

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"**

**DIVISIÓN DE INGENIERIA**



**EVALUACIÓN DE CALENTADOR DE AGUA CON ENERGIA SOLAR**

**POR:**

**LAZARO ROQUE MENDOZA**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. DICIEMBRE DEL 2004**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**EVALUACIÓN DE CALENTADOR DE AGUA CON ENERGIA SOLAR**

**POR:**

**LAZARO ROQUE MENDOZA**

**TESIS**

**Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador**

**como requisito parcial para obtener el título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN.**

**APROBADA**

**El presidente del jurado**

---

**DR. FELIPE DE JESÚS ORTEGA RIVERA.**

**Asesor principal**

---

**M.C. Sergio Z. Garza Vara**

**Coasesor**

---

**ING. Francisco Martínez Avalos**

**Coasesor**

---

**ING. Enrique Mandujano Álvarez**

**Coasesor**

---

**M.C. Luis Edmundo Ramírez Ramos**

**EL COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Diciembre del 2004.**

## AGRADECIMIENTO

### **A DIOS:**

Creador de este maravilloso universo, por haberme dado la oportunidad de existir, y la facultad para desarrollarme, para poder alcanzar esta gran meta, que hoy marca el final de una etapa de mi vida y el principio de mi trayectoria profesional. Gracias por darme unos grandiosos padres y hermanos ejemplares....mil gracias por ponerme en mi camino a todas la personas que tu has querido, que sus virtudes he aprendido mucho de ellas.

A mi **Alma Mater ( Universidad Autónoma Agraria ´´Antonio Narro´´)**, por brindarme la oportunidad de hacer uso de su infraestructura para poder desarrollarme académicamente como estudiante con la colaboración de su personal docente y administrativo, así como también por todos los servicios que me brindo durante este tiempo y de alguna u otra manera hicieron mas placentera de mi vida.

Al **Dr. Felipe de Jesús Ortega Rivera**, por todo su valioso apoyo que me otorgo durante mi formación profesional y por darme su confianza en la realización de este trabajo.

Al **M.C. Sergio Garza Vara**, por sus grandes enseñanzas durante mi formación profesional y por su participación en el presente trabajo.

A el **ING. Juan F. Martines Avalos**, por brindarme la confianza que deposito en mi en todo el desarrollo de este proyecto.

A el **ING. José Enrique Mandujano Álvarez**, por la atención que me brindo durante mi formación profesional.

A los catedráticos del departamento de riego y drenaje, por que fueron un estimulo mas para alcanzar este sueño.

- Dr. Salvador Muños Castro.
  
- Dr. Julio A. Méndez Berlanga.
  
- M.C. Gregorio Briones Sánchez.
  
- M.C. Jorge del Ángel Vargas.

A todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron en este trabajo con su valiosa colaboración.

## **DEDICATORIA**

### **A MIS MARAVILLOSOS PADRES:**

Con todo mi amor y respeto les dedico este titulo por todos los esfuerzos y sacrificio que han realizado para sacarme a mi y a cada uno de mis hermanos.

**Sr. Gerardo Roque Sánchez.**

**Sra. Fortonata Mendoza Santiago.**

A mis padres, personas a quien les debo todo lo que ahora tengo, por que han luchado para alcanzar las metas.

### **A MI ESPOSA:**

Le dedico este titulo por su apoyo incondicional y confianza que tuvo en mi.

**Norma Martínez Anguiano**

### **A MIS HERMANOS:**

También les dedico este titulo por su apoyo incondicional y confianza que depositaron en mi y siempre estaré infinitamente agradecido con cada uno de ustedes.

Teresa Roque Mendoza, Irenia Roque Mendoza, Eutropia Roque Mendoza, Gildardo Roque Mendoza, Isabel Roque Mendoza, Eusebio Roque Mendoza, Cesáreo Roque Mendoza.

### **A MIS TIOS:**

ING. Joaquín A. Castro Bautista

Prof. Blandí Castro Bautista

Prof. Elvia Ortiz Moctezuma

Prof. Pablo

### **A MIS QUERIDOS SOBRINOS:**

Quienes con su cariño e inocencia han venido a alegrarnos mas la vida.

### **A MIS GRANDES AMIGOS:**

A Mario Eliseo Roque Cruz, Luis Sánchez Sotero, Marcos Jiménez Rivera, M. Isabel García Peña, J. Luis cobarruvio Rincón Gallardo, Rosendo Vásquez García, J. Jesús Licon Aviles, Raymundo Sánchez y Gaudencio Laureano....nunca los olvidare.

## INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA.....	v
INDICE DE CONTENIDO.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	viii
INDICE DE CUADROS.....	ix
I.	
INTRODUCCIÓN.....	
.....1	
Justificación socioeconómica.....	2
Justificación científica.....	2
Hipótesis.....	2
Objetivos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
ENERGÍA FOTOVOLTAICA.....	5
La radiación solar.....	5
El recurso solar.....	6
La trayectoria solar.....	7
PRINCIPALES TÉCNICAS DE CONVERSIÓN DE LA ENERGÍA	
SOLAR TÉRMIC.....	8
TIPOLOGÍA DE COLECTORES SOLARES TÉRMICOS.....	9
Colectores solares planos.....	9
Colectores solares de vacío.....	10
Colectores solares de concentración.....	10
PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE UN COLECTOR SOLAR TÉRMICO.....	11
Eficiencia.....	11
Selectividad.....	12
SISTEMAS SOLARES DE CIRCULACIÓN NATURAL.....	13
Características generales.....	13

Sección de un moderno sistema de circulación natural.....	15
Ventajas de la circulación natural.....	16
Aplicaciones.....	16
Criterios de diseño.....	16
SISTEMAS SOLARES DE CIRCULACIÓN FORZADA.....	18
Características generales.....	18
Aplicaciones.....	19
Criterios de diseño.....	19
SISTEMAS DE CIRCULACIÓN FORZADA DE VACÍO.....	20
SISTEMA DE CALEFACCIÓN CON TECNOLOGÍA SOLAR TÉRMICA.....	22
CALENTAMIENTO DEL AGUA DE LAS PISCINAS.....	23
AHORRO ENERGÉTICO Y CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES.....	25
ASPECTOS ECONÓMICOS RELATIVOS A LA ENERGÍA SOLAR.....	27
su consumo de gas será 0.....	27
Cuanto gasta?.....	27
Como funciona el sistema?.....	28
Para que se puede utilizar?.....	28
En cuanto tiempo calienta el agua?.....	29
Que ocurre si no hay sol?.....	29
Adaptabilidad.....	29
III. MATERIALES Y METODOS.....	30
SITIO EXPERIMENTAL.....	30
Ubicación geográfica.....	30
Clima.....	30
Descripción del área de trabajo.....	30
MATERIAL UTILIZADO.....	31
Descripción del aparato a evaluar.....	32
Calentador de agua.....	32
Equipamiento y disposición de la caja negra.....	32
METODOLOGÍA.....	33
Procedimiento de datos y ecuaciones utilizadas.....	34



demanda energética.....	34
IV. RESULTADOS Y DESCUSION.....	36
V. CONCLUSIONES.....	52
VI. RECOMENDACIONES.....	53
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	54

## INDICE DE FIGURAS

	Pag.
<b>Figuras</b>	
Figura. 1.1 Diagrama cualitativo del flujo de energía que llega a la Tierra por año.....	5
Figura. 1.2 Irradiancia y horas solares pico (insolación) durante un día soleado.....	7
Figura. 1.3 Movimiento aparente del sol en la bóveda celeste en función de la hora del día y la época del año.....	8
figura. 2.1 esquemas de la circulación natural y la circulación forzada.....	9
Figura. 4.1 Curva característica de eficiencia (referida al área de absorción).....	11
Figura. 4.2 Curva característica de eficiencia (referida al área total.....	11
Figura. 5.1 sistemas de intercambio directo y sistemas de intercambio Indirecto.....	13
Figura. 5.2 sistema de intercambio indirecto.....	15
Figura. 5.3 sistema de Intercambio directo.....	15
Figura. 5.2.1 Esquema de un colector con superficie selectiva.....	15
Figura. 6.1.1 sistema de circulación forzada.....	18
Figura. 7.1.1 Un esquema indicativo que muestra el principio de Funcionamiento de un sistema <i>de vacío</i> .....	21
Figura. 11.1.1 colector de circuito cerrado.....	28
Figura. 11.1.2 sistema de termosifón (pasivo por gravedad).....	29
Figura 3.1 Instalación del experimental del calentador solar.....	33
Figura 4.1.1 curva de temperatura (T. En °C) tiempo en horas (Hrs).....	39
Figura 4.1.2 curva de temperatura (T. En °C) tiempo en horas (Hrs).....	39
Figura 4.1.3 curva de temperatura (T. En °C) tiempo en horas (Hrs).....	39
Figura 4.1.4 curva de temperatura (T. En °C) tiempo en horas (Hrs).....	40

Figura 4.1.5 curva de temperatura (T. En °C) tiempo en horas (Hrs).....	40
Figura 4.1.6 curva de temperatura (T. En °C) tiempo en horas (Hrs).....	40
Figura 4.1.7 curva de temperatura (T. En °C) tiempo en horas (Hrs).....	41
Figura 4.1.8 curva de temperatura (T. En °C) tiempo en horas (Hrs).....	41
Figura 4.2.1 curva de la temperatura del aire y la caja.....	41
Figura 4.2.2 curva de la temperatura del aire y la caja.....	42
Figura 4.2.3 curva de la temperatura del aire y la caja.....	42
Figura 4.2.4 curva de la temperatura del aire y la caja.....	42
Figura 4.2.5 curva de la temperatura del aire y la caja.....	43
Figura 4.2.6 curva de la temperatura del aire y la caja.....	43
Figura 4.2.7 curva de la temperatura del aire y la caja.....	43
Figura 4.2.8 curva de la temperatura del aire y la caja.....	44
Figura 4.3.1 curva de la temperatura de agua caliente y la caja.....	44
Figura 4.3.2 curva de la temperatura de agua caliente y la caja.....	44
Figura 4.3.3 curva de la temperatura de agua caliente y la caja.....	45
Figura 4.3.4 curva de la temperatura de agua caliente y la caja.....	45
Figura 4.3.5 curva de la temperatura de agua caliente y la caja.....	45
Figura 4.3.6 curva de la temperatura de agua caliente y la caja.....	46
Figura 4.3.7 curva de la temperatura de agua caliente y la caja.....	46
Figura 4.3.8 curva de la temperatura de agua caliente y la caja.....	46
Figura 2.1 curvas de temperatura en °C contra el tiempo en horas (hrs).....	48
Figura 2.2 curva de temperatura de aire contra temperatura de la caja.....	49
Figura 2.3 curva de temperatura de agua caliente contra temperatura de la caja.....	49
Figura 2.2.1 curva de temperatura de agua mezclada contra agua Caliente.....	50
Figura 2.2.2 curva de temperatura de agua caliente contra agua Mezclada.....	50

## INDICE DE CUADROS

	<b>Pag.</b>
<b>Cuadros</b>	
Cuadro 4.1 datos experimentales del calentador solar.....	36
Cuadro 4.2 datos experimentales del calentador solar.....	36
Cuadro 4.3 datos experimentales del calentador solar.....	37
Cuadro 4.4 datos experimentales del calentador solar.....	37
Cuadro 4.5 datos experimentales del calentador solar.....	37
Cuadro 4.6 datos experimentales del calentador solar.....	38
Cuadro 4.7 datos experimentales del calentador solar.....	38
Cuadro 4.8 datos experimentales del calentador solar.....	38
cuadro 2.1 media de las temperatura diaria del calentador solar.....	48

## I. INTRODUCCION

El sol, fuente de vida y origen de las demás formas de energía que el hombre ha utilizado, puede satisfacer todas nuestras necesidades energéticas, si aprendemos como aprovechar de forma racional la luz que continuamente derrama sobre nosotros.

