

5  
23



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN

ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO TÉRMICO DE DOS COLECTORES  
SOLARES PLANOS DEL TIPO DE TUBOS PARALELOS CON ALETA  
SOLDADOS EN SUS EXTREMOS A DOS CABEZALES.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

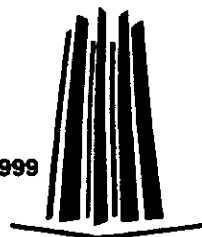
ALEJANDRO AVENDAÑO AGUIRRE

DIRECTOR DE TESIS

ING. ALEJANDRO RODRÍGUEZ LORENZANA

MEXICO

1999



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

273429



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.

## AGRADECIMIENTOS.

*Doy gracias, a Dios, por permitirme llegar a este momento, tan especial de mi vida y poderlo compartir con todos mis seres queridos.*

*A mis Padres, pues como pagar tantos desvelos, tantos consejos y todo el apoyo recibido para hacer de mi un profesionalista, gracias.*

*A mis hermanos, fuentes de motivación en mi vida para seguir adelante, y por el apoyo que siempre me han brindado en especial para alcanzar esta meta.*

*A todos mis tíos y primos, por sus  
consejos y palabras de aliento que  
siempre me han brindado para no  
desistir de alcanzar mis objetivos.*

*A todos mis amigos y compañeros de  
generación, pues de cada uno de ellos  
aprendí algo que me ayudó para llegar a  
este momento.*

*A la Srita. Paloma Margarita  
Martínez Duarte por todo su apoyo  
incondicional brindado para hacer de esto  
una realidad.*

*A mi Padrino Rogelio Segundo E.  
por su apoyo espiritual y sus oraciones  
para seguir adelante en los momentos  
mas dificiles de mi carrera.*

*A Ivan Ramirez Paramo, por su  
apoyo moral y sus consejos, para poder  
salir adelante en el desarrollo de mi  
tesis.*

*A Gabriel Hernandez Chamol por su  
apoyo brindado durante los tramites y  
el desarrollo de esta tesis.*

*Al M. en F. Norberto Chagoy del Valle responsable de este proyecto, con quien siempre estaré agradecido por haberme instruido y permitido colaborar con él en este proyecto.*

*A los ingenieros:  
Ing. Rodolfo Zaragoza Buchain  
Ing. Adrián Islas Arguello  
Ing. J. Mariano Santana Colín  
Ing. Jorge Rodríguez Luna  
Por todas sus atenciones brindadas durante el desarrollo de mi tesis.*

*Muy especialmente Al Ing. Alejandro Rodríguez Lorenzana por sus valiosos comentarios y sus atenciones recibidas para la culminación de esta meta.*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón, al Instituto de Ingeniería de la UNAM y a todos mis Profesores, piezas claves para mi formación profesional.*

# **ANALISIS DEL FUNCIONAMIENTO TÉRMICO DE DOS COLECTORES SOLARES PLANOS DEL TIPO DE TUBOS PARALELOS CON ALETA SOLDADOS EN SUS EXTREMOS A DOS CABEZALES.**

## **OBJETIVO.**

El objetivo del presente trabajo es analizar y evaluar experimentalmente el funcionamiento térmico de dos colectores solares planos instalados en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, bajo diferentes condiciones de trabajo, basándose en el análisis de normas internacionales enfocadas a la evaluación de colectores solares.

## INDICE

JUSTIFICACIÓN.....	5
INTRODUCCIÓN.....	6
ANTECEDENTES.....	7
RESUMEN.....	8
NOMENCLATURA.....	9
<b>1 CAPITULO I GENERALIDADES DE LA ENERGIA SOLAR. ...</b>	<b>10</b>
1.1 EL Sol.....	10
1.2 Aprovechamiento de la energía solar.....	10
1.3 Limitaciones de la energía solar.....	11
1.4 Ruta aparente del Sol.....	12
1.5 Métodos matemáticos para determinar la posición del Sol en la bóveda celeste..	13
1.6 Hora solar.....	15
1.7 Radiación solar.....	17
1.8 La masa atmosférica en la constante solar.....	18
1.9 Angulo de incidencia de la radiación solar, en una superficie inclinada.....	19
<b>2 CAPITULO II Colector Solar Plano.....</b>	<b>21</b>
2.1 Clasificación de los sistemas para el aprovechamiento de la Energía solar.....	21
2.2 El Colector Solar Plano de efecto invernadero simple.....	22
2.3 Efecto invernadero.....	24
2.4 Materiales para la construcción de Colectores Solares Planos.....	25
2.5 Estanqueidad de un colector solar.....	27
2.6 Area del calentador solar.....	28



<b>2.7</b>	<b>Funcionamiento del calentador solar.....</b>	<b>28</b>
2.7.1	Funcionamiento por termosifón (circulación natural).....	28
2.7.2	Funcionamiento por circulación forzada.....	31
<b>2.8</b>	<b>Consideraciones para la instalación de colectores solares.....</b>	<b>33</b>
2.8.1	Inclinación del colector solar.....	33
2.8.2	Montaje de las tuberías de entrada y salida.....	33
2.8.3	Protección del equipo.....	34
<b>3</b>	<b>CAPITULO III                    Análisis de normas internacionales.....</b>	<b>35</b>
3.1	Norma ASHRAE 93-77.....	35
3.2	Norma DIN 4757.....	37
<b>4</b>	<b>CAPITULO IV                    Equipo experimental.....</b>	<b>39</b>
4.1	Descripción del equipo experimental.....	39
4.2	Sistema de captación y conversión de energía.....	39
4.3	Sistema de almacenamiento.....	41
4.4	Tubería y válvulas.....	41
4.5	Instrumentación.....	43
4.5.1	Medición de la radiación solar.....	43
4.5.2	Radiación solar en el plano del colector.....	44
4.5.3	Medición del gasto másico.....	45
4.5.4	Medición de las temperaturas.....	46
<b>5</b>	<b>CAPITULO V                    Desarrollo de pruebas experimentales. ....</b>	<b>48</b>
5.1	Evaluación térmica.....	48

<b>5.2</b>	<b>Determinación de fórmulas para el desarrollo de las diferentes pruebas experimentales.....</b>	<b>49</b>
5.2.1	Eficiencia térmica.....	49
5.2.2	Constante de tiempo.....	50
5.2.3	Pérdidas térmicas.....	51
5.2.4	Eficiencia térmica con termosifón.....	53
<b>6</b>	<b>CAPITULO VI Evaluación de Resultados y Conclusiones. ...</b>	<b>54</b>
6.1	Análisis y procesamiento de datos básicos.....	54
6.2	Conclusiones.....	57
	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>58</b>
	<b>APENDICE A:.....</b>	<b>59</b>
	<b>APENDICE B:.....</b>	<b>79</b>

## JUSTIFICACIÓN.

Los aspectos ambientales se encuentran entre las principales justificaciones para el uso de tecnologías de energía renovable; Como es sabido, la generación de energía por medios convencionales (gas, petróleo, carbón, etc.) ocasiona graves problemas, entre ellos: la quema de recursos no renovables, el smog urbano, la lluvia ácida, el efecto de invernadero y los peligros de los desperdicios nucleares que están, literalmente, amenazando la vida en el planeta.

La concientización del ahorro de energía no está muy extendida, por lo cual la gente sabe poco de este tema y debido a esto no se a creado una cultura o educación enfocada al ahorro de energía, los combustibles fósiles son recursos no renovables que algún día se terminarán y se tendrán que ocupar otras fuentes energéticas que se tienen que desarrollar actualmente para instalarlas en el futuro cuando sean necesarias.

El impacto que produce la posibilidad de utilizar la energía solar en forma controlada y para nuestros propios fines, es un hecho que justifica la aparición de este trabajo, ya que los colectores solares planos, son una opción para calentar fluidos<sup>1</sup> por medio de esta energía y así proveer a la sociedad de un sistema para uso domestico, comercial e industrial; La búsqueda de alternativas para sustituir los hidrocarburos por otras fuentes menos agresivas coloca a la energía solar como una vía de producción energética viable y atractiva por sus múltiples ventajas: la distribución, la nula contaminación y tecnologías de fácil adaptación, entre otras.

Las ventajas económicas de los sistemas generativos basados en el Sol son muchos: solo se requiere de la inversión inicial que se amortiza al paso de los años, no existe la necesidad de comprar combustibles, tampoco surge el dilema de los residuos de la combustión y los gastos de mantenimiento son mínimos, los recursos de donde se obtiene la energía son ilimitados a escala humana y no cuesta absolutamente nada, porque no se compran y no existe peligro de toxicidad para el ser humano ó para el medio ambiente.

---

<sup>1</sup> Fluido es el término usado para un líquido o un gas.

# INTRODUCCIÓN.

En el primer capítulo se estudia el origen y el comportamiento de la radiación solar, se desglosan los conceptos básicos que se necesitan para poder entender la energía solar ya que abarca un campo amplio de conceptos e información y es importante comprender previamente los principios fundamentales antes de estudiar los sistemas.

En el segundo capítulo se realiza una descripción general del colector solar plano, así como también de cada una de sus partes, se analiza su funcionamiento, se dan recomendaciones de algunos materiales para la fabricación de colectores solares y la manera de cómo debe de instalarse el equipo.

En el tercer capítulo se lleva a cabo un análisis de las normas internacionales (ASHRAE y DIN) para determinar el método de prueba para la evaluación del comportamiento térmico de colectores solares ya que en México no existe un organismo o institución que certifique el comportamiento térmico de estos aparatos y para ello se tiene que recurrir a certificaciones en el extranjero resultando bastante costosas.

En el cuarto capítulo se describen, todos los sistemas que intervienen en el desarrollo de las pruebas experimentales del sistema solar (Colectores Solares Planos y Tanque térmico) a evaluar, así como los aparatos de medición que se requieren para desarrollar las pruebas experimentales a este sistema y además se muestra el diagrama de la instalación del sistema solar.

En el quinto capítulo se determina el método que se seguirá durante la realización de las pruebas experimentales, para determinar los diferentes parámetros a evaluar en el sistema como son: la eficiencia térmica, las pérdidas térmicas al medio ambiente, así como la determinación de la constante de tiempo.

En el sexto capítulo se lleva a cabo el análisis y el procesamiento de la información obtenida de las pruebas experimentales realizadas al sistema solar, y se expresan las conclusiones obtenidas con los resultados de las pruebas realizadas.

En los apéndices se muestran las gráficas de los resultados experimentales y las tablas con los datos básicos obtenidos de las mediciones realizadas al sistema solar.

## ANTECEDENTES.

Desde el inicio de la civilización, el hombre a utilizado la energía para su beneficio. En Europa, desde el siglo XII se conoce la minería del carbón. Con este combustible se hizo funcionar la primera máquina de vapor (Papin, 1706), precedida solo por el molino de viento y la rueda de agua. En el siglo pasado, tras el descubrimiento de Oersted en 1819, de la interacción<sup>2</sup> entre una aguja magnética y un cable conductor de corriente se inicia el desarrollo de las máquinas eléctricas. En forma paralela, comienza a desarrollarse la electroquímica con base en los estudios de Galvan (1780) y Volta (1800). En 1832 se construye el primer generador de corriente eléctrica, perfeccionado en 1867 por Siemens y Wheatstone. En 1834 Faraday estableció la relación entre el transporte de la carga eléctrica y las transformaciones químicas. En la India y el Medio Oriente se usaba el gas natural como combustible y la explotación a gran escala del carbón se inicia en 1820 pero el petróleo no cobra gran importancia hasta 1859 gracias al descubrimiento de un pozo en Pennsylvania. La primera máquina de combustión interna de cuatro tiempos la construyó Otto en 1862 y representa la base para la aparición del automóvil y del aeroplano. Por otra parte, la primera estación de energía eléctrica fue construida por Edison, en N.Y. en 1882. El desarrollo de la energía nuclear y sus impresionantes aplicaciones se deben a Hahn, quien en 1938 logra la primera fisión artificial del Uranio. En 1942 Fermi construye el primer reactor nuclear en Chicago. Así desde el fuego hasta la energía nuclear, la humanidad ha ido haciendo suyas las fuentes de energía y esto ha permitido su extraordinario desarrollo tecnológico, sin embargo el empleo desordenado de estas fuentes ha traído como consecuencia grandes problemas económicos y políticos, así como irreparables tragedias. En la crisis de energéticos (1972-1974) se tomó conciencia por primera vez que el petróleo sería escaso y costoso hacia fines del siglo XX y esto a obligado a la humanidad a buscar otras opciones de fuentes de energía.<sup>2</sup> De esta manera el hombre vuelve los ojos a la fuente original, el Sol. Así se cierra en la civilización un ciclo importante que necesariamente transformará la historia de las futuras generaciones, orientadolas al empleo de esta fuente limpia e inagotable.

Las reservas de petróleo, gas natural, carbón y uranio son  $2.5 \times 10^{22}$  joules. La superficie de la tierra recibe  $3 \times 10^{24}$  joules por año de energía solar, como se puede apreciar, la tierra recibe en menos de una semana una cantidad de energía solar igual a las reservas totales de energía no renovable. Es decir, si la tierra estuviera cubierta en un 0.1% de su superficie con colectores que conviertan la luz solar con una eficiencia de solo 10%, todas las necesidades energéticas del mundo ( $3 \times 10^{20}$  joules por año) estarían cubiertas. Sin embargo, la energía solar tiene dos grandes inconvenientes es difusa e intermitente. La implantación y el uso de los sistemas solares para la producción de energía van en aumento sin embargo la difusión de estos sistemas es aun incipiente y por lo tanto la utilización de los mismos también lo es.

---

<sup>2</sup> Se calcula que las reservas de petróleo alcanzarán para otros 20 o 30 años más.

## **RESUMEN.**

El proyecto consiste en el análisis y evaluación del funcionamiento térmico de dos colectores solares planos de un solo vidrio cuyo funcionamiento es por circulación natural, con un área de captación efectiva de 3.705 m<sup>2</sup>. Los colectores solares están inclinados 20.5° con respecto a la horizontal y orientados hacia el sur. La finalidad de este proyecto es:

Mostrar los principios y aplicaciones térmicas de la energía solar así como, los componentes, el funcionamiento y la instalación de los colectores solares planos. Hacer un análisis de normas internacionales para determinar el método de prueba a seguir en la evaluación del funcionamiento térmico de los colectores solares planos, para determinar la eficiencia térmica, la constante de tiempo y las pérdidas térmicas, también se establece un modelo matemático para evaluar la eficiencia térmica con termosifón (colectores – tanque térmico), basados en las leyes de la termodinámica. Los resultados obtenidos muestran el funcionamiento de este sistema a diferentes condiciones de trabajo y del medio ambiente.

La instalación del equipo se diseñó para realizar el análisis térmico de estos colectores solares, de tal manera que el sistema nos permita integrar los sistemas de medición necesarios para obtener los datos (solarimétricos y climatológicos) para su evaluación.

## NOMENCLATURA.

Símbolo	Descripción	Unidades
$A_c$	Área de captación	$m^2$
$C_p$	Calor específico	$J / Kg - K$
$\dot{m}$	Gasto másico	$Kg / s$
$Q_p$	Pérdidas térmicas	$W$
$Q_u$	Calor útil	$W$
$Q_s$	Calor suministrado	$W / m^2$
$I_G$	Radiación solar total	$W / m^2$
$I_d$	Radiación solar difusa	$W / m^2$
$I_d$	Radiación solar directa	$W / m^2$
$U_p$	Coefficiente global de pérdidas térmicas	$W / m^2 \text{ } ^\circ C$
$X$	Constante de tiempo	_____
$(\tau\alpha)_e$	Factor de transmitancia – absorptancia efectivo	_____
$\eta$	Eficiencia térmica	%
$T$	Tiempo	Segundos
$T_a$	Temperatura del medio ambiente	$^\circ C$
$T_e, T_s$	Temperatura del fluido en la entrada y salida respectivamente	$^\circ C$
$\rho$	Densidad del fluido	$Kg / m^3$

## **1 CAPITULO I**

## **GENERALIDADES DE LA ENERGIA SOLAR.**

### **1.1 EL Sol.**

El Sol es la estrella más cercana a nuestro planeta, tiene una edad estimada de 5 000 millones de años y se considera que se encuentra en su etapa media de vida; además, es una esfera gaseosa de aproximadamente 1,400,000 Km de diámetro, formada principalmente por hidrógeno y helio. En su núcleo, en condiciones extremas de temperatura y presión, ocurren reacciones de fusión termonuclear de una gran magnitud, al transformarse 564 millones de toneladas de hidrógeno en 560 millones de toneladas de helio; de este modo se disipan enormes torrentes de energía hacia el espacio infinito, en forma de radiación electromagnética de alta frecuencia, en diferentes longitudes de onda.

La energía proveniente del Sol es la fuente primaria de calor y luz en la Tierra. La acción del Sol en la Tierra trae beneficios al hombre desde los puntos de vista térmico, económico, higiénico y psicológico.

### **1.2 Aprovechamiento de la energía solar.**

Exceptuando las energías de origen geotérmico y nuclear, toda la energía que se dispone en la tierra básicamente procede de una u otra forma del Sol, incluso la contenida en los combustibles fósiles. El Sol impulsa los vientos y estas las olas. También evapora el agua que luego forma los ríos. En unión con la luna provoca las mareas. Hace crecer las plantas y los árboles, que sirven de leña ó como forraje para alimentar animales, la radiación electromagnética es capaz de arrancar electrones de ciertos materiales como el silicio produciendo una corriente eléctrica y la tecnología térmica solar concentra los rayos del Sol en cierto número de receptores que transforman la radiación solar en energía térmica, para que pueda ser aprovechada en el calentamiento de fluidos ó para producir energía en forma de vapor. Por tanto la energía derivada del Sol es mucho más benéfica para la humanidad y para la tierra a largo y corto plazo, ya que la explotación de sus manifestaciones directas, solar, hidráulica, eólica y maremotriz, no causa problemas de combustión.



La humanidad no se a puesto a reflexionar con profundidad, pero todo lo que existe en la tierra a provenido del Sol y para que exista toda la vida en el planeta necesita de él, inclusive el ser humano por mas avanzados conocimientos que tenga sobre la naturaleza.

### **1.3 Limitaciones de la energía solar.**

La utilización de la energía solar tiene dos grandes inconvenientes es difusa y es intermitente. El primer factor recae, en la acción que tiene la masa atmosférica en la constante solar, el estado del cielo (nublado o despejado) y el tipo de clima que se tenga. Esto hace necesario el desarrollo de sistemas idóneos de gran superficie colectora, mientras que el segundo es ocasionado por el movimiento de la tierra sobre su propio eje y el movimiento alrededor del Sol, así esto obliga a generar dispositivos de almacenamiento.

Evaluar la naturaleza de la energía solar, es particularmente importante para comprobar que la fuente no introducirá problemas insuperables técnicos y económicos, ya que es necesario reconocer que a causa de su peculiar característica la energía solar no puede emplearse aun, como la fuente única de energía y necesitará en algunas ocasiones o épocas del año de un sistema secundario auxiliar.

#### 1.4 Ruta aparente del Sol.

Se sabe que la Tierra gira sobre su mismo eje y entorno al Sol, sin embargo, para efectos prácticos, se supondrá que el Sol describe un "movimiento aparente" alrededor de la Tierra, de hecho así se percibe en la Tierra, ya que el fenómeno resulta equivalente debido al carácter relativo del movimiento terrestre con respecto al Sol. La fig. 1 indica el ángulo (la declinación) del Sol con relación al Ecuador, hacia el día 21 de cada mes, visto desde la tierra.

Tal consideración geométrica retoma la teoría de Copérnico para comprender mejor el fenómeno y los fines prácticos de su utilización. En el "movimiento aparente" del Sol alrededor de la tierra, un observador situado sobre un plano horizontal percibirá el desplazamiento del Sol de tal modo que describe trayectorias u órbitas circulares paralelas a lo largo del año, proyectadas sobre una semiesfera. Por tanto, el cielo se considera como una semiesfera que descansa sobre un plano horizontal, de cierto lugar del planeta. Cualquier objeto en el espacio se representará por su proyección en la bóveda celeste y su posición estará referida a una red de círculos, donde se localizaran los ángulos solares de altitud y acimut.

Las trayectorias del "movimiento aparente" del Sol, vistas por un observador en la Tierra, se denominan "ruta del Sol". En esta bóveda celeste imaginaria se ubican los puntos conocidos como cenit, que es el punto vertical más alto de la bóveda, y nadir, que es el punto diametralmente opuesto.

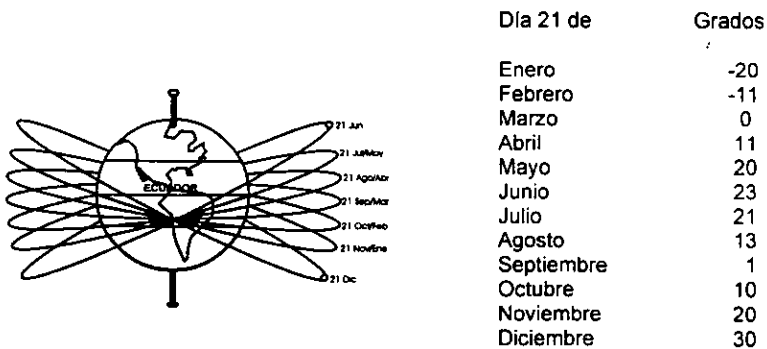


Fig. 1 Movimiento aparente del Sol alrededor de la Tierra y declinación solar con relación al Ecuador.

### 1.5 Métodos matemáticos para determinar la posición del Sol en la bóveda celeste.

Existen diversos métodos para conocer y analizar el comportamiento del Sol, estos métodos son: modelos matemáticos, algoritmos, nomogramas, diagramas gráficos, modelos físicos tridimensionales, programas computacionales, y medios fotográficos en combinación con métodos gráficos.

Los métodos matemáticos proporcionan información precisa y se recomiendan cuando se requiere un alto grado de exactitud; por ejemplo, en casos de cálculos y diseño de dispositivos solares pasivos (colectores solares, fotoceldas, etc.), balance de energía, transferencia térmica, cálculo y evaluación del comportamiento térmico de materiales y sistemas constructivos, etc.

Por medio de los métodos matemáticos es posible determinar las coordenadas solares en forma precisa. Para ello, se requiere conocer las coordenadas geográficas del lugar por estudiar (latitud y longitud), el día del año y la hora solar u oficial en que se deba fijar la posición del Sol.

#### Secuencia para el cálculo matemático de los ángulos solares de altitud y acimut.

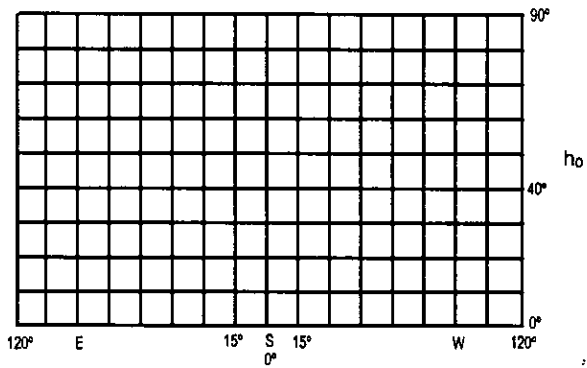
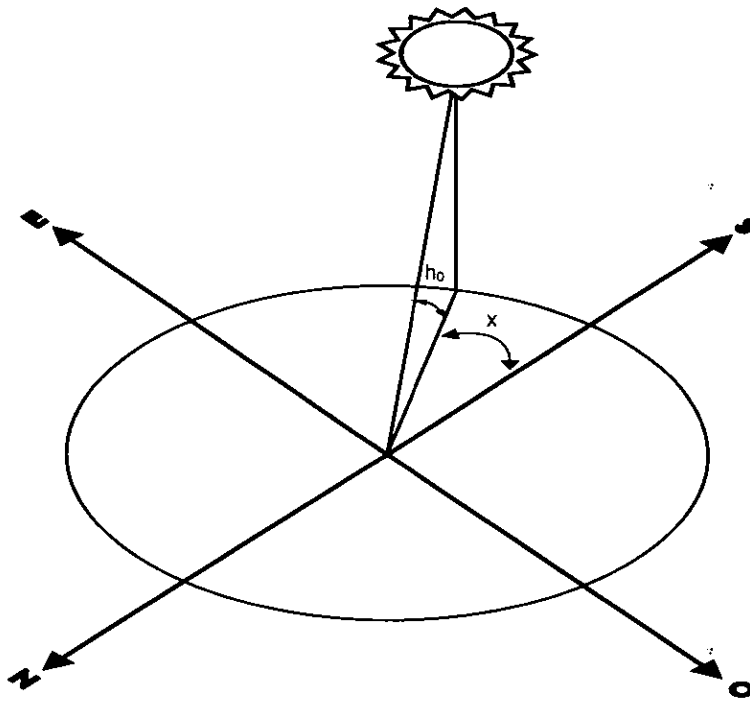
La secuencia consiste en determinar lo siguiente:

- a) El día del año:  $n$ ;  $n$  = al número del día del año ( $n=1,2,\dots,365$ )
- b) El día angular:  $A$ ;  $A = 360 \times n / 365.35$
- c) La declinación solar:  $\delta$ ;  $\delta = 23.45 \sin[(360 \times (284 + n) / 365)]$ ;
- d) El ángulo solar horario:  $\omega$ ;  $\omega = 15 (\text{hora} - 12)$
- e) El ángulo de altura solar, altitud:  $h_0$ ;  $h_0 = \arcsin \{(\sin \phi \times \sin \delta) + (\cos \omega \times \cos \phi \times \cos \delta)\}$   
 $\phi$  = latitud del lugar
- f) El ángulo solar horizontal; acimut:  $X$ ;  $X = \arcsin \{((\cos \delta \times \sin \omega) / \cos h_0)\}$

Cuando se conocen los ángulos de altitud y acimut (también llamados ángulo de elevación y ángulo de orientación), puede localizarse su posición en cualquier punto del cielo, dentro del siguiente gráfico (Fig. 2).

---

\* El ángulo solar horario (H) es positivo para las horas A.M. y negativo para las horas P.M.



Ángulo de acimut (x)

**Fig. 2** Localización de los ángulos de altura y acimut

## 1.6 Hora solar

Al orbitar la tierra alrededor del Sol, su velocidad cambia según su distancia respecto al mismo. Cuando se acerca al Sol se mueve más lentamente y cuando se aleja lo hace mas rápidamente. Esta diferencia en la velocidad de la Tierra es la causante de la divergencia entre la hora solar verdadera y la hora oficial en la Tierra, ya que un reloj normal mide el tiempo uniforme y no tiene en cuenta esta variación de velocidad de la Tierra.

Para simplificar la medición del tiempo, la Tierra esta dividida en 24 zonas de tiempo (segmentos longitudinales) de 15° cada una (en total 360° del circulo completo), que se extienden del polo norte al polo sur. Esto corresponde a 24 h (una hora cada 15° ó 4 minutos por cada grado) necesarias para que la Tierra dé una vuelta completa a su eje. Para establecer la hora solar local en cualquier punto de la tierra, partimos de la hora oficial del lugar. Debe prestarse atención a los horarios de verano, que si existen deben corregirse con otra hora a restar para obtener la hora oficial normal. Como el Sol emplea 4 minutos en recorrer 1° en longitud, debe corregirse este hecho restando 4 minutos por cada grado de longitud al OESTE del meridiano de referencia del huso del horario de que se trate y añadir 4 minutos por cada grado de longitud al ESTE del mismo meridiano. Luego se realiza la corrección de la ecuación del tiempo para obtener la hora solar verdadera.

