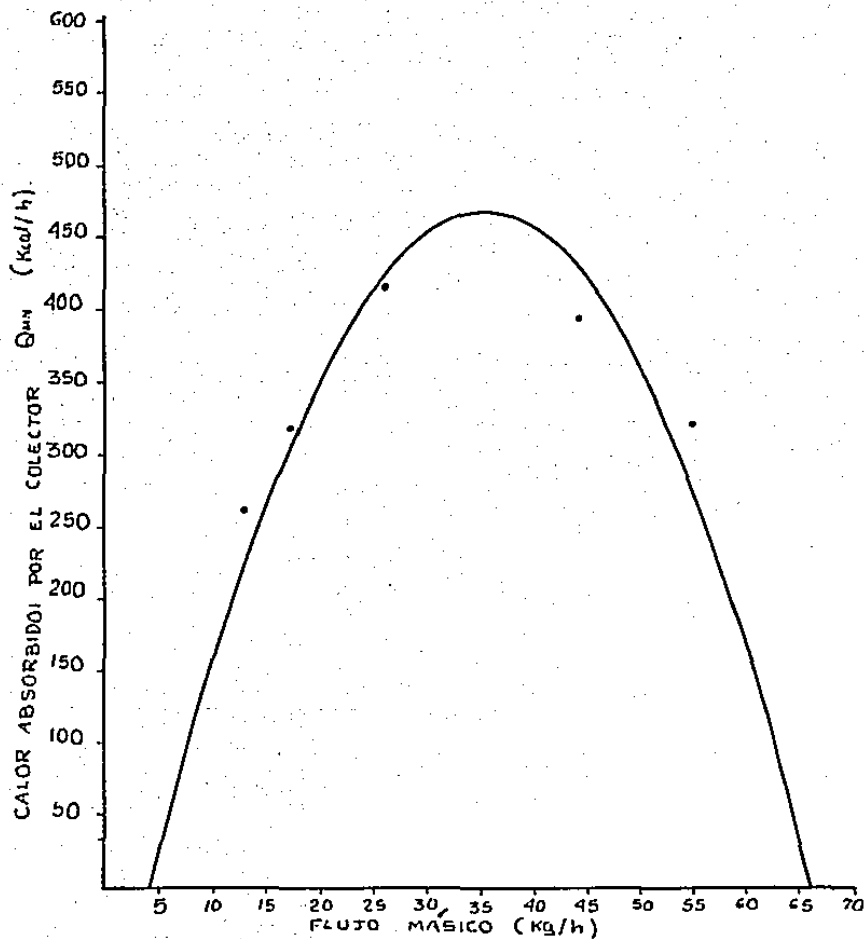
GRÁFICA A2 MEDIO SOLEADO

$$Q_{ms} = 1.5431 + 26.5676G - 0.2664G^2 - 0.0015G^3$$



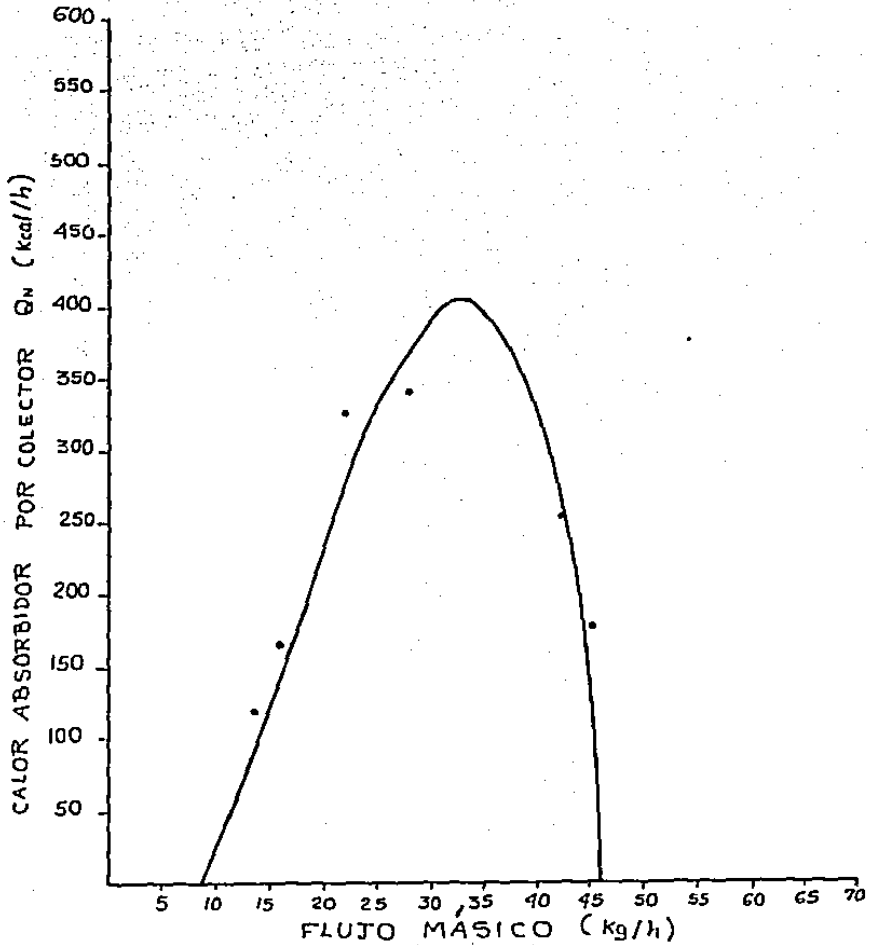
GRÁFICA A3 MEDIO NUBLADO

$$Q_{MN} = -118.6914 + 31.4738G - 0.3809G^2 + 0.0011G^3$$



GRÁFICA 19 NUBLADO

$$Q_N = -82.5653 - 1.1368G + 1.3966G^2 - 0.0278G^3$$



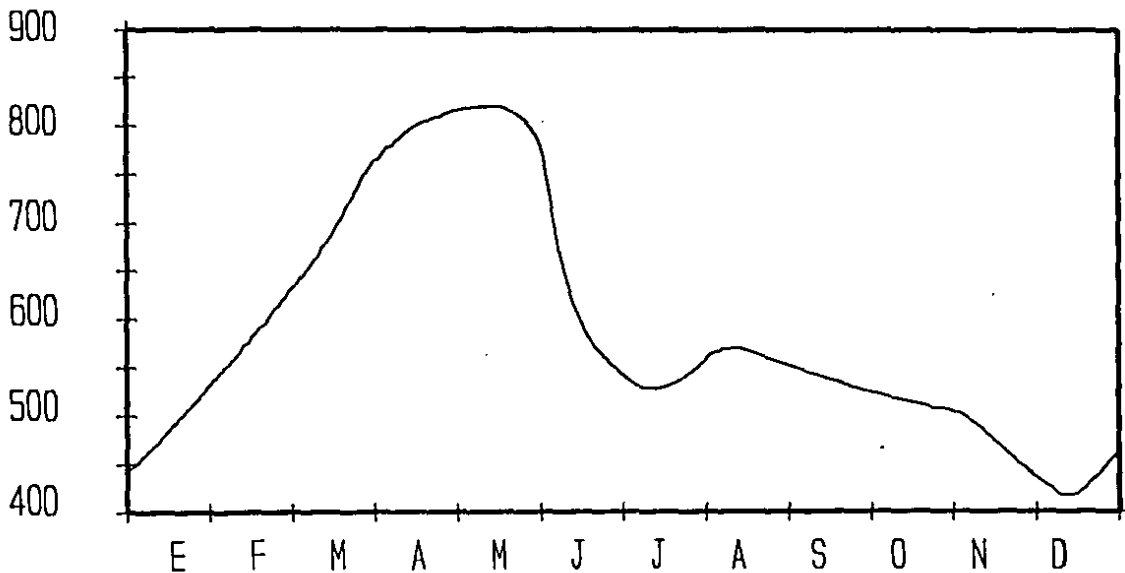
INSOLACIÓN PROMEDIO DIARIA (Kcal/m²h) ESTIMADA POR
 AJUSTE DE PROMEDIOS MENSUALES EN LA CD. DE GUADAJARA
 JARA JAL. PARTE ---- A ----

DIA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
1	444	534	623	756	814	797
2	446	538	628	760	815	793
3	449	540	631	764	815.5	788
4	451	544	634	765	816	781
5	454	546	638	768	816.5	770
6	457	550	642	772	817	755
7	459	552	644	775	818	733
8	462	556	649	778	818.5	714
9	465	558	652	779	819	700
10	468	561	656	781	819.5	682
11	470	564	660	784	820	671
12	472	569	663	786	820	660
13	476	573	666	788	820	648
14	479	574	673	791	820	637
15	482	577	676	793	820	629
16	485	582	680	795	820	620
17	488	584	684	797	820	612
18	491	588	688	799	820	606
19	494	591	694	800	820	599
20	498	594	698	802	819.5	593
21	500	596	702	803	819	587
22	503	600	707	804	818	583
23	506	604	713	805	816	579
24	509	608	718	807	815	575
25	512	611	723	808	814	571
26	515	613	728	809	813	568
27	518	617	733	809.5	811	565
28	522	620	738	810	809	561
29	524		744	812	807	559
30	528		749	813	804	555
31	531		752		801	

INSOLACIÓN PROMEDIO DIARIA (Kcal/m²h) ESTIMADA POR
 AJUSTE DE PROMEDIOS MENSUALES EN LA CD. DE GUADALA
 JARA JAL. PARTE --- B ---

DIA	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DIC.
1	552	548	556	529	508	450.
2	550	550	555	528	507.5	448
3	547	553	554	527	507	446
4	544	555	553	526	506	443
5	542	558	552	525.5	505.5	441
6	540	562	551	525	504	438
7	538	564	550	524	503.5	436
8	536	565	549	523.5	503	434
9	534	566	548	523	502	432
10	532	567	547	522	500	430
11	531	569	546	521	498	428
12	530	570	545	520.5	496	426
13	529	570	544	519.5	494	425
14	529	570	543.5	518.5	492	422
15	528	570	543	518	490	420
16	528	571	542	517.5	488	418
17	528	570	541	517	486	417.5
18	528	570	540	516	483	417
19	529	569	539	515.5	480	417
20	529	568	538	515	478	417
21	530	567	537	514	475	417.5
22	531	566	536.5	513.5	472	418
23	532	565	536	513	470	420
24	533	564	535	512	467	422
25	534	563	534	511.5	465	424
26	536	562	533	511	462	427
27	538	561	532.5	510	460	430
28	540	560	532	509	457	432
29	542	559	530	508	455	435
30	544	558	529.5	507.5	452	437
31	546	557		507		441

INSOLACIÓN PROMEDIO DIARIA (Kcal/m² h) EN LA CD. DE GUADALAJARA, JAL.