**Anualmente el Sol arroja sobre la Tierra cuatro mil veces más de energía que la que consumimos.**

Sería irracional no intentar aprovecharla por todos los medios técnicamente posibles, ya que esta fuente energética gratuita, limpia e inagotable, puede liberarnos definitivamente de la dependencia del petróleo o de otro tipo de energías poco seguras, o contaminantes.

Es preciso señalar, que existen algunos problemas que debemos afrontar y superar. La falta en nuestro país de una política energética solar; y desde el punto de vista climatológico, variaciones continuas de su intensidad en función del instante del día o del período del año.

Por tales motivos, es vital importancia proseguir con el desarrollo de la tecnología de captación, acumulación y distribución de la energía solar, para conseguir las condiciones que la hagan definitivamente competitiva a escala planetaria.

## Justificación socioeconómica

En nuestro tiempos es de todos conocido la situación en que se encuentra nuestro país, la crisis económica en todos los sectores, todos los mexicanos y principalmente aquellas personas que de alguna manera están vinculadas con la investigación pueden aportar técnicas para economizar al máximo los recursos disponibles y encontrar la manera mas adecuada para aprovecharlos, haciendo uso de tanto material e infraestructura que no se le esta dando el uso adecuado o para el fin para el cual fue creado. Además de que los costos son relativamente muy elevados en lo que se refiere al gas natural para el consumo domestico o industrial.

## Justificación científica

Desde punto de vista científico un calentador de H<sub>2</sub>O se justifica por el análisis de la temperatura ambiente, ya que al pasar el fluido por el interior de la caja este tiene una serpentina y incrementa la temperatura del H<sub>2</sub>O.

## Hipótesis

**Evaluando las temperaturas cada hora, temperatura ambiente, temperatura de la caja, temperatura del H<sub>2</sub>O de entrada, temperatura del H<sub>2</sub>O de salida. Se analizara si este mecanismo puede ser considerado un calentador de H<sub>2</sub>O.**

## OBJETIVOS

Objetivo general:

**Proporcionar a las comunidades rurales una alternativa de un calentador de H<sub>2</sub>O con energía solar mas económico que los sistemas de importancia, a través de ensamblar componentes de fabricación nacional para construir calentador de H<sub>2</sub>O.**

Objetivo específico:

Presentar una alternativa de un calentador solar de bajo costo, determinar la relación de volumen calentado de H<sub>2</sub>O en función de la temperatura ambiente en el sector doméstico en México, mostrando que es una opción viable para contar con H<sub>2</sub>O caliente en los hogares mexicanos, que disminuye la contaminación ambiental y ayuda a preservar los recursos naturales como el gas.

**Propagar la tecnología y avances de la investigación a las diferentes poblaciones de escasos recursos para solucionar el problema del calentador de H<sub>2</sub>O.**

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

**Las aplicaciones solares térmicas se basan en utilizar la energía que contiene la radiación solar para calentar diferentes fluidos, como aire, o más comúnmente, agua. La energía solar térmica constituye una forma de energía solar activa, es decir, que no consiste en recibir pasivamente la acción de la luz y el calor solares, sino que hace uso del efecto de calentamiento producido, mediante un procedimiento técnico simple y una serie de dispositivos, denominados colectores.**

Este tipo de energía solar utiliza directamente la energía que recibimos del sol. Se puede usar para producir electricidad o para recuperar directamente el calor de la radiación solar.

La energía solar térmica está cobrando cada día más importancia para usos domésticos. Se utiliza sobre todo para obtener agua caliente y como combustible de la calefacción. La energía la recoge un colector plano orientado al sur, que recibe la energía solar a través de una cubierta transparente. El calor se retiene por efecto invernadero. El colector plano contiene un tubo negro en forma de serpentina que contiene el fluido que se calienta. Este colector recibe energía solar directa y difusa. El agua caliente que se obtiene sale a temperaturas de menos de 70° C. Este agua caliente es útil no sólo para viviendas, sino también para hospitales, hoteles, piscinas, fábricas...



Los colectores planos son usados también para calefacción de edificios. Calentar agua por energía solar térmica es un proceso económico, tiene alto rendimiento, escaso mantenimiento y es muy limpio, comparándolo con sistemas más convencionales como el petróleo o el gas natural.

## ENERGÍA FOTOVOLTAICA

### La radiación solar

El sol es una masa de materia gaseosa caliente, que irradia a una temperatura efectiva de unos 5700 °C. El sol está a una distancia de 149,490,000 kilómetros de la tierra.

La energía solar, como recurso energético terrestre, está constituida simplemente por la porción de la luz que emite el sol y que es interceptada por la tierra. La constante solar, es decir la intensidad media de radiación medida fuera de la atmósfera en un plano normal la radiación es aproximadamente el constante solar = 2.26 kW/m<sup>2</sup> o (W/M<sup>2</sup>). Casi todas las formas de energía, de hecho, tienen su origen directa o indirectamente en el sol.

La siguiente figura muestra cómo es utilizada la energía solar por nuestro planeta.

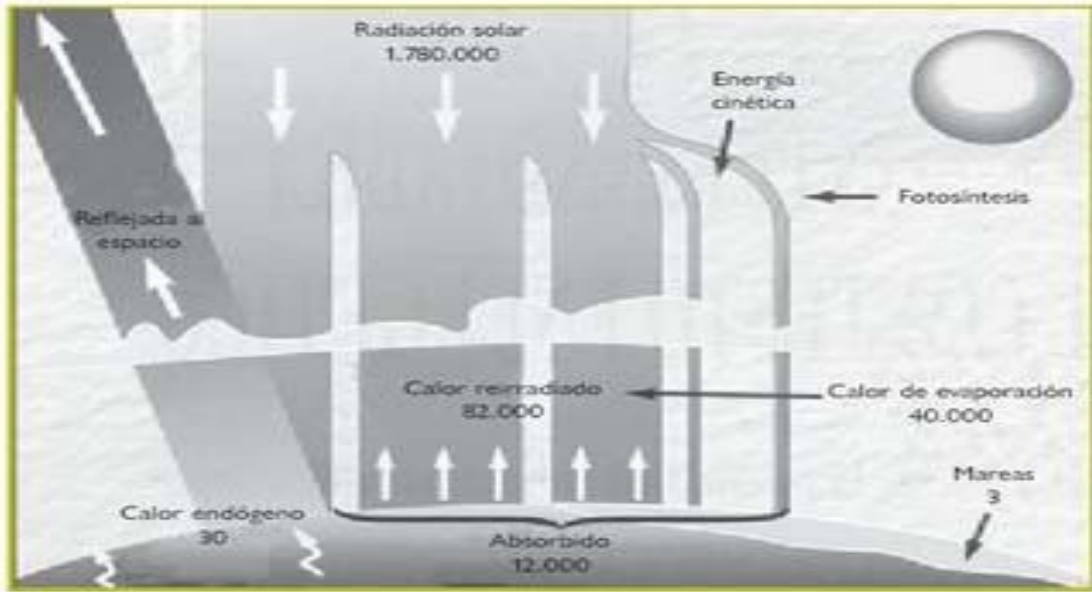


Figura 1.1 Diagrama cualitativo del flujo de energía que llega a la Tierra por año.

La intensidad de la radiación solar se mide a través de dos parámetros físicos:

**Insolación:** Energía media diaria ( $\text{kWh/m}^2 \text{ día}$ )

**Radiación térmica:** Potencia instantánea sobre superficie horizontal ( $\text{kW/m}^2$ )

### El recurso solar

El sol es una fuente inagotable de energía debido a las reacciones nucleares que ocurren en su centro. Una gran parte de esta energía llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética, la luz solar que podemos percibir está el espectro que abarca desde 0.2 hasta 2.6  $\mu\text{m}$ .

A medida que la radiación atraviesa la atmósfera terrestre sufre atenuación por los procesos de absorción, reflexión y refracción. Tales procesos se verifican cuando los rayos de luz chocan con las nubes o con el vapor de agua existente en la atmósfera. La radiación que llega a la superficie terrestre se puede clasificar en directa y difusa.

La **radiación directa** es aquella que se recibe en la superficie terrestre sin que esta haya sufrido ninguno de los procesos antes mencionados al pasar por la atmósfera.

La **radiación difusa** es la que se recibe después de haber cambiado su dirección por los procesos de refracción y reflexión que ocurren en la atmósfera. En un día nublado, la radiación solar recibida es sólo difusa, ya que la radiación directa es obstruida por las nubes.

La energía de la radiación solar que se recibe en una superficie determinada en un instante dado se le conoce como **Irradiancia** y se mide en unidades de Watts por metro cuadrado ( $W/m^2$ ). La irradiancia es un valor distinto para cada instante, es decir se espera que en un día despejado la irradiancia a las 10:00 A.M. será diferente y menor a la que se obtiene a las 1:00 P.M., esto se debe al movimiento de rotación de la tierra (movimiento sobre su propio eje).

Otro concepto importante es el de **Insolación**, éste corresponde a la integración de la irradiancia en un período determinado. En otras palabras es la energía radiante que incide en una superficie de área conocida en un intervalo de tiempo dado. Este término tiene unidades de energía por área, comúnmente Watts-hora por metro cuadrado ( $W-h/m^2$ ). Generalmente se reporta este valor como una acumulación de energía horaria, diaria, estacional o anual. La insolación también se expresa en términos de horas solares pico. Una hora de energía es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una irradiancia promedio de  $1,000 W/m^2$  (Figura 1.2). La energía útil que produce el arreglo fotovoltaico es directamente proporcional a la insolación que recibe.