**La siguiente ecuación sirve para convertir la hora estándar en hora solar:**

$$\text{Hora solar verdadera} = \text{Hora oficial} + E + 4(L_{\text{est}} - L_{\text{loc}})$$

Donde:  $L_{\text{est}}$  = Longitud del meridiano de referencia horaria oficial

$L_{\text{loc}}$  = Longitud del meridiano local

Las longitudes de los meridianos de referencia para México (hora oficial) son:

- ♦ Meridiano 120° W: Baja California Norte, excepto apartir del último domingo de abril al último domingo de octubre, que cambia a 105° W.
- ♦ Meridiano 150° W: Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit.
- ♦ Meridiano 90° W: El resto del país (hora del centro).

E = Corrección según la ecuación del tiempo en minutos y se puede obtener mediante la gráfica de la ecuación del tiempo (Fig. 3) o por la siguiente ecuación.

$$E = 229.2(0.000075 + 0.001868 \cos B - 0.032077 \sin B - 0.014615 \cos 2B - 0.04089 \sin 2B)$$

Donde:  $B = (n - 1) \frac{360}{365}$

n = al día del año. Así  $1 \leq n \leq 365$

Para efectos de cálculo, la hora solar debe expresarse en grados.

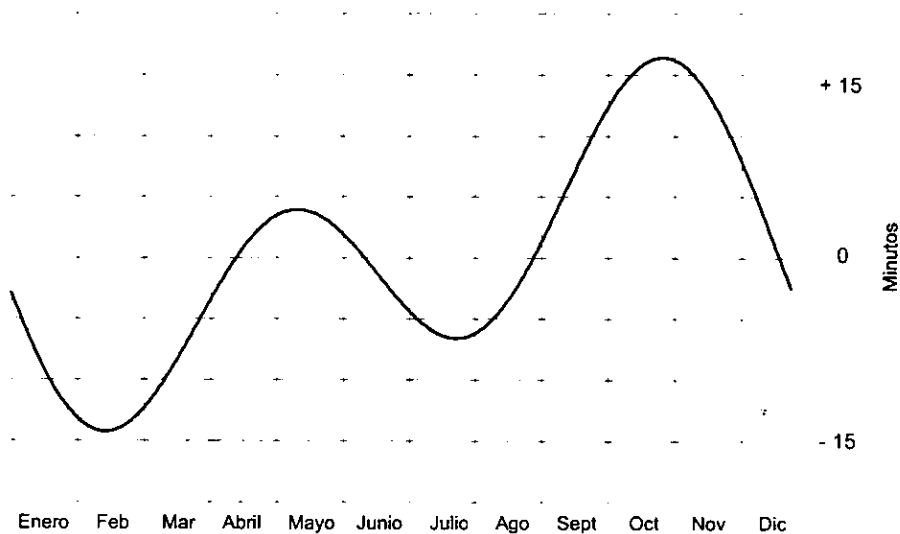


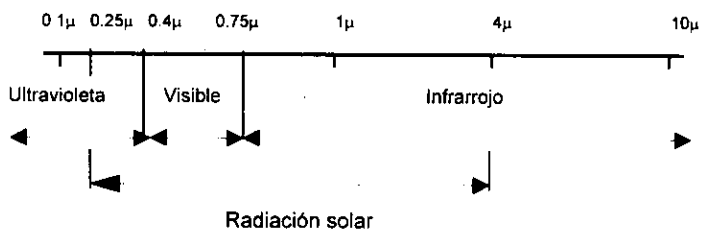
Fig. 3 Gráfica de la ecuación del tiempo.

Es muy difícil tratar de detectar exactamente el medio día solar a simple vista (con reloj en mano) o con ayuda de una brújula, ya que el medio día solar se da cuando el Sol pasa por el plano del meridiano del lugar. Además se debe orientar correctamente hacia el norte geográfico y no hacia el norte magnético, siendo esto más complicado, es preferible utilizar la ecuación del tiempo para obtener el medio día solar verdadero.

## 1.7 Radiación solar.

Las fusiones termonucleares que se producen en el núcleo del Sol liberan energía en forma de radiaciones electromagnéticas de alta frecuencia. Esta energía que atraviesa el espacio se compone de radiaciones de diferentes longitudes de onda. La radiación electromagnética se clasifica según su longitud de onda y la más energética es la de menor longitud de onda. La radiación se emite desde la superficie del Sol comprendiendo todas las longitudes de onda desde las más largas, las ondas de radio, hasta las más cortas, las de rayos X y rayos gama.

### Nombres usados para las longitudes de onda.



La radiación solar, esta constituida por ondas cuyas longitudes están comprendidas entre 0.25 micras y 4 micras, las que se utilizan en radio van de un metro a varios kilómetros. Cuanto menor es la longitud de onda, mayor es la energía asociada a la onda, de aquí el peligro de los rayos ionizantes que están constituidos por ondas un millón de veces más cortas que las de la radiación solar.

La densidad de la radiación solar antes de entrar en la atmósfera es de 1.4 Kw/m<sup>2</sup> este valor es conocido como "Constante Solar". De hecho, no es exactamente constante, y varia según las estaciones del año de 1350 a 1450 w/m<sup>2</sup>. Esta cantidad de energía permite cuantificar la radiación solar recibida en una localidad, una vez filtrada por la atmósfera.

### 1.8 La masa atmosférica en la constante solar.

El valor de la densidad de flujo de radiación solar a la distancia media Tierra–Sol se denomina constante solar. La masa atmosférica ejerce los efectos siguientes en la constante solar:

**Reflexión:** tiene lugar principalmente por la acción de las capas de nubes y consiste en retransmitir en otra dirección la energía recibida, sin modificar cualitativamente las longitudes de onda que la constituyen.

**Difusión:** es una retransmisión de energía recibida por las partículas de la capa atmosférica en cualquier otra dirección, sin modificar la longitud de onda de la radiación incidente. Ésta tiene lugar por la acción de las moléculas de aire, de vapor de agua y de polvo.

**Absorción:** Forma parte de la energía recibida por una sustancia, la cual permite que ésta eleve su temperatura al incrementar la aportación de su propia energía interna.

**Emisión:** consiste en la reemisión de la energía de onda larga (infrarroja) hacia el espacio exterior.

La radiación solar se divide en radiación solar difusa y radiación solar directa, la suma de ambas radiaciones nos da la radiación solar total o global. La radiación solar directa es la radiación solar que le llega al sistema directamente del Sol, cuando no existe ningún obstáculo entre el Sol y el sistema, y la radiación solar difusa es la radiación solar que ha sido reflejada y dispersada por la atmósfera y las nubes, existente en todo momento durante la presencia del Sol a lo largo del día.

Las variaciones de la radiación que se recibe están en función de, la duración de la insolación, la masa de la atmósfera atravesada, la inclinación de los rayos solares, la nubosidad. Estos factores dependen de la estación del año, la hora del día, la latitud, la altitud y el estado del cielo.

El planeta, en su atmósfera y su superficie, ejerce procesos simultáneos de reflexión, difusión, absorción y emisión, para establecer un balance energético que refleja globalmente de 35 a 40 % de la energía solar incidente, absorbe de 65 a 60 % para su calentamiento y, a su vez, emite radiación de onda infrarroja hacia el espacio exterior.

Cuanto más bajo está el Sol sobre el horizonte, mayor es la capa de aire que deben atravesar los rayos y menor es la energía que llega al suelo. Las diversas acciones de la atmósfera eliminan una buena parte de la energía solar, sobre todo en las longitudes del ultravioleta y el infrarrojo. Debido a la traslación y a la rotación de la Tierra, el espesor de atmósfera que debe atravesar la radiación solar varía según la hora del día y el mes del año



**1.9 Angulo de incidencia de la radiación solar, en una superficie inclinada.**

Para poder determinar la cantidad de radiación solar, que le llega a una superficie inclinada, es necesario, conocer la inclinación de la superficie y el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la superficie (Fig. 4). Desde luego, tal cantidad de radiación teórica está en función de la posición real del Sol para un lugar y tiempo determinados.

El ángulo de incidencia formado por el rayo solar y la normal de una superficie cualquiera, que no sea horizontal se puede obtener mediante la fórmula siguiente:

$$\theta = \cos^{-1} (\text{sen } \delta \text{ sen } \phi \text{ cos } \beta - \text{sen } \delta \text{ cos } \phi \text{ sen } \beta \text{ cos } \gamma + \text{cos } \delta \text{ cos } \phi \text{ cos } \beta \text{ cos } \omega + \text{cos } \delta \text{ sen } \phi \text{ sen } \beta \text{ cos } \gamma \text{ cos } \omega + \text{cos } \delta \text{ sen } \beta \text{ sen } \gamma \text{ sen } \omega) \dots\dots\dots (A)$$

- Donde:  $\theta$  = Es el ángulo de incidencia entre el rayo solar y la normal a la superficie.
- $\beta$  = Es el ángulo entre el plano de la superficie en cuestión con respecto a la horizontal.
- $\gamma$  = Es el ángulo de orientación del plano inclinado y que es positivo del sur al oriente, negativo del sur al poniente;  $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$  y nulo si la orientación es sur ( $\gamma = 0$ ).
- $\omega$  = Es el ángulo horario; positivo en la mañana y negativo en la tarde.
- $\delta$  = Declinación solar ( $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$ )
- $\phi$  = La latitud del lugar (para el D.F.,  $\phi = 19.45^\circ$ )

Un caso particular es, el ángulo, ( $\theta_z$ ), que forman la dirección de la radiación directa y la vertical del lugar

$$\theta_z = \cos^{-1} (\text{cos } \phi \text{ cos } \delta \text{ cos } \omega + \text{sen } \phi \text{ sen } \delta) \dots\dots\dots (B)$$

La ecuación (B), se obtiene al hacer  $\beta = 0$  de la ecuación (A). Puede así definirse un factor de proyección,  $R_b$ , tal que permita conocer la radiación sobre un plano cualquiera, conocida la radiación solar sobre un plano horizontal (Fig. 5). Esto es:

$$R_b = \frac{\text{cos } \theta}{\text{cos } \theta_z}$$

Así la radiación global en un plano inclinado queda determinada por:

$$I_G = I_b R_b + I_d$$

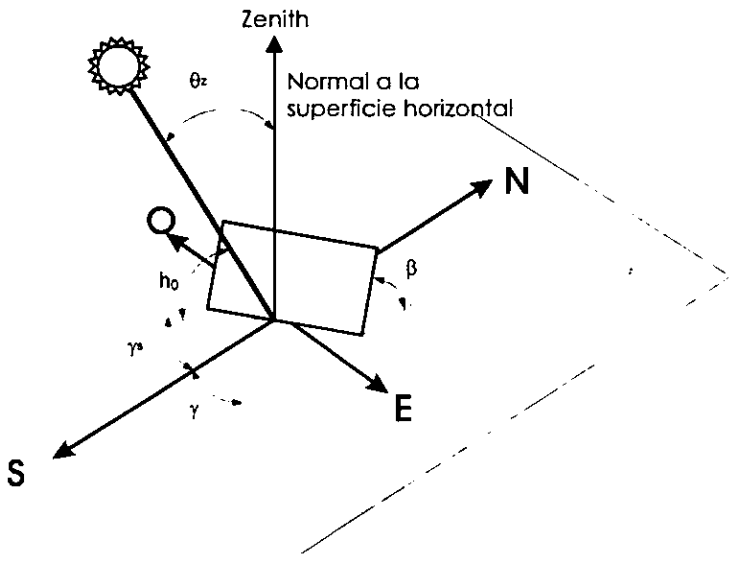


Fig. 4 Relación de algunos ángulos solares sobre una superficie inclinada.

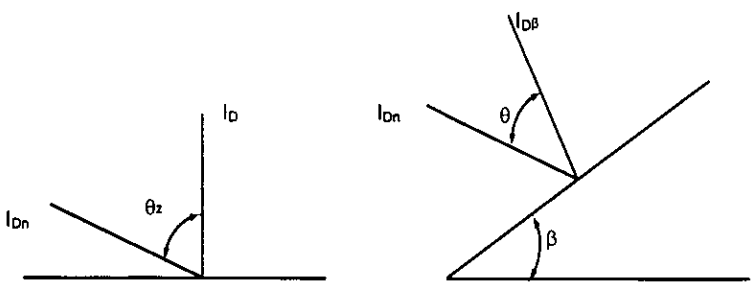


Fig. 5 Radiación directa en una superficie horizontal y en una superficie inclinada.

## **2 CAPITULO II**

### **Colector Solar Plano.**

#### **2.1 Clasificación de los sistemas para el aprovechamiento de la Energía solar.**

La energía solar abarca un campo amplio de conceptos e información que para poder comprender los detalles de cada sistema en particular, es importante comprender previamente los principios fundamentales antes de estudiar los sistemas. Actualmente la calefacción solar tiende a simplificar la vida más que a complicarla.

Los sistemas para calentamiento de agua con energía solar, a base de colectores solares, pueden ser divididos en sistemas activos o pasivos.

1. Los sistemas pasivos son sencillos de concepto, uso y su mantenimiento es reducido ya que los flujos térmicos de energía se transportan por medios naturales, como la radiación, la conducción y la convección natural, dicho de otra manera un sistema pasivo es aquel en que el flujo a través del colector solar se da por el fenómeno de convección, que en un sistema de tuberías se llama termosifón.
2. Un sistema activo es aquel que cuenta con elementos electromecánicos y sistemas electrónicos de control para regular el paso del fluido a través del colector solar y efectuar así el control de la transferencia de calor de este, al tanque de almacenamiento de la energía térmica, ya que en este tipo de sistemas se utilizan sistemas auxiliares mecánicos para captar y transformar el calor.

## **2.2 El Colector Solar Plano de efecto invernadero simple.**

El colector solar plano de efecto invernadero es un dispositivo que intercepta, absorbe, transforma y transfiere la energía solar a un fluido circundante (agua, aire, aceite, etc.), a través de una superficie generalmente plana y fija, que inmediatamente absorbe y transforma en calor. Las temperaturas obtenidas van desde algunos grados sobre la temperatura ambiente (simple exposición al sol de una superficie absorbente) a algunas decenas de grados por encima de la temperatura ambiente (efecto invernadero).

Este tipo de colector consta de las siguientes partes:

- ◆ Una placa metálica absorbente pintada de un color mate oscuro
- ◆ Una cubierta transparente colocada delante del absorbedor (vidrio)
- ◆ Carcasa
- ◆ Aislante térmico (en las partes laterales y posterior)
- ◆ El circuito del fluido situado bajo el absorbedor

Existe una gran diversidad de diseños, pero los más comunes son: tubos soldados a una aleta metálica, tubos paralelos soldados en sus extremos a dos cabezales y láminas metálicas unidas, una de ellas acanalada.

### **La superficie absorbente o absorbedor.**

Es el que capta la radiación, el absorbedor se recubre con pintura mate (para evitar la reflexión) y oscura (para obtener un buen funcionamiento de absorción) como marrón, azul, verde, rojo o negro. Dado que esta pintura podrá alcanzar temperaturas próximas de 100 a 110 °C deberá ser resistente y lo más delgada posible ya que en general las pinturas son materiales aislantes o en todo caso malas conductoras de calor. El circuito del fluido debe presentar el mejor contacto térmico con el absorbedor, se recomienda una capa de agua de 2 a 4 mm de espesor bajo la superficie absorbente.

El absorbedor se aísla térmicamente en el fondo y en los lados para disminuir las pérdidas por conducción calorífica. La parte superior de la placa se cubre a cierta distancia de una cubierta transparente, cuya finalidad es la de producir el efecto invernadero y a su vez eliminar pérdidas por convección con el aire ambiente y por radiación, al absorber la radiación infrarroja, emitida por el absorbedor.

## **La cubierta transparente (Efecto invernadero).**

La cubierta transparente se utiliza delante del absorbedor por varias razones:

- ◆ **Aislamiento:** si no estuviese esta cubierta, el aire exterior incidiría contra el absorbedor y no le permitiría calentarse lo suficiente. El cristal limita las pérdidas por convección. El espacio óptimo que se recomienda dejar entre el cristal y el absorbedor es de 28 mm (en la práctica de 25 a 40 mm).
- ◆ **Efecto invernadero:** La cubierta transparente realiza el efecto invernadero, es decir debe dejar pasar la radiación solar y recuperar lo máximo posible de la radiación emitida por el absorbedor.

## **Carcasa.**

La función de la carcasa es la de contener todo el conjunto y darle rigidez. Dado que los esfuerzos mecánicos son pequeños, no es necesaria una gran resistencia. Generalmente, la carcasa se coloca sobre un soporte metálico fijado al suelo o al edificio. Este soporte aguanta las tensiones debidas a la acción del viento.

## **Aislante térmico.**

El aislamiento térmico se usa para evitar las pérdidas de calor, por efecto de la radiación del absorbedor y por convección al medio ambiente. El aislamiento se coloca alrededor del captador y en su parte inferior.

## **El circuito del fluido.**

El circuito del fluido debe tener el mejor contacto térmico posible con el absorbedor, para que el calor pueda pasar con menos dificultad desde la placa al fluido. En el caso de tubos, el calor tiene dificultad para pasar desde la placa absorbente al fluido que circula por los tubos, así para disminuir la resistencia del paso del calor del absorbedor al agua y evitar que el absorbedor se caliente más para vencer la "resistencia térmica" y radiar mucho más hacia el exterior, el absorbedor debe deformarse o soldarse a los tubos a lo largo de toda su longitud para tener una mayor área de transferencia de calor ya que el colector pierde energía a un nivel de temperatura superior a la del agua que suministra dando como resultado que el rendimiento del captador disminuya.

### 2.3 Efecto invernadero.

La cubierta transparente realiza el efecto invernadero. Este fenómeno se produce cuando la radiación solar llega a la cubierta transparente, la atraviesa casi en su totalidad e incide sobre el absorbedor que consecuentemente absorberá casi toda la radiación solar y se calentará, debido a esto empezará a radiar ondas de longitudes distintas a las del Sol (sí el Sol radia ondas de longitud entre 0.25 micras y 2.5 micras, el absorbedor emitirá ondas entre 4 y 70 micras, es decir, en el infrarrojo). La radiación emitida por el absorbedor intentará salir del colector y para ello incidirá sobre el cristal. Mientras que el cristal es transparente para la radiación solar (longitudes de ondas cortas), es opaco para la radiación infrarroja. El cristal absorberá toda la radiación emitida por el absorbedor, el cristal se calienta al absorber esta radiación, se comportará como un cuerpo negro y toda su superficie radiará, es decir por sus dos caras. Por consiguiente el absorbedor recibirá la radiación solar más la mitad de la radiación del cristal, a este fenómeno se le llama **efecto invernadero (Fig. 6)**.

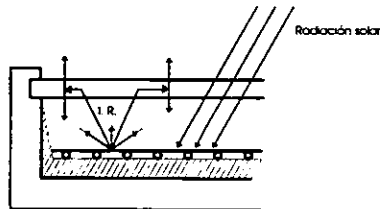


Fig. 6 Efecto Invernadero.

## 2.4 Materiales para la construcción de Colectores Solares Planos

**Absorbedor:** el absorbedor puede ser de plástico, de cobre (bueno pero caro), de aluminio o de acero, materiales que poseen buenas conductividades térmicas y muy variadas dimensiones. El aluminio no es aconsejable ya que aparecen en el circuito completo (colector con tubería) fenómenos de corrosión muy rápidos, si no se utiliza un fluido especial, lo que pone fuera de funcionamiento al sistema rápidamente, tampoco es aconsejable el acero galvanizado para la fabricación del absorbedor, ya que su temperatura sobrepasará con frecuencia los 55 °C. El plástico envejece rápidamente bajo la acción del calor y de los rayos ultravioleta (que atraviesan la cubierta transparente). Cabe mencionar que cuanto más ligero es el absorbedor menos inercia térmica posee, por esta razón se prefieren los absorbedores ligeros y extraplanos a los pesados.

**Aislamiento térmico;** existen diversos tipos de materiales que se pueden utilizar como aislantes térmicos, algunos de ellos son:

**Fibra de vidrio:** La fibra de vidrio es un aislante excelente, es económica y resiste a temperaturas superiores a 100 °C, pero sus inconvenientes son que pierde sus propiedades aislantes cuando se humedece, además de que si se coloca en una superficie inclinada, acaba por amontonarse, y para evitar este problema se pueden utilizar paneles rígidos y poco densos de fibra de vidrio, son los más baratos y su resistencia es suficiente.

Igualmente se pueden utilizar espumas como aislantes: espumas rígidas o no, espuma de poliuretano, de poliestireno expandido, etc., pero la desventaja de utilizar espumas es que, no todas resisten temperaturas próximas a los 100 °C; en cambio son poco pesadas, fáciles de cortar y pegar. La espuma de poliuretano, frecuentemente utilizada para el aislamiento es muy práctica, pero cara.

Se pueden también utilizar:

Virutas de madera colocadas entre dos hojas de contraplacado o de Isorel o placas de corcho conglomerado.

Todavía se puede mejorar el aislamiento térmico de un aislador colocando una hoja de aluminio entre el absorbedor y el aislante. Esta hoja reflejara hacia el absorbedor la radiación infrarroja que este último emite hacia la parte posterior, pero conviene dejar una cámara de aire de un centímetro aproximadamente entre el absorbedor y la hoja reflectora.

## **Materiales empleados para cubiertas transparentes.**

El mejor es el **crystal corriente** más "blanco" de 4 mm de espesor para unas dimensiones de 1m x 1m. Este cristal es cada vez más difícil de encontrar porque el que se vende ahora presenta reflejos verdes cuando se le mira oblicuamente a causa de los óxidos metálicos que lleva. Dado que la acción de estos óxidos es mínima, podrá utilizarse el cristal corrientemente utilizado en la construcción.

El **vidrio "amartillado"** de calidad corriente de 5 mm de espesor, también puede emplearse por razones de resistencia y de economía. El pirex y el cristal de silicio también son utilizables pero son demasiado caros.

Las **láminas plásticas** son utilizables igualmente, son de poco peso y baratas, pero envejecen bajo la acción de la radiación ultravioleta y se deben reemplazar periódicamente. Pero no todas las láminas de plástico pueden ser utilizadas, como el polietileno entre ellas, son transparentes a la radiación infrarroja. En consecuencia dejarán pasar toda la radiación procedente del absorbedor sin realizar el efecto invernadero.

**Carcasa:** dentro de los posibles materiales para la construcción de la carcasa se pueden utilizar materiales como: Lámina negra, aluminio, maderas, resinas, etc.

- ♦ Chapa negra corriente 10/10. Es barata pero en cambio favorece las pérdidas térmicas, además, para trabajarla se necesita mucha herramienta: una plegadora, un banco de soldadura, etc.
- ♦ Madera: contraplacado "marino" pero su comportamiento con el paso del tiempo es discutible. Es mejor prescindir de su utilización.
- ♦ Plástico: fibra de vidrio y resina. Es una solución no muy cara y muy segura, para la cual no es necesario un utillaje<sup>3</sup> especial, pero en cambio necesita mucho cuidado. Cada vez lo utilizan más los fabricantes.

**Circuito del fluido:** Todos los elementos que componen el circuito deberán estar fabricados con materiales de los llamados "higiénicos" o "sanitarios" como el cobre, bronce, acero galvanizado<sup>4</sup>, etc.

---

<sup>3</sup> Utillaje: conjunto de herramientas, instrumentos o máquinas.

<sup>4</sup> El acero galvanizado no es muy recomendable cuando se combina con el cobre, pues se crea una excelente pila eléctrica y por lo cual se produce corrosión en el circuito.



## 2.5 Estanqueidad de un colector solar.

Es necesario construir un colector perfectamente estanco, para evitar la entrada del agua a la carcasa (lluvia, humedad del aire, rocío, etc.) y que el rendimiento del colector disminuya de tres formas diferentes:

- a) Durante el funcionamiento del colector a baja temperatura, la humedad del aire del interior del colector se condensará sobre la cara interna del cristal. Debido a la pérdida de transparencia, absorberá la radiación en lugar de dejarla pasar. Cuando el colector empiece a funcionar, la condensación persistirá hasta que el cristal se caliente lo suficiente para evaporarla. A partir de este momento, la radiación solar podrá atravesar el cristal y calentar el absorbedor.

Por la noche las condensaciones se formarán antes. De esta forma un colector en cuyo interior el aire esté húmedo se pondrá en funcionamiento más tarde y se detendrá antes que si el mismo colector tuviese en su interior aire seco.

- b) Si el colector no es estanco, el polvo y la suciedad entrarán en su interior y se depositarán sobre el cristal junto con las condensaciones. Éste se ensuciará rápidamente y por lo tanto disminuirá su transparencia.
- c) El agua puede mojar el aislante térmico. Ciertos aislantes no son sensibles a la humedad: todas las espumas de “células cerradas” como la espuma de poliuretano, la espuma de PVC, etc. Contrariamente, otros aislantes son muy sensibles a la humedad. La fibra de vidrio está muy caracterizada por este defecto: una vez húmeda se convierte prácticamente en conductor de calor.

En la práctica es muy difícil realizar una estanqueidad perfecta. Con frecuencia será menos malo “ventilar” el interior del colector que hacer una mala estanqueidad: para ello, se harán algunos agujeros de 2 a 3 mm de diámetro en la carcasa en una zona protegida de la lluvia, entre el radiador y el cristal.

## **2.6 Area del calentador solar.**

En la práctica, el área de los colectores se debe calcular para satisfacer del 50 al 90 % de las necesidades totales de agua caliente de la vivienda, un metro cuadrado de calentador solar proporciona entre 50 a 80 litros de agua caliente (de 40 a 60 °C), según la disponibilidad de energía solar de la localidad, la intensidad y frecuencia del viento y el rango de temperaturas ambiente de la localidad.

## **2.7 Funcionamiento del calentador solar.**

En su recorrido: colector-depósito-colector, el agua podrá circular por sí misma (circulación natural) o ser impulsada por una pequeña bomba (circulación forzada). Las posiciones relativas entre el colector y el depósito son esenciales para decidir el funcionamiento de todo el conjunto.

### **2.7.1 Funcionamiento por termosifón (circulación natural)**

El termosifón consiste en que el agua dentro del colector al calentarse disminuye su densidad por la dilatación y está se eleve, en tanto que el agua fría de la base del tanque, que está más densa, se queda en la parte de abajo, generándose una circulación natural debido a la diferencia de las densidades.

#### **Principio**

El agua se calienta en el colector, siendo menos pesada que el agua fría, a igualdad de volumen, el agua caliente asciende, el agua más fría en la parte baja del depósito descende, etc. De esta forma, la circulación del agua se establece por sí misma (Fig. 7).