A P É N D I C E B

**Tablas B1, datos experimentales
sistema por flujo forzado días
soleados (S)**

TABLAS B1

16 de febrero 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	18	18	25	20	4.5	9:00
2	24	22	40	36	4.5	9:30
3	25	26	53	50	4.4	10:00
4	28	28	67	65	4.2	10:30
5	30	31	76	76	4.7	11:00
6	30	32	85	85	4.7	11:30
7	31	32	91	91	4.8	12:00
8	29	30	91	91	4.8	12:30
9	32	30	92	92	4.8	1:00
10	31.5	30.5	93	93	4.9	1:30
11	32	33	90	90	5.1	2:00
12	27	33	92	92	4.9	2:30
13	30	34	90	90	4.7	3:13
14	29	34	88	88	4.4	3:30
15	29	34	84	83.5	5.0	4:00
16	28.5	32	73	72	5.1	4:30

PROMEDIOS

$t = 7.5h$
 $I = 582 \text{ kcal/h.m}^2$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 SOLEADO

$TA = 28.688^\circ\text{C}$
 $TE = 30.286^\circ\text{C}$
 $TP = 78.791^\circ\text{C}$
 $TS = 77.958^\circ\text{C}$
 $\text{Flujo} = 4.721 \text{ kg/h}$

17 de Febrero 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	17	18	24	19	7.2	9:00
2	24.5	22	38	35	7.2	9:30
3	26.5	24	52	49	7.1	10:00
4	27.5	25	63	60.5	7.0	10:30
5	28	26	70	68	6.8	11:00
6	29	28	76	74	6.9	11:30
7	30	30	82	80.5	7.0	12:00
8	29.5	30	88	87	7.0	12:30
9	29	31.5	91	90.5	7.0	1:00
10	29	31.5	90	89.5	7.4	1:30
11	27.5	32	87	85.5	7.2	2:00
12	27.5	33	91	90.5	6.9	2:30
13	27	33	88	87	6.7	3:00
14	26.5	32.5	83	82	7.2	3:30
15	27	33	77	75.5	7.2	4:00
16	26	33	73	71	7.8	4:30

PROMEDIOS

$t = 7.5 \text{ h}$
 $I = 584 \text{ kcal/h.m}^2$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 SOLEADO

$TA = 27.333^\circ\text{C}$
 $TE = 29.133^\circ\text{C}$
 $TP = 74.967^\circ\text{C}$
 $TS = 73.300^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 7.073^\circ\text{C}$

10 de marzo 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	17	20	28	24	10.2	9:00
2	21.5	22	37	34	10.2	9:30
3	22.5	24	47	44	10.8	10:00
4	24.5	25	54	52	10.6	10:30
5	29	27	63	60.5	10.6	11:00
6	26.5	28	70	67.5	10.1	11:30
7	28.5	29	72	70	10.0	12:00
8	27	29	75	73	10.2	12:30
9	30	30	77	75.5	10.6	1:00
10	31	32	80	79	10.3	1:30
11	31	31	78	77	10.7	2:00
12	33.5	32	80	79	10.0	2:30
13	33	32	79	78	10.0	3:00
14	33	33	75	74	10.0	3:30
15	31	33	71	69.5	10.6	4:00
16	32.5	31	68	66	11.2	4:15

PROMEDIOS

 $t = 7.25 \text{ h}$ $I = 656 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$ $A = 1.050625 \text{ m}^2$ $C_p = 1 \text{ kcal/hg}^\circ\text{C}$

SOLEADO

TA = 28.336°C

TE = 28.724°C

TP = 66.983°C

TS = 65.112°C

FLUJO = 10.341 kg/h

11 de marzo de 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	19	20	26	22	10.2	9:00
2	20	22	38	35	10.2	9:30
3	20	24	48	45	10.4	10:00
4	24.5	26	60	58	10.2	10:34
5	24.5	26	64	62	10.4	11:00
6	25	27	68	66	10.4	11:30
7	28.5	28	73	71.5	10.2	12:00
8	31.5	29	76	75	10.2	12:30
9	30	30	77	76	10.4	1:00
10	32	31	79	78	10.5	1:30
11	32	32	79	78	10.2	2:00
12	31.5	32	78	77	10.3	2:38
13	32	32.5	74	73	10.9	3:00
14	32	33	73	72	10.3	3:30
15	31	32	59	57	10.8	4:00
16	31	32	62	60	11.6	4:15

PROMEDIOS

$t = 7.25 \text{ h}$
 $I = 660 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 SOLEADO

$TA = 27.841^\circ\text{C}$
 $TE = 28.572^\circ\text{C}$
 $TP = 66.162^\circ\text{C}$
 $TS = 64.468^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 10.387 \text{ kg/h}$

18 de febrero 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	21	18	24	20	12.1	9:00
2	25	20.5	36	32.5	12.1	9:30
3	23	23	47	45	10.6	10:00
4	25.5	24	56	54	10.2	10:30
5	25.5	25.5	63	61.5	9.9	11:00
6	25	27	70	68	10.2	11:30
7	27	28	72	70.5	10.1	12:00
8	32.5	30	78	77	9.7	12:30
9	29	30.5	82	80.5	10.0	1:00
10	33	30.5	82	81	9.7	1:30
11	32.5	32	78	76	10.6	2:00
12	31.5	32	80	79	10.5	2:30
13	26.5	32	77	75.5	10.3	3:00
14	30	33	74	73	10.4	3:30
15	28	33	69.5	68.5	10.4	4:00
16	28	33	65	63	11.2	4:30

PROMEDIOS

$t = 7.5 \text{ h}$
 $I = 588 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 SOLEADO

$TA = 27.966^\circ\text{C}$
 $TE = 28.433^\circ\text{C}$
 $TP = 67.267^\circ\text{C}$
 $TS = 65.562^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 10.443 \text{ kg/h.}$

2 de marzo 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	24	17	31	27	12.7	9:17
2	29	18	37	33	12.0	9:35
3	24	20	44	41	11.0	10:00
4	26	21	46	43	9.8	10:30
5	29	22	57	55.5	10.4	11:00
6	32	24	68	66	10.5	11:30
7	29	26	74	73	10.3	12:00
8	29	26	72	71	10.4	12:30
9	29	27	78	77	10.3	1:00
10	31	27.5	78	77	10.0	1:30
11	30	28	71	70	10.5	2:00
12	30	28	66	65	10.3	2:30
13	30.5	28	63	61	9.6	3:00
14	30	30	70	68	10.4	3:30
15	31	31	65	63	11.0	4:00
16	30	30	65	63	11.2	4:15

PROMEDIOS

$t = 6.967 \text{ h.}$
 $I = 628 \text{ kcal/m}^2\text{.h.}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 SOLEADO

$TA = 29.155^\circ\text{C}$
 $TE = 25.759^\circ\text{C}$
 $TP = 63.453^\circ\text{C}$
 $TA = 61.638^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 10.481 \text{ kg/h.}$

3 de marzo 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	15	20	26	22	10.8	9:00
2	18	21.5	36	33	10.8	9:30
3	30	23	48	45	10.8	10:00
4	28	24	55	53	10.8	10:30
5	29	26	60	58.5	10.2	11:00
6	30	26	65	63	10.5	11:30
7	30.5	28	69	67	10.1	12:00
8	29	29	73	72	10.4	12:30
9	32	30	78	77	10.4	1:00
10	31	30	78	77	10.4	1:30
11	32	31	76	75	10.8	2:00
12	33	32	77	76	10.5	2:30
13	31.5	32	78	77	11.0	3:00
14	33	33	76	75	10.6	3:30
15	32	34	74	72.5	10.2	4:00
16	32	30	71	70	10.4	4:15

PROMEDIOS

t = 7.25 h.	TA = 29.415°C
I = 631.0 kcal/m ² h.	TE = 28.169°C
A = 1.050625 m ²	TP = 65.879°C
Cp = 1 kcal/kg°C	TS = 64.217°C
SOLEADO	FLUJO = 10.548°C

9 de marzo 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	22	20	26	22	10.8	9:00
2	19	20	37	34	10.8	9:30
3	22	22	48	45.5	10.9	10:00
4	22	24	57	55	10.3	10:30
5	22.5	24	63	61	10.6	11:00
6	26	26	69	67	10.6	11:30
7	25	27.5	74	72	10.6	12:00
8	28	28	76	74	10.4	12:30
9	27.5	29	74	72	10.6	1:02
10	29	30	81	80	10.3	1:30
11	29	31	79	78	10.0	2:06
12	28	31	79	77.5	10.4	2:30
13	28	32	78	77	10.1	3:00
14	28	32	73	71.5	10.8	3:30
15	28	32	68	66.5	11.3	4:00
16	28	32	67	65	11.1	4:13

PROMEDIOS

TA = 25.717°C

TE = 27.449°C

TP = 66.806°C

TS = 64.936°C

FLUJO = 10.551 kg/h.

 $t = 7.217 \text{ h}$ $I = 652 \text{ kcal/h.m}^2$ $A = 1.050625 \text{ m}^2$ $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$

SOLEADO

4 de marzo 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	20	20	32	28	11.0	9:00
2	20	21	35	32	11.0	9:30
3	19	23	44	40.5	10.0	10:00
4	22	25	56	53	10.3	10:30
5	22.5	25	62	60	10.6	11:00
6	23	26	64	62.5	10.5	11:30
7	25.5	27	71	70	10.0	12:00
8	27	28	74	73	10.6	12:30
9	27	29	77	75.5	10.6	1:00
10	28	30	79	78	10.4	1:30
11	27	28	66	65	10.9	2:08
12	24	30	72	71	11.3	2:34
13	28	33	66	64	10.8	3:00
14	27	33	69	68	10.9	3:30
15	29	33	65	63	11.2	4:00
16	27	31	65	63.5	10.6	4:30

PROMEDIOS

$t = 7.5 \text{ h}$
 $I = 634 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 SOLEADO

$TA = 24.864^\circ\text{C}$
 $TE = 27.744^\circ\text{C}$
 $TP = 63.296^\circ\text{C}$
 $TS = 61.483^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 10.652^\circ\text{C}$

12 de marzo de 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	21	22	29	25	10.3	9:00
2	21.5	24	39	36	10.3	9:30
3	22.5	26	50	47	10.6	10:00
4	25	27	60	58	10.6	10:30
5	27	28	64	62	11.0	11:00
6	27	29	71	69	10.6	11:30
7	29	29	73	72	10.3	12:00
8	31	30	73	72	11.0	12:30
9	33	31	75	74	11.0	1:00
10	32	31	76	75	11.0	1:35
11	32	32	76	75	10.9	2:00
12	29	32	71	70	10.3	2:30
13	31	32	60	58	11.6	3:00
14	32	32	61	59	11.2	3:30
15	31	32	61	59	11.0	4:00
16	31	32	61	59	11.2	4:15