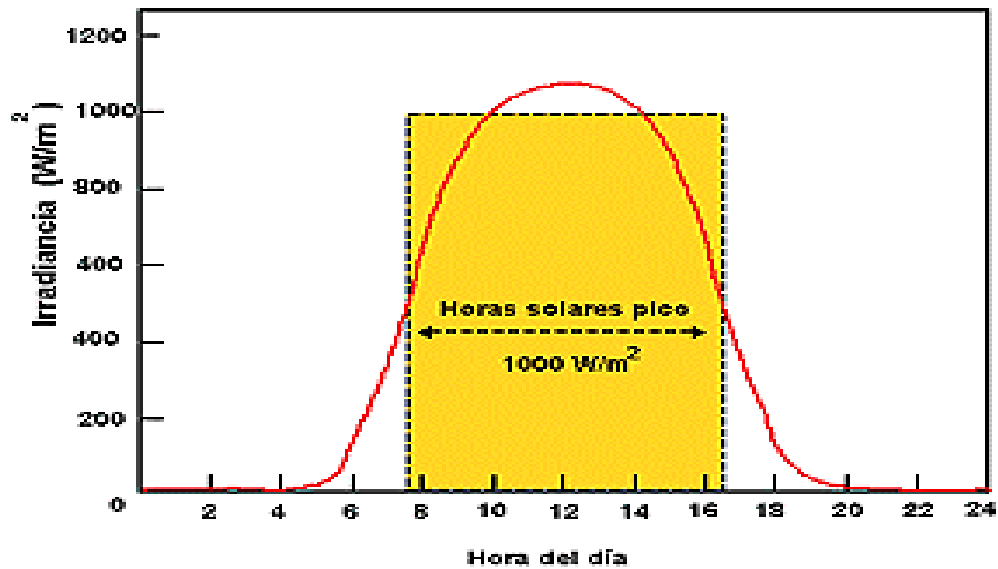


Figura 1.2 Irradiancia y horas solares pico (insolación) durante un día soleado.

### La trayectoria solar

Además de las condiciones atmosféricas hay otro parámetro que afecta radicalmente a la incidencia de la radiación sobre un captador solar, este es el movimiento aparente del sol a lo largo del día y a lo largo del año, (Figura 1.3). Se dice "aparente" porque en realidad la Tierra es la que está girando y no el Sol. La Tierra tiene dos tipos de movimientos: uno alrededor de su propio eje (llamado movimiento rotacional) el cual da lugar al día y la noche y el otro; es alrededor del sol (llamado movimiento traslacional) siguiendo una trayectoria elíptica, el cual da lugar a las estaciones del año

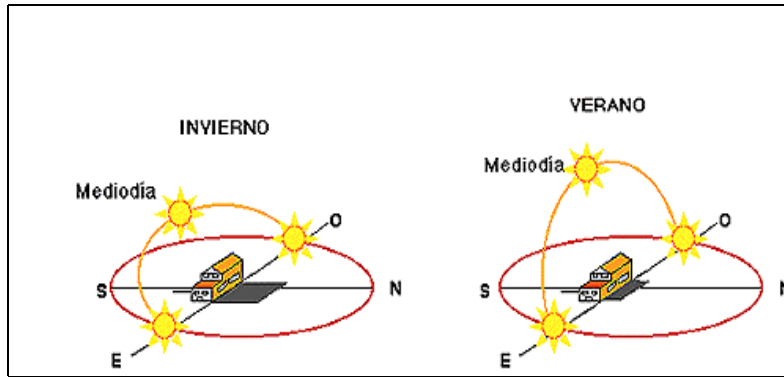


Figura 1.3 Movimiento aparente del sol en la bóveda celeste en función de la hora del día y la época del año.

## PRINCIPALES TÉCNICAS DE CONVERSIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.

La tecnología solar térmica permite el aprovechamiento de la radiación solar para la producción de energía a través del calentamiento de un fluido sin residuos contaminantes.

Existen varias tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar, pero las principales son:

- **La Circulación Natural**
- **La Circulación Forzada**

La diferencia fundamental entre ambas es que en la primera (circulación natural) no hay elementos en el sistema de tipo electromecánico: el *motor* de la circulación natural es directamente la energía solar, mientras que en la segunda (circulación forzada), el fluido circula gracias a una bomba de circulación.

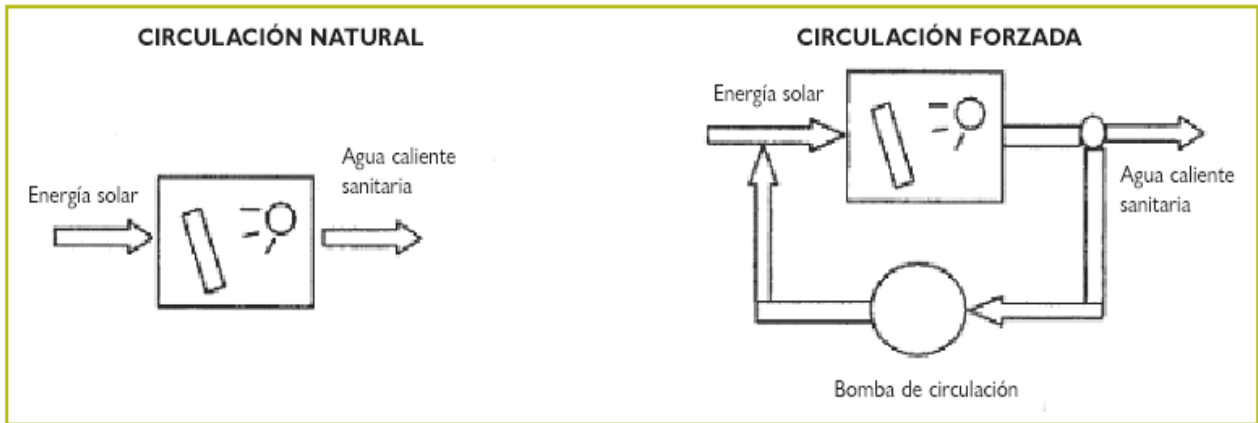


Figura 2. Esquemas de la circulación natural y la circulación forzada

figura. 2.1 esquemas de la circulación natural y la circulación forzada

## TIPOLOGÍA DE COLECTORES SOLARES TÉRMICOS

Un colector solar consta de una **placa captadora** que, gracias a su geometría y a las características de su superficie, absorbe energía solar y la convierte en calor (conversión foto térmica). Esta energía es enviada a un **fluido portador del calor** que circula dentro del colector mismo o tubo térmico.

La característica principal que identifica la calidad de un colector solar es su **eficiencia**, entendida como capacidad de conversión de la energía solar incidente en energía térmica.

Fundamentalmente existe tres tipos de colectores solares: planos, de vacío y de concentración. Los primeros se divide en otras dos categorías: planos con cubierta y planos sin cubierta.

### Colectores solares planos

Los colectores solares planos son el tipo más común actualmente. Los colectores planos **con cubierta** están compuestos esencialmente por una cubierta

de vidrio, una placa captadora aislada térmicamente en la parte inferior y están lateralmente contenidos en una caja de metal o plástico.

Los colectores planos ***sin cubierta*** normalmente son de material plástico y están directamente expuestos a la radiación solar. La utilización de estos últimos se limita al calentamiento del agua de las piscinas.

### **Colectores solares de vacío**

Están proyectados para reducir las dispersiones de calor hacia el exterior, el calor captado por cada elemento (***tubo de vacío***) es transferido a la ***placa***, generalmente de cobre, que está dentro del tubo. De esta manera, el líquido portador del calor se calienta y, gracias al vacío, se reduce al mínimo la dispersión de calor hacia el exterior.

En su interior la presión del aire es muy reducida, de forma que impide la cesión de calor por conducción. En la fase de montaje, el aire entre el absorbedor y el vidrio de la cubierta es aspirado y hay que asegurar una hermeticidad perfecta y perdurable en el tiempo.

### **Colectores solares de concentración**

Los colectores solares ***de concentración*** son colectores cóncavos proyectados para optimizar la concentración de la energía solar en un punto bien determinado. Son eficaces sólo con luz solar directa, ya que tienen que seguir el movimiento del sol.

Este modelo de colector, que puede alcanzar altas temperaturas, es una elección lógica para generadores solares o para hornos de altísimas temperaturas (más de 4.000°C). El costo y la realización del equipo de seguimiento del sol y su construcción determina que sea poco práctico.

## PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE UN COLECTOR SOLAR TÉRMICO

### Eficiencia

La eficiencia de un colector solar se define como la relación entre la energía absorbida (densidad de energía) por el fluido portador del calor y la energía incidente (densidad de energía solar) sobre su superficie. A continuación se muestran dos gráficos típicos de eficiencia:

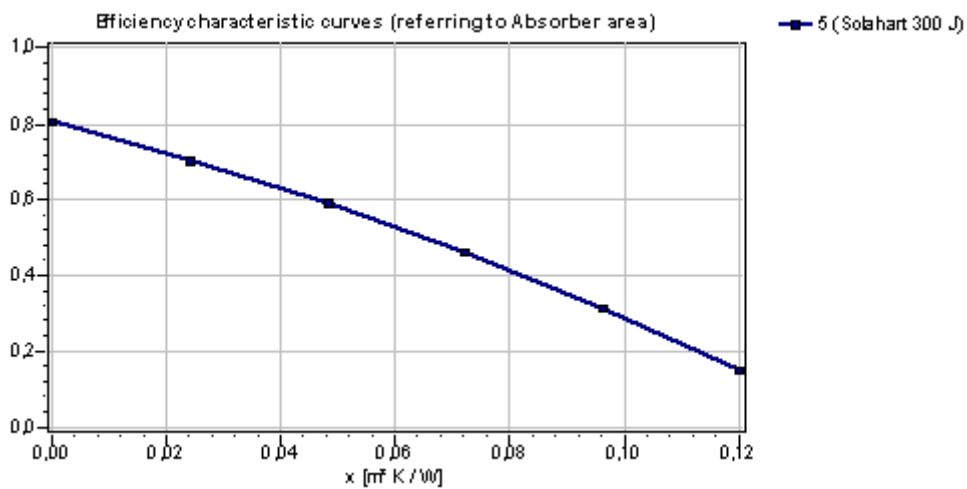


Figura. 4.1 Curva característica de eficiencia (referida al área de absorción).