Ciertas resistencias se oponen al paso del agua por el circuito: se les conoce como "pérdidas de carga". Son de dos clases:

- ◆ El rozamiento del agua con la pared interna de la tubería. Es de poca importancia en tuberías lisas.
- ◆ La resistencia al paso del fluido provocada por los accidentes a lo largo del recorrido: codos, empalmes de tubos de diferentes secciones, empalmes de varias canalizaciones, accesorios diversos de regulación o de seguridad.

Si las pérdidas de carga son demasiado importantes (tubería demasiado larga y demasiado estrecha, accidentes a lo largo del recorrido demasiado numerosos), el agua se ve excesivamente "frenada" y no puede circular por sí misma. Por el contrario, si la tubería es demasiado ancha, el agua circula libremente, pero con mucha lentitud y el rendimiento es peor, siendo sobre todo el coste de fabricación mucho mayor.

La instalación deberá ser suficientemente potente para vencer estas pérdidas de carga. El funcionamiento del termosifón se caracteriza por su "carga hidromotriz" corrientemente llamada "carga". La carga depende de dos factores:

- ◆  $\Delta T = T_2 - T_1$ , que es la diferencia de temperaturas del agua entre la salida del colector y la salida del depósito.
- ◆ H, que es la diferencia de alturas entre el punto medio del depósito y el punto medio del colector.

Cuanto mayor sea la carga, es decir cuanto mayores sean  $\Delta T$  y H, más fácil será la circulación del agua.

### **Limitaciones de la instalación**

El agua caliente debe siempre ascender hacia el depósito y el agua fría descender hacia el colector. En consecuencia:

- ◆ No se puede colocar el depósito por debajo del colector.
- ◆ Las tuberías horizontales deben tener una ligera inclinación, como mínimo de 3 mm por metro, hacia el o los "puntos altos", los cuales deben estar siempre provistos de purgadores.
- ◆ Los tubos deben ser lo suficientemente anchos para permitir la libre circulación del agua.

### Ventajas e inconvenientes

El circuito del termosifón es muy simple y en consecuencia muy satisfactorio. No hace mucho, todas las instalaciones de calefacción funcionaban de esta forma, pero su puesta es siempre, trabajo del instalador de calefacciones. Desde luego, es poco confiable, si no se posee un circuito muy sencillo: Un depósito próximo al colector y por encima de él.

Por otra parte, el control de la temperatura de funcionamiento de un termosifón es difícil o costoso. En ausencia de este control, a veces se puede llegar a almacenar en el depósito agua a más de 60°C, lo que favorecerá la formación de incrustaciones.

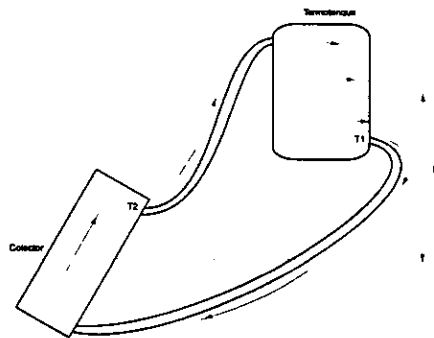


Fig. 7 Calentamiento de agua por termosifón.

## **2.7.2 Funcionamiento por circulación forzada.**

### **Principio**

Se acude a una bomba para hacer circular el agua (Fig. 8). Esta bomba da al circuito una carga mucho más importante que el termosifón. En consecuencia, la velocidad del agua es mayor; esto permite utilizar tubos de menor diámetro. En particular, el caudal de agua será función:

- ♦ De la potencia de la bomba
- ♦ De las pérdidas de carga del circuito (como en el caso del termosifón son debidas al rozamiento del agua con los tubos y a las resistencias que se oponen al paso del agua debidas a los accidentes a lo largo de su recorrido).

De esta forma, una misma bomba colocada en un circuito corto y sencillo evidentemente suministrará un caudal de mayor importancia que en un circuito largo y complicado. La carga se mide en "metros de columna de agua" (mCA).

### **Limitaciones de la instalación**

- ♦ Es necesario disponer de electricidad.
- ♦ Las bombas que normalmente se encuentran no dan resultados satisfactorios para instalaciones muy pequeñas: el mínimo parece estar en el calentamiento de un depósito de 200 litros.

### **Ventajas**

- ♦ El agua puede circular por debajo del nivel del colector: el depósito podrá colocarse en el lugar de la casa donde se desee.
- ♦ No se está obligado a colocar las tuberías horizontales con una ligera inclinación.
- ♦ Los tubos serán más delgados que los usados en una instalación con termosifón, por lo cual se economiza en este punto.
- ♦ Las pérdidas de carga no constituirán una razón para que el circuito no funcione: siempre se podrá encontrar una bomba adaptable a una determinada instalación.

## Inconvenientes

- ◆ Es más caro
- ◆ Es más complicado; en consecuencia, se pueden producir averías de forma eventual, lo cual es bastante raro.
- ◆ La instalación deberá estar bien regulada.
- ◆ Una bomba es muy sensible a la formación de incrustaciones, en consecuencia no es aconsejable en las instalaciones sin intercambiador de calor.

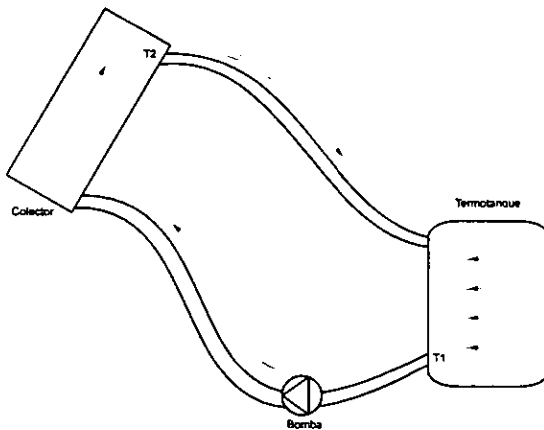


Fig. 8 Calefacción de agua a circulación forzada.

## 2.8 Consideraciones para la instalación de colectores solares.

### 2.8.1 Inclinação del colector solar.

El colector capta un máximo de energía cuando está perpendicular a los rayos del Sol. Ahora bien, la inclinación de los rayos varía a lo largo del día y a lo largo de las estaciones (el sol está más bajo en el cielo en invierno).

La cantidad de radiación solar incidente sobre el colector depende de su orientación y de su inclinación respecto a la trayectoria del sol. Dado que los colectores estarán forzosamente fijos, se les deberá orientar hacia el sur para aprovechar al máximo los rayos solares durante el día. Además, se inclinarán los colectores respecto del plano horizontal, un ángulo igual a la latitud del lugar, aumentando  $10^\circ$  para el invierno. Cuando se pretende una mayor captación solar durante el verano se sugiere inclinar el colector a un ángulo igual al de la latitud menos  $10^\circ$ .

### 2.8.2 Montaje de las tuberías de entrada y salida.

Dentro de los cuidados importantes que se deben de tener al construir un colector está el montaje de las tuberías de entrada y salida. Para un colector de carcasa metálica es necesario evitar hacer salir o entrar un tubo (metálico o no) por un agujero del mismo diámetro en la carcasa. Este tubo deberá estar bien aislado tanto en el interior como en el exterior de la carcasa, ya que si no fuese así pasarían muchas calorías desde el tubo hacia la pared de la carcasa, la cual la disiparía. Necesariamente debe existir un aislante entre el tubo y la carcasa (Ver Fig. 9).

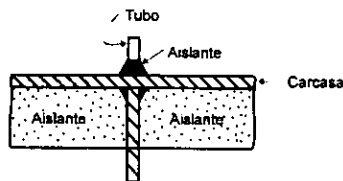


Fig. 9 Aislamiento de las tuberías de entrada y salida dentro del colector.

Es necesario presentar gran atención a la estanqueidad en este punto. El agua puede entrar en la carcasa y mojar el aislante. Poner masilla entre el tubo y la carcasa en el punto de entrada para evitar el paso del agua, no sirve de nada, las temperaturas y las dilataciones del tubo hacen que la masilla no se mantenga.

### 2.8.3 Protección del equipo.

En lugares donde se registren temperaturas inferiores a 5 °C, se deben tomar previsiones para evitar que las tuberías del colector se revienten por congelamiento del agua. Para proteger al calentador solar del hielo existen tres alternativas:

- 1) Vaciar el calentador solar en el invierno de forma manual (noches y periodos sin utilización).
- 2) Agregar un anticongelante al circuito, para lo cual es necesario adaptar un intercambiador de calor.
- 3) Colocar una válvula anticongelante.

La primera opción es económica y simple. Aunque un tanto molesta, debido a que el usuario tiene que vaciar el colector todas las tardes durante el invierno.

La segunda opción consiste en colocar un intercambiador de calor en el termotanque y utilizar una mezcla de agua con anticongelante. De esta manera, existen dos circuitos hidráulicos: el primario, que conecta al colector con el intercambiador de calor a través del cual circula la mezcla anticongelante, y el secundario, por el cual circula el agua caliente de termotanque a servicios o al calentador auxiliar.

La tercera opción consiste en colocar una válvula anticongelante que, de forma automática, drene el colector cuando la temperatura ambiente esté cercana a la del congelamiento del agua.



### 3 CAPITULO III

### Análisis de normas internacionales

#### 3.1 Norma ASHRAE 93-77.

La norma ASHRAE 93-77 (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Enginners) está basada en el reporte interno NBSIR 74-635. El propósito de esta norma es dar procedimientos para evaluar módulos de colectores solares de acuerdo a su funcionamiento térmico.

La norma especifica definiciones, clasificaciones, requerimientos, instrumentación, aparato y método de prueba, procedimientos de prueba, cálculos, datos y reporte de prueba. Determina también el funcionamiento térmico de los módulos de colectores solares con y sin concentración de energía solar, la constante de tiempo y la variación de la eficiencia con forme a los cambios de la radiación solar incidente en este.

La norma contiene métodos de prueba para evaluar módulos de colectores solares en el exterior al aire libre con radiación solar natural y en el interior en cuarto cerrado con radiación solar simulada, especifica que el fluido de trabajo debe de pasar por una entrada y una salida únicas del colector solar para determinar las propiedades en esos puntos y que el fluido puede ser un líquido o un gas pero no una mezcla de ambos. El gasto másico recomendado es de 0.02 Kg/s por cada metro cuadrado si se emplea un líquido y si es un gas el gasto másico recomendado es de 0.01 m<sup>3</sup>/s por cada metro cuadrado.

Los métodos de prueba de está norma no son aplicables a módulos de colectores solares en los cuales la unidad de almacenamiento térmico sea una parte integral del sistema por lo cual para poder aplicar los métodos de prueba de está norma la unidad de almacenamiento térmico no debe formar parte integral del colector solar.

La norma proporciona métodos de prueba y procedimientos de calculo para determinar en estado permanente y cuasipermanente la constante de tiempo, ya que es necesaria para determinar el tiempo de respuesta del colector solar, como también para evaluar su comportamiento transitorio y para seleccionar los intervalos de tiempo para las pruebas de la eficiencia térmica en estado permanente y cuasipermanente.

Para el desarrollo de las pruebas al determinar la eficiencia térmica el ángulo de incidencia debe ser menor a  $30^\circ$  y la temperatura ambiente menor a  $30^\circ\text{C}$  durante el periodo de la prueba. Para determinar la abscisa  $(T_s - T_a)/I_G$  en la curva de eficiencia se deben de obtener al menos 4 valores diferentes de temperaturas del fluido en la entrada y son: 10, 30, 50 y 70% de la temperatura de estancamiento. Al menos cuatro lecturas se toman para cada una de las temperaturas de entrada anteriores, dos durante el periodo de prueba antes del medio día solar y dos después del medio día solar. La curva de eficiencia puede establecerse por una serie de valores determinados aplicando los métodos de prueba correspondiente, en intervalos de tiempo iguales a la constante de tiempo o cinco minutos, cualquiera de los dos el más grande. Cabe mencionar que durante las pruebas la insolación promedio no debe ser menor a  $630\text{ W/m}^2$ .

### 3.2 Norma DIN 4757

La norma DIN 4757 (Deutsches Institut for Normung) se aplica a plantas de calentamiento solar abiertas y cerradas con circulación natural (termosifón ó circulación por gravedad) y circulación forzada. Los medios de transferencia de calor pueden ser agua, agua con fluidos sintéticos y fluidos orgánicos.

Está norma consta de cuatro partes:

Parte 1: Planta de calentamiento solar, operación con agua y mezcla de agua con medios de transferencia de calor.

Parte 2: Plantas de calentamiento solar, operación con medios de transferencia de calor orgánicos.

Parte 3 y 4: Plantas de calentamiento solar, colectores solares.

La norma especifica conceptos, clasificaciones, requerimientos de seguridad relacionados con materiales, tipo y manufactura, equipos, medios de transferencia de calor, instalación pruebas e instrucciones de operación. Proporciona métodos de prueba para evaluar el funcionamiento térmico de colectores solares en régimen permanente y cuasipermanente con y sin concentración de energía solar.

Determina la temperatura máxima de estancamiento y la eficiencia térmica. La eficiencia térmica es la suma algebraica de un factor de conversión y las pérdidas térmicas. El primero se obtiene con pruebas experimentales en el exterior al aire libre con radiación solar natural mayor a  $600 \text{ W/m}^2$  y con ángulos de incidencia menores a  $15^\circ$  y las pérdidas térmicas se obtienen en el interior en cuarto cerrado sin radiación solar y con velocidades de aire controladas a través del captador de 0 y 4 m/s. El gasto másico es el recomendado por el fabricante. La diferencia de temperaturas del fluido entre la entrada y la salida debe ser de 4 K ( $4 \text{ }^\circ\text{C}$ ) mínimo y 20 K ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) máxima.

La temperatura de entrada del fluido no debe ser menor o mayor de 10 K (10 °C) respecto de la temperatura de aire ambiente. El proceso de prueba comprende 30 minutos de estabilización antes de la fase de medición que es de 15 minutos. La radiación solar global, las temperaturas de entrada y salida, y el gasto másico son registradas continuamente. En pruebas sin radiación solar la temperatura del cuarto cerrado debe ser entre 15 y 25 °C, la fase de estabilización de 60 minutos y la fase de medición de 15 minutos. Se toman dos mediciones para cada velocidad del aire de 0 y 4 m/s y temperaturas de entrada del fluido de 30, 50, 70 y 90 °C aproximadamente (16 mediciones en total). La norma proporciona un formato para el reporte de la prueba.

Del análisis de las normas<sup>5</sup> anteriores se concluye que no hay una manera única de evaluar el funcionamiento térmico de colectores solares. Mientras la norma ASHRAE emplea procedimientos de prueba ya sea en el exterior al aire libre con radiación solar o en el interior en cuarto cerrado con un simulador solar con radiación solar artificial, la norma DIN emplea procedimientos de prueba, dependientes entre sí, tanto al aire libre con radiación solar como en el interior en cuarto cerrado sin radiación solar para evaluar la eficiencia térmica.

---

<sup>5</sup> Estas normas no son anexadas a esta tesis debido al gran contenido de páginas de estas. Estas normas se dejan en el Instituto de Ingeniería de la UNAM en la coordinación de Mecánica, Térmica y Fluidos.

## **4 CAPITULO IV**

### **Equipo experimental.**

#### **4.1 Descripción del equipo experimental.**

El sistema solar al que se le realizó el estudio térmico, es un calentador solar de agua a circulación natural. Este tipo de calentador es el más común para uso doméstico; consta de dos colectores solares y de un tanque de almacenamiento aislado térmicamente (termotanque), el cual se instala en una posición más elevada que el colector, para lograr el efecto termosifón o de circulación natural. Este último sirve para aprovechar la diferencia de temperaturas existente entre el colector y el termotanque.

El sistema solar está compuesto por los siguientes sub-sistemas.

- ◆ El sistema de captación y conversión de la energía.
- ◆ El sistema de almacenamiento.

Estos dos subsistemas dependen de variables específicas, las cuales pueden variarse y por lo tanto obtener diferentes respuestas del sistema en general, estas variables son: el ángulo de incidencia de la radiación solar, el área de captación solar, el flujo de agua en los colectores solares. Así conforme a un análisis y evaluación de resultados se puede determinar la influencia de cada variable en el calentamiento del fluido por medio de la energía solar.

#### **4.2 Sistema de captación y conversión de energía.**

El sistema de captación y conversión de la energía radica básicamente en dos colectores solares planos de un solo vidrio que están contruidos de estructura de aluminio y áreas de captación igual a  $1.85 \text{ m}^2$  por cada colector, que sumadas ambas nos dan un área de captación total de  $3.705 \text{ m}^2$ . Los colectores solares están inclinados  $20.5^\circ$  con respecto a la horizontal y orientados hacia el sur, los colectores son del tipo de tubos paralelos soldados en sus extremos a dos cabezales y con la placa absorbidora deformada a lo largo de los largueros para obtener una mayor área de transferencia de calor (Fig. 10).

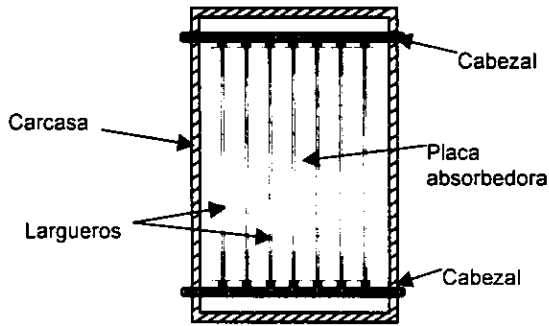


Fig. 10. Colector solar plano del tipo de tubos paralelos soldados en sus extremos a dos cabezales y con la placa absorbedora deformada a lo largo de los largueros.

Las características de cada una de sus partes se describen a continuación.

<b>Cubierta transparente</b>		<b>Aislante térmico</b>	
N. de cubiertas	1	Material	Poliestireno
Material	Vidrio	Espesor	0.05 m
Transmitividad de la radiación solar	0.85	Conductividad térmica	$\bar{K} = 0.067 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$
Dimensiones	$2.055 \text{ m}^2$		
Espesor	4 mm		

<b>Placa absorbedora</b>		<b>Tubos y soldadura</b>	
Material	Lamina galvanizada	Material de los tubos	Cobre
Conductividad térmica	$K = 65 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$	Conductividad térmica	$K = 375 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$
Recubrimiento	Pintura negra mate	Diámetro	$\frac{1}{4}$ "
		N. tubos por colector	7
		Espacio entre tubos	0.12 m
		Material de soldadura	Estaño 50/50

<b>Cubierta posterior y lateral</b>		<b>Cabezales</b>	
Material	Aluminio	Material	Cobre
Espesor	Calibre 10 (1/8")	Diámetro	1"
Conductividad térmica	$K = 202 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$	Conductividad térmica	$K = 375 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$

### **4.3 Sistema de almacenamiento.**

El sistema de almacenamiento, del agua caliente se lleva a cabo, dentro de un tanque térmico, con una capacidad de 260 Lt, el cual esta forrado de un aislamiento térmico (espuma de poliuretano) con un espesor de 2.7 cm. La distancia existente entre la parte alta del colector y la parte baja del depósito es de 35 cm (se recomienda una distancia mínima de 20 cm entre el extremo superior del colector y el nivel del tubo de salida de agua fría del tanque de almacenamiento). El tanque térmico se alimenta de agua por medio de un tanque de suministro de agua fría con una capacidad de 600 Lt y esta colocado 15 cm por encima de la parte alta del termotanque (se recomienda que la parte baja del tinaco quede por lo menos a 5 cm arriba del termotanque), lo que permite la circulación del agua por medio de la gravedad terrestre. El agua fría en el termotanque desciende por gravedad al colector que transforma la energía radiante en calorífica y la cede al fluido circundante. Por su parte el agua caliente del colector es menos densa y tiende a subir hacia la parte alta del termotanque, con lo cual se establece una circulación natural durante las horas de insolación. En días despejados y al medio día solar, el flujo en un calentador solar es del orden de 1 Lt/min por m<sup>2</sup> de superficie de colector.

### **4.4 Tubería y válvulas.**

El sistema solar (Colectores solares planos y tanque térmico) se encuentra conectado por un circuito de tuberías de cobre con un diámetro de ¾", que va del tanque de suministro de agua fría a la parte baja del termotanque y de la parte baja del termotanque a la entrada de agua fría de los colectores solares y de la salida de agua caliente de los colectores solares a la parte alta del termotanque, también el sistema solar esta provisto de válvulas de compuerta y válvulas de paso, colocadas de tal manera que permitan el correcto funcionamiento del sistema y el desarrollo de las pruebas experimentales, como se muestra en el diagrama de instalación del equipo (Fig. 11).

La alimentación de agua fría se coloca en la parte baja del termotanque y se corona mediante un pequeño casquete para evitar que, bajo la acción de la presión (cuando se saca agua caliente), el agua fría no se difunda por todo el deposito (Fig. 12).

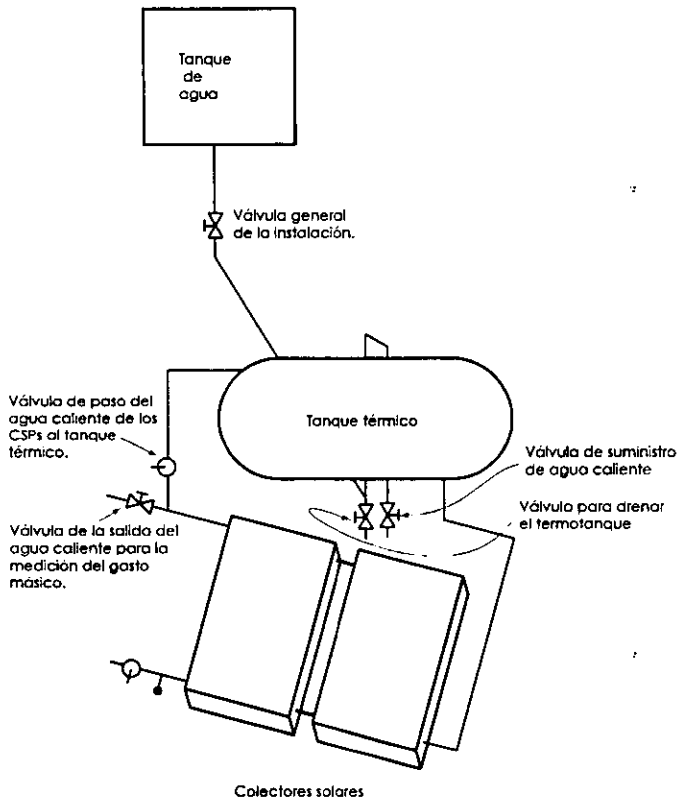


Fig. 11 Diagrama de la instalación de los colectores solares.

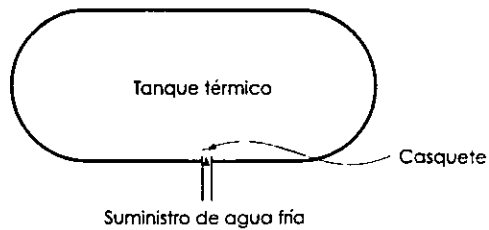


Fig. 12 alimentación de agua fría en el termotanque.



## 4.5 Instrumentación.

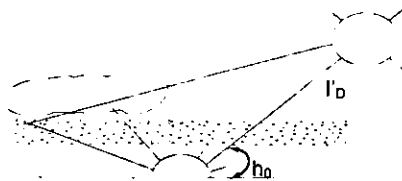
### 4.5.1 Medición de la radiación solar.

La suma de la radiación directa ( $I_D$ ) más la radiación difusa ( $I_d$ ) se conoce como la radiación global ( $I_G$ ) y se mide a través de su flujo de energía.

$$I_G = I_D + I_d$$

El flujo de radiación global se define tradicionalmente sobre superficies horizontales. Como la radiación directa se mide en una superficie perpendicular a la dirección de los rayos solares, su intensidad en una superficie horizontal  $I_D$  depende de la altura solar  $h_0$ .

$$I_D = I'_D \text{ sen } h_0$$



De esta manera para la radiación global se tiene que:

$$I_G = I_d + I'_D \text{ sen } h_0$$

Durante el desarrollo de las pruebas experimentales al sistema solar se trabajó con un medidor de radiación solar de banda giratoria (RSP), cuya función principal, es monitorear y almacenar los datos de seis variables climatológicas, las cuales son: La radiación solar en sus tres componentes (Radiación directa normal, Radiación difusa horizontal y Radiación global), la temperatura ambiental, la velocidad y dirección del viento a una frecuencia definida por el programa de la estación que durante el desarrollo de las pruebas fue de 5 minutos. Para poder medir las variables mencionadas de la radiación se utilizó un radiómetro de banda giratoria de Campbell Scientific Inc. Cuenta con un solo sensor de radiación, con el cual se pueden obtener las tres componentes principales de la radiación solar (directa normal, difusa y global), el cual viene montado sobre una base metálica soldada a la estación meteorológica, colocado de tal manera que mida la radiación solar, sobre un plano horizontal.

Los componentes principales del sistema de medición que conforman la estación son:

- ◆ Piranómetro (RSP)
- ◆ Sensor de temperatura
- ◆ Medidor de velocidad de viento
- ◆ Medidor de dirección de viento

#### 4.5.2 Radiación solar en el plano del colector.

La radiación solar en el plano del colector, nos permite conocer la cantidad de radiación solar, que esta siendo utilizada realmente por el colector. Para conocer cual es la radiación solar en el plano del colector, se hizo lo siguiente:

Por medio de la estación meteorológica y con ayuda del radiómetro de banda giratoria, obtenemos tres componentes de la radiación solar, las cuales son: Radiación global o total, Radiación directa normal y Radiación difusa. Como ya se explico en el capítulo I, la radiación global es la suma de la radiación directa más la difusa, cabe mencionar que la radiación directa normal obtenida mediante el radiómetro no es la radiación directa que incide en un plano horizontal, si no que es una componente de la radiación directa medida en un plano horizontal, así, la radiación directa que incide en el plano horizontal la obtenemos por despeje al restarle a la radiación global la radiación difusa.

$$I_D = I_G - I_d$$

Una vez calculada la radiación directa sobre el plano horizontal, la trasladamos al plano del colector y la dividimos entre el coseno del ángulo que forma con la normal del colector. De esta manera obtenemos la radiación directa, para después sumarle la radiación difusa<sup>6</sup> y así obtener la radiación total que están absorbiendo los colectores solares (Fig. 13).

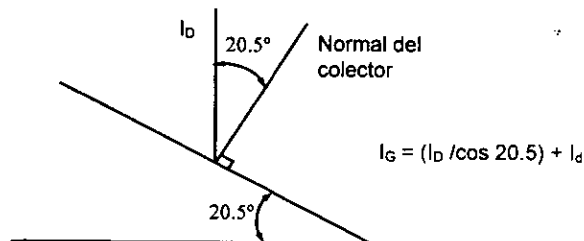


Fig. 13 Radiación directa en el plano del colector.

<sup>6</sup> La radiación difusa es a menudo considerada como uniforme, esto no es estrictamente verdadero, pero, para nuestros fines así la consideraremos.