PROMEDIOS

$t = 7.25 \text{ h.}$
 $I = 663 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
SOLEADO

$TA = 28.523^\circ\text{C}$
 $TE = 29.374^\circ\text{C}$
 $TP = 63.753^\circ\text{C}$
 $TS = 61.960^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 10.801 \text{ kg/h.}$

19 de febrero de 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	20	18	24	20	12.4	9:00
2	24	21	34	31	12.4	9:30
3	26.5	23	43	41	12.6	10:00
4	23	24	51	49	12.1	10:30
5	22	25.5	57	55.5	12.2	11:00
6	24.5	26	64	62	11.8	11:30
7	27	28	65	63	11.8	12:00
8	24	28	69	68	11.9	12:30
9	27	29	72	71	11.8	1:00
10	31	30	73	72	11.9	1:30
11	26	30	70	69	12.3	2:00
12	26.5	31	73	71.5	12.3	2:30
13	28	32	71	70	12.0	3:00
14	27	32	68	67	13.2	3:30
15	27	32	65	63	12.0	4:00
16	27	32	61	58	12.9	4:30

PROMEDIOS

$t = 7.5 \text{ h}$
 $I = 591 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$

$TA = 25.799^\circ\text{C}$
 $TE = 27.764^\circ\text{C}$
 $TP = 61.167^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 12.197 \text{ kg/h.}$

SOLEADO

5 de marzo 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	13	17	22	18	13.0	9:00
2	14.5	18	31	28	13.0	9:30
3	16	19	37	34	16.6	10:00
4	17	20	44	42	17.0	10:30
5	22	21	50	48	15.8	11:00
6	18	22.5	57	55	15.0	11:30
7	20	24	59	57.5	15.0	12:00
8	22	25	62	60	15.0	12:30
9	23	25	64	63	15.0	1:00
10	25	26	66	65	14.8	1:30
11	24	27	65	64	14.9	2:00
12	25	28	66	65	14.8	2:30
13	25	28	65	64	14.7	3:00
14	26.5	29	62	60	15.2	3:30
15	26	30	59	57	15.6	4:00
16	26	28	57	55	17.3	4:16

PROMEDIOS

$t = 7.267 \text{ h.}$
 $I = 6.38 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 SOLEADO, VIENTO

$TA = 21.425^\circ\text{C}$
 $TE = 24.184^\circ\text{C}$
 $TP = 55.004^\circ\text{C}$
 $TS = 53.179^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 15.128^\circ\text{C}$

17 de marzo 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	IIORA
1	23	22	34	30	19.0	9:00
2	25	22	39	35	19.0	9:30
3	26	24	47	44	18.6	10:07
4	28	26	56	53	18.2	10:50
5	28	26	58	55	17.4	11:00
6	34	28	62	59	17.9	11:30
7	32	29	64	62	17.6	12:03
8	35	32	78	77	13.3	12:41
9	31	30	66	64	18.2	1:00
10	33	32	66	65	19.0	1:30
11	34	33	68	67	18.2	2:00
12	30	32	60	58	16.6	2:30
13	34	36	70	69	16.6	3:00
14	32	35	63	62	18.1	3:30
15	31	36	60	58	19.2	4:00
16	32	36	60	58	19.2	4:15

PROMEDIOS

$t = 7.25 \text{ h.}$
 $I = 684 \text{ kcal/h.m}^2$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$

SOLEADO

$TA = 30.611^\circ\text{C}$
 $TE = 29.689^\circ\text{C}$
 $TP = 59.806^\circ\text{C}$
 $TS = 57.653^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 17.794 \text{ kg/h.}$

18 de marzo 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	17	20	27	23	19.0	9:00
2	20	21	34	30	19.0	9:30
3	22	23	41	38	19.6	10:00
4	28	24	47	44.5	19.5	10:32
5	30	25	50	48	20.0	11:00
6	27	26	52	50	20.0	11:30
7	28	28	57	55	19.0	12:00
8	29	28	59	57	18.0	12:30
9	32	30	64	62	17.7	1:00
10	34	32	65	63	17.8	1:30
11	33.5	33	66	64	18.1	2:00
12	35	34	65	64	19.0	2:30
13	35	34	65	64	18.6	3:00
14	36	36	63	62	18.2	3:30
15	35	36	62	60	18.8	4:00
16	36	36	62	60	19.2	4:15

PROMEDIOS

$t = 7.25 \text{ h.}$
 $I = 688 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h.}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
SOLEADO

$TA = 29.861^\circ\text{C}$
 $TE = 28.961^\circ\text{C}$
 $TP = 55.393^\circ\text{C}$
 $TS = 53.287^\circ\text{C}$
FLUJO = 18.820 kg/h.

30 de marzo de 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	22	20	27	23	31.1	9:00
2	22	22	32	29	31.1	9:32
3	23	24	38	35	31.1	10:00
4	27	25	43	40	29.6	10:30
5	29	26	46	43	31.7	11:00
6	32	29	50	48	32.1	11:32
7	33	30	54	52	31.1	12:00
8	32	32	60	57.5	29.2	12:30
9	34	32	57	55	30.2	1:00
10	34	33	58	56	29.4	1:30
11	34	34	58	56	30.8	2:00
12	34	34	57	55	29.8	2:30
13	33	35	57	55	30.0	3:00
14	36	34	55	53	30.2	3:30
15	35	34	52	50	30.0	4:00
16	35	34	52	50	29.6	4:15

PROMEDIOS

$t = 7.25 \text{ h.}$
 $I = 749.0 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h.}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 SOLEADO

$TA = 30.954^\circ\text{C}$
 $TE = 29.913^\circ\text{C}$
 $TP = 50.336^\circ\text{C}$
 $TS = 47.952^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 30.467 \text{ kg/h.}$

2 de abril 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	25	24	30	26	37.2	9:00
2	26	25	34	31.5	37.2	9:30
3	28	27	42	38	37.0	10:00
4	28	28	45	42	36.2	10:30
5	31	29	48	45.5	36.6	11:00
6	31	30	50	48	37.0	11:30
7	31	32	52	50	36.0	12:00
8	36	33	54	52	36.6	12:30
9	36	34	55	53	36.2	1:00
10	35	34	55	53	37.2	1:30
11	38	35	56	54	36.8	2:00
12	34	35	55	53	37.2	2:30
13	39	35	54	52.5	37.0	3:00
14	38	36	53	51.5	37.4	3:30
15	38	35	51	49	38.2	4:00
16	38	35	51	49	37.2	4:15

PROMEDIOS

$t = 7.25 \text{ h}$
 $I = 760 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 SOLEADO

$TA = 33.241^\circ\text{C}$
 $TE = 31.724^\circ\text{C}$
 $TP = 49.586^\circ\text{C}$
 $TS = 47.310^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 36.893 \text{ kg/h.}$

3 de abril 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	21	20	28	24	38.8	9:00
2	21	21	32	28	38.8	9:30
3	22	24	38	35	35.6	10:00
4	27	26	41	38	38.4	10:30
5	28	26	44	41	39.0	11:00
6	29	28	47	45	37.4	11:30
7	30	29	48	46.5	37.8	12:00
8	30	30	51	49	36.9	12:30
9	30	30	52	50	37.5	1:00
10	31	31	51	49	39.4	1:30
11	30	32	50	48	40.1	2:00
12	34	32	52	50	41.6	2:30
13	36	34	53	51	37.8	3:00
14	35	34	51	49	38.4	3:30
15	34	34	49	47	38.4	4:00
16	34	34	49	47	38.4	4:15

PROMEDIOS

$t = 7.25 \text{ h}$
 $I = 764 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h.}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
SOLEADO

$TA = 29.483^\circ\text{C}$
 $TE = 29.034^\circ\text{C}$
 $TP = 46.414^\circ\text{C}$
 $TS = 44.034^\circ\text{C}$
FLUJO = 38.379 kg/h.

A P É N D I C E B

**Tablas B2, datos experimentales
sistema por flujo forzado días
medio soleados (MS)**

TABLAS B2

13 de febrero 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	16	19	26	23	7.2	9:17
2	17	20.5	33	29.5	7.2	9:37
3	19	25	46	44	4.32	10:02
4	19.5	24	51	49	4.71	10:30
5	19.5	26.5	62	60	3.9	11:10
6	21	28	64	63	6.8	11:33
7	21	30	76	75	4.0	12:01
8	21	27	69	70	3.8	12:30
9	25	27	63	61.5	4.0	1:00
10	23	27	63	61	3.7	1:30
11	23	28	67	65	3.7	2:00
12	26	30	74	73	3.7	2:30
13	24	28	65	64	4.0	3:01
14	29	30	69	68	3.8	3:30
15	27	30	74	73	3.8	4:00
16	22	27.5	66	65	3.8	4:30

PROMEDIOS

$t = 7.217$ h
 $I = 340.2$ kcal/h.m²
 $A = 1.050625$ m²
 $C_p = 1$ kcal/kg°C
 MEDIO SOLEADO

TA = 22.436°C
 TE = 27.118°C
 TP = 62.317°C
 TS = 60.892°C
 FLUJO = 4.313 kg/h.