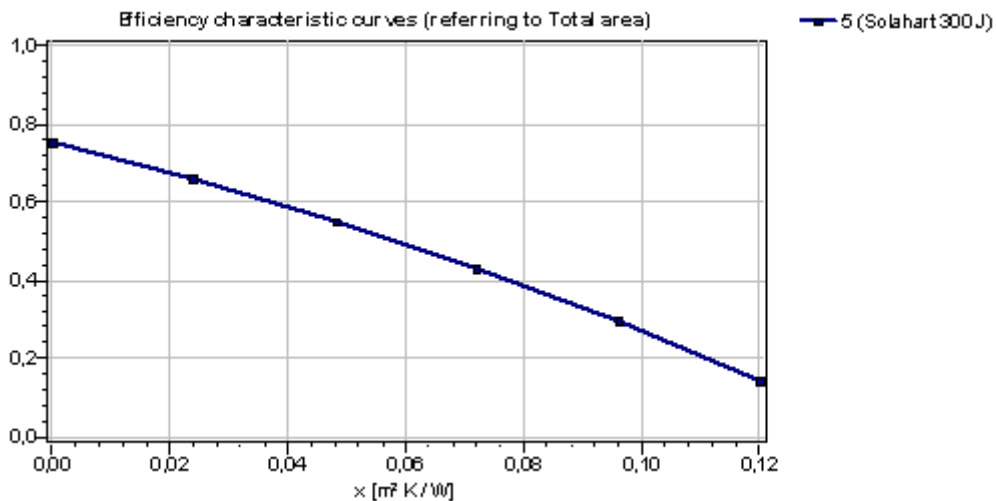


Figura. 4.2 Curva característica de eficiencia (referida al área total).



El significado de los valores del eje horizontal es el siguiente:

**Abscisas =  $DT / G$**     **DT:** Diferencia entre temperatura ambiente y temperatura del colector    **G :** Radiación solar térmica.

En la práctica, los valores del eje horizontal se pueden interpretar, de una forma aproximada, de la siguiente manera:

Eje horizontal = 0,02     $\Rightarrow$  20 °C de diferencia de temperatura entre el colector y el ambiente.

Eje horizontal = 0,04     $\Rightarrow$  40 °C de diferencia de temperatura entre el colector y el ambiente

Eje horizontal = 0,06     $\Rightarrow$  60 °C de diferencia de temperatura entre el colector y el ambiente

En el análisis de un gráfico de eficiencia, hay que dar especial importancia al área del colector:

sólo el área de la placa captadora -Figura 1

área total del colector -Figura 2

Esta distinción es especialmente importante en la comparación de las eficiencias de los colectores solares planos y las de los colectores solares de vacío.

## **Selectividad**

**Los colectores solares de placa selectiva han sido tratados electroquímicamente, con la finalidad de que tengan una superficie con alto coeficiente de absorción y bajo coeficiente de reflexión hasta una temperatura de 250°C.**

El tratamiento electro-químico consiste generalmente en una capa de ***romo negro*** sobre níquel, ambos sobre la placa captadora (generalmente de cobre, y aluminio o de acero). Este tratamiento permite aumentar notablemente las prestaciones del colector

## SISTEMAS SOLARES DE CIRCULACIÓN NATURAL

### Características generales

**Los sistemas de circulación natural son muy sencillos, requieren poca manutención y se pueden construir utilizando cualquier modelo de panel solar.**

Todos los sistemas de circulación natural se basan en el principio por el que el fluido del circuito primario, calentado por el sol, disminuye su densidad, se vuelve más ligero y asciende, provocando un movimiento natural del fluido mismo.

En los sistemas de circulación natural el depósito de acumulación del agua tiene que estar ***siempre*** colocado más arriba del panel y a poca distancia del mismo, aunque también existen sistemas de circulación natural con el depósito colocado detrás del panel. Asimismo, las tuberías de enlace entre el panel y el depósito tienen que mantener la misma inclinación. Entre las instalaciones de circulación natural se puede hacer otra distinción más entre sistemas de intercambio directo y sistemas de intercambio indirecto:

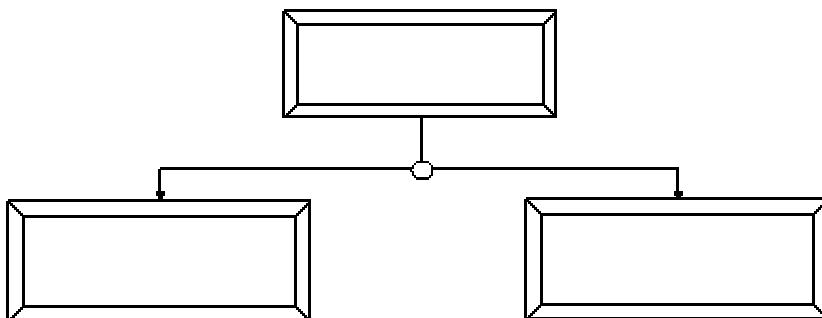


Figura. 5.1 sistemas de intercambio directo y sistemas de intercambio indirecto.

El principio de funcionamiento en ambos casos se puede resumir como se expone a continuación: cuando el agua o el fluido portador de calor se calienta en el colector solar, disminuye su densidad. Por ello, se vuelve más ligero y tiende a subir, mientras que el agua fría baja para ocupar el lugar dejado libre por el agua caliente. De esta forma, no son posibles circulaciones invertidas ya que el calor se queda cada vez más arribado directo .

A la luz de este principio físico (ya ampliamente utilizado en los termosifones de circulación natural), es fácil entender el funcionamiento de un sistema solar de circulación natural.

Los elementos que forman un sistema solar de circulación natural son:

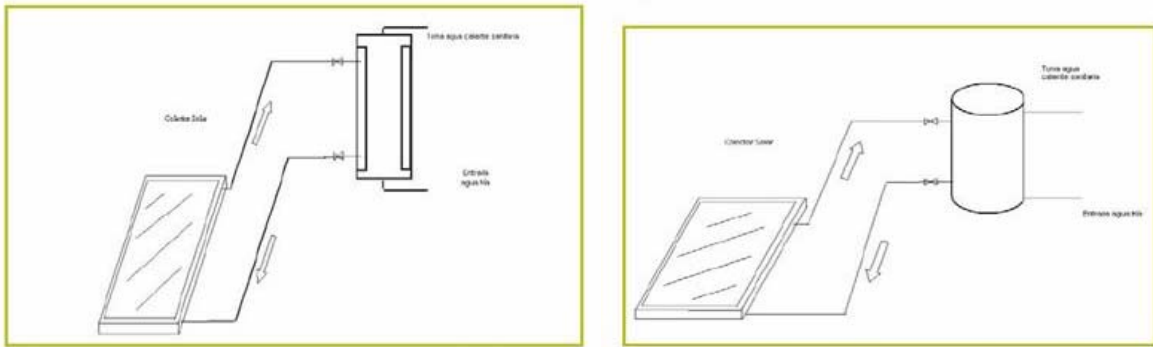
- colector/es solar/es;
- depósito de acumulación / intercambiador;

El colector plano está conectado en un circuito cerrado con un depósito térmicamente aislado destinado a la acumulación del agua caliente.

En los sistemas de intercambio indirecto, un fluido (compuesto por glicol y agua desmineralizada) se calienta en los paneles solares y siempre “por termosifón” circula en un intercambiador colocado dentro del depósito en el que se acumula el agua caliente (figura. 5.2).

En los sistemas de intercambio directo, el agua intercambiada es la misma que es calentada en los colectores y que luego sube **a través del termosifón** en el acumulador, donde se reservará para su utilización (figura. 5.3).

Figura 3. Sistema de intercambio directo



5.2 sistema de intercambio indirecto. Figura. 5.3 sistema de Intercambio directo.  
**Sección de un moderno sistema de circulación natural**

La energía generada por la radiación solar se optimiza aprovechando las grandes prestaciones de los colectores con **superficie selectiva**.

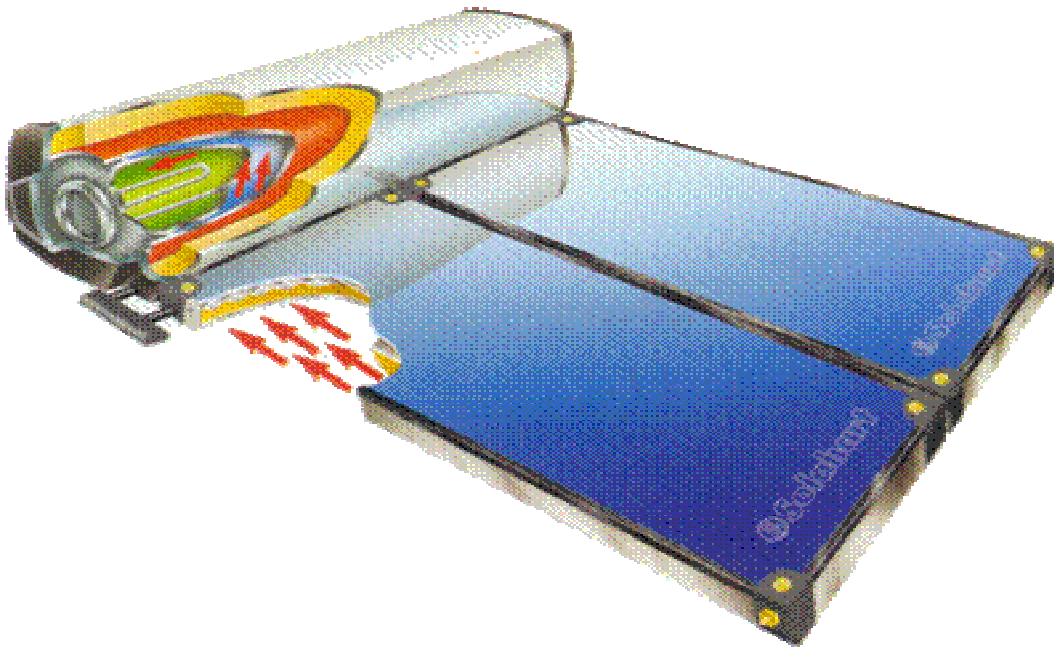


Figura. 5.2.1 Esquema de un colector con superficie selectiva.

## **Ventajas de la circulación natural**

Los sistemas de circulación natural tienen las siguientes ventajas:

1. Velocidad de intercambio térmico proporcional a la diferencia de temperatura entre el depósito de acumulación y los paneles.
2. Ninguna circulación invertida durante la noche.
3. Autorregulación de la circulación.
4. Ausencia de bombas de circulación, centralitas y sondas.
5. Montaje rápido y económico.
6. Mantenimiento reducido al mínimo.
7. Garantía del sistema en su totalidad.