#### 4.5.3 Medición del gasto másico.

La medición del gasto másico se realizó con una probeta graduada Pirex de 1000 ml y un cronómetro. Para conocer la temperatura del fluido se utilizó un termómetro de mercurio. El volumen medido en cierto tiempo, multiplicado por la densidad evaluada a la temperatura del fluido es el gasto másico.

$$m = \frac{V\rho}{t}$$

V = volumen [m<sup>3</sup>]  
donde: ρ = densidad [Kg/m<sup>3</sup>]  
t = tiempo [s]

Las propiedades físicas del agua (densidad y calor específico), se calcularon mediante las siguientes formulas a la temperatura del fluido (de 10 a 130 °C), cuyas ecuaciones se obtienen de un programa de computadora desarrollado por Hulburt con datos tabulados por Raznjevic.

La densidad del agua se calculo por medio de la siguiente fórmula :

$$\rho = 1001.075 - 0.01773 T^{1.69}$$

El calor específico Cp del agua se calculo por medio de la siguiente fórmula:

$$C_p = 4.2348 - 0.01505 T^{0.77} + 0.00477 T^{1.01}$$

---

\* Hulburt H. Z. "Curve fitting by computer", Hydro-Carbon processing , Pp 107-110, August 1980

\*\* Kuzman Raznjevic, "Handbook of Thermodynamic Tables and Charts", Tabla 36-1, P 100, Mc Graw-Hill

#### 4.5.4 Medición de las temperaturas.

Para medir las temperaturas a la entrada y salida de los colectores solares, en el tanque térmico y la temperatura ambiente, se utilizaron termopares tipo T (cobre-constantán) con forro de fibra de vidrio (fig. 14). Los termopares se colocaron en termopozos con aceite, para homogeneizar la temperatura, los que a su vez se colocaron dentro de la tubería de cobre. Todos estos termopares son colocados en una referencia fría, que consiste en un vaso térmico con agua y hielo picado, cada uno de los termopares dentro del vaso térmico estaba sumergido en tubos de vidrio con aceite, el termopar que se utilizó para censar la temperatura ambiente se colocó junto a un termómetro de mercurio para comparar ambas lecturas (ver gráfica 2 en el apéndice B). Para obtener las temperaturas de los termopares, se utilizó un multímetro digital que nos permitiera medir milésimas de milivolt, además de un selector para poder seleccionar la lectura del termopar deseado.

La distribución de los termopares fue la siguiente:

- El termopar 1 se colocó en el cabezal de la entrada de agua fría a los colectores.
- El termopar 2 se colocó en el cabezal de salida del agua caliente de los colectores.
- Los termopares 3,4,5,6 y 7 se colocaron dentro del tanque térmico distribuidamente.
- El termopar 8 se colocó junto al termómetro de mercurio para censar la temperatura ambiente.
- El termopar 9 fungió solamente como testigo, es decir indicaba solamente la temperatura existente en la referencia fría.

Para conocer la temperatura de cada uno de los termopares se transformaron las lecturas en milivolts de cada uno de los termopares a grados centígrados por medio de la ecuación polinomial de Lamoureux , para un intervalo de  $-200$  a  $400$  ° C, con un error estándar de  $0.425$  °C en los termopares de cobre-constantán empleados .

$$T = \sum_{i=0}^n A_i V^i$$

Donde:

T = temperatura en °C  
V = la lectura en milivolts  
n = es el orden del polinomio igual a 7  
A<sub>i</sub> = coeficientes

Los coeficientes  $A_i$  son calculados por un procedimiento adecuado de mínimos cuadrados, aplicado a datos tabulados de termopares y sus valores son:

$$A_0 = -0.101163$$

$$A_1 = 25.5932$$

$$A_2 = -0.695815$$

$$A_3 = 0.0799528$$

$$A_4 = -0.0123173$$

$$A_5 = 0.00107824$$

$$A_6 = -4.46382 \times 10^{-5}$$

$$A_7 = 6.95069 \times 10^{-7}$$

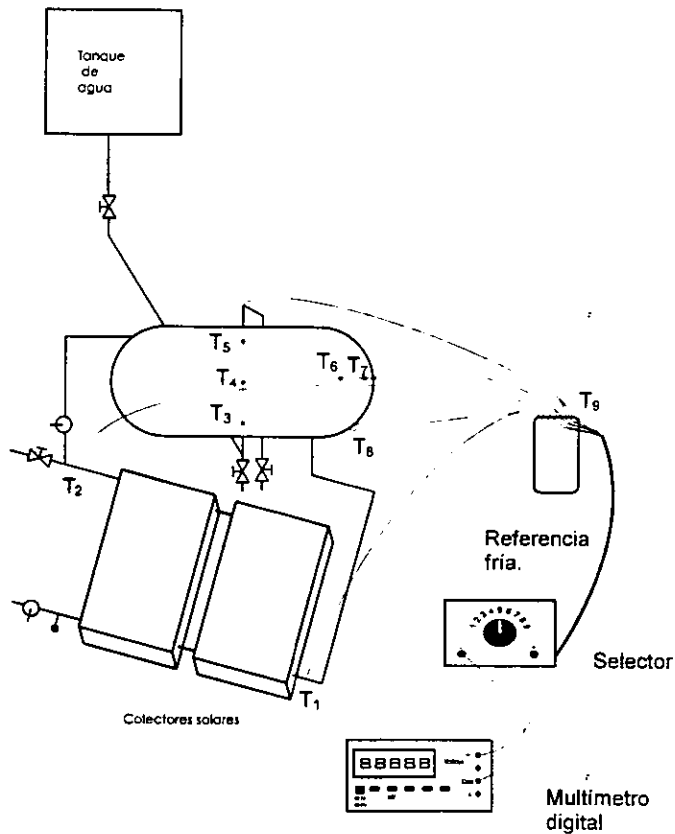


Fig. 14 Distribución de termopares y equipo de medición.

## 5 CAPITULO V

### Desarrollo de pruebas experimentales.

#### 5.1 Evaluación térmica.

El funcionamiento térmico de un colector solar es determinado principalmente por la eficiencia térmica obtenida por la combinación de valores medidos experimentalmente como son:

- Radiación solar incidente.
- Gasto másico.
- Temperaturas del fluido en la entrada y en la salida.
- Temperatura del medio ambiente.

Todo esto bajo condiciones de estado permanente o cuasipermanente. El estado cuasipermanente describe el estado de la prueba del colector, cuando el flujo másico y la temperatura del fluido en la entrada del colector son constantes, pero la temperatura del fluido en la salida cambia debido al cambio normal en la radiación solar a través del tiempo.

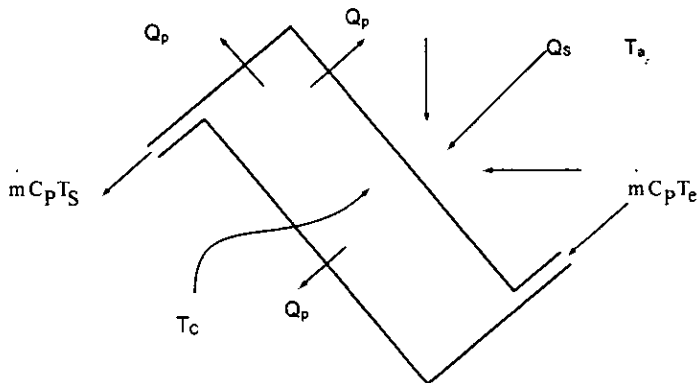


Fig. 15 Diagrama esquemático del colector solar mostrando los flujos de calor.

## 5.2 Determinación de fórmulas para el desarrollo de las diferentes pruebas experimentales.

A continuación se describen las fórmulas que se utilizarán para desarrollar el método de prueba de los colectores solares planos, en el que se determinará como obtener la eficiencia térmica de los colectores, la eficiencia térmica con termosifón, la constante de tiempo y las pérdidas térmicas. Todo esto basado en el análisis de los métodos de prueba de las normas internacionales ASHRAE y DIN.

### 5.2.1 Eficiencia térmica.

Para obtener la eficiencia térmica se tiene que realizar una serie de pruebas experimentales en el colector solar, para analizar el comportamiento de este cuando se expone a la radiación solar con diferentes condiciones ambientales.

El funcionamiento térmico de un colector solar plano operando bajo condiciones en estado permanente puede ser descrito haciendo un balance térmico de la fig. 15, se tiene:

$$Q_u = Q_s A_C (\tau\alpha)_e - Q_p \quad (1)$$

$$Q_u = \dot{m} C_p (T_s - T_c) \quad (2)$$

La eficiencia térmica se define como el calor útil ( $Q_u$ ) aprovechado por el fluido, entre la energía solar suministrada ( $Q_s$ ).

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_s A_C} \quad (3)$$

Sustituyendo la ecuación 2 en la ecuación 3, se tiene:

$$\eta = \frac{\dot{m} C_p (T_s - T_c)}{Q_s A_C} \quad (4)$$

Antes de realizar cada una de las pruebas experimentales deberá de prepararse la referencia fría agregando una mezcla de hielo picado con agua al vaso térmico y a la vez checando que los termopares se encuentren dentro de los tubos de vidrio con aceite colocados en el vaso térmico, además de verificar la posición y operación de cada uno de los termopares, así como también verificar la posición (abierta o cerrada) de las válvulas correspondientes que se utilizarán en el desarrollo de la prueba.

Se debe tener un sensor de radiación solar para monitorear constantemente la radiación solar existente en el lugar. Disponer de un multimetro digital, conectado a un selector en donde estarán conectados todos los termopares de todos los puntos de interés en los que se requiera conocer sus propiedades y así por medio del selector se selecciona el termopar deseado y en el multimetro se obtiene un valor en milivolts, que más tarde será transformado en grados centígrados.

### **5.2.2 Constante de tiempo.**

Es muy importante determinar la constante de tiempo, para seleccionar los intervalos de tiempo que se utilizarán en el desarrollo de las pruebas de eficiencia en estado permanente y cuasipermanente, ya que está nos indica el tiempo de respuesta del colector y así poder evaluar su comportamiento transitorio.

La constante de tiempo se define como el tiempo requerido por el fluido, en la salida de un colector, para obtener el 63.2% de su valor en estado permanente cuando no hay un cambio en la radiación solar incidente ó en la temperatura de entrada del fluido. La constante de tiempo se determina por cualquiera de los dos métodos siguientes:

#### **Método 1**

La temperatura de entrada del fluido se mantiene constante tan cerca como sea posible ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) a la temperatura ambiente, mientras el fluido circula a través del colector con el flujo másico especificado ( $0.02 \text{ Kg/s por m}^2$ ) y manteniendo condiciones permanentes o cuasipermanentes con radiación solar mayor de  $790 \text{ W/ m}^2$ . La radiación solar es entonces súbitamente reducida a cero sombreando el captador del sol con una cubierta opaca blanca. La cubierta se suspende fuera de la superficie del colector para que el aire ambiente pase libremente a través del colector.



## Método 2

El colector se sombrea del sol con una cubierta opaca blanca como se especificó en el método 1, ó probado en la noche. La temperatura del fluido en la entrada se mantiene constante 30 °C sobre la temperatura del medio ambiente mientras el fluido circula a través del colector con el flujo másico especificado (0.02 Kg/s por m<sup>2</sup>) por un periodo de tiempo suficiente para establecer constante la temperatura del fluido en la salida. Después que el equilibrio se ha conseguido la temperatura de entrada es súbitamente reducida tan cerca como sea posible ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) a la temperatura del medio ambiente.

En los métodos anteriores las temperaturas del fluido en la entrada y en la salida se monitorean continuamente en función del tiempo hasta que:

$$X = \frac{T_{s_t} - T_e}{T_{s_{t0}} - T_e} < 0.30 \quad (5)$$

Y la constante de tiempo es el tiempo  $t$  requerido por la cantidad  $X$  para cambiar de 1 a 0.368.

### 5.2.3 Pérdidas térmicas.

Una manera de conocer el funcionamiento térmico de Colectores solares planos es evaluando sus pérdidas de calor al medio ambiente, esto se realiza de la siguiente manera:

Para nuestros fines el colector solar se idealiza como un aparato que gana calor solar, del cual algo se pierde al ambiente y algo se transmite al agua que circula con gasto ( $m$ ). Llamando  $Q_s$  al calor recibido por el sol,  $Q_u$  al calor arrastrado por el agua y  $Q_p$  al calor perdido al ambiente por radiación, convección y conducción. La primera ley de la termodinámica nos permite escribir:

$$Q_u = Q_s - Q_p \quad (6)$$

El flujo  $Q_p$  merece consideración adicional. Pues la evaluación de  $Q_p$  es un problema complejo de transferencia térmica, debido al valor finito de la capacitancia térmica y por el régimen de operación, que es transitorio. Una forma sencilla de atacar el problema es evaluar las pérdidas térmicas experimentalmente bajo condiciones de operación similares a las reales.

La evaluación de  $Q_p$  se realiza sin radiación solar, sombreando el colector solar del sol como se especificó, durante las pruebas para conocer la constante de tiempo, el gasto másico y las temperaturas del fluido en la entrada y en la salida se mantienen sin variación por un periodo de tiempo no menor a 60 minutos, antes de la fase de medición que es de 15 minutos. en este caso cuando no hay sol ( $Q_s = 0$ ), el cambio de energía interna del agua obedece sólo a las pérdidas de calor. Por consiguiente de la ec. (1) se tiene:

$$Q_p = -Q_u = m C_p (T_e - T_s) \quad (7)$$

Los resultados del experimento pueden entonces presentarse en una gráfica de  $Q_p$  Vs  $(T_s - T_a)$ .  $T_s$  se define como la temperatura del fluido a la salida del colector.

Con temperaturas bajas del absorbedor solar,  $T_s$ , las pérdidas de calor por convección son más importantes que las de radiación, entonces:

$$Q_p \cong U_p A_c (T_s - T_a) \quad (8)$$

Ahora bien, sustituyendo la ecuación (8) en la ecuación (1) y está en la ecuación (3), resulta:

$$\eta = (\tau\alpha)_e - \frac{U_p (T_s - T_a)}{Q_s} \quad (9)$$

La ecuación (9) es una recta si la eficiencia,  $\eta$ , es trazada como función de  $(T_s - T_a) / Q_s$ , donde la pendiente es igual a  $U_p$  y la intersección con el eje y, o sea  $T_c = T_a$ , es igual a  $(\tau\alpha)_e$ . En realidad,  $U_p$  no es una constante pero es una función de la temperatura del colector y de las condiciones del medio ambiente. El producto transmitancia-absortancia efectivo  $(\tau\alpha)_e$  nos indica la cantidad de radiación que es absorbida por la placa absorbidora, del total de la radiación que incide en el plano del colector y varía con el ángulo entre los rayos solares y la normal al plano del colector.

#### 5.2.4 Eficiencia térmica con termosifón.

Se estableció un modelo matemático que se refiere al incremento de temperatura del fluido a su paso por el colector solar, en condiciones de flujo natural, con el que se determina un incremento de energía en el tanque térmico.

Esta eficiencia térmica se obtiene evaluando todo el sistema (tanque térmico y Colectores), dado que no existe gasto másico, se evaluara con respecto a la masa del fluido en función de su temperatura y su densidad en el tanque térmico. De esta manera obtenemos de la ecuación (2):

$$Q_{11=0} = m_1 C_p T_{1=0} \quad (10)$$

$$Q_{2t} = m_2 C_p T_{2t} \quad (11)$$

De esta manera el calor almacenado en el tanque térmico queda determinado por:

$$Q_a = \frac{Q_{2t} - Q_{1t}}{\Delta t} = 0 \quad (12)$$

Por lo que de la ecuación (3) obtenemos:

$$\eta = \frac{Q_a}{Q_s A_C} \quad (13)$$

## 6 CAPITULO VI

## Evaluación de Resultados y Conclusiones.

### 6.1 Análisis y procesamiento de datos básicos.

En esta sección se presentan los resultados más relevantes de este trabajo experimental desarrollado en 1997 en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, mediante los cuales se refuerza la teoría plasmada en este trabajo.

Llamamos resultados experimentales básicos a aquellos que fueron obtenidos directamente de pruebas, entre estos se encuentran las temperaturas, el flujo másico y la radiación solar sobre el plano del captador.

Las pruebas de la eficiencia térmica se realizaron en circuito abierto, ya que para poder medir el gasto másico se le acoplo al sistema una válvula de compuerta para regular el flujo de agua (ver fig. 11) y así poder medir, con ayuda de una probeta graduada y un cronometro el gasto másico, las pruebas se desarrollaron con gastos másicos de 0.01 a 0.07 Kg/s.

Cada una de estas pruebas<sup>7</sup> se llevo a cabo en un día de trabajo a diferentes condiciones de operación y con diferentes condiciones de clima, como se puede observar en las gráficas de radiación solar de cada uno de estos días (Apéndice B). El tanque térmico debe vaciarse y llenarse al inicio de cada prueba para suministrar agua a temperatura ambiente y se debe realizar cada prueba cuando menos media hora antes y media hora después del medio día solar. De esta manera al principio de cada prueba se tomaron lecturas cada 5 minutos para evaluar el transitorio del equipo durante media hora para permitir que el sistema se estabilizara y después cada 15 minutos hasta el final de la prueba.

Para poder determinar la eficiencia térmica de los colectores solares se realizaron 7 pruebas que fueron los días 11,12,13,14,18,19 de agosto y el 28 de octubre de 1997, en estos días hubo una buena intensidad de insolación<sup>8</sup>, llegando a tener radiación solar de hasta  $900 \text{ W/m}^2$ , pero con nubosidad intermitente, por lo cuál la radiación solar varía apreciablemente (ver gráfica 1 en el apéndice B). Dando como resultado un comportamiento no muy estable de las temperaturas de entrada y salida del colector. De esta manera se obtuvo los siguientes resultados:

---

<sup>7</sup> El desarrollo de algunas pruebas realizadas a los colectores solares se llevaron a cabo durante el horario de verano (del 5 de abril al 25 de octubre) de 1997.

<sup>8</sup> Insolación: Tiempo en que durante el día luce el sol sin nubes.

La evaluación de los puntos experimentales son mostrados gráficamente en el apéndice B, en la gráfica 6, de eficiencia térmica Vs  $(T_2 - T_a) / Q_s$ , estos puntos son ajustados a una línea recta por el método de mínimos cuadrados y así se obtiene la ecuación de la recta:

$$Y = -2.91x + 0.635$$

De aquí se determina el valor transmitancia-absortancia efectivo,  $(\tau\alpha)_e = 0.635$ , al hacer  $T_2 = T_a$  y el coeficiente global de pérdidas de calor por convección  $U_p = 2.91 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  y de esta manera la ecuación de la eficiencia térmica según la ecuación (9), es determinada por:

$$\eta = 0.635 - 2.91 (T_s - T_a) / Q_s$$

Durante el desarrollo de las pruebas para determinar la constante de tiempo de los colectores solares se utilizó el método número 1 descrito en el capítulo 5 y se detectó que los colectores solares debido a sus características poseen mucha inercia térmica ya que el absorbedor está fabricado de lamina galvanizada, lo cual impide la pronta respuesta del sistema a los cambios de las condiciones de trabajo y de clima a las que se somete el sistema, es decir tarda en arrancar y tarda en parar, razón por la cual se realizaron tres pruebas bajo condiciones de operación diferentes, como se puede observar en los datos para poder determinar la constante de tiempo en el apéndice A. Esta característica del colector provocó que no se pudiera determinar la constante de tiempo dentro de un intervalo aceptable ( $0 > X \leq 15$  minutos), según resultados obtenidos por otros autores, además de las limitantes del sistema, al no contar con un tanque de almacenamiento mayor para dar tiempo a que se estabilizara el sistema, teniendo que arrancar el sistema sin estar estabilizado, así como de depender únicamente de las condiciones climáticas al no contar con un sistema extra de calentamiento para proporcionar al fluido la temperatura de entrada requerida para iniciar la prueba todo esto especificado en la norma ASHRAE 93-77. (ver gráficas A, B y C en el apéndice B).

Las pérdidas térmicas fueron evaluadas con radiación solar con base en el concepto de la eficiencia térmica y utilizando temperaturas bajas del absorbedor solar, debido a que no se contaba con otro sistema extra para poder calentar el fluido a la entrada del colector y obtener más datos del comportamiento de los colectores a altas temperaturas. Por lo que,  $Q_p = U_p (T_s - T_a)$ , dado que con temperaturas bajas del absorbedor solar las pérdidas de calor por convección son más importantes que las pérdidas por radiación. Los resultados se muestran en la gráfica 7 de pérdidas térmicas en el apéndice B.

Las pruebas de la eficiencia térmica con termosifón se realizaron en circuito cerrado es decir sin gasto másico, por lo cual se mantuvo cerrada la válvula de compuerta en la salida durante toda la prueba y se realizaron las mediciones tanto de los colectores como del tanque térmico, evaluando la masa total del fluido dentro del sistema.

El desarrollo de estas pruebas se llevo a cabo durante varios días en los meses de septiembre a octubre, comenzando a evaluar el comportamiento del equipo antes de que hubiera radiación solar y hasta después de que se ocultara el sol, como se reporta en las hojas de prueba (ver apéndice A). Durante el periodo del desarrollo de estas pruebas no se vació el tanque térmico y solo se compensaba la pérdida de masa que sufría el fluido durante el proceso térmico al final de la prueba, suministrando al tanque térmico la cantidad faltante de agua y así dejarlo lleno para comenzar al día siguiente la siguiente prueba y poder así mantener el volumen inicial constante durante todas las pruebas.

Al igual que en la eficiencia térmica con gasto másico, la eficiencia térmica con termosifón esta en función de las diferencias de las temperaturas de salida y ambiente ( $T_2 - T_a$ ) y como se aprecia en la gráfica de eficiencia térmica con termosifón (ver gráfica 11 en el apéndice B) la gráfica nos da una pendiente positiva debido a que no hay extracción de calor y solo se esta generando un incremento de energía en el fluido almacenado y debido a ello la temperatura de entrada,  $T_e$ , y la de salida,  $T_s$ , tienden a igualarse.

Ajustando por el método de mínimos cuadrados los puntos experimentales obtenemos la ecuación de esta recta.

$$Y = 2.15x + 0.056$$

Y la ecuación de la eficiencia térmica se obtiene como:

$$\eta = 0.056 - 2.15 (T_s - T_a) / Q_s$$

## 6.2 Conclusiones.

En las primeras horas de cada prueba, cuando la temperatura de entrada es mínima y por tanto la eficiencia es máxima, es mayor la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida dando como resultado una mayor curvatura en la línea que conecta los puntos experimentales. Debido a esto se puede llegar a calcular eficiencias térmicas de hasta más del 100 por ciento lo cual no es físicamente posible, por ello estos datos no son tomados en cuenta hasta que el sistema se estabiliza. Conforme el día transcurre y la temperatura del tanque térmico aumenta, la temperatura de admisión también crece, con lo cual aumenta la pérdida de calor, el comportamiento se acerca a las condiciones de equilibrio térmico, las diferencias de temperatura entre la entrada y la salida decrecen y la curva que conecta los puntos experimentales se hace más plana.

La variación de la nubosidad del día solar provoca un descenso en la temperatura del calentador solar, las características de los absorbedores de los colectores solares fabricados con lamina galvanizada provoca que el colector posea mucha inercia térmica y debido a ello no es posible obtener una rápida respuesta del colector a los cambios de la radiación solar y a las condiciones climáticas.

Basándonos en los resultados obtenidos de la evaluación al sistema solar se demuestra la confiabilidad de las diferentes pruebas desarrolladas a los colectores y de la capacidad de los instrumentos de medición. Durante las pruebas realizadas la eficiencia térmica del equipo fue de un 40 a un 70% debido a los cambios de temperatura y a los cambios de radiación solar, por lo que podemos concluir que el equipo funciona bien, comparado con los resultados obtenidos por otros autores (de un 40 a un 80% de eficiencia).

## Referencias.

1. **Manual de arquitectura solar**  
Ruth Lacomba, Héctor Ferreiro, Víctor A. Fuentes, José Roberto García, Salvador Gutierrez  
Ed. Trillas  
Primera edición, abril de 1991.
2. **The Passive Solar Energy Book**  
Edward Mazria  
Ed. G. Gili, S.A. México, 1983
3. **Solar Engineering of Thermal Processes**  
John A. Duffie and William A. Beckman  
A Wiley-Interscience Publication  
Second edition
4. **El Calentador Solar de Agua**  
Thierry Cabirol, Albert Pelissou y Daniel Roux  
Ed. C.E.C.S.A.  
Primera edición en español de la segunda en francés, mayo de 1978
5. **Principles of Solar Engineering**  
Frank Kreith and Jan F. Kreider.  
Ed. Mc Graw – Hill
6. **DIN STANDARD "Solar Heating Plants". Deutsches Institut für Normung.**  
DIN 4757 Part 1, 2, y 3, November 1980; Part 4, July 1982.
7. **ASHRAE STANDARDS "Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors, 93-77, February 1977.**
8. **Evaluación experimental de la eficiencia térmica de captadores solares planos "Proposición de normas nacionales". (proyecto 4112, sep. 1985).**  
Norberto Chagoy del Valle  
Elaborado por Instituto de Ingeniería, UNAM



## **APENDICE A:**

### **TABLAS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES BASICOS.**

- ❖ RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA OBTENER LA EFICIENCIA TÉRMICA (TABLAS DE LA 1 A LA 7).
- ❖ RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA OBTENER LA EFICIENCIA TÉRMICA CON TERMOSIFÓN (TABLAS DE LA 8 A LA 16).
- ❖ RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA OBTENER LA CONSTANTE DE TIEMPO (TABLAS DE LA 17 A LA 19).

RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA OBTENER LA EFICIENCIA TÉRMICA.