13 de marzo de 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	23	21	29	25	11.2	9:00
2	22	22	38	35	11.2	9:30
3	23	24	46	43	10.2	10:00
4	23.5	25	55	53	10.7	10:30
5	25.5	27	62	60	10.3	11:00
6	26.5	27	63	61	9.8	11:30
7	26.5	28	66	64	10.1	12:00
8	29.5	29.5	71	70	11.4	12:30
9	28	28	65	63	11.3	1:00
10	31	29	63	61	11.2	1:30
11	27	30	71	70	11.2	2:00
12	28	30	66	66	10.4	2:30
13	31	30	58	56	10.8	3:00
14	27.5	30	53	51	10.8	3:30
15	28	30	53	51	10.8	4:00
16	29	31	54	52	10.8	4:15

PROMEDIOS

$t = 7.25$ h
 $I = 503.2$ kcal/h.m².
 $A = 1.050625$ m²
 $C_p = 1$ kcal/kg°C
 MEDIO SOLEADO

TA = 26.810°C
 TE = 27.603°C
 TP = 58.259°C
 TS = 56.328°C
 FLUJO = 10.745°C

24 de febrero 1987

Flujo forzado

No. :	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	19	16	25	21	15.0	9:00
2	22	18	32	28	15.0	9:30
3	23	19	37	34	14.3	10:00
4	23	20	42	39	15.2	10:30
5	26	22	49	47	15.0	11:00
6	28	24	53	51	15.1	11:30
7	27	25	63	62	14.2	12:00
8	28	26	63	62	14.8	12:30
9	26	27	65	64	15.0	1:00
10	27.5	28	66	65	15.0	1:30
11	28	29	65	64	15.0	2:00
12	23.5	28	60	58	15.4	2:30
13	28	30	51	48	15.4	3:00
14	24	30	43	40.5	15.6	3:30
15	22	30	43	40	15.2	4:00
16	21	30	37	34	15.8	4:30

PROMEDIOS

$t = 7.5 \text{ h}$
 $I = 481.5 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 MEDIO SOLEADO

$TA = 25.067^\circ\text{C}$
 $TE = 25.267^\circ\text{C}$
 $TP = 50.867^\circ\text{C}$
 $TS = 48.667^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 15.040 \text{ kg/h.}$

6 de marzo 1987

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	14	16	23	19	17.6	9:00
2	15	18	31	27	17.6	9:30
3	18	20	40	36.5	17.6	10:00
4	19.5	21	49	45.5	15.5	10:30
5	20	22	53	51	15.5	11:00
6	22	24	58	56.5	15.6	11:30
7	24	25	62	60	15.9	12:05
8	27	27	69	67	15.4	12:32
9	23	26	59	57	15.6	1:00
10	23	25	38	36	17.5	1:33
11	22	26	43	41	16.8	2:00
12	22	27	40	38	16.4	2:30
13	26	28	46	44	16.5	3:06
14	26	28	46	44	15.9	3:30
15	25	27	45	43	16.8	4:00
16	26	27	45	43	16.6	4:30

PROMEDIOS

$t = 7.5 \text{ h}$
 $I = 516.8 \text{ kcal/m}^2\text{h.}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 MEDIO SOLEADO

$TA = 22.118^\circ\text{C}$
 $TE = 24.341^\circ\text{C}$
 $TP = 47.492^\circ\text{C}$
 $TS = 45.128^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 16.381 \text{ kg/h.}$

23 de marzo 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	22	20	29	25	22.0	9:00
2	22.5	22	33	30	22.0	9:30
3	25	24	41	38	20.8	10:00
4	26.5	26	47	44	20.0	10:30
5	28	26	53	50	20.1	11:00
6	30	28	57	55	21.4	11:30
7	32	29	57	55	18.4	12:00
8	32	30	56	54	20.6	12:30
9	31	30	55	53	19.2	1:00
10	32	31	53	51	20.0	1:30
11	31	32	53	52	19.5	2:00
12	32	34	61	59	20.3	2:30
13	32	34	59	57	18.8	3:00
14	34	34	58	56	20.1	3:30
15	32	34	48	46	19.2	4:00
16	30	33	47	44	19.5	4:30

PROMEDIOS

 $t = 7.5 \text{ h.}$ $I = 594.6 \text{ kcal/h.m}^2$ $A = 1.050625 \text{ m}^2$ $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$

MEDIO SOLEADO

TA = 29.733°C

TE = 29.367°C

TP = 51.267°C

TS = 48.967°C

FLUJO = 20.097 kg/h.

25 de marzo de 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	25	20	31	27	23.4	9:00
2	23	20	29	25	23.4	9:30
3	29	23	39	36	23.4	10:00
4	31	25	46	44	23.0	10:30
5	33	26	50	48	23.0	11:00
6	31	27	54	52	23.5	11:30
7	28	26	37	35	23.2	12:00
8	28	28	41	39	23.6	12:30
9	35	31	55	53	24.2	1:00
10	34	31	55	53	22.2	1:30
11	36	32	60	58	24.0	2:00
12	35	33	61	59	23.6	2:30
13	34	33	60	58	22.2	3:00
14	33	33	57	55	22.6	3:30
15	30	33	53	52	23.2	4:00

PROMEDIOS

$t = 7 \text{ h.}$
 $I = 616 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h.}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 MEDIO SOLEADO

$TA = 31.25^\circ\text{C}$
 $TE = 28.179^\circ\text{C}$
 $TP = 49.000^\circ\text{C}$
 $TS = 46.750^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 23.229 \text{ kg/h.}$

31 de marzo 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	18	20	26	22	32.8	9:00
2	22	22	32	29	32.8	9:30
3	22	24	38	35	34.3	10:01
4	23	25	42	39	33.7	10:30
5	25	26	45	43	31.9	11:01
6	27	27	43	41	32.5	11:30
7	30	28	50	48	32.6	12:00
8	29	30	52	50	32.6	12:30
9	30	31	53	51	32.8	1:00
10	31	32	54	52	34.0	1:30
11	32	32	54	52	32.9	2:04
12	34	33	55	53	31.2	2:30
13	39	33	53	51	33.2	3:00
14	34	34	52	50	32.2	3:30
15	34	34	49	47.5	33.0	4:00
16	34	34	50	48	33.2	4:15

PROMEDIOS

$t = 7.25 \text{ g}$
 $I = 682.0 \text{ kcal/m}^2\cdot\text{h.}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 MEDIO SOLEADO

$TA = 29.016^\circ\text{C}$
 $TE = 29.024^\circ\text{C}$
 $TP = 47.241^\circ\text{C}$
 $TS = 44.99^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 32.841 \text{ kg/h.}$

7 de abril 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	21	22	29	25	35.2	9:00
2	24	24	34	30	35.2	9:30
3	28	26	40	37	34.5	10:00
4	28	27	43	40	34.8	10:30
5	29	28	47	44	36.0	11:00
6	30	30	50	47	33.8	11:30
7	31	30	51	48	34.2	12:00
8	33	32	52	50	34.0	12:30
9	36	32	52	50	34.2	1:00
10	37	33	53	50.5	34.6	1:30
11	36	34	53	50.5	35.8	2:00
12	35	34	52	50	35.8	2:30
13	38	34	52	50	33.6	3:00
14	35	34	51	49	35.2	3:30
15	38	34	50	48	35.8	4:00
16	38	34	50	48	35.6	4:15

PROMEDIOS

$t = 7.25 \text{ h.}$
 $I = 690.2 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 MEDIO SOLEADO

$TA = 32.310^\circ\text{C}$
 $TE = 30.552^\circ\text{C}$
 $TP = 47.897^\circ\text{C}$
 $TS = 45.276^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 34.831 \text{ kg/h.}$

6 de abril 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	20	20	29	25	40.8	9:00
2	20	21	31	28	40.8	9:30
3	24	22	36	33	41.0	10:00
4	26	26	40	37	41.4	10:30
5	28	28	44	42	40.8	11:00
6	28	29	45	43	31.6	11:30
7	32	30	47	45	39.4	12:00
8	31	31	49	47	43.6	12:30
9	32	32	50	48	41.0	1:00
10	32	32	51	49	41.0	1:30
11	32	32	50	48	41.4	2:00
12	30	32	49	47	42.4	2:30
13	31	32	44	42	40.4	3:00
14	31	32	47	45	40.8	3:30
15	32	32	46	44	39.8	4:00
16	32	32	46	44	39.6	4:15

PROMEDIOS

$t = 7.25 \text{ h}$
 $I = 700.2 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 MEDIO SOLEADO

$TA = 28.897^\circ\text{C}$
 $TE = 29.034^\circ\text{C}$
 $TP = 44.724^\circ\text{C}$
 $TS = 42.103^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 40.397 \text{ kg/h.}$

7 de abril 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	22	21	27	23	42.3	9:00
2	19	22	29	25	42.3	9:36
3	20	23	33	30	40.5	10:00
4	23	25	34	31	39.4	10:37
5	24	26	38	35	41.5	11:00
6	26	26	38	35	42.2	11:30
7	28	28	45	42	41.8	12:00
8	30	29	45	43	42.6	12:30
9	32	30	47	45	42.0	1:00
10	32	30	44	42	42.6	1:30
11	32	32	46	44	43.8	2:00
12	30	32	43	41	45.4	2:30
13	29	31	41	38	43.8	3:00
14	34	32	46	44	43.9	3:31
15	32	32	44	42	40	4:00
16	32	32	44	42	40	4:15

PROMEDIOS

$t = 7.25 \text{ h}$
 $I = 540.95 \text{ kcal/h.m}^2$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 MEDIO SOLEADO

$TA = 27.702^\circ\text{C}$
 $TE = 28.133^\circ\text{C}$
 $TP = 40.363^\circ\text{C}$
 $TS = 37.734^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 42.281 \text{ kg/h.}$

7 de abril 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	22	21	27	23	42.3	9:00
2	19	22	29	25	42.3	9:36
3	20	23	33	30	40.5	10:00
4	23	25	34	31	39.4	10:37
5	24	26	38	35	41.5	11:00
6	26	26	38	35	42.2	11:30
7	28	28	45	42	41.8	12:00
8	30	29	45	43	42.6	12:30
9	32	30	47	45	42.0	1:00
10	32	30	44	42	42.6	1:30
11	32	32	46	44	43.8	2:00
12	30	32	43	41	45.4	2:30
13	29	31	41	38	43.8	3:00
14	34	32	46	44	43.9	3:31
15	32	32	44	42	40	4:00
16	32	32	44	42	40	4:15

PROMEDIOS

$t = 7.25 \text{ h.}$
 $I = 540.95 \text{ kcal/h.m}^2$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 MEDIO SOLEADO

$TA = 27.702^\circ\text{C}$
 $TE = 28.133^\circ\text{C}$
 $TP = 40.363^\circ\text{C}$
 $TS = 37.734^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 42.21 \text{ kg/h.}$

23 de abril 1987

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	24	24	31	27	49.8	9:00
2	26	26	33	30	49.8	9:30
3	28	28	36	33	49.6	10:00
4	28	30	39	36	52.0	10:30
5	29	32	42	40	49.6	11:00
6	33	32	45	43	52.2	11:30
7	32	36	47	45	53.2	12:00
8	32	36	49	47	48.8	12:30
9	34	37	50	48	51.6	1:00
10	34	38	50	48	51.4	1:30
11	35	38	50	48	51.0	2:00
12	34	38	49	47	52.4	2:30
13	34	38	48	46	50.0	3:00
14	34	37	47	45	52.0	3:30
15	32	38	49	47	52.2	4:00
16	32	38	49	47	52.0	4:15

PROMEDIOS

$t = 7.25 \text{ h.}$
 $I = 660.9 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 MEDIO SOLEADO

$TA = 31.586^\circ\text{C}$
 $TE = 34.207^\circ\text{C}$
 $TP = 44.793^\circ\text{C}$
 $TS = 42.517^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 51.079 \text{ kg/h.}$