## **Aplicaciones**

La aplicación típica de la circulación natural es la ***producción de agua caliente para uso sanitario***.

Para este uso, el sistema de circulación natural es más competitivo que otros tipos de sistemas, pues resulta ser más confiable (ya que en el sistema no hay elementos electromecánicos) y menos costoso.

Por producción de agua para uso sanitario se entiende la cobertura de las necesidades de agua caliente sanitaria para usos:

## **Criterios de diseño**

Para el diseño de un sistema solar hace falta conocer primero algunas informaciones básicas que permitan determinar el sistema solar más adecuado para la aplicación.

Estas informaciones básicas, comunes para el correcto diseño de cualquier sistema solar, se refieren a los datos relativos a:

- las necesidades del usuario y las condiciones de montaje
- la orientación e inclinación de las superficies disponibles para la instalación
- las condiciones climáticas del lugar
- la globalidad del proyecto

El conocimiento de estos datos con la eventual ayuda de adecuados programas de simulación permite diseñar de forma correcta un sistema solar.

En lo que respecta al diseño efectivo del sistema solar de circulación natural, esta operación se simplifica con la utilización de tablas o programas de cálculo extremadamente sencillos.

A continuación se anotan a título de ejemplo 3 tablas indicativas para el cálculo del modelo de sistema solar térmico de circulación natural.

Tabla 1

VIVIENDAS CIVILES						
USO ANUAL ORIENTACION SUR						
Personas	Italia Norte		Italia Centro		Italia Sur	
n°	Capacidad boiler	Cantidad paneles	Capacidad boiler	Cantidad paneles	Capacidad boiler	Cantidad paneles
1	150	1	150	1	150	1
2	150	1	150	1	150	1
3	220	2	150	1	150	1
4	300	2	300	2	300	2
5	300	2	300	2	300	2
6	300	2	300	2	300	2
7	300	3	300	2	300	2

## SISTEMAS SOLARES DE CIRCULACIÓN FORZADA

### Características generales

El principio de funcionamiento de un sistema de circulación forzada se distingue del circulación natural porque el fluido, contenido en el colector solar, fluye en el circuito cerrado por efecto del empuje de una bomba comandada por una centralita o termostato que se activa, a su vez, por sondas colocadas en el colector y en el depósito (fig. 6.1.1).

Los elementos que forman un sistema de este tipo son:

- colector/es solar/es;
- depósito de acumulación / intercambiadores;
- termostato diferencial o centralita;
- sondas de temperatura;
- bomba de circulación;
- vaso de expansión;
- intercambiador de calor;
- válvulas;

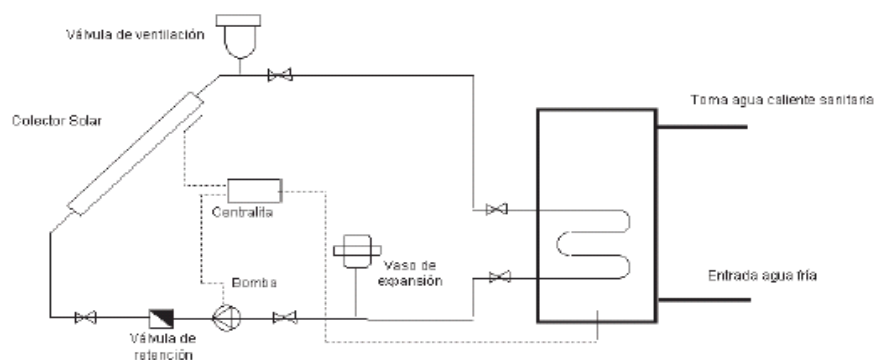


Figura. 6.1.1 sistema de circulación forzada.

Es evidente que en un sistema de circulación forzada, el proyecto no se limita al cálculo de la superficie de los colectores solares, sino que es necesario dimensionar también los demás componentes del sistema.

## **Aplicaciones**

Las aplicaciones más comunes de los sistemas de circulación forzada son, además de la producción de agua caliente para uso sanitario en los casos en los que la circulación natural no se puede utilizar, la calefacción y la conservación de la temperatura del agua de la piscina. En los apartados siguientes estas aplicaciones se tratan con mayor detalle.

## **Criterios de diseño**

El proyecto de un sistema de circulación forzada requiere la subdivisión del análisis del problema de diseño en diferentes fases. De la misma manera que para los sistemas de circulación natural, es necesario analizar todas las informaciones de base que permitan un diseño preciso del sistema, es decir:

- las necesidades del usuario y las condiciones de montaje.
- la orientación y la inclinación de las superficies disponibles para la instalación.
- las condiciones climáticas del lugar.
- la totalidad del proyecto.

El conocimiento de estos datos, en ocasiones con la ayuda de programas de simulación adecuados, permite determinar el correcto diseño de un sistema solar.

Asimismo, es necesario elegir el modelo de colector solar más adecuado (plano, selectivo, de vacío) y, según las características del modelo de colector elegido, determinar la superficie de los paneles solares (y, por tanto, el número) necesaria para satisfacer los datos iniciales del proyecto.



En la siguiente tabla se relacionan el número de colectores necesarios para la producción de agua caliente sanitaria en función del número de personas que utilizan el sistema.

Tabla 2. Colectores para la producción de agua caliente, en relación con el número de personas

PRODUCCION DE AGUA CALIENTE SANITARIA				
Uso anual orientación Sur				
Personas	M <sup>2</sup> Paneles de vacío	M <sup>2</sup> Paneles Planos	m <sup>2</sup> Paneles Planos selectivos	Acumulación Aconsejada (litros)
4	3	4	3	300
5	5	6	5	400
6	6	8	6	500

Tras la fase preliminar de determinación de los colectores, es necesario estudiar y elegir los demás componentes del sistema, tales como:

- la bomba de circulación en función de la cuota a la que se colocarán los colectores solares y del número máximo de colectores conectados en serie.
- el modelo y la capacidad del depósito de acumulación.
- el modelo y la superficie del intercambiador de calor.
- la centralita electrónica de control.
- la capacidad del vaso de expansión.

## SISTEMAS DE CIRCULACIÓN FORZADA DE VACÍO

Los sistemas de circulación forzada de vacío son muy parecidos a los sistemas de circulación forzada tradicional y tienen prácticamente todos los componentes típicos de estos sistemas. Los sistemas de circulación forzada de vacío permiten solucionar algunos problemas típicos de los sistemas forzados tradicionales.

Uno de los principales problemas de la circulación forzada, si se soluciona en la fase de diseño, es la posibilidad de sobrecalentamiento del fluido portador

del calor. De hecho, en el caso de que el calor producido por el sistema solar no fuera utilizado en un período de tiempo bastante largo, esto tendría como resultado un sobrecalentamiento del fluido anticongelante. En caso de estancamiento del fluido, éste puede alcanzar temperaturas muy altas.

En caso de alcanzar temperaturas entre los 160/170° C se produciría una transformación química del fluido anticongelante, un elemento típicamente básico, que adopta características ácidas. La principal consecuencia de este proceso es que el fluido deja definitivamente de tener una función anticongelante, arriesgando el correcto funcionamiento del sistema en el período invernal.

En los sistemas forzados *de vacío* esto no sucede, ya que pueden hacer fluir, con el sistema apagado, el fluido portador del calor de los colectores hasta el interior de un depósito de drenaje.

Generalmente, estos sistemas se venden en *KIT*, de forma que tienen ventajas parecidas a los de la circulación natural (proyecto simplificado, garantía única sobre todos los componentes, etc.).

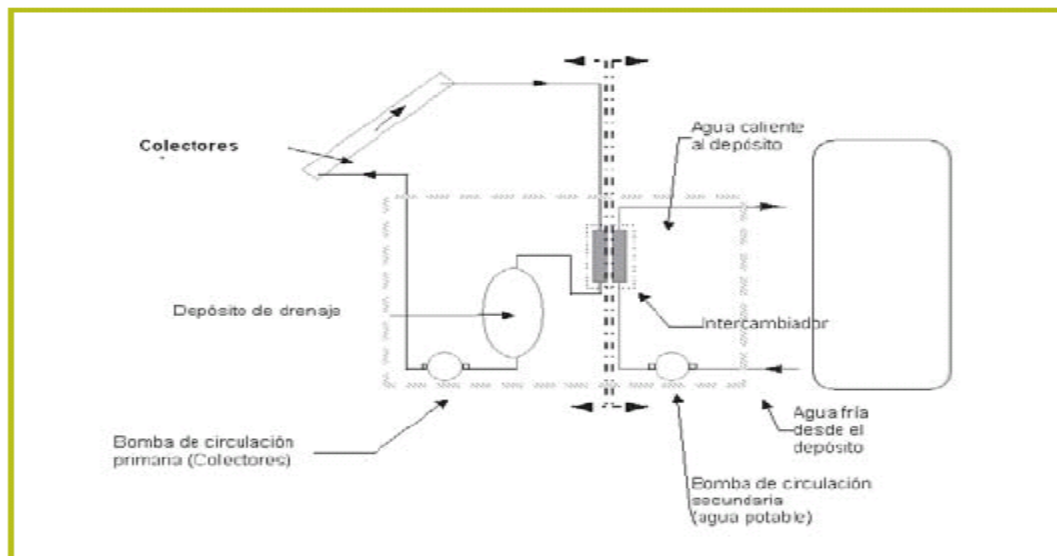


Figura. 7.1.1 Un esquema indicativo que muestra el principio de funcionamiento de un sistema *de vacío*.

El principio de drenaje del fluido se basa en el hecho de que, cuando el sistema no está transfiriendo energía, las bombas de circulación se paran, de forma que permiten al fluido en el circuito volver al depósito de drenaje que se encuentra en el sistema. Todo esto protege el fluido de temperaturas críticas en la fila de colectores cuando el sistema no está operativo.

El sistema de vacío ha sido diseñado para transferir automáticamente la energía solar térmica recogida por los colectores a un sistema separado de acumulación del agua potable, utilizando dos circuitos independientes de trasvase.

El circuito primario o de los colectores consiste en una fila de colectores solares sobre el tejado o un soporte, conectados al sistema de transferencia de la energía montado en tierra, o a un nivel más bajo respecto de los colectores solares.

El fluido del circuito primario de transferencia para captar energía, que consta de una mezcla de agua potable y glicol, es bombeado del depósito de drenaje del sistema, a través de los colectores solares, hacia el intercambiador donde la energía recogida es transferida al circuito secundario de agua potable.