Fecha: 11-Ago-97		TABLA 1											Velocidad del viento 0.81 m/s			
Tiempo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	Cp	$\rho$	m	Ta	Qs	(Ts-Ta)/Qs	$\eta$
Hora local	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	J/Kg K	kg/m <sup>3</sup>	kg/s	°C	W/m <sup>2</sup>	°C m/W	%
14:50	45.0	93.5	33.7	35.7	36.3	35.6	35.0	23.4	0	4200	967.46	0.011	27	387	0.181	130.73
14:55	33.3	90.8	33.8	35.5	35.7	35.3	34.8	22.7	0	4200	967.46	0.009	25	332	0.205	159.42
15:10	33.0	45.7	33.7	35.3	35.0	35.1	34.5	24.1	0	4176	989.63	0.022	27	252	0.086	126.41
15:15	33.2	48.8	33.9	35.1	34.9	35.1	34.5	23.5	0	4177	988.34	0.021	25	271	0.093	139.43
15:45	27.3	39.8	24.4	24.9	29.7	24.6	24.9	22.8	0	4175	992.03		25	253	0.058	
15:50	28.2	28.6	23.4	24.1	25.6	24.4	24.9	23.0	0	4176	995.52	0.069	25	246	0.023	58.00
15:55	24.9	28.9	23.5	24.1	25.2	24.4	24.8	22.7	0	4176	995.20	0.070	25	223	0.028	214.83
16:00	25.3	29.4	23.5	23.8	25.1	24.1	24.4	23.6	0	4176	995.20	0.070	25	237	0.024	189.67
16:05	24.3	28.8	23.0	23.1	23.6	23.2	23.6	23.1	0	4176	995.20	0.068	25	257	0.022	199.80
16:10	24.3	29.0	22.8	22.9	23.8	22.9	23.5	24.1	0	4176	994.87	0.068	29	255	0.019	232.51
16:15	24.1	29.0	22.7	22.5	23.6	18.2	23.4	24.1	0	4176	994.87	0.069	22	208	0.023	292.13

Fecha: 12-Ago-97		TABLA 2											Velocidad del viento 1.92 m/s			
Tiempo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	Cp	p	m	Ta	Qs	(Ts-Ta)/Qs	η
Hora local	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	J/Kg K	kg/m <sup>3</sup>	kg/s	°C	W / m <sup>2</sup>	°C m / W	%
13:05	29.7	47.2	32.4	41.6	44.6	39.0	40.1	23.4	0	4176	989.10		25	578	0.038	
13:10	30.3	47.1	31.8	41.8	44.8	39.5	40.4	25.6	0	4176	989.15		26	285	0.074	
13:15	30.7	48.0	32.8	42.0	45.4	39.8	40.8	24.5	0	4176	988.78	0.03	24	266	0.090	223.27
13:20	31.2	47.2	32.6	42.3	44.1	40.3	41.1	23.4	0	4176	989.13	0.03	23	736	0.033	70.95
13:25	31.8	47.8	34.9	42.6	43.1	40.6	41.3	23.5	0	4176	988.86	0.03	24	538	0.044	89.18
13:30	32.5	47.5	35.5	42.9	42.6	40.9	41.7	23.6	0	4176	988.99	0.03	25	262	0.086	183.85
13:35	33.1	47.5	36.2	43.2	42.5	41.2	42.0	25.4	0	4176	988.98	0.03	26	577	0.037	78.20
13:40	33.6	48.4	36.7	43.4	42.3	42.2	42.3	25.7	0	4176	988.59	0.03	26	232	0.097	198.48
13:45	34.4	45.6	37.4	43.8	41.7	41.6	42.6	26.2	0	4176	989.81	0.04	27	190	0.098	249.15
14:00	36.9	48.9	37.6	44.7	41.5	43.2	43.8	25.7	0	4176	988.37	0.04	27	67	0.327	783.37
14:15	39.0	49.3	39.9	44.5	41.3	44.3	44.8	23.4	0	4177	988.19	0.04	24	107	0.237	410.84
14:30	40.7	44.8	42.5	43.9	40.2	44.9	44.4	24.7	0	4176	990.14	0.04	25	176	0.112	99.08
14:45	41.9	44.4	43.6	43.5	39.7	43.8	43.8	25.2	0	4176	990.27	0.03	26	338	0.054	23.94
15:00	43.0	45.0	44.0	43.9	38.2	43.3	43.3	24.3	0	4176	990.03	0.04	25	613	0.033	19.70
15:15	43.5	44.9	43.5	42.1	38.2	43.1	42.8	24.9	0	4176	990.07	0.04	25	149	0.134	65.25
15:30	43.0	47.1	42.2	42.0	38.8	42.4	42.1	23.8	0	4176	989.17	0.03	25	115	0.192	99.09

Fecha: 13-Ago-97

TABLA 3

Velocidad del viento 2.05

Tiempo Hora local	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	C <sub>p</sub> J/Kg K	ρ kg/m <sup>3</sup>	m kg/s	T <sub>a</sub> °C	Q <sub>s</sub> W / m <sup>2</sup>	m/s	
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	(T <sub>s</sub> -T <sub>a</sub> )/Q <sub>s</sub>	η							
12:00	20.5	32.7	20.3	20.6	33.3	20.5	20.6	21.2	0	4176	994.64	0.036	21	353	0.033	164.22
12:05	20.5	32.8	20.3	20.3	24.7	20.5	20.6	21.6	0	4176	994.61	0.037	23	532	0.018	106.06
12:10	20.6	31.0	20.4	20.5	20.3	20.5	20.5	20.4	0	4176	995.20	0.037	23	311	0.026	180.25
12:15	20.6	31.9	20.5	20.5	23.8	20.5	20.5	22.7	0	4176	994.90	0.039	24	373	0.021	158.06
12:20	20.6	32.6	20.4	20.5	25.5	20.6	20.6	22.9	0	4176	994.68	0.036	23	591	0.016	99.26
12:25	20.5	32.5	20.4	20.5	27.8	20.6	20.6	21.2	0	4176	994.69	0.039	21	419	0.028	151.79
12:30	20.5	32.8	20.5	20.5	28.0	20.6	20.6	21.1	0	4176	994.61	0.038	22	1005	0.011	61.98
12:45	20.5	34.1	20.4	20.9	29.0	20.7	20.7	24.7	0	4175	994.18	0.036	24	949	0.011	53.61
13:00	20.6	32.7	20.5	21.9	27.4	20.8	20.9	23.0	0	4176	994.65	0.035	23	732	0.013	73.15
13:15	20.6	33.3	20.6	22.8	27.3	21.4	22.2	23.0	0	4176	994.45	0.036	23	690	0.015	90.94
13:30	20.8	33.7	20.8	24.1	27.9	22.7	23.5	23.4	0	4175	994.32	0.037	24	666	0.015	95.23
13:45	20.8	34.6	21.2	24.8	28.2	24.0	24.9	23.8	0	4175	994.00	0.036	25	836	0.011	78.79
14:00	21.4	28.4	22.7	25.9	28.4	25.2	26.0	24.9	0	4177	996.00	0.037	26	265	0.009	168.74
14:40	21.6	36.4	20.6	20.9	23.3	21.0	21.1	22.3	0	4175	993.36	0.037	24	148	0.084	409.39
14:45	21.4	33.6	21.0	21.5	25.5	21.4	21.4	23.1	0	4175	994.35	0.037	24	153	0.063	396.73
14:50	21.7	33.2	21.5	21.7	27.4	21.6	21.7	24.3	0	4176	994.46	0.037	26	130	0.056	459.12
14:55	21.8	32.9	21.4	21.7	28.2	21.7	21.7	23.8	0	4176	994.58	0.036	25	121	0.065	441.62
15:00	21.8	31.4	21.4	21.8	28.7	21.6	21.7	24.5	0	4176	995.07	0.038	25	128	0.050	378.25
15:15	21.8	30.6	21.7	22.4	28.0	21.9	21.9	24.8	0	4176	995.34	0.037	25	186	0.030	253.85
15:30	21.8	30.3	21.8	23.4	27.3	22.2	22.4	24.9	0	4176	995.41	0.037	26	197	0.027	234.60
15:45	21.9	32.0	21.8	24.1	27.6	23.2	23.6	25.8	0	4176	994.88	0.038	26	127	0.047	438.52
16:00	21.9	27.1	22.2	25.2	28.1	24.3	24.6	23.2	0	4177	996.41	0.036	24	94	0.033	221.79
16:15	23.0	24.6	23.8	24.3	23.4	24.4	24.4	21.3	0	4179	997.09		22	78	0.034	0.00

Fecha:		14-Ago-97											TABLA 4					Vel. del viento 1.87 m/s		
Tiempo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	C <sub>p</sub>	ρ	m	Ta	Qs	(Ts-Taj)/Qs	η				
Hora local	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	J/Kg K	kg/m <sup>3</sup>	kg/s	°C	W / m <sup>2</sup>	°C m / W	%				
11:40	22.9	26.9	23.0	23.0	23.4	23.0	23.2	18.2	0	4178	996.46	0.015	19	154	0.051	46.25				
11:45	23.0	26.7	23.0	23.0	23.5	23.0	23.1	18.4	0	4178	996.51	0.015	19	157	0.049	43.87				
11:50	22.9	26.0	23.0	23.0	23.5	23.0	23.1	18.0	0	4178	996.70	0.016	19	153	0.046	49.03				
11:55	22.9	25.7	23.0	23.0	23.4	22.9	23.1	18.7	0	4178	996.78	0.016	19	139	0.048	40.06				
12:00	22.9	25.9	23.0	23.0	23.4	22.9	23.1	18.4	0	4178	996.74	0.016	19	147	0.047	49.76				
12:15	23.0	28.5	23.0	23.0	23.2	23.0	23.1	19.0	0	4177	995.97	0.015	20	234	0.036	50.68				
12:30	23.0	29.9	23.0	23.0	23.5	23.1	22.9	20.2	0	4176	995.56	0.016	21	315	0.028	45.22				
12:45	22.9	27.8	23.0	23.0	23.7	23.6	22.2	19.8	0	4177	996.18	0.015	20	235	0.033	44.93				
13:00	23.0	27.6	23.0	23.1	23.5	23.2	23.0	20.7	0	4177	996.24	0.016	21	214	0.031	60.98				
13:15	23.1	32.6	23.0	23.2	24.0	23.1	23.1	21.3	0	4176	994.69	0.016	22	384	0.028	56.81				
13:30	23.2	37.3	23.0	23.4	25.3	23.2	23.1	21.8	0	4175	993.04	0.015	22	510	0.030	57.35				
13:45	23.2	44.4	23.0	24.0	27.1	23.4	23.2	21.5	0	4176	990.27	0.016	22	806	0.028	47.53				
14:00	23.2	36.7	23.1	24.4	27.4	23.6	23.6	22.3	0	4175	993.24	0.016	23	501	0.027	58.15				
14:15	23.2	37.9	23.1	24.7	27.6	24.0	24.2	22.0	0	4175	992.81	0.017	23	614	0.024	50.90				
14:30	23.3	36.6	23.2	25.0	27.7	24.4	24.7	23.1	0	4175	993.30	0.016	24	523	0.024	54.35				
14:45	23.4	44.3	23.3	25.6	28.8	24.9	25.2	24.4	0	4175	990.32	0.016	26	819	0.022	49.18				
15:00	23.4	40.0	23.5	26.1	28.9	25.5	25.6	23.9	0	4175	992.02	0.015	24	397	0.040	103.20				
15:15	23.5	41.0	23.9	26.3	28.4	25.8	25.8	24.6	0	4175	991.65	0.016	25	667	0.024	54.89				
15:30	23.6	39.3	24.4	26.5	28.2	26.1	26.3	22.8	0	4175	992.31	0.015	24	602	0.025	52.58				
15:45	23.9	41.7	24.8	26.6	27.9	26.4	26.4	24.1	0	4175	991.38	0.015	25	654	0.026	54.57				
16:00	24.1	47.1	25.1	27.2	28.9	26.9	27.1	24.6	0	4176	989.18	0.016	26	950	0.022	48.55				
16:15	24.6	45.7	26.3	27.8	29.0	27.3	27.4	25.2	0	4176	989.74	0.015	26	825	0.024	53.20				
16:30	22.3	41.8	22.3	23.6	28.3	22.3	22.1	24.7	0	4175	991.33	0.018	26	856	0.018	54.98				
16:45	22.2	33.2	22.2	22.0	22.8	22.3	22.2	23.1	0	4176	994.47	0.016	24	335	0.027	67.61				
17:00	22.2	32.1	22.2	22.0	21.5	22.3	22.2	24.0	0	4176	994.83	0.015	24	354	0.023	58.07				
17:15	22.1	31.1	22.2	21.8	24.3	22.3	22.2	23.4	0	4176	995.18	0.016	24	314	0.022	61.08				
17:30	22.1	36.1	22.2	21.7	25.6	22.3	22.2	25.1	0	4175	993.46	0.016	25	645	0.017	45.89				
17:45	21.9	33.9	22.2	20.2	27.3	22.3	22.0	25.1	0	4175	994.23	0.015	26	540	0.015	44.84				
18:00	22.1	26.4	22.2	22.5	26.9	22.3	22.2	23.7	0	4178	996.58	0.018	24	168	0.015	71.14				
18:15	22.3	25.8	22.4	22.9	25.8	22.2	22.1	23.1	0	4178	996.78	0.018	24	118	0.015	97.01				
18:30	20.0	25.8	21.9	20.8	24.7	22.2	21.5	20.0	0	4178	996.76	0.017	24	348	0.005	39.71				

Fecha: 18-Ago-97		TABLA 5											Vel. del viento 0.87 m/s			
Tiempo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	Cp	ρ	m	Ta	Qs	(Ts-Taj)/Qs	η
Hora local	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	J/Kg K	kg/m <sup>3</sup>	kg/s	°C	W/m <sup>2</sup>	°C m / W	%
12:00	45.9	68.5	46.9	48.5	54.3	47.6	35.2	22.6	0	4185.7	978.65	0.017	25	936	0.046	59.54
12:05	46.0	68.5	46.9	49.1	53.9	47.7	38.3	21.7	0	4185.7	978.65	0.015	24	1048	0.042	45.24
12:10	46.0	64.5	46.9	49.0	53.3	47.7	31.5	22.0	0	4183.3	980.79	0.017	22	843	0.050	51.29
12:15	46.0	63.1	46.5	49.6	52.6	47.8	33.4	23.8	0	4182.4	981.56	0.016	24	734	0.053	57.85
12:20	46.4	62.3	47.2	50.1	52.4	47.9	36.8	23.4	0	4182	981.94	0.016	24	765	0.050	53.45
12:25	46.1	62.0	46.9	51.0	52.4	48.2	28.3	21.3	0	4181.8	982.12	0.016	22	829	0.048	42.61
12:30	46.0	58.5	47.0	50.5	52.4	48.4	31.2	21.0	0	4180.1	983.89	0.016	22	608	0.060	53.53
12:45	46.3	63.8	47.1	52.3	51.6	49.2	44.7	22.1	0	4182.9	981.17	0.016	23	910	0.045	49.02
13:00	46.3	59.5	47.3	53.6	51.6	50.1	44.9	23.6	0	4180.6	983.37	0.015	24	434	0.082	90.81
13:15	46.5	66.7	47.5	54.1	51.1	51.1	52.0	24.1	0	4184.6	979.61	0.015	25	888	0.047	51.47
13:30	46.7	69.1	47.9	53.4	50.7	52.0	36.7	25.3	0	4186.1	978.32	0.014	26	924	0.047	50.28
13:45	46.9	66.8	48.4	53.8	50.3	52.9	53.2	27.1	0	4184.6	979.59	0.016	28	928	0.042	53.57
14:00	47.2	69.9	49.0	53.2	50.0	53.5	53.5	23.8	0	4186.6	977.85	0.014	24	989	0.046	48.87
14:15	47.6	64.1	49.7	53.3	50.2	53.7	53.9	23.0	0	4183	981.01	0.015	24	874	0.046	35.40
14:30	48.3	66.8	50.5	52.4	49.8	53.6	47.5	26.4	0	4184.6	979.59	0.014	28	914	0.042	47.48
14:45	49.4	67.8	51.3	52.8	50.6	53.3	52.6	26.8	0	4185.3	979.00	0.016	27	935	0.044	48.49
15:00	49.7	64.7	52.1	52.2	49.0	52.5	51.8	26.1	0	4183.4	980.68	0.015	27	615	0.061	63.58
15:15	50.1	61.4	52.1	52.0	49.9	52.3	51.7	25.8	0	4181.5	982.44	0.014	28	587	0.057	45.87
15:30	50.7	66.9	52.2	51.7	49.3	52.1	53.0	25.5	0	4184.7	979.52	0.015	26	958	0.043	30.64
15:45	50.7	66.9	52.2	51.7	49.3	52.1	53.0	25.5	0	4184.7	979.52	0.015	26	202	0.202	145.31
16:00	50.7	50.1	51.5	50.2	47.7	50.4	49.8	23.5	0	4176.8	987.86	0.015	24	164	0.159	43.58
16:15	50.6	58.6	50.6	49.5	46.4	50.0	49.2	24.9	0	4180.1	983.86	0.017	26	643	0.051	43.99
16:30	49.9	56.1	49.6	48.8	46.0	49.5	48.7	23.8	0	4179	985.09	0.016	25	513	0.061	39.92

Fecha: 19-Ago-97		TABLA 6													Vel. del viento 0.90 m/s		
Tiempo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	Cp	ρ	m	Ta	Qs	(Ts-Ta)/Qs	η	
Hora local	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	J/Kg K	kg/m <sup>3</sup>	kg/s	°C	W/m <sup>2</sup>	°C m / W	%	
11:30	18.8	35.9	18.6	22.8	32.9	19.2	20.0	21.8	0	4175	993.56	0.030	21	851	0.017	48.77	
11:35	18.8	31.8	18.7	23.8	33.2	19.7	20.8	19.3	0	4176	994.92	0.037	19	867	0.015	62.94	
11:40	18.8	30.6	18.7	24.8	33.3	20.5	21.7	19.3	0	4176	995.33	0.036	20	863	0.012	61.85	
11:45	18.7	30.6	18.6	25.5	33.1	21.2	22.6	20.4	0	4176	995.31	0.035	21	826	0.012	64.15	
11:50	18.8	30.8	18.7	26.6	33.2	22.2	23.5	22.4	0	4176	995.26	0.035	23	844	0.009	67.16	
11:55	18.8	31.1	19.0	27.7	33.4	23.2	24.5	21.2	0	4176	995.16	0.037	21	859	0.012	53.68	
12:00	18.9	25.9	19.3	28.9	33.0	24.1	25.4	21.5	0	4178	996.73	0.036	21	697	0.007	59.39	
12:15	19.5	27.4	21.2	30.8	31.4	27.9	29.4	21.6	0	4177	996.29	0.048	22	893	0.006	57.54	
12:30	21.6	31.3	24.6	30.7	32.1	30.8	30.9	23.4	0	4176	995.10	0.046	23	851	0.010	76.02	
12:45	24.9	34.6	28.0	31.3	33.1	30.9	31.3	23.8	0	4175	993.99	0.046	24	962	0.011	71.36	
13:00	28.4	38.1	30.2	32.1	33.9	31.2	32.1	24.8	0	4175	992.75	0.044	25	922	0.014	68.34	
13:40	20.2	31.2	19.9	20.2	26.8	20.1	20.2	24.9	0	4176	995.13	0.049	26	1022	0.005	69.39	
13:45	20.2	31.1	20.0	20.4	28.8	20.2	20.3	26.4	0	4176	995.18	0.048	26	985	0.005	70.07	
13:50	20.3	31.0	20.2	20.5	29.7	20.3	20.4	24.0	0	4176	995.20	0.048	25	986	0.006	69.57	
13:55	20.3	31.1	20.1	20.7	30.3	20.3	20.5	23.6	0	4176	995.18	0.047	24	961	0.007	69.98	
14:00	20.3	31.0	20.1	21.2	30.4	20.4	20.6	22.2	0	4176	995.20	0.048	23	972	0.008	70.14	
14:15	20.3	28.9	20.3	22.6	29.5	20.9	21.3	25.4	0	4177	995.84	0.048	26	795	0.004	59.57	
14:30	20.5	28.0	20.4	23.6	28.4	22.4	23.2	23.2	0	4177	996.14	0.046	24	796	0.005	69.41	
14:45	20.7	30.3	21.1	24.5	28.5	23.5	24.3	24.0	0	4176	995.44	0.048	25	932	0.006	65.32	
15:00	21.5	31.4	23.0	25.6	29.3	25.0	25.4	23.6	0	4176	995.08	0.044	25	913	0.007	67.52	
15:20	20.8	29.3	20.8	22.3	28.8	20.8	20.8	26.3	0	4177	995.73	0.054	26	743	0.004	67.31	
15:25	21.1	25.9	21.1	23.0	28.7	21.1	21.6	23.4	0	4178	996.73	0.051	24	425	0.005	65.10	
15:30	20.9	24.8	20.9	23.2	28.1	21.5	22.3	23.1	0	4179	997.04	0.050	23	307	0.006	92.62	
15:45	20.9	24.4	20.9	23.8	27.7	24.1	23.4	23.2	0	4179	997.16	0.048	24	423	0.001	52.08	
16:00	21.1	23.6	21.9	23.8	26.7	23.3	23.5	23.5	0	4179	997.37	0.051	24	176	-0.002	126.42	

Fecha: 28-Oct-97		TABLA 7											Vel. del viento 0.86 m/s			
Tiempo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	Cp	$\rho$	m	Ta	Qs	(Ts-Ta)/Qs	$\eta$
Hora local	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	J/Kg K	kg/m <sup>3</sup>	kg/s	°C	W / m <sup>2</sup>	°C m / W	%
10:30	60.6	74.3	61.1	62.9	62.4	62.3	62.3	23.4	0	4197	970.03	0.015	24	344	0.146	113.12
10:45	60.6	77.5	61.4	63.5	62.3	62.5	62.5	24.9	0	4198	968.76	0.014	25	386	0.136	99.40
11:00	60.9	76.9	61.5	64.2	62.5	62.6	62.8	25.7	0	4198	968.76	0.016	26	439	0.116	96.77
11:15	66.3	66.4	61.6	65.1	67.6	62.9	63.3	25.3	0	4199	968.11	0.016	26	491	0.082	73.12
11:30	66.4	66.7	61.8	65.8	67.8	63.4	64.0	24.4	0	4200	967.46	0.015	25	551	0.076	65.55
11:45	65.9	69.2	61.9	66.1	67.6	64.1	64.8	25.6	0	4201	966.81	0.015	27	567	0.074	66.20
12:00	66.9	68.1	62.1	65.9	68.2	64.7	65.5	24.7	0	4201	966.81	0.015	25	620	0.069	56.08
12:15	66.7	67.5	62.4	65.4	68.1	65.2	65.6	26.3	0	4201	966.81	0.015	27	670	0.060	54.14
12:30	66.2	67.0	62.7	64.8	67.8	65.4	65.4	25.6	0	4201	966.81	0.016	27	699	0.057	56.45
12:45	66.7	67.7	63.2	64.5	68.0	65.2	64.9	28.0	0	4201	966.81	0.016	29	723	0.053	52.30
13:00	67.0	68.0	63.7	64.3	68.1	64.8	63.7	28.2	0	4201	966.81	0.015	28	755	0.053	48.79
13:15	66.9	67.8	64.0	63.9	67.8	63.9	63.1	26.7	0	4200	967.46	0.015	27	779	0.052	43.81
13:30	65.5	67.1	64.0	63.2	66.0	63.4	62.5	27.9	0	4197	969.40	0.015	27	811	0.049	38.36
13:45	60.5	70.9	63.8	62.7	63.0	62.8	61.9	27.5	0	4195	971.29	0.016	27	836	0.053	44.45
14:00	60.6	72.8	63.6	62.5	61.9	62.6	61.7	25.6	0	4188	976.66	0.016	27	832	0.055	24.75
14:15	60.3	71.9	62.9	61.8	61.5	61.8	61.0	27.7	0	4193	972.52	0.016	28	829	0.053	41.39
14:30	59.2	63.4	61.9	61.2	60.7	61.0	60.4	25.8	0	4186	978.36	0.016	27	825	0.044	21.76



RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA OBTENER LA EFICIENCIA TÉRMICA CON TERMOSIFÓN.

Fecha 9-Sep-97		TABLA 8								Velocidad del viento 1.50 m/s					
Tiempo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	C <sub>p</sub>	m	T <sub>T</sub>	T <sub>a</sub>	Q <sub>s</sub>	(T <sub>s</sub> -T <sub>a</sub> )/Q <sub>s</sub>	η
local	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	J/Kg K	Kg	°C	°C	W / m <sup>2</sup>	°c m / W	%
8:00	12.7	14.8	23.3	25.6	26.2	25.2	25.3	14.2	4178	264	25.1	15.0	7		
8:15	12.7	14.8	23.2	25.4	25.9	25.1	25.3	14.3	4179	264	25.0	15.0	3	-0.060	-1001.48
8:30	12.9	14.9	23.0	25.6	25.8	25.1	25.2	14.2	4179	264	24.9	15.0	6	-0.022	-351.88
8:45	12.9	14.8	23.0	25.6	25.8	25.1	25.2	14.2	4179	264	24.9	15.0	12	-0.013	-145.68
9:00	13.0	14.8	23.0	25.5	25.8	25.0	25.1	14.3	4179	264	24.9	15.0	31	-0.007	-44.29
9:15	13.2	14.8	23.0	25.5	25.8	25.0	25.1	14.7	4179	264	24.9	15.5	48	-0.015	-27.06
9:30	13.3	15.3	23.0	25.5	25.9	25.0	25.1	14.6	4179	264	24.9	15.8	88	-0.006	-11.56
9:45	13.9	18.1	23.0	25.5	25.8	24.9	25.1	15.2	4179	264	24.8	16.0	103	0.021	-9.88
10:00	14.6	20.6	23.0	25.4	25.7	24.9	25.0	15.8	4179	264	24.8	16.8	109	0.035	-10.44
10:15	21.3	26.5	23.1	25.3	25.8	24.8	24.9	16.6	4179	264	24.8	17.5	166	0.055	-5.33
10:30	22.4	30.5	23.4	25.4	28.0	25.0	25.1	17.3	4178	264	25.4	18.0	225	0.056	4.08
10:45	22.9	32.7	23.7	25.6	29.4	25.1	25.3	18.6	4178	264	25.9	18.8	295	0.047	7.14
11:00	23.4	33.7	24.1	25.9	32.6	25.5	25.6	19.1	4178	264	26.7	19.0	291	0.051	13.67
11:15	23.5	32.2	24.2	25.9	32.0	25.4	25.5	18.8	4178	264	26.6	19.5	245	0.052	14.12
11:30	23.8	33.8	24.3	26.1	32.1	25.5	25.6	19.0	4178	264	26.7	20.0	344	0.040	9.93
11:45	24.0	32.7	24.5	26.4	32.1	25.6	25.7	18.8	4178	264	26.9	19.5	257	0.051	13.61
12:00	24.1	32.9	24.6	26.9	32.1	25.7	25.8	18.5	4177	264	27.1	19.8	261	0.050	14.08
12:15	24.6	38.6	24.9	27.7	33.9	26.0	26.2	20.5	4177	264	27.9	21.5	588	0.029	8.26
12:30	25.2	42.3	25.3	29.0	37.8	26.7	27.2	21.7	4177	264	29.4	22.0	904	0.022	7.64
12:45	25.2	39.1	25.4	30.0	38.9	27.2	27.9	20.4	4176	264	30.2	21.0	337	0.054	23.05
13:00	25.8	45.4	25.8	31.6	41.7	28.4	29.3	23.4	4176	264	31.7	24.0	999	0.021	9.60
13:15	26.1	46.4	26.4	33.6	44.0	29.8	30.8	23.4	4176	264	33.1	24.0	1022	0.022	10.94
13:30	26.1	41.2	26.7	35.4	43.3	30.8	31.9	23.6	4175	263	34.0	24.0	414	0.042	28.55
13:45	26.8	46.9	27.7	37.8	44.8	32.5	33.9	25.0	4175	263	35.7	24.0	1039	0.022	12.88
14:00	26.9	38.8	28.4	39.5	44.9	34.1	35.5	22.3	4175	263	36.9	23.0	261	0.061	54.81
14:15	27.7	46.6	29.4	40.8	44.7	35.9	37.4	24.5	4175	263	38.0	25.2	1010	0.021	14.94
14:30	28.7	47.1	30.9	41.8	45.4	38.1	39.5	26.6	4175	263	39.4	26.0	717	0.029	22.30
14:45	29.5	42.2	32.0	42.4	45.2	39.4	40.6	21.9	4175	263	40.1	25.0	678	0.025	23.94
15:00	30.9	47.0	33.7	43.3	45.6	40.8	41.7	25.8	4175	263	41.1	26.2	777	0.027	21.41
15:15	31.7	40.6	35.0	43.6	45.2	41.5	42.1	24.4	4175	263	41.6	25.0	279	0.056	59.50
15:30	33.0	45.7	36.1	43.8	45.0	42.2	42.9	23.8	4175	263	42.1	24.2	682	0.032	24.14
15:45	34.4	48.0	37.5	43.9	45.5	43.5	43.3	25.7	4175	263	42.7	26.8	628	0.034	26.35
16:00	35.0	40.5	38.3	43.9	45.5	43.0	43.2	21.8	4175	263	42.8	22.5	123	0.146	130.54
16:15	34.6	38.4	38.4	43.5	45.0	43.0	43.1	23.5	4175	263	42.6	24.0	145	0.099	106.47
16:30	36.5	45.2	39.0	43.6	44.9	43.1	43.1	23.5	4175	263	42.8	25.0	466	0.043	32.44
16:45	37.3	43.7	39.8	43.7	44.9	43.2	43.2	24.4	4175	263	43.0	26.0	265	0.067	56.33
17:00	38.5	49.7	40.5	43.9	46.2	43.3	43.4	25.9	4175	263	43.5	27.0	718	0.032	20.72
17:15	39.0	45.4	40.9	44.1	46.3	43.5	43.5	23.7	4175	263	43.6	25.0	328	0.062	44.42
17:30	37.6	40.5	41.2	44.0	45.6	43.4	43.4	22.8	4175	263	43.5	23.5	63	0.271	225.00
17:45	35.2	37.2	40.8	43.9	45.2	43.3	43.3	21.5	4175	263	43.3	22.5	23	0.624	578.62
18:00	31.3	35.5	41.0	43.9	44.9	43.2	43.3	21.2	4175	263	34.6	22.0	11	1.262	646.38
18:30	27.6	34.4	42.6	43.8	44.4	43.2	48.5	18.5	4175	263	34.8	19.0	9	1.769	794.21