29 de abril 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	24	25	33	39	60.4	9:00
2	24	25	31	27	60.4	9:30
3	26	26	33	30	59.4	10:00
4	26	28	38	35	58.0	10:30
5	28	30	39	36	59.6	11:00
6	30	31	41	38	61.4	11:30
7	32	32	43	41	59.6	12:00
8	32	32	45	41	61.0	12:30
9	31	32	42	40	59.4	1:00
10	26	30	36	35	56.4	1:30
11	33	34	47	45	55.2	2:00
12	34	34	44	42	61.2	2:30
13	28	31	36	33	62.4	3:00
14	33	32	42	39	62.0	3:30
15	32	35	41	38	61.6	4:00
16	32	33	41	38	61.2	4:15

PROMEDIOS

$t = 7.25 \text{ h.}$
 $I = 558.7 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 MEDIO SOLEADO

$TA = 29.448^\circ\text{C}$
 $TE = 30.517^\circ\text{C}$
 $TP = 39.483^\circ\text{C}$
 $TS = 36.724^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 59.703 \text{ kg/h.}$

A P É N D I C E B

**Tablas B3 datos experimentales
sistema por flujo forzado días
medio nublados (MN)**

TABLAS B3

20 de febrero 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	13	18	24	21	12.0	9:16
2	14	19	26	22	12.0	9:30
3	17	21	28	25	13.9	10:04
4	16.5	20	28	25	13.8	10:30
5	24	21	34	31	13.6	11:00
6	25.5	23	45	43	13.2	11:30
7	26	26	62	60	12.2	12:00
8	28	26	66	64	12.4	12:30
9	26	27	69	67	12.9	1:00
10	25.5	25.5	59	57	13.2	1:30
11	25	27	60	58	13.6	2:00
12	22	26	50	48	13.3	2:30
13	23	27	46	44	13.2	3:00
14	25	27	44	42	13.4	3:30
15	23	29	48	46	13.6	4:00
16	25	28	48	46	13.6	4:15

PROMEDIOS

$t = 6.983 \text{ h.}$
 $I = 352.2 \text{ kcal/m}^2\text{h}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = .1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 MEDIO NUBLADO

$TA = 22.922^\circ\text{C}$
 $TE = 24.582^\circ\text{C}$
 $TP = 47.511^\circ\text{C}$
 $TS = 44.759^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 13.159 \text{ kg/h.}$

16 de marzo de 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	22	21	33	29	19.7	9:15
2	22	21	37	33	19.7	9:30
3	21	23	42	39	18.9	10:00
4	28	25	50	48	18.0	10:30
5	27	26	52	50	17.2	11:00
6	28	26	59	57	16.8	11:30
7	22	28	56	54	17.4	12:00
8	29	28	54	52	17.2	12:30
9	28	28	46	43	17.4	1:00
10	31.5	30	47	44	17.6	1:30
11	29	30	48	45	17.2	2:00
12	28	30	46	43	17.1	2:35
13	29	30	48	46	17.3	3:00
14	27.5	30	44	41	17.1	3:30
15	27.5	30	48	45	16.9	4:00
16	27	31	48	46	18.0	4:15

PROMEDIOS

$t = 7. h$
 $I = 461 \text{ kcal/h.m}^2$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$

MEDIO NUBLADO

$TA = 26.955^\circ\text{C}$
 $TE = 27.518^\circ\text{C}$
 $TP = 48.286^\circ\text{C}$
 $TS = 45.655^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 17.576 \text{ kg/h.}$

26 de marzo de 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	25	25	33	29	26.0	9:00
2	27	22	35	30	26.0	9:30
3	28	24	39	36	26.2	10:00
4	29	26	46	43	25.0	10:30
5	32	26	47	44	25.2	11:00
6	28	27	46	43	26.3	11:30
7	31	29	51	49	26.1	12:00
8	33	30	53	51	27.4	12:30
9	35	31	53	51	26.1	1:00
10	34	32	57	55	25.4	1:30
11	34	32	56	54	26.1	2:00
12	33	32	51	48.5	26.0	2:30
13	32	32	50	47	26.4	3:00
14	31	32	45	42	26.6	3:30
15	30	31	43	40	27.0	4:00
16	30	31	43	40	26.4	4:15

PROMEDIOS

$t = 7.25 \text{ h.}$
 $I = 574.8 \text{ kcal/h.m}^2$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 MEDIO NUBLADO

$TA = 31.0^\circ\text{C}$
 $TE = 28.862^\circ\text{C}$
 $TP = 47.345^\circ\text{C}$
 $TS = 44.690^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 26.114 \text{ kg/h.}$

8 de abril de 1987

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	22	22	28	24	46.8	9:15
2	22	22	29	25	46.8	9:30
3	22	23	32	29	46.8	10:00
4	27	24	35	32	50.8	10:30
5	28	28	40	37	48.6	11:00
6	30	28	42	40	46.4	11:30
7	28	29	41	38	47.2	12:00
8	29	30	45	43	47.6	12:30
9	32	31	46	44	46.2	1:00
10	32	32	46	44	40.4	1:30
11	33	32	49	47	41.2	2:00
12	32	32	51	49	40.4	2:30
13	34	32	46	44	40.6	3:00
14	30	31	39	36	38.2	3:30
15	28	31	39	36	38.0	4:00
16	28	31	39	36	38.4	4:15

PROMEDIOS

$t = 7 \text{ h}$
 $I = 524.4 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 MEDIO NUBLADO

$TA = 29.071^\circ\text{C}$
 $TE = 29.929^\circ\text{C}$
 $TP = 41.411^\circ\text{C}$
 $TS = 38.839^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 44.236 \text{ kg/h.}$

28 de abril 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	24	27	33	29	55.8	9:00
2	24	28	35	32	55.8	9:30
3	24	28	38	35	55.4	10:00
4	26	28	38	35	55.8	10:30
5	28	29	38	35	55.6	11:00
6	30	30	40	37	55.6	11:30
7	30	31	42	40	55.8	12:00
8	30	32	43	41	55.0	12:30
9	32	33	45	43	53.6	1:00
10	32	34	44	42	56.0	1:30
11	32	34	45	43	55.0	2:00
12	28	32	38	35	57.0	2:30
13	27	30	35	32	53.8	3:00
14	27	30	35	32	53.2	3:30
15	26	30	34	31	52.4	4:00
16	26	30	34	31	52.8	4:15

PROMEDIOS

$t = 7.25 \text{ h.}$
 $I = 509.5 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h.}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 MEDIO NUBLADO

$TA = 28.138^\circ\text{C}$
 $TE = 30.517^\circ\text{C}$
 $TP = 39.069^\circ\text{C}$
 $TS = 36.379^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 55.034 \text{ kg/h.}$

A P É N D I C E B

**Tablas B4, datos experimentales
sistema por flujo forzado días
nublados (N)**

TABLAS B4

23 de febrero 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	15	16	22	19	14.1	9:00
2	16	17	23	20	14.2	9:50
3	17	18	24	21	14.4	10:00
4	16	19	25	22	14.4	10:37
5	16	19	26	23	14.5	11:00
6	20	22	39	37	14.7	11:30
7	20	21	39	36.5	15.6	12:00
8	18	20	29	26	15.0	12:30
9	17	20	28	23.5	14.5	1:00
10	18.5	20	27	23.5	14.4	1:30
11	15	20	25	22	14.0	2:00
12	16	20	32	29	14.4	2:30
13	16	21	44	41	14.0	3:00
14	19	21	39	36.5	13.8	3:30
15	23	24	40	37	13.8	4:00
16	24	24	40	37	14.0	4:30

PROMEDIOS

$t = 7.5 \text{ h.}$
 $I = 192.1 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 NUBLADO

$TA = 17.808^\circ\text{C}$
 $TE = 20.126^\circ\text{C}$
 $TP = 31.384^\circ\text{C}$
 $TS = 28.384^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 14.259 \text{ kg/h.}$

25 de febrero 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	15	17	22	18.5	16.8	9:00
2	12	19.5	24	20	16.8	9:30
3	13.5	20	25	21.5	16.7	10:02
4	16	20	25	22	16.7	10:30
5	18	20	26	23	17.4	11:01
6	18	20	28	25	15.9	11:30
7	24	23	46	44	15.8	12:10
8	25	24	47	44.5	16.1	12:59
9	21	22	42	40	15.6	1:00
10	21	23	34	31	16.6	1:30
11	30	24	45	43	15.4	2:00
12	22	24	50	48	15.0	2:30
13	21	24	40	37.5	15.6	3:00
14	20	24	32	29	15.8	3:30
15	18	24	34	31.5	15.2	4:00
16	18	24	35	32	15.2	4:30

PROMEDIOS

$t = 7.5$
 $I = 218.7 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h.}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 NUBLADO, POCO VIENTO

$TA = 19.741^\circ\text{C}$
 $TE = 22.098^\circ\text{C}$
 $TP = 34.923^\circ\text{C}$
 $TS = 32.182^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 16.042 \text{ kg/h.}$

21 de marzo 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	19	22	29	25	22.4	9:00
2	26	22	34	51	22.4	9:30
3	28	24	42	39	22.6	10:00
4	29	25	44	41	22.1	10:30
5	29	24	42	40	22.0	11:00
6	29	24	40	37	21.5	11:30
7	32	28	49	47	23.0	12:07
8	32	28	51	48	24.8	12:50
9	34	29	48	45	22	1:00
10	32	29	52	50	21.6	1:30
11	27	28	38	35	22.8	2:00
12	27	29	40	37	23.8	2:30
13	33	31	56	54	21.8	3:00
14	28	30	50	48	18.6	3:30
15	27	29	37	34	24.4	4:15

PROMEDIOS

$t = 7.25 \text{ h}$
 $I = 390.6 \text{ kcal/h.m}^2$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 NUBLADO

$TA = 29.131^\circ\text{C}$
 $TE = 26.951^\circ\text{C}$
 $TP = 44.101^\circ\text{C}$
 $TS = 41.429^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 22.260 \text{ kg/h}$

27 de marzo 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	21	22	32	28	28.6	9:00
2	20	21	28	24	28.6	9:30
3	27	23	33	30	29.0	10:00
4	25	23	35	32	28.0	10:30
5	27	24	37	34	27.6	11:00
6	27	26	41	38	28.0	11:30
7	28	26	36	33	28.0	12:00
9	27	26	36	33	28.4	1:00
10	34	29	56	54	28.0	1:30
11	34	29	55	52	27.6	2:00
12	36	30	55	53	28.8	2:30
13	36	32	57	55	27.4	3:00
14	33	32	47	44	28.6	3:30
15	29	32	40	37	30.4	4:00
16	29	32	40	37	30.8	4:15