El circuito secundario está conectado directamente al depósito existente de agua potable utilizando tubos de cobre aislados. Gracias a la bomba de circulación secundaria del sistema, el agua potable es bombeada del depósito existente hacia el intercambiador, donde toma la energía del circuito primario, antes de volver hacia el depósito.

## **SISTEMA DE CALEFACCIÓN CON TECNOLOGÍA SOLAR TÉRMICA**

Los sistemas de calefacción que utilizan la energía solar presentan un gran potencial de desarrollo de esta energía, aunque las posibilidades prácticas de utilización de esta tecnología están limitadas a la integración de la calefacción con sistemas de **baja temperatura** (sistemas de suelo, de pared, ...).

De hecho, en el caso de calefacción con **sistemas de termosifón**, el porcentaje de integración de la energía solar es muy bajo y tiene tiempos de amortización bastante largos (alrededor de 12-15 años), utilizando en todo caso colectores solares de grandes prestaciones.

Los sistemas de calefacción a baja temperatura llamados **por suelo**, son los que presentan una mayor compatibilidad con los sistemas solares; de hecho, requieren:

- **Bajas temperaturas de actividad:** con agua caliente a 30°C se puede obtener el calentamiento del ambiente a 20°C.
- **Menor dispersión térmica:** respecto a la temperatura de actividad de radiadores (80-85°C); a menor temperatura requerida (30°C), menor dispersión térmica.

Generalmente, los sistemas de calefacción por el suelo utilizan temperaturas no superiores a los 40°C. Estas temperaturas coinciden con las alcanzables por los sistemas térmicos solares en el período invernal.

Los sistemas solares para la integración de la calefacción normalmente están diseñados para cubrir hasta el 40% anual de las necesidades de calefacción del ambiente de una casa. Sistemas que produzcan energías superiores no resultan convenientes, ya que una parte de la potencia extra sería utilizada sólo en los días más fríos, y se quedaría inactiva el resto de los días.

El calor que no proporciona el sistema solar se puede producir con un sistema auxiliar tradicional, por ejemplo, una caldera convencional.

## **CALENTAMIENTO DEL AGUA DE LAS PISCINAS**

Una piscina al aire libre no calentada tiene un ciclo anual de temperatura que varía según el clima y la ubicación geográfica. Esto limita, en la mayoría de los casos, la utilización de las piscinas al aire libre a los meses de verano. Sin

embargo, la posibilidad de utilizar una piscina al aire libre, que normalmente cubre un período de tiempo de aproximadamente tres meses, puede ser prolongada hasta cinco o seis meses, en los climas más templados, calentando el agua mediante la tecnología solar.

En particular, la intervención de la energía solar en este tipo de aplicación consiste en **conservar** la temperatura del agua de la piscina, reintegrando con la fuente solar la energía dispersa por el espejo de agua. Una piscina requiere un calentamiento de baja temperatura y generalmente es necesario conservar la temperatura del agua por encima de los 24°C y preferiblemente alrededor de los 27 °C. Si se dispone de una insolación adecuada, el agua filtrada de la piscina se hace circular en un intercambiador de calor donde se pone en **contacto térmico** con el fluido portador del calor del sistema solar. En estas aplicaciones normalmente se utilizan sistemas de circulación forzada (mejor de vacío) con colectores de superficie selectiva, de forma que se reduce la superficie de paneles solares necesaria.

El diseño analítico de un conjunto de colectores para la conservación de la temperatura del agua de una piscina al aire libre es complejo a causa de la inestabilidad de las condiciones climáticas, que influyen de forma notable sobre las dispersiones térmicas de la piscina. El viento, por ejemplo, puede provocar enormes pérdidas, tanto por convección como por evaporación del agua de la superficie de la piscina. Asimismo las pérdidas por radiación nocturna son bastante variables.

## AHORRO ENERGÉTICO Y CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES

El rendimiento de un sistema solar térmico depende de varios factores: condiciones climáticas locales, área y tipo de colector solar, carga térmica, etc. Por ejemplo, la disponibilidad de radiación solar en Europa varía de **830 a 1.160 kWh/mq**. Para una determinada carga de agua caliente, la contribución esperada de un sistema solar aumenta según la cantidad de energía solar disponible.

También la temperatura del ambiente influye de forma notable sobre el rendimiento del sistema. Por consiguiente, las prestaciones de un sistema pueden **variar mucho** en función de la zona de instalación.

Para realizar un cálculo del ahorro que se puede obtener con la instalación de un sistema solar, es necesario calcular la cantidad de combustible requerida para obtener la misma producción térmica obtenida con la energía solar. Es evidente, por tanto, que un cálculo de amortización de un sistema tiene que tener en cuenta también las características de la zona de instalación, además de las prestaciones típicas del sistema solar. Esto pone en evidencia el hecho de que cálculos de este tipo son bastante complejos y tienen que tener en cuenta todas las variables que influyen sobre la producción solar.

Como referencia, para dar una idea de los ahorros que se pueden obtener de un sistema solar térmico, se proporcionan los siguientes datos:

**1) Europa septentrional:**

Producción solar: 400 kWh/mq  
Ahorro: 40 litros de combustible  
45 m<sup>3</sup> de gas natural  
500 kWh de electricidad  
105 kgs de disminución de emisiones de CO<sub>2</sub>

**2) Europa central:**

Producción solar: 580 kWh/mq  
Ahorro: 60 litros de combustible  
65 mc de gas natural  
725 kWh de electricidad  
156 kgs de disminución de emisiones de CO<sub>2</sub>

**3) Europa meridional:**

Producción solar: 750 kWh/mq  
Ahorro: 75 litros de combustible  
84 m<sup>3</sup> de gas natural  
940 kWh de electricidad  
200 kgs de disminución de emisiones de CO<sub>2</sub>

Es necesario, además, considerar el impacto ambiental de los materiales utilizados en la producción de los sistemas solares térmicos. Los materiales más adecuados y menos contaminantes para la construcción del panel solar son el acero, el aluminio y el cobre.

## **ASPECTOS ECONÓMICOS RELATIVOS A LA ENERGÍA SOLAR**

Una buena razón para utilizar sistemas solares térmicos es la disminución de los costos energéticos. Por tanto, es oportuno realizar un análisis económico detallado, de forma que se pueda evaluar si un determinado sistema solar es económicamente ventajoso para un determinado proyecto.

Las aplicaciones térmicas de la energía solar requieren una inversión inicial más elevada que la de un sistema térmico tradicional. No obstante, una vez que el sistema solar está instalado, los gastos de funcionamiento son mínimos y consisten únicamente en los escasos costes para el funcionamiento y el control del sistema, eventuales reparaciones y mantenimiento periódica. En el caso de los sistemas que utilizan combustibles fósiles, en cambio, es necesario un suministro de los mismos y, por tanto, una compra, en función de la necesidad térmica.

Por ello, los beneficios obtenidos de un sistema solar consisten en el ahorro de los gastos del combustible necesario para el funcionamiento y la prolongación de la vida de la caldera tradicional, al no ser utilizada durante el período **solar**. Los datos están referidos a Italia

### **SU CONSUMO DE GAS SERÁ 0**

#### **Cuanto gasta?**

Absolutamente nada. No tiene gastos de mantenimiento. La radiación solar es gratis. Además no es contaminante.



## Como funciona el sistema?

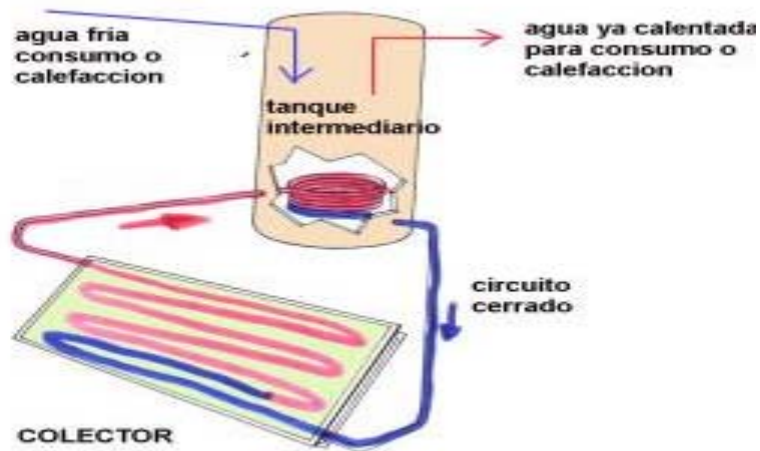


Figura. 11.1.1 colector de circuito cerrado.

El sistema es cerrado, un fluido específico circula entre el colector y el intermediario. Se calienta en la serpentina del colector y llega al intermediario para calentar el agua que ingresa fría.

El intermediario funciona de manera similar a un termo tanque en el que entra el agua fría y esta es calentada con un mechero de gas. En este caso ese mechero es reemplazado por el circuito cerrado que viene del colector.

## Para que se puede utilizar?

El agua calentada en el intermediario puede utilizarse para calefacción con un sistema de radiadores, losa o zócalo radiante, para consumo de agua caliente y para calentamiento de piscinas.

## En cuanto tiempo calienta el agua?



Figura. 11.1.2 sistema de termosifón (pasivo por gravedad).

A los 90 minutos el agua alcanza los 85°C, manteniéndole a esa temperatura día y noche.

## Que ocurre si no hay sol?

Aunque el intermediario posee una resistencia eléctrica, después de más de 3 días sin sol, solo son necesarios 90 minutos de claridad para que el agua se caliente a 85°C. El colector absorbe radiación salvo días lluviosos u oscuros.

**Cuanto tiempo dura el agua caliente sin días soleados?** La temperatura disminuye 10°C a las 72 horas sin sol.

**Se puede incorporar a instalaciones existentes?** Si, es totalmente compatible con cualquier instalación de gas tradicional. No requiere instalación paralela.

## Adaptabilidad

Se pueden utilizar en cualquier tipo de vivienda, sobre techos de tejas, en ciudad o campo, instalaciones de clubes, plantas industriales y tambos. No es necesaria instalación paralela y se adaptan a configuraciones distintas del espacio físico. Colectores e intermediario pueden instalarse juntos o separados.

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **SITIO EXPERIMENTAL**

##### **Ubicación geográfica.**

La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, ubicada en Buenavista, municipio de Saltillo, Coahuila y cuyas coordenadas geográficas son 25° 21’20” de Latitud Norte y 101° 01’30” de Longitud Oeste y a una altitud media sobre el nivel del mar de 1743 m.

##### **Clima.**

De acuerdo al sistema de Köppen modificado por E. García (1964), el clima de la región comprendida para Buenavista, Saltillo, Coahuila., es representado por Bso K(x') (e); donde los términos significan:

Bso.- Es el más seco de los BS, con un coeficiente de  $P/T$  .