Fecha:		10-Sep-97								TABLA 9				Velocidad del viento 1.50 m/s				
Tiempo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	C <sub>p</sub>	m	T <sub>r</sub>	T <sub>a</sub>	Q <sub>s</sub>	(T <sub>s</sub> -T <sub>a</sub> )/Q <sub>s</sub>	η			
local	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	J/Kg K	Kg	°C	°C	W / m <sup>2</sup>	°c m / W	%			
8:00	8.5	16.7	37.8	39.7	39.5	39.7	39.7	15.3	4,175	263	39.8	14.0	50					
8:15	12.2	19.4	40.2	42.3	42.3	42.3	42.3	18.8	4,175	263	42.0	14.5	113	0.044	579.40			
8:30	15.2	21.0	41.1	43.2	43.1	43.1	43.1	20.6	4,175	263	42.2	15.8	131	0.040	260.86			
8:45	14.7	22.9	38.2	40.3	40.4	40.3	40.3	18.1	4,175	263	39.4	16.0	212	0.033	-19.94			
9:00	13.7	32.1	35.7	37.7	37.8	37.5	37.6	17.3	4,175	263	37.3	17.5	333	0.044	-55.12			
9:15	32.8	37.8	36.0	37.6	38.6	37.4	37.6	15.6	4,175	263	37.3	16.0	276	0.079	-52.08			
9:30	29.5	33.4	35.6	37.2	37.8	37.0	37.1	14.6	4,175	263	36.9	15.0	88	0.208	-161.80			
9:45	27.6	33.1	35.2	36.8	37.1	36.7	36.8	15.2	4,175	263	36.6	16.0	194	0.088	-68.33			
10:00	34.1	43.6	35.9	37.2	39.8	37.1	37.2	17.1	4,175	263	37.5	17.0	511	0.052	-16.53			
10:15	34.7	44.9	36.7	36.9	42.0	37.2	37.3	16.1	4,175	263	38.0	17.0	542	0.051	-10.51			
10:30	34.8	41.0	36.7	37.0	41.9	37.3	37.3	16.0	4,175	263	38.0	16.8	316	0.077	-16.22			
10:45	35.5	46.8	36.7	37.2	42.9	37.3	37.3	19.8	4,175	263	38.4	20.0	615	0.043	-6.19			
11:00	36.0	47.9	36.6	38.3	45.1	37.6	37.7	17.5	4,175	263	39.1	18.5	606	0.048	-2.67			
11:15	36.4	47.3	37.3	38.9	46.3	37.9	38.1	18.8	4,175	263	39.8	18.8	551	0.052	0.20			
11:30	36.9	50.3	37.7	40.3	47.7	38.5	38.8	21.4	4,175	263	40.8	20.5	664	0.045	3.17			
11:45	37.2	51.9	37.9	41.9	49.8	39.2	39.8	22.3	4,175	263	42.0	22.5	804	0.037	5.20			
12:00	37.3	52.1	37.9	43.5	50.7	40.1	41.0	23.1	4,175	263	42.9	23.0	835	0.035	6.72			
12:15	37.1	52.5	37.8	44.9	50.7	41.0	42.2	22.2	4,175	263	43.7	22.8	840	0.035	7.86			
12:30	37.5	52.9	38.5	46.6	51.4	42.8	43.9	20.1	4,176	262	45.0	21.0	843	0.038	9.97			
12:45	37.7	54.1	39.2	48.2	52.2	44.5	45.7	22.9	4,176	262	46.4	24.0	961	0.031	10.45			
13:00	38.7	53.5	40.7	50.0	53.4	46.7	47.7	22.0	4,176	262	48.0	23.0	847	0.036	14.03			
13:15	39.9	56.0	42.5	50.8	54.3	48.4	49.3	24.5	4,177	262	49.3	24.0	956	0.033	13.70			
13:30	41.0	55.7	44.1	51.9	55.1	49.8	50.5	23.7	4,177	262	50.5	23.0	800	0.041	17.50			
13:45	42.6	57.5	45.5	52.7	55.8	50.8	51.4	24.0	4,177	262	51.4	24.0	905	0.037	16.09			
14:00	44.0	58.7	46.8	53.7	57.0	51.6	52.1	23.0	4,178	262	52.4	24.0	958	0.036	15.81			
14:15	45.5	58.7	48.4	54.0	57.3	52.4	52.9	26.2	4,178	261	53.1	26.0	870	0.040	19.02			
14:30	46.9	59.9	49.6	54.8	58.3	53.3	53.7	23.5	4,178	261	54.0	23.5	843	0.043	18.72			
14:45	47.8	58.2	50.6	55.1	58.3	53.8	54.2	22.2	4,178	261	54.5	23.0	682	0.052	23.04			
15:00	48.3	56.9	51.1	55.4	57.8	54.2	54.7	22.3	4,178	261	54.8	24.0	573	0.057	26.88			
15:15	49.2	60.3	52.0	55.9	58.0	54.9	55.2	25.3	4,179	261	55.3	25.0	769	0.046	20.03			
15:30	49.7	59.6	52.5	56.1	58.2	55.4	55.8	23.3	4,179	261	55.7	24.0	693	0.051	22.02			
15:45	50.3	58.8	53.1	56.2	58.1	56.0	56.2	23.4	4,179	261	56.0	24.8	616	0.055	24.46			
16:00	50.6	57.2	53.7	56.4	57.9	56.4	56.5	23.2	4,179	261	56.2	24.0	439	0.076	33.60			
16:15	51.0	56.9	54.0	56.2	57.5	56.5	56.6	23.4	4,179	261	56.2	23.0	452	0.075	31.71			
16:30	51.7	59.3	54.5	56.5	57.9	56.7	56.8	23.3	4,179	261	56.5	24.0	654	0.054	21.60			
16:45	51.0	54.8	54.6	56.3	57.2	56.5	56.7	22.1	4,179	261	56.1	23.8	288	0.107	46.63			
17:00	51.8	58.4	54.3	55.9	56.6	56.0	56.1	22.7	4,179	261	55.8	24.5	558	0.061	22.95			
17:15	52.6	59.3	54.8	56.2	57.3	56.1	56.2	23.9	4,179	261	56.0	25.5	578	0.058	21.89			
17:30	48.4	50.1	54.7	55.8	56.7	55.7	55.7	20.2	4,179	261	55.9	23.0	89	0.304	137.22			
17:45	44.1	47.8	55.3	56.1	56.4	56.9	56.7	21.8	4,179	261	56.3	23.0	342	0.073	35.55			
18:00	41.7	48.9	55.1	56.0	55.8	56.7	56.6	22.3	4,179	261	56.0	23.5	362	0.070	32.31			
18:15	40.8	43.0	54.4	56.5	55.3	56.6	56.4	21.2	4,179	261	55.8	22.0	152	0.138	74.05			
18:30	37.9	39.0	54.5	56.2	55.0	56.5	56.4	21.3	4,179	261	55.7	21.8	71	0.241	152.71			
18:45	34.5	36.5	30.7	56.0	54.6	56.4	56.2	20.3	4,175	263	39.5	21.0	45	0.346	-4.16			

Fecha 11-Sep-97		TABLA 10								Velocidad del viento 2.40 m/s					
Tiempo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	C <sub>p</sub>	m	T <sub>T</sub>	T <sub>a</sub>	Q <sub>s</sub>	(T <sub>s</sub> -T <sub>a</sub> )/Q <sub>s</sub>	η
local	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	J/Kg K	Kg	°C	°C	W / m <sup>2</sup>	°c m / W	%
8:00	11.2	18.1	45.6	48.3	48.6	48.8	48.8	16.2	4176	262	48.0	16.5	83	0.019	
8:15	11.8	18.5	45.7	48.3	48.7	48.9	48.9	16.3	4176	262	48.0	16.8	121	0.014	3.37
8:30	13.2	19.3	45.7	48.1	48.4	48.6	48.6	16.4	4176	262	47.9	17.0	123	0.019	-15.96
8:45	16.0	24.7	45.7	48.1	48.7	48.6	48.6	17.3	4176	262	47.9	18.0	249	0.027	-4.89
9:00	19.4	33.3	45.6	48.0	48.4	48.5	48.5	16.8	4176	262	47.8	17.5	249	0.063	-7.88
9:15	21.4	29.3	45.4	47.7	48.1	48.2	48.1	16.0	4176	262	47.5	16.8	111	0.113	-29.34
9:30	21.2	28.3	45.2	47.6	47.5	48.0	48.0	15.9	4176	262	47.3	26.8	153	0.010	-24.01
9:45	22.2	36.2	45.4	47.6	47.6	47.9	47.9	16.8	4176	262	47.2	17.5	283	0.066	-11.43
10:00	23.8	34.0	45.2	48.3	47.0	47.8	47.7	16.8	4176	262	47.2	17.5	173	0.095	-17.01
10:15	42.2	50.7	45.7	47.3	48.8	47.7	47.8	19.5	4176	262	47.5	20.0	590	0.052	-2.75
10:30	43.5	53.5	46.6	47.5	49.9	48.0	48.1	19.5	4176	262	48.0	19.8	677	0.050	-0.10
10:45	44.1	49.8	47.0	47.5	50.4	48.0	48.0	17.7	4176	262	48.2	18.5	414	0.076	1.01
11:00	44.9	56.2	47.1	47.4	51.6	48.0	48.0	20.5	4176	262	48.6	21.5	750	0.046	1.82
11:15	46.5	59.0	47.8	49.2	55.1	48.8	48.8	21.9	4177	262	50.0	21.5	793	0.047	5.50
11:30	46.9	59.1	48.3	49.9	56.1	49.0	49.0	23.5	4177	262	50.5	24.0	695	0.050	7.31
11:45	47.0	54.4	48.4	50.7	57.3	49.0	49.1	24.3	4177	262	51.0	23.8	391	0.078	14.63
12:00	47.2	61.6	48.5	52.1	58.3	49.2	49.7	24.7	4177	262	51.8	25.0	988	0.037	6.84
12:15	47.3	61.7	48.6	54.0	59.1	49.9	50.8	20.5	4178	261	52.8	22.0	944	0.042	8.62
12:30	47.3	62.2	48.8	55.7	59.5	51.4	52.5	23.1	4178	261	54.1	24.8	965	0.039	9.99
12:45	47.9	63.2	49.8	57.7	60.8	53.8	54.9	25.1	4179	261	55.5	25.5	981	0.038	11.53
13:00	47.2	56.9	49.9	56.9	61.1	54.6	55.6	24.5	4179	261	56.1	25.2	259	0.122	44.68
13:15	48.6	64.1	51.6	58.1	62.2	57.1	58.1	23.4	4180	261	57.5	24.0	1019	0.039	12.62
13:30	48.3	57.7	52.5	58.1	61.6	57.8	58.3	23.9	4180	261	58.3	24.0	390	0.086	34.41
13:45	49.9	64.6	54.5	59.1	61.4	58.9	61.7	26.2	4180	261	58.7	27.0	971	0.039	13.75
14:00	51.0	65.5	55.8	59.6	63.1	59.7	59.8	25.7	4181	261	59.6	26.5	967	0.040	14.24
14:15	51.8	60.0	56.5	59.0	61.5	59.7	59.7	25.2	4180	261	59.2	26.0	457	0.074	28.13
14:30	52.3	63.8	56.8	59.9	61.3	59.6	59.5	23.8	4181	261	59.6	25.0	567	0.069	22.40
14:45	54.0	67.7	58.5	60.1	64.1	60.2	60.2	24.1	4181	260	60.7	24.8	1010	0.042	13.26
15:00	55.0	67.6	59.2	60.7	65.3	60.6	60.5	28.0	4181	260	61.3	28.5	902	0.043	15.04
15:15	55.3	65.7	59.8	59.6	65.8	60.8	60.6	26.3	4182	260	61.4	27.5	838	0.046	15.71
15:30	55.8	68.0	59.8	61.5	64.6	61.0	61.0	25.0	4182	260	61.6	25.5	703	0.061	18.46
15:45	55.9	66.7	60.0	62.2	64.6	61.2	61.3	26.3	4182	260	62.0	27.0	684	0.058	18.89
16:00	56.5	67.7	60.1	63.5	65.6	62.0	62.2	27.9	4182	260	62.7	28.8	918	0.042	14.28
16:15	54.0	34.5	59.9	63.2	65.0	62.3	62.3	22.3	4182	260	62.5	24.0	229	0.046	54.73
16:30	54.3	60.2	59.6	62.8	64.4	62.2	62.3	24.9	4182	260	62.3	25.8	406	0.085	29.57
16:45	56.4	64.5	59.9	63.0	63.5	62.8	62.6	23.7	4182	260	62.4	25.8	651	0.060	18.06
17:00	56.4	62.9	60.3	63.2	62.8	63.1	62.9	23.6	4182	260	62.5	25.0	484	0.078	23.67
17:15	54.7	59.1	60.4	62.8	62.4	63.2	62.9	22.2	4182	260	62.3	24.0	371	0.094	29.72
17:30	50.0	52.0	60.2	62.8	62.5	63.0	62.8	21.6	4182	260	62.2	22.5	180	0.164	59.45
17:45	45.1	47.9	60.3	62.9	61.9	62.9	62.7	21.9	4182	260	62.1	23.0	245	0.102	42.22
18:00	41.7	43.9	60.4	63.0	61.0	62.7	62.7	21.0	4182	260	61.9	22.5	105	0.204	94.52
18:15	38.2	40.8	60.5	62.9	60.5	62.6	62.6	20.0	4182	260	61.8	22.0	84	0.226	114.67
18:30	34.8	38.3	60.3	62.6	60.2	62.4	62.4	19.6	4182	260	61.6	21.5	73	0.229	125.38
18:45	31.8	36.4	60.7	62.6	59.3	62.2	62.3	19.8	4182	260	61.4	22.0	29	0.490	301.83
19:00	28.8	34.8	60.1	62.5	59.3	62.1	62.1	20.4	4176	262	48.8	21.0	14	0.973	35.45

Fecha 30-Sep-97				TABLA 11								Velocidad del viento 0.92 m/s				
Tiempo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	C <sub>p</sub>	m	T <sub>T</sub>	T <sub>a</sub>	Q <sub>s</sub>	(T <sub>s</sub> -T <sub>a</sub> )/Q <sub>s</sub>	η	
Local	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	J/Kg K	Kg	°C	°C	W / m <sup>2</sup>	°c m / W	%	
7:30	13.7	19.8	52.5	52.6	52.6	55.5	55.5	16.4	4178	261	53.7	17.0	0			
7:45	13.7	19.8	53.0	53.1	53.0	55.4	55.4	16.0	4178	261	53.9	16.5	6	0.556	1037.33	
8:00	13.8	19.8	53.1	53.1	53.0	55.3	55.3	16.1	4178	261	53.9	17.0	16	0.173	134.66	
8:15	14.1	20.0	53.2	53.2	53.1	54.9	54.9	17.0	4178	261	53.9	17.0	25	0.118	49.80	
8:30	14.6	20.1	53.1	53.1	53.0	54.8	54.8	16.5	4178	261	53.7	17.0	35	0.086	1.14	
8:45	15.8	20.1	52.9	53.0	52.9	54.7	54.7	16.4	4178	261	53.6	17.0	127	0.025	-3.32	
9:00	19.5	23.1	52.8	52.9	52.8	54.5	54.7	17.2	4178	261	53.5	18.0	153	0.033	-7.39	
9:15	23.1	33.0	52.6	52.8	52.6	54.4	54.5	18.4	4178	261	53.3	19.0	292	0.048	-5.27	
9:30	24.1	42.9	52.8	52.9	52.8	54.3	54.3	18.7	4178	261	53.4	19.0	233	0.103	-5.56	
9:45	36.6	52.2	52.7	52.8	52.6	54.0	54.0	18.1	4178	261	53.2	19.0	388	0.085	-4.00	
10:00	47.7	55.2	52.8	52.9	52.8	54.0	54.1	19.2	4178	261	53.3	19.5	479	0.075	-2.64	
10:15	49.2	58.2	53.4	53.4	53.4	53.9	54.0	20.9	4178	261	53.8	22.5	549	0.065	0.34	
10:30	50.5	59.0	54.4	54.4	54.5	54.7	54.8	19.7	4178	261	54.6	20.0	477	0.082	4.17	
10:45	51.5	61.7	55.2	55.2	55.3	54.8	54.8	20.9	4179	261	55.1	21.8	637	0.063	4.79	
11:00	52.4	59.8	56.0	56.1	56.1	54.9	54.9	21.7	4179	261	55.5	22.0	461	0.082	7.73	
11:15	49.7	52.6	55.2	55.2	55.2	54.4	54.3	20.8	4179	261	54.9	22.0	208	0.147	10.60	
11:30	48.1	52.4	55.0	55.1	55.1	54.4	54.4	20.8	4178	261	54.8	22.0	302	0.101	6.43	
11:45	51.2	54.6	55.0	55.1	55.1	54.4	54.5	20.3	4178	261	54.8	21.0	238	0.141	7.90	
12:00	51.2	56.4	54.7	54.7	54.8	54.4	54.5	20.4	4178	261	54.7	21.0	399	0.089	3.90	
12:15	52.1	57.5	55.2	55.3	55.3	54.8	54.9	20.0	4179	261	55.1	20.5	393	0.094	5.40	
12:30	52.5	60.6	55.6	55.6	55.6	55.0	55.1	21.1	4179	261	55.4	22.0	691	0.056	3.56	
12:45	52.6	59.1	55.7	55.7	55.8	55.2	55.4	21.9	4179	261	55.6	22.8	424	0.086	6.14	
13:00	53.1	65.3	56.7	56.8	56.9	55.5	55.8	23.2	4179	261	56.5	25.0	853	0.047	4.21	
13:15	53.4	64.0	54.8	59.7	59.7	56.2	56.4	25.2	4180	261	57.5	25.5	605	0.064	7.70	
13:30	53.6	62.4	55.2	60.3	60.4	56.8	57.0	24.5	4180	261	58.0	24.5	546	0.069	9.33	
13:45	53.4	60.9	56.4	59.5	59.6	56.9	57.3	22.5	4180	261	58.1	25.0	484	0.074	10.42	
14:00	54.1	67.2	59.5	59.8	59.9	57.7	58.3	24.7	4180	261	59.3	26.0	934	0.044	6.57	
14:15	54.6	68.8	56.2	63.0	63.1	59.0	59.7	26.6	4181	260	60.5	27.5	976	0.042	7.29	
14:30	55.1	70.6	57.0	64.5	64.8	60.4	61.0	27.5	4182	260	61.7	28.0	1113	0.038	7.29	
14:45	55.3	63.9	57.7	64.7	65.1	61.3	61.8	25.5	4182	260	62.2	26.0	497	0.076	16.83	
15:00	55.4	62.8	58.2	65.1	65.1	61.8	62.4	24.8	4182	260	62.7	25.0	471	0.080	18.18	
15:15	55.8	64.8	59.0	65.2	64.8	62.8	63.6	25.8	4183	260	63.3	25.5	556	0.071	15.75	
15:30	56.2	66.0	59.8	65.5	64.4	63.8	64.4	25.0	4183	260	63.7	25.0	611	0.067	14.46	
15:45	56.2	65.7	60.4	65.5	63.8	64.4	64.7	27.4	4183	260	63.8	27.5	565	0.068	15.45	
16:00	56.3	62.9	61.0	65.6	63.6	64.8	65.1	25.9	4183	260	64.0	27.5	362	0.098	23.73	
16:15	56.6	62.9	61.5	65.4	63.2	65.0	65.0	27.2	4183	260	64.0	29.0	328	0.104	25.44	
16:30	54.1	57.8	61.6	64.1	63.8	64.8	64.8	25.8	4183	260	63.8	27.2	137	0.224	58.30	
16:45	49.7	54.1	61.3	63.8	63.6	64.6	64.7	23.8	4183	260	63.6	26.2	161	0.173	46.90	
17:00	46.2	51.8	60.8	63.5	63.4	64.4	64.4	26.3	4182	260	62.9	28.0	197	0.121	34.96	
17:15	44.5	47.1	59.7	61.7	61.5	62.5	62.5	23.9	4182	260	61.4	27.2	147	0.136	38.13	
17:30	41.8	44.7	58.8	60.7	60.7	61.5	61.5	23.8	4181	260	60.6	27.0	147	0.120	33.00	
17:45	39.1	41.1	58.4	60.2	60.1	60.9	61.0	20.8	4181	261	59.9	24.5	55	0.301	78.53	
18:00	35.5	37.3	57.7	59.4	59.3	60.2	60.1	18.5	4180	261	59.2	23.5	45	0.308	82.37	
18:15	32.0	34.4	57.8	58.1	58.0	59.4	59.3	18.4	4180	261	58.4	24.0	98	0.106	31.49	
18:30	28.2	31.9	56.6	57.0	56.9	58.5	58.5	17.0	4176	262	45.8	23.5	25	0.340	-209.77	

Fecha		TABLA 12										Velocidad del viento 1.20 m/s				
1-Oct-97		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	C <sub>p</sub>	m	T <sub>r</sub>	T <sub>a</sub>	Q <sub>s</sub>	(Ts-Ta)/ Q <sub>s</sub>	η
local	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	J/Kg K	Kg	°C	°C	W / m <sup>2</sup>	°c m / W	%
7:30	12.1	16.3	50.4	50.6	53.0	54.4	54.8	15.6	4178	261	52.7	16.5	0			
7:45	12.6	18.6	52.9	53.0	52.9	55.0	55.1	15.6	4178	261	53.7	16.5	0			
8:00	12.8	18.8	52.8	52.9	52.8	54.9	54.9	15.7	4178	261	53.6	16.5	2	0.978	5939.46	
8:15	13.0	18.5	52.8	52.9	52.8	54.8	54.8	15.5	4178	261	53.6	16.0	0			
8:30	13.1	18.3	52.6	52.7	52.6	54.6	54.7	15.1	4178	261	53.4	16.0	14	0.172	369.73	
8:45	13.5	18.7	52.4	52.6	52.4	54.5	54.5	15.8	4178	261	53.3	16.8	59	0.032	56.35	
9:00	14.4	19.0	52.4	52.5	52.3	54.4	54.4	16.1	4178	261	53.2	16.8	50	0.043	44.50	
9:15	15.8	19.1	52.2	52.3	52.2	54.2	54.2	15.7	4178	261	53.0	16.5	82	0.031	15.29	
9:30	17.1	19.4	52.1	52.2	52.1	54.1	54.1	16.3	4178	261	52.9	17.0	115	0.021	5.71	
9:45	19.7	20.3	52.0	52.1	52.0	53.9	54.0	17.3	4178	261	52.8	17.8	132	0.019	2.42	
10:00	22.8	23.7	52.0	52.1	52.0	53.9	53.9	17.1	4178	261	52.7	18.0	222	0.026	0.75	
10:15	24.9	26.5	51.9	52.0	51.9	53.7	53.8	17.3	4178	261	52.6	18.0	145	0.059	-0.96	
10:30	24.9	27.0	51.7	51.9	51.7	53.6	53.6	17.6	4178	261	52.5	18.0	146	0.062	-3.32	
10:45	22.7	31.1	51.6	51.7	51.6	53.4	53.5	18.6	4178	262	52.3	18.2	239	0.054	-3.46	
11:00	21.5	32.6	51.5	51.7	51.5	53.1	53.2	17.7	4177	262	52.2	18.2	116	0.124	-9.18	
11:15	23.4	30.3	51.3	51.4	51.3	53.0	53.0	18.7	4177	262	52.0	18.8	119	0.097	-10.72	
11:30	21.3	33.8	51.3	51.4	51.3	53.0	53.1	18.7	4177	262	52.0	18.8	343	0.044	-3.74	
11:45	23.8	34.4	51.2	51.2	51.1	52.8	52.8	18.3	4177	262	51.8	18.8	192	0.081	-7.92	
12:00	35.6	42.2	51.1	51.2	51.1	52.5	52.6	18.6	4177	262	51.6	20.0	390	0.057	-4.24	
12:15	32.7	38.3	50.9	51.0	50.9	52.3	52.4	19.1	4177	262	51.5	20.0	148	0.123	-12.36	
12:30	31.8	36.5	50.8	50.9	50.8	52.3	52.3	19.5	4177	262	51.4	20.0	159	0.103	-11.30	
12:45	47.0	50.9	52.0	52.1	52.1	52.4	52.5	21.5	4178	262	52.2	22.0	777	0.037	-0.89	
13:00	47.4	47.4	52.0	52.0	52.0	52.3	52.4	22.1	4177	262	52.1	22.0	308	0.082	-2.31	
13:15	47.9	46.7	51.8	51.8	51.8	52.3	52.4	21.8	4177	262	52.0	22.8	299	0.080	-2.77	
13:30	47.9	47.2	51.6	51.7	51.6	52.3	52.4	21.0	4177	262	51.9	22.5	301	0.082	-3.12	
13:45	47.1	46.4	51.4	51.5	51.4	52.2	52.3	21.7	4177	262	51.7	23.0	231	0.101	-4.69	
14:00	45.1	44.3	51.2	51.4	51.2	52.2	52.2	23.0	4175	263	41.2	23.0	281	0.076	-45.49	