PROMEDIOS

$t = 7.25 \text{ h.}$
 $I = 466.9 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
 NUBLADO

$TA = 29.0^\circ\text{C}$
 $TE = 26.897^\circ\text{C}$
 $TP = 41.862^\circ\text{C}$
 $TS = 38.966^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 28.207 \text{ kg/h.}$

20 de abril 1987

Flujo forzado

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	26	26	32	28	41.0	9:00
2	27	26	33	30	41.0	9:30
3	28	28	36	33	41.0	10:00
4	32	32	44	41.5	41.0	10:30
5	28	32	39	36	42.6	11:00
6	29	33	40	37	44.2	11:30
7	33	36	49	47.5	42.0	12:00
8	32	36	43	41	43.0	12:30
9	33	36	47	45	42.8	1:00
10	30	36	41	39	42.8	1:30
11	34	39	51	49	42.6	2:00
12	32	36	43	41	44.2	2:30
13	30	36	41	39	43.8	3:00
14	35	38	50	48	42.2	3:30
15	30	38	43	41	43.6	4:00
16	30	38	43	41	43.6	4:15

PROMEDIOS

$t = 7.25$ h
 $I = 359.5$ kcal/m².h.
 $A = 1.050625$ m²
 $C_p = 1$ kcal/kg°C
 NUBLADO

$TA = 30.759^{\circ}\text{C}$
 $TE = 34.138^{\circ}\text{C}$
 $TP = 42.483^{\circ}\text{C}$
 $TS = 40.138^{\circ}\text{C}$
 $FLUJO = 42.572$ kg/h.

21 de abril 1987

No.	TA	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	22	26	32	28	45.6	9:15
2	22	27	33	29	45.6	9:30
3	24	29	35	32	48.2	10:00
4	24	30	36	33	48.0	10:30
5	26	32	41	38	48.4	11:00
6	29	33	44	41	45.8	11:30
7	29	33	41	38	46.2	12:00
8	29	34	44	41	48.0	12:30
9	30	34	41	39	45.6	1:00
10	31	34	41	38	47.6	1:30
11	28	34	40	37	47.4	2:00
12	28	34	38	35	45.4	2:30
13	28	33	38	35	47.0	3:00
14	31	34	41	38	46.6	3:30
15	26	32	37	34	47.0	4:00
16	28	33	38	35	46.8	4:15

PROMEDIOS

$t = 7 \text{ h}$
 $I = 306.7 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$
 $A = 1.050625 \text{ m}^2$
 $C_p = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$

NUBLADO

$TA = 27.536^\circ\text{C}$
 $TE = 32.357^\circ\text{C}$
 $TP = 39.286^\circ\text{C}$
 $TS = 36.286^\circ\text{C}$
 $FLUJO = 44.768 \text{ kg/h.}$

A P É N D I C E C

**Datos experimentales sistema
flujo por termosifón**

14-III-87

TERMOSIFON

SOLEADO

No.	TA	TET	T1	T2	T3	TST	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	23	17	21	37	38	37.5	21	25	25	10.8	9:00
2	22	17	23	36	37	36.5	22	42	35	10.8	9:30
3	23	21	24.5	36	37	36.5	24	51	43	11.0	10:00
4	23.5	22	27.5	36.5	40	38	25	54	53	10.8	10:30
5	25.5	25	30.5	35.5	42	39	27	61	60	9.5	11:00
6	26.5	27	32.5	38	45	41	27	62	61	10.4	11:30
7	26.5	27	33.5	40.5	47	44	28	65	64	11.1	12:00
8	29.5	29	34.5	44	49	47	34.5	53	50.5	11.9	12:30
9	28	29	36	45	50	48	35	49	48	10.2	1:00
10	31	29	37.5	48	50	49	36.5	51	50	10.3	1:30
11	27	30	40	48	53	50	38	53	52	10.4	2:00
12	28	29	41	49	52	51	39	55	54	9.6	2:30
13	31	29	41	50	52	51	40	52	50	10.9	3:00
14	275	29	40	50	52	51	38	48	47.5	10.9	3:30
15	28	29	40	50	52	51	38	48	47	10.6	4:00
16	29	29	41	52	52	51	39	49	48	10.4	4:30

PROMEDIOS

TA = 26.9°C
 TET = 26.3°C
 TIF = 34.2°C
 T2F = 43.4°C
 T3F = 46.9°C

TST = 45.1°C
 TEF = 32.1°C
 TPF = 52.1°C
 TSF = 50.1°C
 FLUJO = 10.5 kg/h

T1I = 21°C
 T2I = 37°C
 T3I = 38°C
 TEI = 21°C
 TSI = 25°C

TTI = 33.25°C
 TTF = 41.48°C
 TCI = 23°C
 TCF = 41.4°C
 t = 7.5 h

Ac = 0.8302 m²

MC = 5.0985 kg

I = 673 kcal/m²h.

MT = 57 kg

CP = 1 kcal/kg°C

G = FLUJO = 10.5

BALANCE DE CALOR

- TERMO

$$Q_T = M_T C_P (T_{TF} - T_{TI}) / t = (57)(1)(41.48 - 33.25) / 7.5 \\ = 62.548 \text{ kcal/h}$$

- PLACA COLECTORA

$$Q_P = M_C C_P (T_{CP} - T_{CI}) / t = (5.0985)(1)(41.1 - 23) / 7.5 \\ = 12.30 \text{ kcal/h}$$

- AGUA DE SALIDA

$$Q_S = \text{FLUJO } C_P (T_{ST} - T_{ET}) = (10.5)(1)(45.1 - 26.3) \\ = 197.4 \text{ kcal/h}$$

- TOTAL

$$Q_{TOT} = 62.584 + 12.30 + 197.4 = 272.248 \text{ kcal/h}$$

CALOR QUE INCIDE

$$- Q_I = A_c I_c = (0.8203)(673) = 552.06 \text{ kcal/h}$$

EFICIENCIA DEL SISTEMA

$$- = (Q_{TOT} / Q_I) \times 100 = (272.248 / 552.06) \times 100 = 49.31 \%$$

PARAMETRO PARA PUNTO DE ESTANCAMIENTO

$$- (T_{PF} - T_A) / I_c = (52.1 - 26.9) / 673 = 37.44 \times 10^{-30} \text{ Cm}^2 \text{ h/kcal}$$

Realizar los siguientes cálculos usando como base éste ejemplo.

2-IV-87

TERMOSTIFÓN

SOLEADO

No.	TA	TET	T1	T2	T3	TST	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	25	17	30	40	41.5	41	22	40	36.5	9.5	9:00
2	26	18	28	40	41	40.5	28	43	40	9.5	9:30
3	28	23	30	40	42	41	30	46	43	11.5	10:00
4	28	25	33	40	45	42.5	32	49	46	11.2	10:30
5	31	27	35.5	41	48	44.5	35	52	50	10.4	11:00
6	31	29	37	45	52	48.5	37	54	52	10.4	11:30
7	31	30	38.5	48.5	53	51	38	56	54	10.2	12:00
8	36	30	40	51	55	53.5	39.5	57	55	11.8	12:30
9	36	30	42	53	56	54.5	42	59	58	11.6	1:00
10	35	31	44	55	57	56	43	59	58	11.6	1:30
11	38	31	46	56	60	58	46	61	60	10.8	2:00
12	34	31	47	57	60	58.5	47	62	61	10.8	2:30
13	39	30	48.5	58.5	61	60	48	62	61	10.0	3:00
14	38	30	48	59	61.5	60	48	62	61	10.6	3:30
15	38	29	49	60	61	60.5	49	60	59	10.6	4:00

PROMEDIOS

TA = 33°C
 TET = 27.7°C
 T1F = 39.8°C
 T2F = 49.6°C
 T3F = 53.0°C

TST = 51.4°C
 TEF = 39.2°C
 TPF = 55.1°C
 TSF = 53.3°C
 FLUJO = 10.75 kg/h

T1I = 30
 T2I = 40
 T3I = 41.5
 TEI = 22
 TSI = 36.5

TTI = 37.9
 TIF = 48.0
 TCI = 29.3
 TCF = 39.5
 t = 7.0

Ac = 0.8203 m²
 MT = 57 kg

MC = 5.0985 kg.
 CP = 1 kcal/kg°C

I = 760 kcal/m².h.
 Kc = 1

9-IV-87

TERMOSIFÓN

SOLEADO

No.	TA	TET	T1	T2	T3	TST	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	22	22	23	31	34	32.5	16	20	18	11	9:00
2	19	22	23	30	34	32	21	39	34	11	9:30
3	22	23	23.5	31	36	33.5	23.5	40	37	10.9	10:00
4	22	23	25	32.5	38	35	25.5	43	40	10.4	10:30
5	22.5	24	28	34	42	38	28	46	43	10.8	11:00
6	26	26	30	38	44.5	41	30	48	46	11.0	11:30
7	25	27	32.5	42	47.5	44	32.5	50	48	10.2	12:00
8	28	27	35	45	50	47.5	35	52	50	10.0	12:30
9	27.5	28	37.5	47	52.5	49.5	37.5	54	53	11.1	1:00
10	29	29	41	50	54	52	40	56	55	10.6	1:30
11	29	29	43	52	56.5	54	42	57	56.5	10.8	2:00
12	28	29	44	54	57	55.5	43	58	57.5	10.8	2:30
13	28	29	45	55	58	56.5	43.5	58	58	10.9	3:00
14	28	29	46	56	58	57	44.5	58	58	10.8	3:30
15	28	29	46	57	58	57.5	44	57	57.5	11.2	4:00
16	28	29	46	57	57.5	57.5	44	56	56	11.1	4:30