K.- Templado con verano cálido, temperatura media anual entre 12 y 18°, la del mes más frío entre -3 y 18°C y la del mes más caliente de 18°C.

x'.- Régimen de lluvia intermedio entre verano e invierno.

La precipitación media anual es de 345 milímetros.

Los meses lluviosos en el año son de junio a septiembre, siendo el más lluvioso el mes de junio.

##### **Descripción del área de trabajo**

Las evaluaciones o pruebas de temperatura de la caja se llevaron a cabo en el Jardín hidráulico del Departamento de Riego y Drenaje de esta universidad, el cual dentro de sus instalaciones cuenta con un deposito-pila de concreto (con una

capacidad de aproximadamente 13 689 m<sup>3</sup>), de donde se extraía el agua en este sitio. Así también varias de las mediciones de temperaturas e hidráulicas realizadas sobre la caja de calentador solar fueron hechas en el Departamento de Riego y Drenaje, en este lugar el agua que se calentaba se almacenada en un boiler con capacidad 200 litros.

## **MATERIAL UTILIZADO**

- 1 calentador de agua
- 1 boiler
- 1 mesa
- 1 cristal transparente
- 1 probeta
- 1 stilson
- 1 segueta
- 1 Llave perica
- 1 cinta métrica
- 1 cinta teflón
- 1 desarmador
- 6 niples de  $\frac{3}{4}$ "
- 4 reducción bushing de 1" a  $\frac{3}{4}$ "
- 2 tobos de 1" de 6 mts
- 8 codos de 90° en 1"
- 8 codos de 90° en  $\frac{3}{4}$ "
- 3 reducción bushing de 1" a  $\frac{3}{4}$ "
- 2 reducción campana de  $\frac{3}{4}$ " a  $\frac{1}{2}$ "
- 3 reducción bushing de  $\frac{3}{4}$ " a  $\frac{1}{2}$ "
- 2 válvulas tee de  $\frac{3}{4}$ "
- 3 válvulas globo
- 1 termómetro de mercurio
- 1 reloj

Descripción del aparato a evaluar.

El experimento se realizó con un calentador de agua cuyas especificaciones son las siguientes:

### **Calentador de agua.**

El aparato es muy simple de construir en este caso utilizamos una caja ya hecha las medidas que tiene son de .50m de ancho x 1.93m de largo = 96.5 cm<sup>2</sup>, encima de la caja lleva un cristal transparente y tiene un orificio para medir la temperatura dentro de caja, el cual en su interior tiene una serpentina es donde circula el agua caliente, Y luego sube a través del termosifón. El colector está conectado en un circuito cerrado con un depósito térmicamente aislado destinado a la acumulación del agua caliente para su utilización.

### ***Equipamiento y disposición de la caja negra***

En la caja evaluada la disposición de los instrumentos de prueba fue la siguiente:

En la entrada de la caja se colocó una válvula globo para cerrar la entrada de agua, y en seguida de la caja se colocó otra válvula globo para medir el agua caliente que se está acumulando en el boiler. Cabe mencionar que se utilizó tubería de fierro galvanizado, tanto al interior del colector como la salida. Las pulgadas son 1'', ¾'' y ½'' de diámetro respectivamente en la figura 3.1



Figura 3.1 Instalación del experimental del calentador solar.

## METODOLOGÍA

Las pruebas se realizaron con mayor frecuencia en los días de mayor insolación debido a que el calentador funcionaba con energía solar, los cuales contaba con una caja donde se concentraba la radiación solar que se recibe en una superficie determinada en un instante dado se le conoce como **Irradiancia** y se mide en unidades Watts por metro cuadrado ( $W/m^2$ ) o ( $kw/m^2$ ).

### **En los ensayos de calentador se realizo lo siguiente:**

Determinar la mayor temperatura se tendrá que aislar térmicamente todas aquellas partes por las que se pierde calor, como ser las paredes del tanque de almacenamiento, la parte posterior y los laterales del colector.

Medir la temperatura ambiente, temperatura del agua antes de entrar a la caja, temperatura del agua al salir de la caja y temperatura de la caja. Se tomaron cuatro lecturas cada hora.

Encontrar una función entre los cuatros parámetros involucrados. Un aparato (dispositivo) para calentar el agua para uso domestico.

### **Procedimiento de datos y ecuaciones utilizadas**

Con la información obtenida se procedió a calcular el agua caliente y la eficiencia de operación del sistema. En cada hora se tomaron los datos y después cada dos horas para poder obtener un valor promedio.

Cabe mencionar en este experimento la temperatura se midió con termómetro de mercurio.

### **demanda energética**

Es la energía necesaria para elevar la temperatura de un volumen determinado de agua, desde un valor inicial ( $T_i$ ) hasta la temperatura de consumo ( $T_f$ ).

Ecuación. 1

$$E = MC_p (T_f - T_i)$$

Donde:

E: demanda energética (kj/dia)

M: masa de agua a calentar en un dia (kg/dia)

Cp: capacidad calorífica del agua (4.18 kj/kg.°C)

Ti: temperatura inicial del agua (°C)

Tf: temperatura del agua caliente (°C)

De otra parte, la masa de agua  $M$  está dada por la siguiente ecuación:

Ecuación. 2

$$M = n_p \rho_{H_2O} V_p$$

Donde:

$N_p$ : Numero de personas a ser atendidas por día

$V_p$ : volumen de agua caliente por capita (lts/personas. Día)

$\rho_{H_2O}$  : Densidad del agua (1000 kg/dia)

El volumen de agua caliente per *cápita*  $V_p$  que demanda una persona por día está comprendida en el un rango de 20 a 60 litros.

Por ejemplo, un termo de 50 litros de capacidad lleva incorporada una resistencia de 2.26 kW., por tanto el tiempo que tardará en calentar el agua de 15 °C a 60 °C, será:

Ecuación. 3

$$T = v (T_f - T_i) / p * kw$$

Donde:

T= tiempo que tarda en calentar

V= volumen de agua en Litros

Ti= temperatura inicial del agua

Tf= temperatura final del agua

P= potencia

$$T = 50\text{lts}(60^\circ\text{C}-15^\circ\text{C})/.237*2.26 = \mathbf{4.2 \text{ seg}}$$

#### IV. RESULTADOS Y DESCUSION



En los siguientes cuadros se encuentran tabulados los datos tomados durante las pruebas realizadas con el calentador solar.

**Cuadro 4.1 datos experimentales del calentador solar.**

HORAS	T °C AIRE	T °C CAJA	T °C H2O FRIA	T °C H2O CAL.
08:00	14	14	10	19
09:00	18	18	13	23
10:00	24	35	18	38
11:00	28	53	24	48
12:00	31	66	25	63
13:00	31	73	27	75
14:00	33	69	27	73
15:00	34	69	27	73
16:00	33	65	28	68
17:00	31	49	28	51
18:00	30	42	28	47
19:00	24	34	27	41

**Cuadro 4.2 datos experimentales del calentador solar.**

HORAS	T °C AIRE	T °C CAJA	T °C H2O FRIA	T °C H2O CAL.
08:00	14	14	11	18
09:00	19	20	14	22
10:00	26	38	19	42
11:00	31	56	26	59
12:00	32	61	26	65
13:00	32	69	28	72
14:00	35	69	28	70
15:00	35	66	28	71
16:00	33	66	28	68
17:00	31	50	28	53
18:00	29	45	28	48
19:00	26	36	27	43

**Cuadro 4.3 datos experimentales del calentador solar.**

HORAS	T °C AIRE	T °C CAJA	T °C H2O FRIA	T °C H2O CAL.
-------	-----------	-----------	---------------	---------------

08:00	14	14	11	18
09:00	19	19	17	24
10:00	29	42	25	44
11:00	30	61	26	68
12:00	30	73	27	76
13:00	30	73	28	76
14:00	34	72	28	74
15:00	33	71	29	73
16:00	34	71	29	73
17:00	32	66	29	68
18:00	30	51	29	54
19:00	27	37	28	47

**Cuadro 4.4 datos experimentales del calentador solar.**

HORAS	T °C AIRE	T °C CAJA	T °C H2O FRIA	T °C H2O CAL.
08:00	14	14	10	15
09:00	20	17	19	18
10:00	22	30	22	36
11:00	26	37	22	39
12:00	28	50	23	55
13:00	29	63	24	67
14:00	29	63	24	67
15:00	29	63	24	67
16:00	29	62	24	62
17:00	28	55	24	56
18:00	28	49	23	50
19:00	26	38	23	39

**Cuadro 4.5 datos experimentales del calentador solar.**

HORAS	T °C AIRE	T °C CAJA	T °C H2O FRIA	T °C H2O CAL.
08:00	14	13	11	18
09:00	20	21	18	25
10:00	28	40	24	43
11:00	30	62	24	67
12:00	30	73	26	80
13:00	31	73	26	81
14:00	28	72	26	80
15:00	29	61	25	68
16:00	29	49	25	55
17:00	28	42	25	45
18:00	26	32	25	40
19:00	24	32	25	39

**Cuadro 4.6 datos experimentales del calentador solar.**

HORAS	T °C AIRE	T °C CAJA	T °C H2O FRIA	T °C H2O CAL.
-------	-----------	-----------	---------------	---------------

08:00	15	14	10	13
09:00	19	17	15	17
10:00	24	28	19	39
11:00	25	44	22	55
12:00	25	54	24	59
13:00	27	59	25	65
14:00	29	60	26	67
15:00	30	60	26	68
16:00	30	58	27	65
17:00	29	58	26	65
18:00	27	51	24	54
19:00	26	42	23	49

**Cuadro 4.7 datos experimentales del calentador solar.**

HORAS	T °C AIRE	T °C CAJA	T °C H2O FRIA	T °C H2O CAL.
08:00	14	13	11	13
09:00	18	16	14	19
10:00	23	26	19	37
11:00	25	39	23	50
12:00	25	54	25	58
13:00	27	60	25	65
14:00	28	60	27	66
15:00	30	62	29	72
16:00	30	59	28	66
17:00	29	55	28	60
18:00	27	51	26	55
19:00	25	43	24	48

**Cuadro 4.8 datos experimentales del calentador solar.**

HORAS	T °C AIRE	T °C CAJA	T °C H2O FRIA	T °C H2O CAL.
08:00	14	14	11	14
09:00	19	18	17	19
10:00	23	30	21	36
11:00	25	54	23	54
12:00	25	54	23	54
13:00	27	55	23	56
14:00	29	57	24	59
15:00	30	58	24	60
16:00	29	57	24	58
17:00	28	53	24	50
18:00	27	49	23	50
19:00	26	43	23	47