Fecha		TABLA 13								Velocidad del viento 1.33 m/s						
2-Oct-97		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	C <sub>p</sub>	m	T <sub>T</sub>	Ta	Q <sub>s</sub>	(Ts-Ta)/ Q <sub>s</sub>	η
local	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	J/Kg K	Kg	°C	°C	W / m <sup>2</sup>	°c m / W	%
8:00	12.2	17.0	42.9	43.0	42.9	44.5	44.5	13.7	4175	263	43.5	14.2	12	0.235	0.00	
8:15	12.4	17.0	42.9	42.9	42.8	44.4	44.4	13.7	4175	263	43.5	14.5	18	0.136	-119.48	
8:30	12.7	17.2	42.8	42.8	42.7	44.3	44.3	13.9	4175	263	43.4	14.8	27	0.090	-89.06	
8:45	13.2	17.0	42.8	42.8	42.7	44.3	44.3	13.8	4175	263	43.4	14.8	26	0.084	-71.22	
9:00	13.7	17.2	42.7	42.7	42.5	44.1	44.2	14.5	4175	263	43.2	15.0	56	0.039	-44.58	
9:15	15.3	17.5	42.5	42.6	42.2	43.9	43.9	15.1	4175	263	43.0	16.0	216	0.007	-15.32	
9:30	21.1	36.8	42.6	42.6	42.6	43.5	43.7	17.1	4175	263	43.0	17.5	413	0.047	-6.14	
9:45	37.9	38.7	42.8	42.9	42.8	43.6	43.7	16.8	4175	263	43.2	17.8	277	0.075	-5.50	
10:00	38.5	40.0	42.7	42.7	42.7	43.6	43.7	17.9	4175	263	43.2	18.0	294	0.075	-4.13	
10:15	40.8	47.2	44.5	44.6	44.6	44.2	44.4	18.3	4176	262	44.5	18.2	573	0.051	5.07	
10:30	41.6	47.9	45.4	45.4	45.5	44.2	44.3	18.2	4176	262	45.0	19.0	556	0.052	7.42	
10:45	42.1	48.6	46.3	46.3	46.5	44.3	44.4	18.8	4176	262	45.5	19.0	675	0.044	7.44	
11:00	41.6	45.0	45.9	45.9	46.0	43.9	43.9	20.8	4176	262	45.2	21.0	329	0.073	12.41	
11:15	42.6	49.4	47.4	47.4	47.5	44.3	44.5	21.1	4176	262	46.3	21.5	683	0.041	9.05	
11:30	42.5	48.7	47.5	47.6	47.7	44.5	45.0	18.2	4176	262	46.6	19.0	717	0.041	8.77	
11:45	41.9	42.0	47.6	47.7	47.7	45.0	45.7	18.3	4176	262	46.8	19.0	266	0.087	23.51	
12:00	39.1	41.5	47.4	47.5	47.5	45.2	45.9	18.6	4176	262	46.7	18.8	107	0.213	53.32	
12:15	36.7	38.8	47.1	47.1	47.1	45.2	45.8	18.9	4176	262	46.5	19.8	108	0.176	46.27	
12:30	34.2	36.3	46.9	46.9	46.9	44.5	45.9	17.6	4176	262	46.2	18.5	112	0.159	38.66	
12:45	33.1	35.6	42.8	45.8	50.8	45.3	46.0	19.4	4176	262	46.1	20.0	163	0.095	24.15	
13:00	31.4	36.7	42.6	45.8	50.5	45.4	46.0	18.7	4176	262	46.1	20.0	219	0.076	17.12	
13:15	39.1	45.8	42.8	46.1	50.3	45.7	46.4	19.6	4176	262	46.4	20.0	331	0.078	11.68	
13:30	41.3	49.6	43.1	46.5	50.0	46.2	46.8	20.0	4176	262	46.6	21.5	424	0.066	9.47	
13:45	42.0	51.1	43.4	46.9	49.9	46.7	47.2	20.8	4176	262	47.0	22.0	504	0.058	8.52	
14:00	23.0	52.3	43.9	47.6	50.8	47.4	47.8	20.3	4176	262	47.6	21.0	526	0.059	9.23	
14:15	30.8	53.4	44.2	33.1	51.5	47.8	48.2	22.9	4176	262	45.0	23.5	598	0.050	2.81	
14:30	31.8	52.8	44.8	33.8	52.5	48.3	48.3	22.3	4175	263	35.9	22.0	486	0.063	-17.59	

Fecha		TABLA 14								Velocidad del viento 0.80 m/s					
Tempo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	C <sub>p</sub>	m	T <sub>T</sub>	T <sub>a</sub>	Q <sub>s</sub>	(T <sub>s</sub> -T <sub>a</sub> )/Q <sub>s</sub>	η
local	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	J/Kg K	Kg	°C	°C	W / m <sup>2</sup>	°c m / W	%
9:30	18.0	47.2	55.9	59.3	57.8	59.8	60.3	13.8	4180	261	58.4	14.0	365	0.091	0.00
9:45	54.3	54.4	55.7	59.3	56.4	59.2	59.2	16.1	4180	261	58.0	15.8	417	0.093	-30.00
10:00	53.0	58.9	56.2	59.1	55.3	59.2	59.2	16.2	4180	261	57.8	16.2	473	0.090	-17.66
10:15	54.2	61.8	57.1	59.2	56.9	59.2	59.3	14.5	4180	261	58.3	16.5	527	0.086	-0.98
10:30	55.6	63.7	57.7	59.1	58.4	59.2	59.2	18.1	4180	261	58.8	18.8	570	0.079	4.97
10:45	57.3	65.9	58.5	59.6	60.3	59.6	59.7	17.1	4181	261	59.5	17.5	623	0.078	10.04
11:00	58.3	66.9	58.7	59.7	61.2	59.5	59.6	17.4	4181	261	59.7	18.0	653	0.075	9.72
11:15	59.1	68.2	58.9	60.0	62.0	59.5	59.6	20.4	4181	261	60.0	20.8	704	0.067	9.00
11:30	59.4	68.6	58.6	60.4	62.2	59.3	59.5	21.4	4181	261	60.2	22.5	744	0.062	8.66
11:45	60.3	69.6	59.2	62.1	63.0	60.1	60.5	19.9	4181	260	61.2	19.8	772	0.064	11.52
12:00	60.7	70.1	59.3	63.6	63.4	61.0	61.8	20.8	4182	260	62.1	21.8	786	0.061	13.44
12:15	60.9	70.1	59.5	65.1	63.6	62.3	63.2	20.7	4182	260	63.1	21.0	796	0.062	15.08
12:30	61.3	71.0	59.8	66.5	64.0	63.8	64.8	23.9	4183	260	64.1	24.5	834	0.056	16.03
12:45	61.6	70.8	60.4	67.4	64.2	65.2	66.2	20.5	4183	260	64.9	21.5	798	0.062	17.63
13:00	61.8	71.6	61.2	68.0	64.6	66.3	67.0	21.5	4184	260	65.6	23.0	867	0.056	16.81
13:15	62.5	72.2	62.4	68.7	65.4	67.3	68.0	21.3	4184	260	66.5	22.8	835	0.059	18.27
13:30	63.2	73.1	63.6	69.2	66.2	68.1	68.6	23.1	4185	260	67.3	23.0	852	0.059	18.41
13:45	64.5	74.4	64.9	69.7	67.4	68.8	69.3	24.1	4185	259	68.1	25.0	865	0.057	18.63
14:00	65.3	74.7	65.9	70.0	68.4	69.3	69.7	22.8	4186	259	68.8	24.5	843	0.060	19.26
14:15	66.3	75.8	66.9	70.6	69.4	69.8	70.2	24.0	4186	259	69.5	25.0	832	0.061	19.78
14:30	67.1	76.0	67.7	71.2	70.2	70.3	70.7	24.4	4187	259	70.1	25.4	793	0.064	20.83
14:45	67.6	76.1	68.3	71.8	70.7	70.8	71.2	24.9	4187	259	70.7	26.0	778	0.064	21.30
15:00	69.0	76.9	69.4	73.4	72.1	71.7	72.1	24.7	4188	259	71.9	25.2	746	0.069	23.09
15:15	70.5	76.5	69.9	74.0	70.9	72.4	72.7	25.0	4188	259	72.1	25.4	711	0.072	23.60
15:30	70.8	76.2	70.3	74.5	71.2	72.9	73.3	26.2	4188	259	72.6	27.2	672	0.073	24.71
15:45	70.9	75.9	70.8	74.9	71.3	73.5	73.9	24.8	4189	259	72.9	25.2	629	0.081	25.98
16:00	71.0	75.4	71.3	75.2	71.4	74.0	74.2	26.1	4189	259	73.3	26.5	579	0.084	27.75
16:15	70.9	74.1	71.6	75.2	71.1	74.2	74.5	24.9	4189	259	73.3	25.8	506	0.095	30.73
16:30	70.6	72.8	71.9	75.0	70.8	74.6	74.6	24.9	4189	259	73.3	25.0	463	0.103	32.30
16:45	70.0	71.7	71.9	74.6	70.4	74.4	74.3	25.2	4189	259	73.1	26.0	397	0.115	35.75
17:00	67.3	69.4	71.9	74.3	68.7	74.2	74.0	24.9	4188	259	72.6	25.0	350	0.127	38.09
17:15	63.3	64.8	71.8	74.2	65.7	74.0	73.9	23.8	4188	259	71.9	24.5	303	0.133	40.39
17:30	61.0	61.2	71.6	74.0	63.2	73.9	73.8	25.9	4188	259	71.3	26.0	247	0.143	45.94
17:45	59.0	57.1	71.4	73.8	60.9	73.7	73.6	23.9	4187	259	70.7	25.0	192	0.168	54.57
18:00	56.9	52.8	71.4	73.5	58.7	73.5	73.4	23.3	4187	259	70.1	24.0	147	0.196	65.95
18:15	54.7	48.6	71.0	73.3	56.4	73.4	73.3	22.1	4186	259	69.4	23.2	102	0.249	86.98
18:30	52.4	45.6	70.7	73.1	54.0	73.2	73.1	21.6	4186	259	68.8	22.2	69	0.340	117.78
18:45	49.9	43.4	70.4	72.8	51.5	73.0	72.8	21.8	4185	259	68.1	22.0	46	0.469	161.83
19:00	48.2	41.6	70.2	72.6	49.9	72.8	72.7	20.7	4178	261	53.1	21.5	17	1.161	-230.48

Fecha 22-Oct-97				TABLA 15								Velocidad del viento 0.75 m/s			
Tiempo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	C <sub>p</sub>	m	T <sub>t</sub>	T <sub>a</sub>	Q <sub>s</sub>	(T <sub>s</sub> -T <sub>a</sub> )/Q <sub>s</sub>	η
Local	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	J/Kg K	Kg	°C	°C	W / m <sup>2</sup>	°C m / W	%
7:30	27.9	14.8	58.3	63.1	28.4	62.7	62.8	10.0	4179	261	55.0	10.0	0		
7:45	27.1	14.6	57.9	62.7	28.1	62.4	62.4	10.3	4178	261	54.7	10.5	6	0.717	-1549.85
8:00	23.5	14.8	57.7	62.6	28.1	62.2	62.3	11.1	4178	261	54.8	11.0	34	0.113	-82.54
8:15	28.7	16.4	58.6	63.5	29.5	63.1	63.2	14.0	4179	261	55.5	12.0	81	0.054	60.19
8:30	29.3	17.1	58.2	63.1	30.1	62.6	62.7	13.6	4179	261	55.1	13.5	130	0.028	8.01
8:45	30.0	19.3	57.1	62.0	31.1	61.7	61.8	11.9	4178	261	54.6	12.0	183	0.040	-10.44
9:00	27.0	25.4	56.8	61.7	35.2	61.3	61.4	12.9	4179	261	55.2	13.8	237	0.049	5.12
9:15	27.9	34.1	56.7	61.4	37.8	61.1	61.2	14.0	4179	261	55.6	14.4	285	0.069	8.27
9:30	35.7	47.1	56.9	61.3	37.5	60.8	60.9	16.4	4179	261	55.5	16.8	341	0.089	5.02
9:45	45.3	59.7	57.2	61.2	53.4	60.7	60.8	14.0	4180	261	58.6	14.0	396	0.116	28.89
10:00	48.4	59.4	57.5	60.7	56.6	60.5	60.4	16.0	4180	261	59.2	16.5	442	0.097	26.97
10:15	49.2	62.0	58.3	60.8	57.9	60.5	60.6	16.7	4181	261	59.6	16.8	496	0.091	24.18
10:30	52.0	64.1	59.1	60.8	59.4	60.6	60.6	17.5	4181	261	60.1	18.0	537	0.086	22.40
10:45	58.0	65.6	59.6	60.7	60.8	60.5	60.5	16.8	4181	260	60.4	18.0	578	0.082	20.51
11:00	59.1	67.2	59.8	60.8	61.8	60.5	60.5	20.4	4181	260	60.7	19.5	631	0.076	18.41
11:15	60.1	68.1	60.1	61.0	62.6	60.6	60.6	20.6	4181	260	61.0	20.8	647	0.073	17.74
11:30	60.8	68.8	60.2	61.5	63.3	60.7	60.8	21.5	4182	260	61.4	21.8	676	0.069	16.79
11:45	61.1	69.1	60.3	62.4	63.6	60.9	61.1	20.5	4182	260	62.1	21.8	694	0.068	17.04
12:00	61.5	69.9	60.4	63.6	61.5	61.4	63.2	21.5	4182	260	62.0	23.0	721	0.065	15.33
12:15	62.0	70.6	60.6	65.0	64.3	62.2	63.0	20.5	4183	260	63.3	22.0	747	0.065	16.59
12:30	62.5	71.2	60.7	66.1	64.6	63.4	64.2	22.2	4183	260	64.1	23.0	779	0.062	16.55
12:45	62.8	71.2	61.2	67.2	64.9	64.7	65.5	20.0	4183	260	64.9	21.5	767	0.065	17.47
13:00	62.7	69.9	61.7	68.0	64.8	65.8	66.5	23.3	4184	260	65.6	23.2	669	0.070	20.36
13:15	63.0	71.6	62.5	68.8	65.4	66.8	67.4	23.2	4184	260	66.4	23.8	778	0.061	18.00
13:30	63.9	73.1	63.7	69.5	66.4	67.8	68.3	22.9	4185	260	67.2	23.0	827	0.061	17.47
13:45	64.6	73.4	64.6	69.7	67.1	68.5	68.9	24.4	4185	259	67.9	25.0	802	0.060	18.19
14:00	65.7	74.4	65.7	70.1	68.1	69.1	69.4	25.2	4186	259	68.6	25.2	805	0.061	18.35
14:15	66.4	74.7	66.5	70.5	68.8	69.5	69.7	25.3	4186	259	68.6	26.5	771	0.062	18.54
14:30	66.9	74.6	67.2	71.0	69.3	67.6	67.8	24.0	4186	259	69.1	25.0	732	0.068	19.52
14:45	67.4	75.1	67.7	71.5	69.8	70.1	70.5	25.7	4187	259	70.1	26.0	728	0.067	20.21
15:00	68.3	75.6	68.6	72.4	70.6	70.8	71.2	26.1	4187	259	70.8	27.0	701	0.069	21.21
15:15	68.5	75.1	69.0	72.8	70.7	71.2	71.6	25.1	4187	259	71.1	25.2	645	0.077	22.82
15:30	68.5	74.6	69.2	73.1	70.8	71.6	72.0	25.2	4188	259	71.5	26.0	613	0.079	23.73
15:45	68.8	74.5	70.0	73.7	71.1	72.3	72.6	25.1	4188	259	72.0	25.0	586	0.085	24.84
16:00	69.0	74.1	70.3	73.8	71.3	72.7	73.0	25.3	4188	259	72.3	26.0	538	0.089	26.63
16:15	68.9	73.7	70.6	74.0	71.2	73.0	73.2	27.3	4188	259	72.4	27.0	515	0.091	27.31
16:30	68.8	71.8	70.9	74.0	71.0	73.2	73.4	26.0	4188	259	72.5	27.0	375	0.120	36.57
16:45	68.7	71.4	71.1	73.7	70.7	73.4	73.3	25.3	4188	259	72.3	26.0	392	0.116	33.77
17:00	64.8	64.2	71.0	73.5	66.9	72.9	72.7	23.0	4187	259	71.2	24.0	209	0.192	57.66
17:15	60.8	58.8	70.6	73.3	62.8	71.9	71.8	24.1	4187	259	69.9	25.5	250	0.133	43.12
17:30	57.9	53.6	70.2	72.9	59.5	70.8	70.9	20.5	4186	259	68.7	23.0	104	0.295	93.49
17:45	54.3	49.2	69.4	72.5	55.8	70.1	69.9	18.9	4185	259	67.4	22.6	59	0.448	145.44
18:00	50.6	45.8	68.5	72.0	52.1	69.5	69.3	18.5	4184	260	66.3	22.2	32	0.747	240.49
18:15	46.5	41.9	67.4	70.4	47.9	69.2	69.1	18.1	4183	260	64.6	22.0	25	0.797	255.57
18:30	44.2	38.6	66.8	69.9	45.4	68.5	68.4	16.8	4183	260	63.7	21.0	30	0.597	189.77
18:45	42.2	35.1	66.0	69.0	43.3	67.9	67.6	16.0	4182	260	62.7	21.0	30	0.466	160.53
19:00	40.9	32.9	65.4	68.3	41.9	67.4	67.1	15.3	4176	262	48.6	21.0	10	1.222	-410.06



Fecha 23-Oct-97				TABLA 16							Velocidad del viento 1.50 m/s				
Tiempo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Cp	m	T <sub>T</sub>	Ta	Q <sub>s</sub>	(Ts-Ta)/Q <sub>s</sub>	η
local	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	J/Kg K	Kg	°C	°C	W / m <sup>2</sup>	°c m / W	%
7:30	28.9	15.6	57.9	62.5	28.8	62.1	62.2	10.4	4178	261	54.6	10.5	0		
7:45	28.1	14.9	57.2	61.9	28.2	61.5	61.6	10.1	4178	261	54.0	10.5	5	0.909	-3210.12
8:00	28.0	15.0	57.0	61.6	28.1	61.3	61.4	10.8	4178	261	53.9	12.0	33	0.093	-309.98
8:15	28.4	15.5	56.9	61.6	28.5	61.2	61.3	12.2	4178	261	53.9	13.0	79	0.032	-77.34
8:30	29.4	16.8	56.9	61.6	29.7	61.3	61.4	13.6	4178	261	54.1	13.5	127	0.026	-25.56
8:45	31.2	20.3	56.7	61.3	31.8	61.0	61.1	14.0	4178	261	54.3	14.0	180	0.035	-9.97
9:00	34.2	26.1	56.1	60.8	35.4	60.5	60.5	14.6	4178	261	54.6	16.5	230	0.041	1.19
9:15	38.1	35.4	56.0	60.6	37.5	60.3	60.3	15.7	4178	261	54.8	17.0	281	0.065	3.60
9:30	35.7	46.4	55.9	60.2	36.9	59.6	59.7	17.1	4178	261	54.5	18.2	331	0.085	-1.20
9:45	53.0	58.9	56.1	59.8	54.4	59.5	59.7	15.5	4180	261	57.9	17.8	390	0.105	27.39
10:00	54.5	59.3	56.9	59.9	56.0	59.7	59.7	18.2	4180	261	58.5	18.2	441	0.093	25.38
10:15	55.6	61.9	57.9	60.2	57.5	59.9	60.0	18.5	4180	261	59.1	18.0	485	0.090	24.45
10:30	57.2	64.6	58.8	60.4	59.2	60.2	60.2	19.3	4181	261	59.7	19.0	553	0.082	22.18
10:45	58.4	66.2	59.2	60.3	60.5	60.0	60.0	20.2	4181	261	60.0	20.5	596	0.077	20.01
11:00	59.7	67.5	59.5	60.4	61.6	60.1	60.1	20.0	4181	260	60.3	20.0	632	0.075	18.61
11:15	60.4	68.7	59.6	60.7	62.4	60.1	60.1	20.1	4181	260	60.7	21.2	684	0.069	16.90
11:30	61.1	69.5	59.8	61.4	63.1	60.3	60.4	19.9	4181	260	61.1	20.5	728	0.067	16.03
11:45	61.8	70.4	59.8	62.7	63.6	60.6	61.1	22.7	4182	260	61.8	23.0	759	0.063	15.98
12:00	62.5	71.4	60.2	64.4	64.2	61.5	62.3	22.3	4182	260	62.8	21.5	793	0.063	16.34
12:15	62.5	71.3	60.1	65.7	64.2	62.6	63.5	21.1	4183	260	63.6	22.0	805	0.061	16.71
12:30	63.0	71.9	60.6	67.2	64.6	64.2	65.2	23.1	4183	260	64.6	23.2	820	0.059	17.42
12:45	63.1	72.0	61.0	68.2	64.7	65.6	66.6	23.0	4184	260	65.5	23.0	818	0.060	17.99
13:00	63.6	72.6	62.1	69.2	65.3	66.9	67.7	23.4	4184	260	66.5	23.0	846	0.059	18.11
13:15	64.2	73.3	63.2	69.9	66.0	68.1	68.8	23.8	4185	260	67.3	24.0	855	0.058	18.39
13:30	65.0	74.1	64.4	70.3	66.9	68.9	69.4	25.3	4185	259	68.2	25.2	856	0.057	18.72
13:45	66.2	75.3	65.9	70.9	68.2	69.9	70.2	24.7	4186	259	69.1	24.8	853	0.059	19.23
14:00	67.1	75.9	66.9	71.2	69.1	70.2	70.5	24.7	4186	259	69.7	25.0	836	0.061	19.68
14:15	68.2	76.8	67.9	71.8	70.1	70.8	71.1	25.0	4187	259	70.4	25.2	827	0.062	20.06
14:30	68.5	77.0	68.2	72.2	70.4	71.1	71.5	25.6	4187	259	70.8	26.5	801	0.063	20.49
14:45	69.9	77.8	69.6	73.5	71.9	71.9	72.2	25.6	4188	259	72.0	27.0	784	0.065	21.61
15:00	70.6	78.3	70.3	74.3	72.5	72.6	73.0	25.6	4188	259	72.7	26.0	760	0.069	22.37
15:15	71.0	78.1	70.8	75.0	72.9	73.2	73.6	24.9	4189	259	73.2	25.2	734	0.072	23.14
15:30	72.1	77.5	71.2	75.6	72.0	73.8	74.2	28.0	4189	259	73.5	28.0	681	0.073	24.49
15:45	72.4	77.1	71.8	76.1	72.1	74.5	74.9	25.0	4189	259	74.0	25.2	636	0.082	26.03
16:00	72.4	76.9	72.2	76.4	72.2	75.0	75.3	25.5	4190	258	74.3	26.2	608	0.083	26.83
16:15	72.4	76.4	72.6	76.5	72.1	75.3	75.6	26.5	4190	258	74.5	27.8	564	0.086	28.38
16:30	72.4	75.7	73.0	76.5	72.1	75.6	75.8	28.1	4190	258	74.6	28.0	509	0.094	30.79
16:45	72.4	74.7	73.5	76.3	72.2	75.9	75.8	23.7	4190	258	74.6	24.8	447	0.112	34.12
17:00	71.2	72.7	73.5	75.9	71.0	75.6	75.3	24.6	4190	258	74.2	25.2	396	0.120	36.64
17:15	69.5	71.5	73.3	75.8	70.0	75.3	74.9	24.2	4180	261	58.9	25.5	383	0.120	8.24

**RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA OBTENER LA CONSTANTE DE TIEMPO.**

**TABLA 17**

Fecha: 29-Oct-97 Ta = 24 °C				Velocidad del viento 1.05 m/s			
				Gasto másico 0.02 Kg/s			
Tiempo	T1	T2	Constante de Tiempo, X =	Tiempo	T1	T2	Constante de Tiempo, X =
Local	°C	°C		Local	°C	°C	
12:08:30	32.6	57.4	1	12:30:00	33.3	44.9	0.465
12:08:45	32.6	57.3	0.994	12:35:00	33.6	45.0	0.460
12:09:00	32.7	56.9	0.977	12:40:00	34.1	45.0	0.441
12:09:30	32.6	56.6	0.965	12:50:00	34.7	44.7	0.403
12:10:00	32.6	56.0	0.941	13:00:00	35.5	45.5	0.402
12:10:15	32.6	55.4	0.917	13:15:00	36.6	45.8	0.373
12:10:30	32.6	55.1	0.905	13:30:00	37.7	46.1	0.339
12:10:45	32.6	54.6	0.886	13:45:00	38.3	46.1	0.315
12:11:15	32.7	53.7	0.847	14:00:00	38.6	43.8	0.210
12:11:30	32.7	53.0	0.818	14:09:00	38.7	44.9	0.248
12:11:45	32.7	52.6	0.803	14:11:30	38.8	44.5	0.229
12:12:00	32.7	52.3	0.789	14:12:00	38.8	44.7	0.234
12:12:15	32.7	51.8	0.771	14:12:30	39.0	45.1	0.246
12:12:30	32.7	51.4	0.752	14:13:00	38.8	45.7	0.277
12:12:45	32.6	50.9	0.735	14:13:30	38.8	46.4	0.305
12:13:00	32.7	50.5	0.719	14:14:00	38.8	47.4	0.343
12:13:30	32.7	49.8	0.690	14:15:00	38.9	49.5	0.425
12:14:00	32.7	49.2	0.667	14:16:00	39.0	45.7	0.272
12:14:30	32.7	48.7	0.645	14:20:00	38.8	45.7	0.277
12:15:00	32.8	48.2	0.621	14:25:00	38.8	43.6	0.191
12:15:30	32.8	47.9	0.608	14:30:00	38.6	41.7	0.125
12:16:00	32.8	47.6	0.596	14:45:00	38.1	46.7	0.344
12:16:30	32.9	47.4	0.583	15:00:00	37.2	37.4	0.010
12:17:00	32.9	47.2	0.574				
12:17:30	32.9	46.9	0.564				
12:18:00	32.9	46.7	0.554				
12:19:00	33.0	46.2	0.533				
12:20:00	33.0	45.9	0.520				
12:22:00	33.0	45.3	0.497				
12:24:00	33.1	45.0	0.480				
12:26:00	33.1	44.9	0.476				
12:28:00	33.2	44.9	0.470				