PROMEDIOS

TA = 25.8°C
 TET = 26.6°C
 TIF = 35.6°C
 T2F = 44.5°C
 T3F = 48.8°C

TST = 46.5°C
 TEF = 34.7°C
 TPF = 50.3°C
 TSF = 48.7°C
 FLUJO = 10.77 kg/h

T1I = 23°C
 T2I = 31°C
 T3I = 34°C
 TEI = 16°C
 TSF = 18°C

T1I = 29.8°C
 TTF = 43.4°C
 TCI = 17°C
 TCF = 41.7°C
 t = 7.5 h

Ac = 0.8203 m²
 MT = 57 kg
 Mc = 5.0985 kg
 Cp = 1 kcal/kg°C

I = 779 kcal/m².h

28-III-87

TERMOSIFÓN

SOLEADO

No.	TA	TET	T1	T2	T3	TST	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	18	12	21	37	38	37.5	17	34	31	10.0	9:00
2	22	13	24	36	37	36.5	23	38	35	10.0	9:30
3	22	19	26	36	38	36	25	42	39	10.8	10:00
4	23	21	29	36	40	38	28	45	41	10.4	10:30
5	25	22	31.5	37	43	40	30.5	48	45	10.6	11:00
6	27	25	34	39	46	42.5	33	50	48	10.0	11:30
7	30	27	34	43	49	46	34	52	50	10.8	12:00
8	29	28	36	46	51	48.5	35.5	54	52	10.6	12:30
9	30	29	39	49	52	50.5	38	55	54	10.2	1:00
10	31	30	45	51	55	53	40.5	57	56	10.2	1:30
11	32	31	45	53	56	54.5	43	59	57.5	10.8	2:00
12	34	30	45	55	57.5	57	43	59	58	9.6	2:30
13	39	30	46	56	58	57	45	59	58	10.6	3:00
14	34	29	47	57	58	57.5	46	59	58	9.6	3:30
15	34	29	46.5	57	58	57.5	44	57	56	11.0	4:00
16	34	29	46.5	57	58	57.5	44	57	56	10.8	4:30

PROMEDIOS

TA = 29.2°C
 TET = 25.6°C
 T1F = 37.2°C
 T2F = 46.5°C
 T3F = 49.8°C

TST = 48.2°C
 TEP = 35.9°C
 TPF = 51.9°C
 TSP = 48.2°C
 FLUJO = 10.4 kg/h

T11 = 21
 T21 = 37
 T31 = 38
 TE1 = 17
 TS1 = 31

TT1 = 33.25
 TTF = 45.0
 TCI = 24
 TCF = 42.05
 t = 7.5

Ac = 0.8203 m²
 MT = 57 kg

MC = 5.0985 kg
 CP = 1 kcal/kg°C

I = 738 kcal/h.m²

21-III-87

TERMSIFÓN

SOLEADO

No.	TA	TET	TI	T2	T3	TST	TE	TP	TS	FILJO	HORA
1	21	13	26	38	40	39	17.5	32	25	10.3	9:00
2	21.5	16	23	37.5	38	38	22.5	38	37	10.3	9:30
3	22.5	22	25.5	37	39	38	24	41	39	10.9	10:00
4	25	24	29	37	41	39	27	45	43	10.8	10:30
5	27	25	32	38	44	41	30	48	46	10.9	11:00
6	27	28	34	40	47	44	33	51	49	10.4	11:30
7	29	29	35.5	44	50	47	34.5	52.5	51	10.6	12:00
8	31	30	37	47	51.5	49	36	54	52.5	10.2	12:30
9	33	31	40	49.5	53	51	38	55	54.5	10.0	1:00
10	32	32	43	51.5	55	53	41	57	56.5	10.6	1:30
11	32	32	44	53	56	54	42	59	58	10.5	2:00
12	29	31	45	55	56.5	56	42.5	57	56	10.0	2:30
13	31	30	43	54	55	55	41.5	59	58	10.8	3:00
14	32	30	44	55	56	55	42	61	60	10.8	3:30
15	31	30	44	55	56	55	42	61	60	11.0	4:00
16	31	30	44	55	56	55	42	61	60	10.8	4:30

PROMEDIOS

TA = 28.6°C
 TET = 27.4°C
 TIF = 36.9°C
 T2F = 46.7°C
 T3F = 49.7°C

TST = 48.1°C
 TEF = 35.1°C
 TPF = 52.3°C
 TSF = 50.9°C
 FILJO = 10.6 kg/h

T11 = 26°C
 T21 = 38°C
 T31 = 40°C
 TE1 = 17.5°C
 TS1 = 25°C

TT1 = 35.5°C
 TTF = 45.0°C
 TCI = 21.25°C
 TCF = 43.0°C
 t = 7.5

Ac = 0.8203 m²
 MT = 57 kg

MC = 5.0985 Kg.
 CP = 1 kcal/kg°C

I = 702 cal/m².h.
 Kc = 1

18-III-87

TERMOSTIFÓN

SOLEADO

No.	TA	TET	T1	T2	T3	TST	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	17	13	23	36	38	37	16	32	24.5	10.7	9:00
2	20	16	21.5	36	37	36.5	20	35	34	10.7	9:30
3	22	18	22	36	37	36.5	21.5	39	37	10.6	10:00
4	28	23	26	35.5	38	36.5	24.5	42	40	10.4	10:30
5	30	24	30	36	42	39	28	46	43	10.1	11:00
6	27	26	32	38	44	41	31	49	46	10.4	11:30
7	28	32.5	34	41	48	44.5	33	50	49	10.0	12:00
8	29	28	35	44	50	47	34	51	50	10.6	12:30
9	32	29	37	47	51.5	48.5	36	54	53	10.8	1:00
10	34	30	40	49	53	51	38	54	54	10.4	1:30
11	33.5	32	42.5	51	55	53	41	57	57	10.6	2:00
12	35	32	44	53	57	55	42	59	58	10.9	2:30
13	35	32	45	54	58	56	44	59	59	10.4	3:00
14	36	32	46	56	58	57	44.5	59	59	10.0	3:30
15	35	31	47	57	59	58	45	59	59	9.8	4:00
16	36	32	47	57	59	58	45	59	59	10.4	4:30

PROMEDIOS

TA = 30.1°C
 TET = 27.2°C
 TIF = 35.8°C
 T2F = 45.3°C
 T3F = 49.1°C

TST = 47.1°C
 TEF = 34.2°C
 TPF = 50.6°C
 TSF = 49.3°C
 FLUJO = 10.4 kg/h

TII = 23°C
 T2I = 36°C
 T3I = 38°C
 TEI = 16°C
 TSI = 34.5°C

TTI = 33.25°C
 TTF = 43.98°C
 TCI = 20.25°C
 TCF = 41.75°C
 t = 7.5 h.

Ac = 0.8203 m²
 MT = 57 kg

MC = 5.0985 kg
 CP = 1 kcal/kg°C

I = 688 kcal/m².h
 Kc = 1

30-III-87

TERMOSIFÓN

SOLEADO

No.	TA	TET	T1	T2	T3	TST	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	19	19	25	37	39	38	15	29	22	10.8	9:00
2	20	19	23	36.5	38	37	22	37	36	10.8	9:30
3	20	22	24	36.5	38	37	23.5	41	38	11.0	10:00
4	24.5	23	28	36.5	41	38.5	27	44	42	10.4	10:30
5	24.5	26	31	37	44	40.5	30	48	44	10.5	11:00
6	25	28	34	39	46.5	42.5	32	50	49	10.0	11:30
7	28.5	29	35	43	49	46	34.5	52	51	10.3	12:00
8	31.5	30	36.5	46	52	49	36	54	52	10.6	12:30
9	30	30.5	39.5	49	53.5	51	37.5	56	54	10.8	1:00
10	32	31	42.5	51.5	55	53	40	58	57	10.2	1:30
11	32	32	45	53	57.5	55	43	59	59	10.0	2:00
12	31.5	32	46	55	58.5	56	44	60	59.5	10.0	2:30
13	32	31	46	57	58.5	57	44	60	60	10.4	3:00
14	32	31	47.5	57.5	59	58	45	59.5	59.5	10.0	3:30
15	31	29	46	57	59	58	43.5	59	59	10.8	4:00
16	31	29	45	57	58.5	57	43	57	57	10.6	4:30

PROMEDIOS

TA = 28°C	TST = 48.4°C	T1I = 25	TTI = 34.5°C
TET = 27.8°C	TEF = 35.4°C	T2I = 37	TIF = 45.4°C
TIF = 37.3°C	TPF = 52.0°C	T3I = 39	TCI = 18.5°C
T2F = 46.8°C	TSF = 50.6°C	TEI = 15	TCF = 43.0°C
T3F = 50.6°C	FLUJO = 10.4 kg/h.	TSI = 22	t = 7.5 h

Ac = 0.8203 m²
 MT = 57 kg

MC = 5.0985 kg I = 749 kcal/m²h
 CP = 1 kcal/kg°C Kc = 1

24-IV-87

TERRASIFÓN

SOLEADO

No.	TA	TET	T1	T2	T3	TST	TE	TF	TS	FLUJO	HORA
1	20	14	29	45	46	45.5	18	41	35	11.2	9:00
2	20	16	26	43	45	44	26	41	37	11.2	9:30
3	24	21	28	43	44	43.5	28	45	42	11.2	10:00
4	26	23	32	44	45	44.5	31	47	45	11.0	10:30
5	28	25	35	43	47	45	35	51	48	11.4	11:00
6	28	28	37	44	50	47	37	54	52	11.2	11:30
7	32	28	38	47	53	50	37	56	53	10.8	12:00
8	31	27	39	50	54	52	38.5	57	55	11.0	12:30
9	32	28	42	52	55	53.5	42	58	57	9.4	1:00
10	32	28	44	54	57	55.5	44	59	58	10.8	1:30
11	32	29	46	55	58	56.5	46	60	59	9.9	2:00
12	30	28	46	57	60	58.5	46	62	61	11.2	2:30
13	31	28	46	57	58	57.5	46	57	56	10.0	3:00
14	31	27	46	57	58	57.5	46	59	58	11.0	3:30
15	32	27	46	57	58	57.5	46	59	58	11.0	4:00
16	32	27	46	57	58	57.5	46	59	58	10.8	4:30

PROMEDIOS

TA = 29°C	TST = 51.6°C	TTT = 21	TTI = 39.25°C
TET = 25.6°C	TEF = 38.7°C	T2I = 45	TTF = 48.18°C
TIF = 39.2°C	TPF = 54.3°C	T3I = 46	TCI = 26.5°C
T2F = 50.3°C	TSF = 52.3°C	TBI = 18	TCF = 45.5°C
T3F = 52.9°C	FLUJO = 10.8°C	TSI = 35	= 7.5 h

Ac = 0.8203 m²

NC = 5.0985 kg

I = 807 kcal/m²h.