Periodo de sombra de los  
colectores solares de las:  
12:08:00 a las 14:11:00

**TABLA 18**

Fecha 30-Oct-97 Ta = 25 °C				Velocidad del viento 1.50 m/s			
				Gasto másico 0.04 Kg/s			
Tiempo local	T1 °C	T2 °C	Constante de Tiempo, X =	Tiempo local	T1 °C	T2 °C	Constante de Tiempo, X =
12:06:00	25.4	38.4	1	13:03:00	30.4	36.8	0.489
12:06:30	25.4	37.7	0.945	13:03:15	30.6	37.2	0.508
12:07:00	25.4	36.9	0.890	13:03:30	30.6	37.5	0.535
12:07:30	25.4	36.2	0.831	13:04:00	30.6	38.3	0.590
12:07:45	25.4	36.0	0.813	13:04:30	30.7	38.7	0.617
12:08:00	25.4	35.7	0.789	13:05:00	30.8	39.0	0.626
12:08:15	25.4	35.3	0.763	13:05:30	30.9	39.4	0.654
12:08:30	25.4	35.2	0.750	13:06:00	31.1	40.2	0.699
12:09:00	25.4	34.9	0.730	13:08:00	31.3	42.3	0.845
12:09:30	25.4	34.5	0.702	13:10:00	31.7	43.9	0.944
12:10:00	25.4	34.4	0.693	13:15:00	32.6	45.8	1.000
12:10:30	25.4	34.2	0.675	13:20:00	33.3	46.1	0.978
12:11:00	25.4	34.1	0.665	13:30:00	34.1	47.2	1.000
12:11:30	25.4	33.9	0.656				
12:12:00	25.4	33.8	0.647				
12:12:30	25.4	33.7	0.638				
12:13:00	25.5	33.6	0.623				
12:15:00	25.5	33.5	0.614				
12:17:00	25.5	33.2	0.595				
12:20:00	25.6	32.9	0.558				
12:25:00	25.6	32.5	0.530				
12:30:00	25.8	32.3	0.493				
12:40:00	26.6	33.0	0.492				
12:50:00	27.9	34.3	0.491				
13:00:00	29.6	35.7	0.472				
13:02:30	30.3	36.2	0.453				
13:02:45	30.3	36.6	0.480				

Periodo de sombra de los colectores solares de las: 12:05:00 a las 13:02:00

**TABLA 19**

<b>Fecha 14-Nov-97 Ta = 23 °C</b>			
<b>Velocidad del viento 0.90 m/s</b>			
<b>Gasto másico 0.07 Kg/s</b>			
<b>Tiempo</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>Constante de</b>
<b>Hora local</b>	<b>°C</b>	<b>°C</b>	<b>Tiempo, X =</b>
13:02:30	18.1	24.9	1
13:03:00	18.1	24.3	0.917
13:04:00	18.0	23.8	0.856
13:04:30	18.0	23.4	0.791
13:05:00	18.0	23.0	0.733
13:05:30	18.0	22.8	0.701
13:06:00	18.0	22.5	0.664
13:06:30	18.0	22.4	0.646
13:07:00	18.0	22.2	0.625
13:08:00	18.0	22.1	0.610
13:09:00	18.0	21.9	0.574
13:10:00	18.0	21.8	0.556
13:12:00	18.1	21.7	0.538
13:14:00	18.1	21.6	0.512
13:16:00	18.1	21.4	0.494
13:18:00	18.1	21.3	0.476
13:20:00	18.1	21.3	0.476
13:25:00	18.1	21.2	0.465
13:30:00	18.1	21.1	0.447
13:35:00	18.1	21.1	0.440
13:40:00	18.2	21.2	0.436
13:45:00	18.3	21.1	0.414
13:46:00	18.3	21.7	0.494
13:47:00	18.3	22.5	0.621
13:48:00	18.3	23.2	0.711
13:49:00	18.4	23.5	0.762
13:50:00	18.4	23.8	0.798
13:55:00	18.5	24.4	0.877

Periodo de sombra de los  
 Colectores solares de las:  
 13:02:00 a las 13:45:00

ESTA TESIS NO DEBE  
CALOR DE LA INGENIERIA

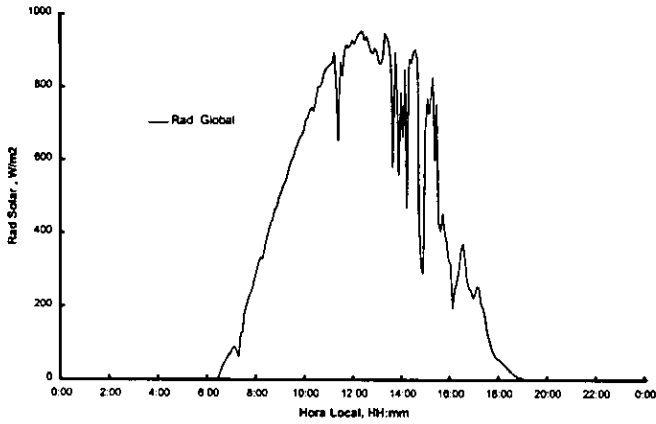
## **APENDICE B:**

### **GRAFICAS.**

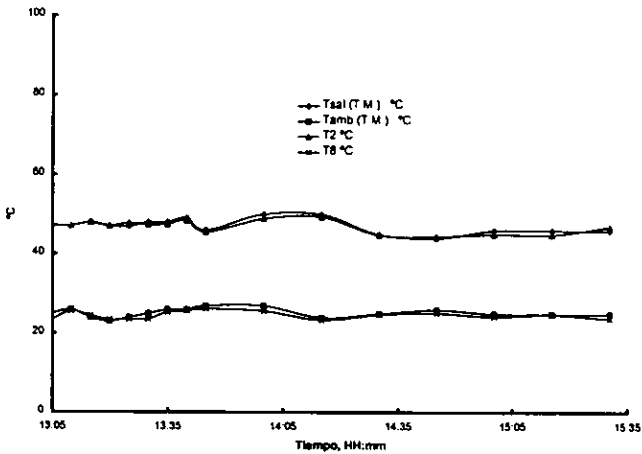
GRAFICAS DE LA 1 A LA 7: EFICIENCIA TERMICA.

GRAFICAS DE LA 8 A LA 11: EFICIENCIA TERMICA CON TERMOSIFON.

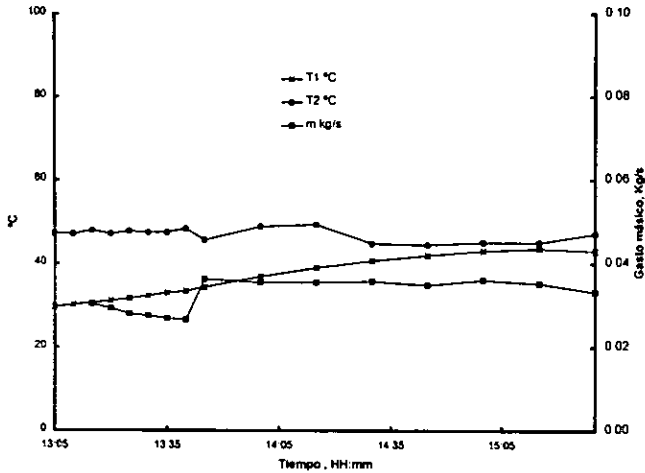
GRAFICAS A,B Y C: CONSTANTE DE TIEMPO.



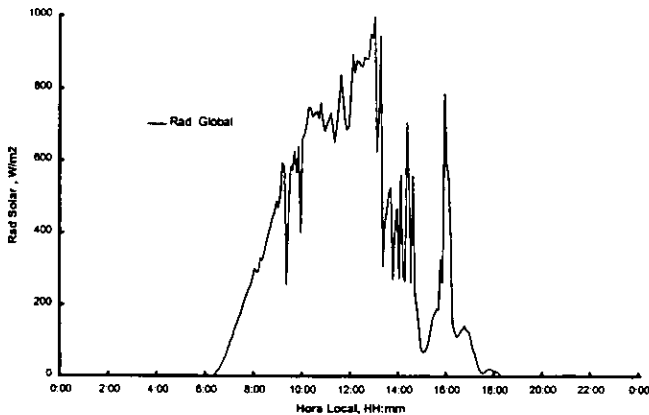
**G.1. Radiación solar de la prueba del 11 – Agosto – 97 para determinar la eficiencia térmica.**



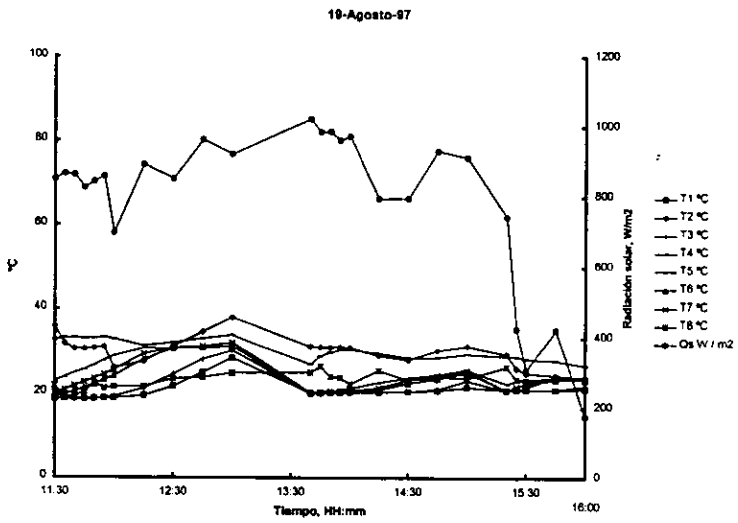
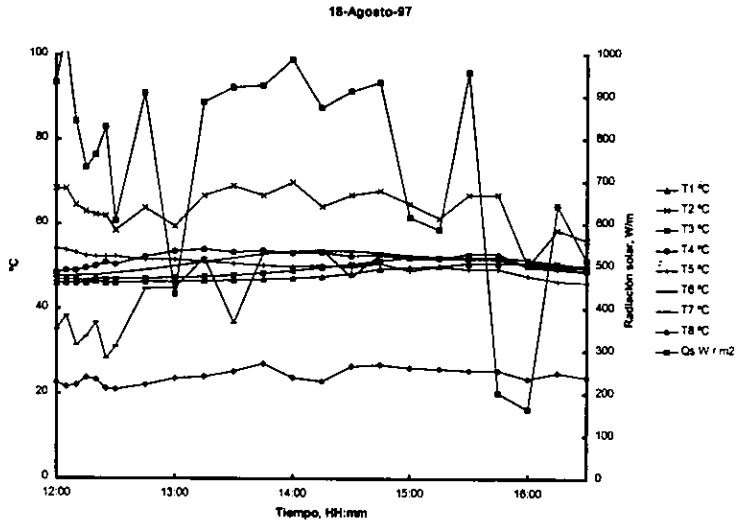
**G.2. Comparación de las temperaturas de salida y ambiente medidas con termómetro de mercurio (T.M.) y con termopares durante la prueba del 12-Agosto-97**



**G.3. Comportamiento de las temperaturas de entrada (T1) y salida (T2) en función del gasto másico y de las condiciones climáticas existentes durante la prueba del 12-Agosto-97 donde se observa que al incrementar el gasto másico la temperatura de salida disminuye y las temperaturas de entrada y de salida tienden a igualarse debido al decremento de la radiación solar ver G.4.**

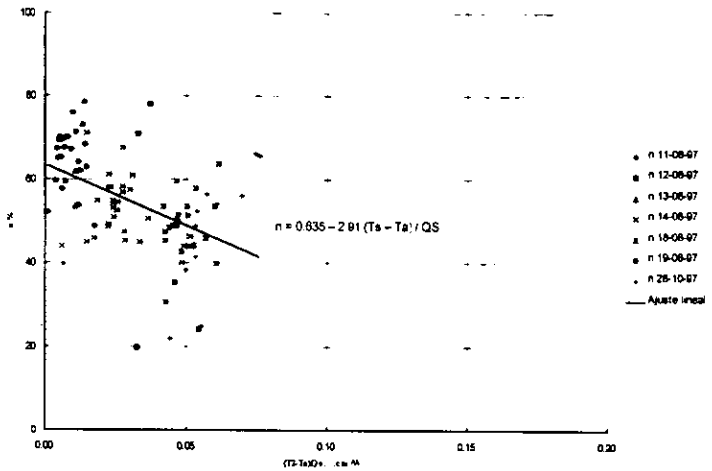


**G.4. Radiación solar de la prueba del 12 – Agosto – 97**

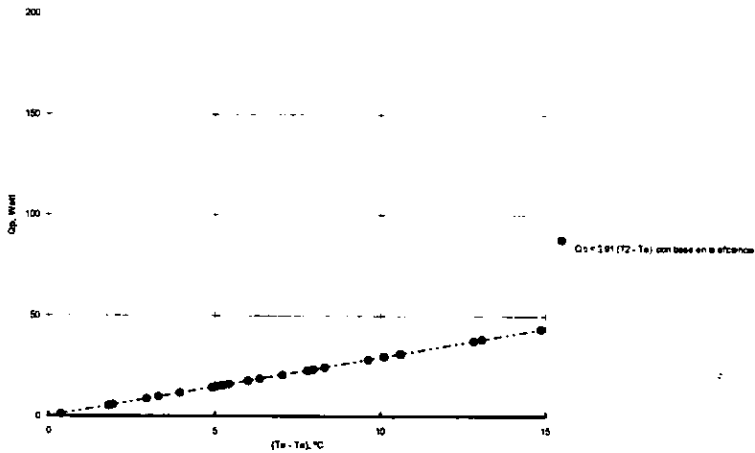


**G.5. Comportamiento de todos los termopares del sistema y de la radiación solar en los días de prueba 18 y 19 de Agosto-97.**

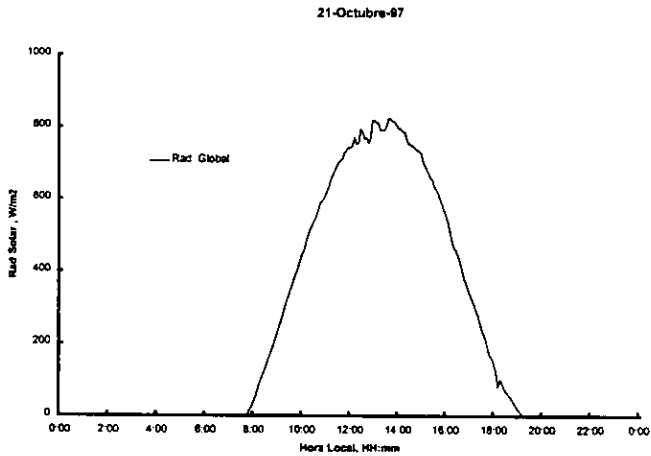
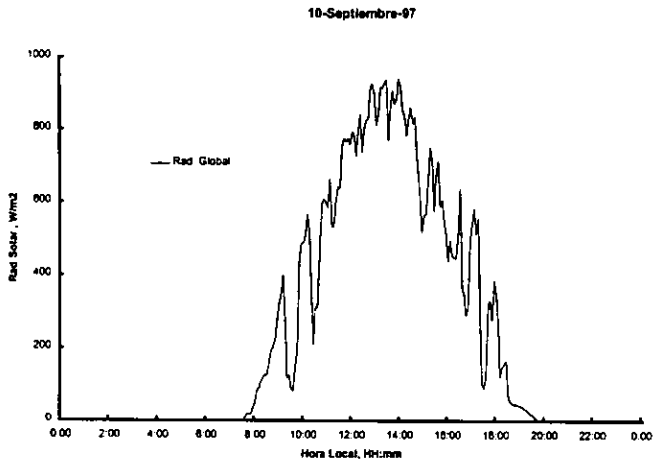




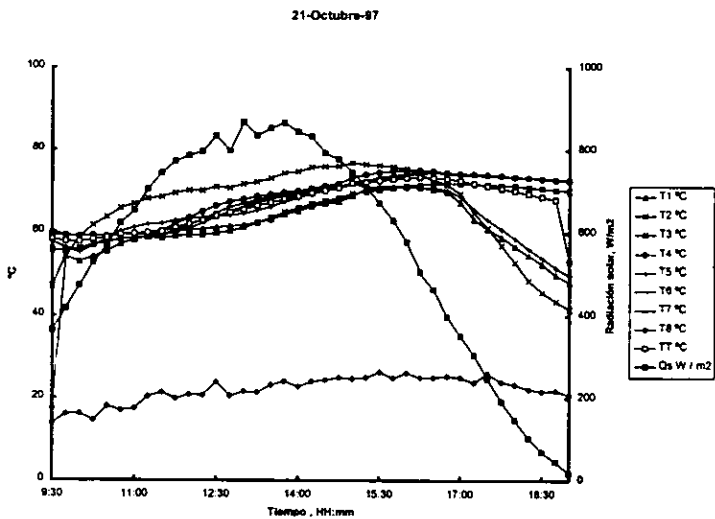
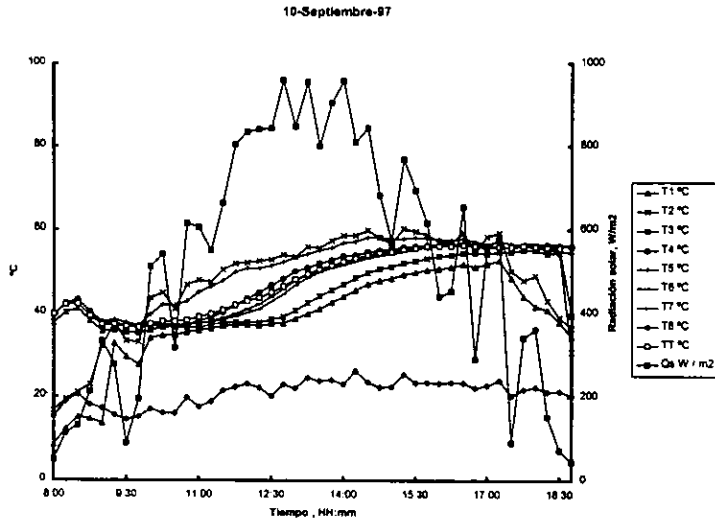
**G.6. Eficiencia térmica,  $\eta$ , en función de  $(T_2 - T_a) / Q_S$ . Los puntos experimentales se ajustan a una línea recta por el método de mínimos cuadrados. En  $T_2 = T_a$  se tiene  $(\tau\alpha)_e = 0.635$  y en  $\eta = 0$  se tiene  $(T_2 - T_a) / Q_S = 0.218$**



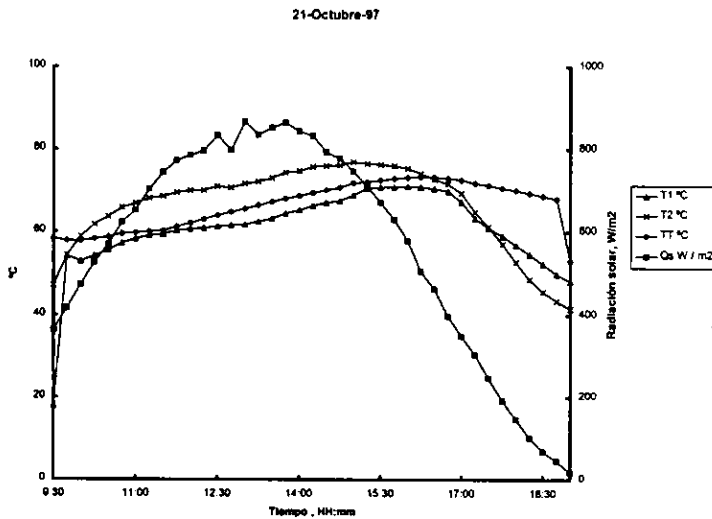
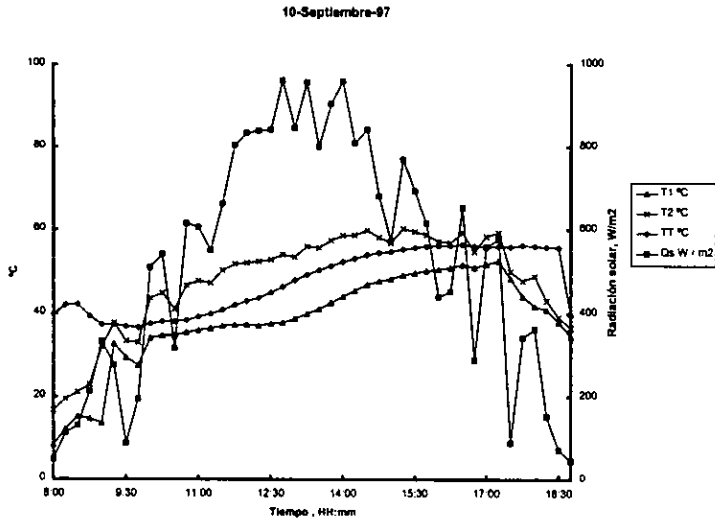
**G.7. Pérdidas térmicas,  $Q_p$ , en función de  $T_2 - T_a$ , con temperaturas bajas del absorbedor y expuesto al sol.**



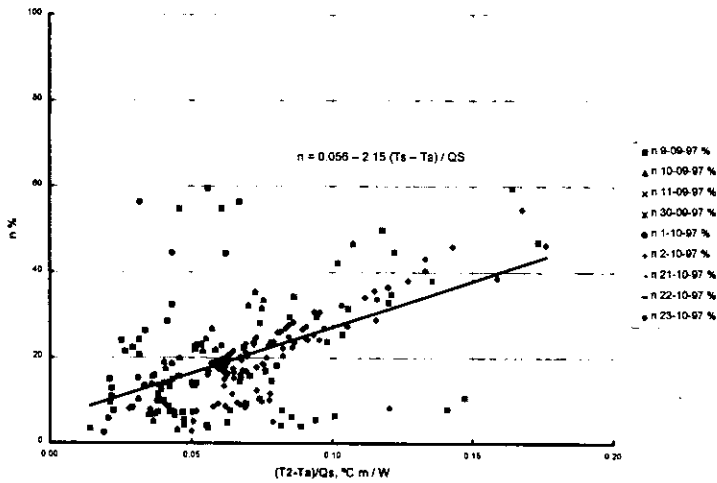
**G.8 Comportamiento de la radiación solar durante las pruebas del 10 de Septiembre y del 21 de Octubre de 1997 para determinar la eficiencia térmica con termosifón.**



**G.9. Comparación del comportamiento de los termopares en función de la radiación solar, en dos pruebas con diferentes condiciones climáticas y manteniendo constante la masa del fluido. Se puede observar claramente la respuesta de los termopares al cambio de la radiación solar y la tendencia de T1 a igualar a T2, puesto que no hay extracción de calor y el sistema tiende al equilibrio térmico.**

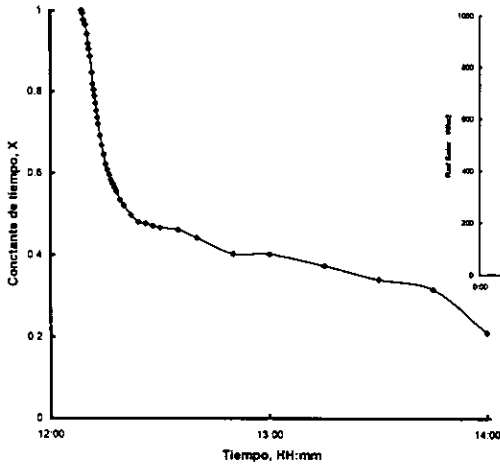


**G.10.** En estas gráficas puede apreciarse más claramente la respuesta de las temperaturas de entrada, salida y promedio del tanque térmico en función de la radiación solar, así como también la tendencia de T1 a igualar a T2. Nótese que la temperatura promedio del tanque térmico siempre es mayor que la temperatura de entrada (T1) esto debido a que no hay extracción de calor y la masa del fluido se mantiene constante durante los días de prueba.

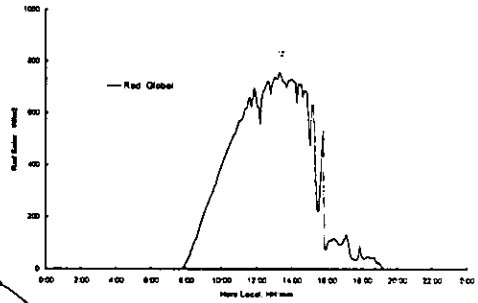


**G.11. Gráfica de la eficiencia térmica con termosifón, los puntos representan los resultados obtenidos durante varios días de pruebas y se puede observar la pendiente positiva que forman, debido a que no se extrae calor del sistema durante las pruebas y solo se genera un almacenamiento de calor en el tanque térmico. La línea representa el ajuste lineal de todos estos puntos por el método de mínimos cuadrados.**

29-Oct-97. Gasto másico = 0.02 Kg/s.

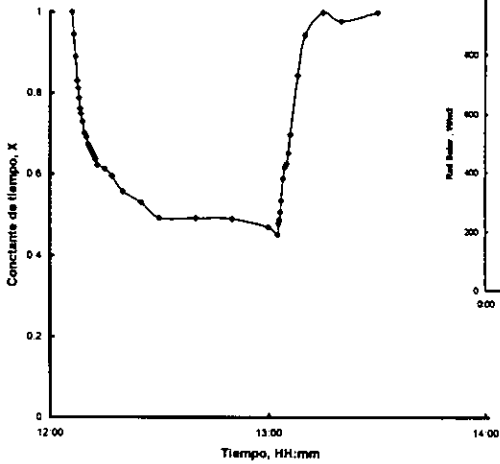


Radiación solar 29-October-97

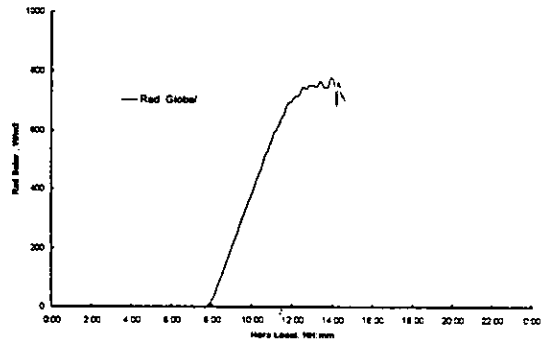


G.A. Determinación de la constante de tiempo.

30-Oct-97. Gasto másico = 0.04 Kg/s.

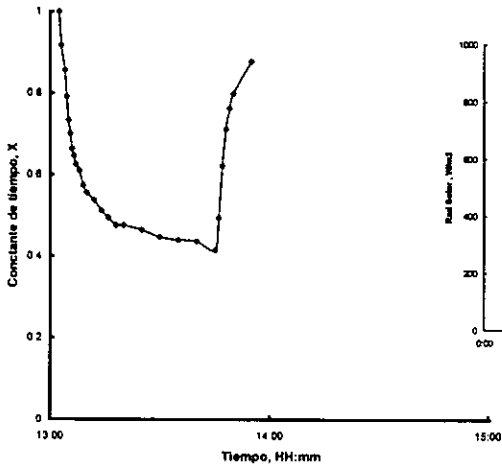


Radiación solar 30-October-97

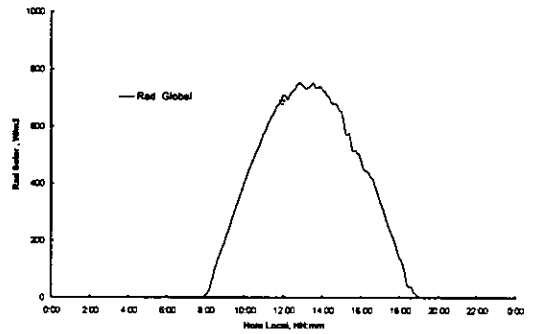


G.B. Determinación de la constante de tiempo.

14-Nov-97. Gasto másico =0.07 Kg/s



Radiación solar 14-Noviembre-97



G.C. Determinación de la constante de tiempo.

En las gráficas A, B y C se muestran las relaciones de temperaturas de entrada y salida, en función del tiempo para obtener gráficamente la Constante de Tiempo, X, con los colectores sombreados del sol a partir del tiempo  $t=0$ , hasta alcanzar  $X=0.368$ . Se realizaron tres pruebas con gastos másicos diferentes (de 0.02, 0.04 y 0.07 Kg/s.).