MF = 57 kg

CP = 1 kcal/kg°C

G = FLUJO = 10.8

A P É N D I C E D

Datos experimentales, comparación
entre las dos placas de diferente
diseño

COMPARACIÓN DE LAS DOS PLACAS

4-MAYO-1987

MEDIO SOLEADO

No.	MATERIAL SELECTIVO					DE MATERIAL NO SELECTIVO				
	TA	TE	TP	TS	FLUJO	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	26	26	49	47	10.6	26	46	42	10.8	10:00
2	28	26	51	49	10.6	27	51	48	10.8	10:30
3	28	27	54	53	10.6	28	54	52	10.6	11:00
4	30	28	60	58	10.6	30	61	59	10.8	11:30
5	29	29	65	64	10.4	30	64	63	10.8	12:00
6	32	29	64	63	10.4	31	63	61	11.0	12:30
7	32	30	67	66	9.8	32	66	65	11.4	1:00
8	33	31	69	68	9.6	32	68	67	11.6	1:30
9	32	30	69	68	9.6	33	66	65	10.4	2:00
10	33	30	68	65	11.0	34	67	66	10.8	2:30
11	33	30	63	61	10.4	34	62	60	10.8	3:00

PROMEDIOS

TE = 28.8°C	TE = 30.7°C
TP = 62.3°C	TP = 61.4°C
TS = 60.8°C	TS = 59.7°C
FLUJO = 10.31 kg/h	FLUJO = 10.9 kg/h
TA = 30.65°C	
Acs = 0.8203 m ²	Ac = 1.050625 m ²

$$\eta_s = \frac{Q_a}{Q_i} = \frac{\text{FLUJO}(s) C_p (TS-TE)_s}{Acs I_c}$$

$$\eta = \frac{\text{FLUJO } C_p (TS-TE)}{Ac I_c}$$

$$\frac{\eta_s}{\eta} = \frac{\frac{\text{FLUJO}(s) C_p (TS-TE)_s}{Acs I_c}}{\frac{\text{FLUJO } C_p (TS-TE)}{Ac I_c}}$$

$$\frac{\eta_s}{\eta} = \frac{Ac \text{ FLUJO}(s) (TS-TE)_s}{Acs \text{ FLUJO } (TS-TE)}$$

$$\frac{\eta_s}{\eta} = \frac{1.050625 \text{ FLUJO}(s) (TS-TE)_s}{0.8203 \text{ FLUJO } (TS-TE)}$$

$$\frac{\eta_s}{\eta} = 1.2808 \frac{\text{FLUJO}(s) (TS-TE)_s}{\text{FLUJO } (TS-TE)}$$

$$\frac{\eta_s}{\eta} = 1.2808 \frac{10.31 (60.8-28.8)}{10.90 (59.7-30.7)} = 1.3368$$

$$\frac{\eta_s}{\eta} = 1.3368 \quad \text{Para un flujo promedio } G = 10.605 \text{ kg/h}$$

COMPARACIÓN DE LAS DOS PLACAS

5-MAYO-1987

SOLEADO

No.	PL MATERIAL SELECTIVO					PL DE MATERIAL NO SELECTIVO				
	TA	TE	TP	TS	FLUJO	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	30	26	46	43	17.6	29	51	47	18.0	10:00
2	30	27	51	49	17.6	30	52	49	18.0	10:30
3	32	28	55	53	17.6	31	56	54	17.8	11:00
4	33	29	60	58	15.6	32	60	58	15.6	11:30
5	33	30	63	62	15.2	33	65	63	15.6	12:00
6	34	30	67	65	14.2	34	66	64	15.8	12:30
7	34	31	65	63	17.6	35	71	70	13.2	1:00
8	35	32	66	64	15.4	35	66	65	15.4	1:30
9	34	33	66	65	15.2	36	67	66	15.6	2:00
10	36	32	66	64	15.0	36	65	63	16.4	2:30
11	36	32	65	62	14.8	37	65	63	15.5	3:00
12	34	32	61	58	15.8	37	63	60	16.2	3:30

PROMEDIOS

TE = 30.273°C	TE = 33.818°C
TP = 61.60°C	TP = 62.727°C
TS = 59.591°C	TS = 60.773°C
FLUJO = 15.9 kg/h	FLUJO = 15.991 kg/h
TA = 33.55°C	

$$\frac{\eta_s}{\eta} = 1.2808 \frac{15.9(59.591-30-273)}{15.991(60.773-33.818)} = 1.3852$$

$$\frac{\eta_s}{\eta} = 1.3852 \text{ para un flujo promedio de } G = 15.9455 \text{ kg/h.}$$

COMPARACIÓN DE LAS DOS PLACAS

6-MAYO-1987

SOLEADO

No.	PL CON MATERIAL SELECTIVO					PL SIN MATERIAL SELECTIVO				
	TA	TE	TP	TS	FLUJO	TE	TP	TS	FLUJO	HORA
1	28	30	41	39	25.2	27	41	38	25.2	10:00
2	29	27	45	44	24.8	29	46	44	23.8	10:30
3	30	28	51	50	22.2	31	51	49	23.0	11:00
4	30	28	51	50	23.2	32	54	52	22.4	11:30
5	28	28	46	44	23.8	30	51	49	24.0	12:00
6	29	29	41	39	25.6	32	43	41	25.6	12:30
7	34	30	52	50	24.4	33	56	55	24.6	1:00
8	35	30	57	56	22.2	36	63	62	19.6	1:30
9	32	30	52	50	23.6	34	54	52	23.6	2:00
10	29	29	39	37	27.2	32	40	38	25.6	2:30
11	30	29	45	43	21.4	35	45	43	23.2	3:00
12	31	29	50	49	17.6	33	50	48	21.8	3:30

PROMEDIOS

TE = 28.86°C	TE = 32.0°C
TP = 47.68°C	TP = 49.86°C
TS = 46.09°C	TS = 48.0°C
FLUJO = 23.62 kg/h	FLUJO = 23.54 kg/h
TA = 30.5°C	

$$\frac{\eta_s}{\eta} = 1.2808 \quad \frac{23.62 (46.09 - 28.86)}{23.54 (48 - 32)} = 1.3839$$

$$\frac{\eta_s}{\eta} = 1.3839 \text{ para un flujo promedio } G = 23.58 \text{ kg/h.}$$

COMPARACIÓN DE LAS DOS PLACAS

7-MAYO-1987

NUBLADO

No.	PL MATERIAL SELECTIVO					PL MATERIAL NO SELECTIVO					HORA
	TA	TE	TP	TS	FLUJO	TE	TP	TS	FLUJO		
1	24	25	36	32	28.2	26	36	32	28.6		
2	26	25	37	33	28.2	26	36	32	28.6		
3	26	26	40	36	28.4	27	39	35	28.8		
4	24	26	36	32	29.0	26	35	31	27.6		
5	32	27	40	37	28.0	30	43	39	30		
6	28	27	45	42	27.8	29	45	41	27.8		
7	34	29	52	49	29.2	33	56	53	28.2		
8	30	29	46	43	30.8	32	47	44	30.8		
9	28	29	37	33	33.2	30	39	35	17.8		
10	28	30	41	37	28.8	31	41	37	30.4		
11	32	29	39	35	28.0	32	43	39	28.0		

PROMEDIOS

TE = 27.5°C TE = 29.3°C
 TP = 41.25°C TP = 42.05°C
 TS = 37.55°C TS = 38.25°C
 FLUJO = 29.15 kg/h FLUJO = 27.83 kg/h
 TA = 28.4°C

$$\frac{n_s}{n} = 1.2808 \quad \frac{29.15 (37.55-27.5)}{27.83 (38.25-29.3)} = 1.5064$$

$$\frac{n_s}{n} = 1.5064 \text{ para un flujo promedio de } G = 28.49 \text{ kg/h.}$$

COMPARACION DE LAS DOS PLACAS

8-MAYO-1987

SOLEADO

No.	PL MATERIAL SELECTIVO					PL MATERIAL NO SELECTIVO					HORA
	TA	TE	TP	TS	FLUJO	TE	TP	TS	FLUJO		
1	28	25	38	34	48	27	36	32	48	10:00	
2	30	26	39	35	48	29	40	36	48	10:30	
3	30	28	45	41	47.2	31	42	39	47.6	11:00	
4	30	29	45	41	47.6	32	44	41	47.8	11:30	
5	34	29	45	42	47.8	34	47	44	48.6	12:00	
6	34	30	46	43	45.6	35	48	45	44.6	12:30	
7	33	30	42	38	47.2	33	43	39	49.2	1:00	
8	36	30	47	44	45.8	34	48	45	48.4	1:30	
9	35	30	46	43	45.8	34	48	45	50.6	2:00	
10	34	30	45	42	46.4	34	47	44	47.6	2:30	
11	30	29	40	36	44.4	33	44	40	47.8	3:00	

PROMEDIOS

TE = 28.9°C

TE = 32.6°C

TP = 43.9°C

TP = 44.7°C

TS = 40.4°C

TS = 41.4°C

FLUJO = 46.76 kg/h

FLUJO = 48.03 kg/h

TA = 32.5°C

$$\frac{n_s}{n} = 1.2808 \quad \frac{46.76}{48.03} \frac{(40.4-28.9)}{(41.4-32.6)} = 1.6295$$

$$\frac{n_s}{n} = 1.6295 \quad \text{para un flujo promedio de } G = 47.395 \text{ kg/h.}$$

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- BIRD R.B, Fenómenos de Transporte, Reverté, S.A. España 1982.
- 2.- DENODEAN BOJORQUES H.A., Estudio de un Calentador Solar de placa plana, Tesis, U.A.G. 1984.
- 3.- DIAS BAPTISTA FILHO BENEDITO, Consideraciones Sobre la Eficiencia de Colectores planos de Energía Solar, - Instituto de Investigaciones Energéticas y Nucleares, Brasil.
- 4.- GARCIA-BADELL LAPETRA JOSE J. La Energía Solar el Hombre y la Agricultura, Servicio de Publicaciones Agrarias, España 1981.
- 5.- HOLMAN J.P. Transferencia de calor, C.E.C.S.A. México, 1977.
- 6.- KERN DONALD Q. Procesos de Transferencia de Calor - - C.E.C.S.A., México. 1984.
- 7.- KREYSZIG ERWIN. Introducción a la Estadística Matemática Principios y Métodos, Limusa, México 1982.
- 8.- MANRIQUE JOSE A. Energía Solar, Fundamentos y Aplicaciones Fototérmicas, Harla S.A. de C.V. México 1984.

- 9.- Mc.ADAMS WILLIAM II. Trasmisión de Calor. Imprenta Nacional, S.A. España 1964.
- 10.- Mc.KARTNEY KEVIN, Agua Caliente Solar, Hermann Blume-Ediciones, Tercera reimpresión España 1982.
- 11.- NECATI OZISIK M, Tránsito de Calor, Mc-Graw-Hill-México, 1980.
- 12.- OCON/TOJO, Problemas de Ingeniería Química, Operaciones Básicas, Tomo I, España 1980.
- 13.- R. SPIEGEL MURRAY, Estadística, Shaum, Mc Graw-Hill - México 1983.
- 14.- SOLAR ENERGY, Vol. 25,26,27 y 28, Gran Bretaña Diferentes Autores de Investigaciones.