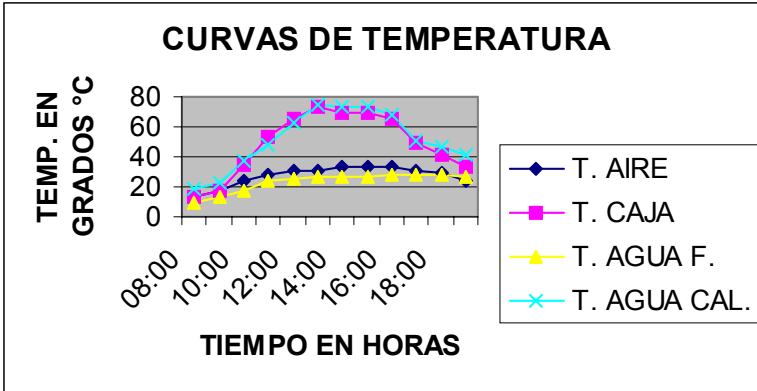


Figura 4.1.1 curva de temperatura (T. En °C) tiempo en horas (Hrs)

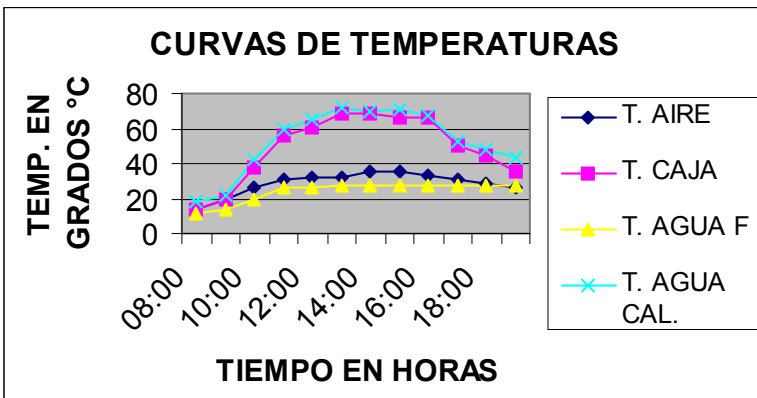


Figura 4.1.2 curva de temperatura (T. En °C) tiempo en horas (Hrs)

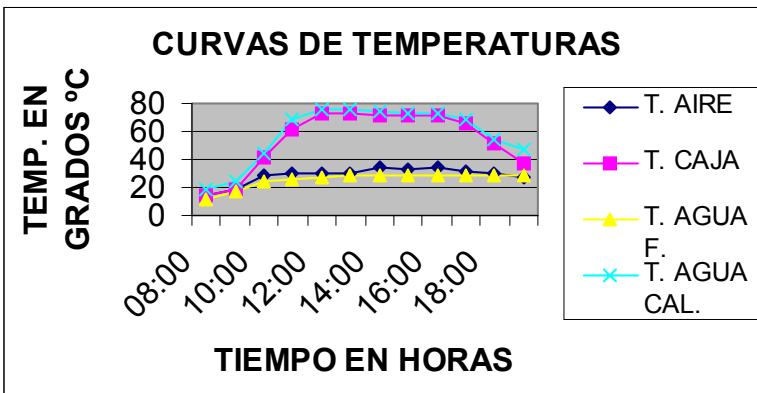


Figura 4.1.3 curva de temperatura (T. En °C) tiempo en horas (Hrs)

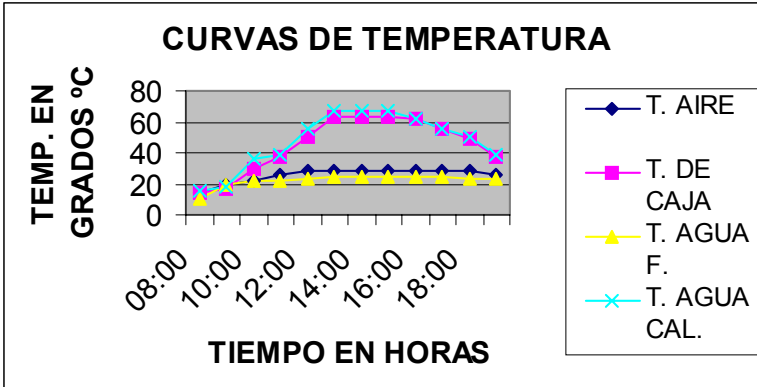


Figura 4.1.4 curva de temperatura (T. En °C) tiempo en horas (Hrs)

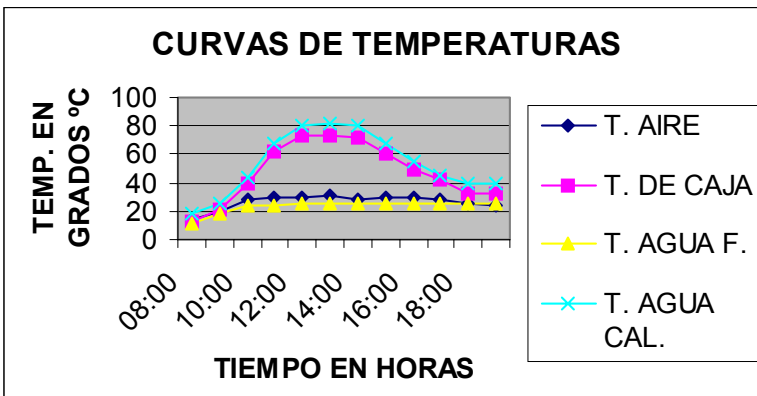


Figura 4.1.5 curva de temperatura (T. En °C) tiempo en horas (Hrs)

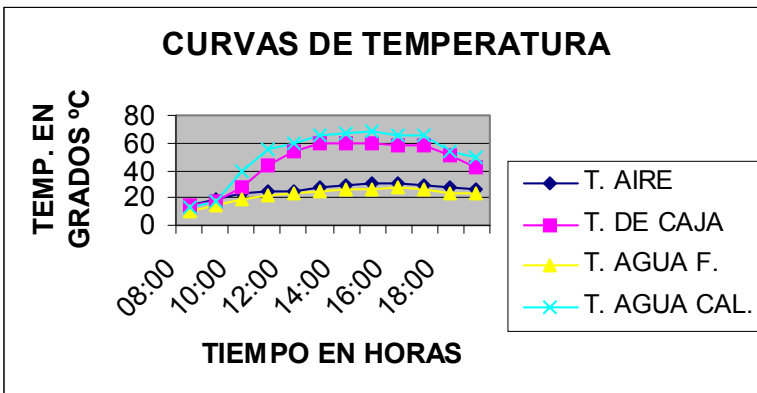


Figura 4.1.6 curva de temperatura (T. En °C) tiempo en horas (Hrs)

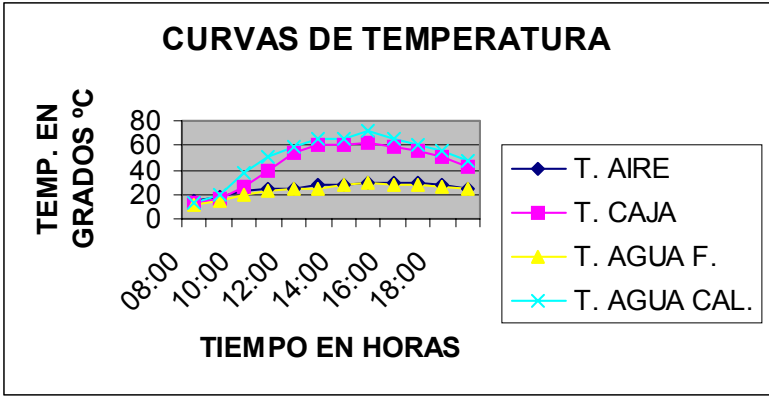


Figura 4.1.7 curva de temperatura (T. En °C) tiempo en horas (Hrs)

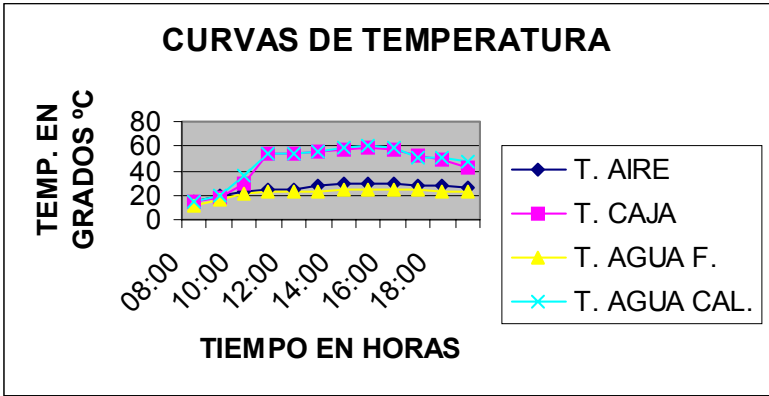


Figura 4.1.8 curva de temperatura (T. En °C) tiempo en horas (Hrs)

Se tabularon los resultados obtenidos durante las pruebas del calentador solar.

X	Y
14	14
18	18
35	24
53	28
66	31
73	31
69	33
69	34
65	33
49	31
42	30
34	24

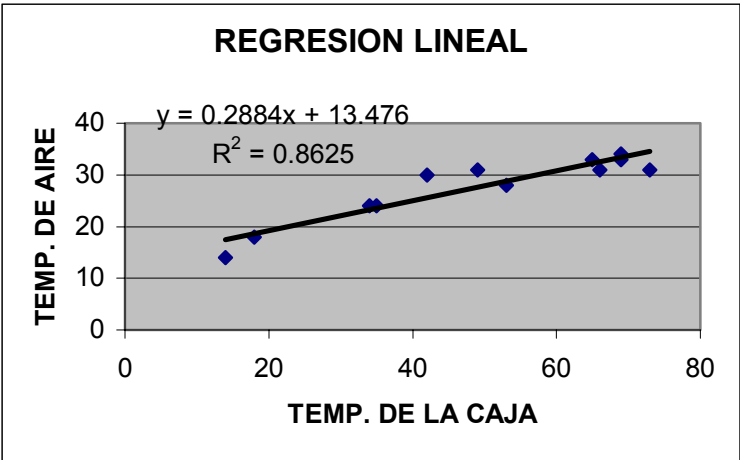


Figura 4.2.1 curva de la temperatura del aire y la caja

X	Y
14	14
20	19
38	26
56	31
61	32
69	32
69	35
66	35
66	33
50	31
45	29
36	26

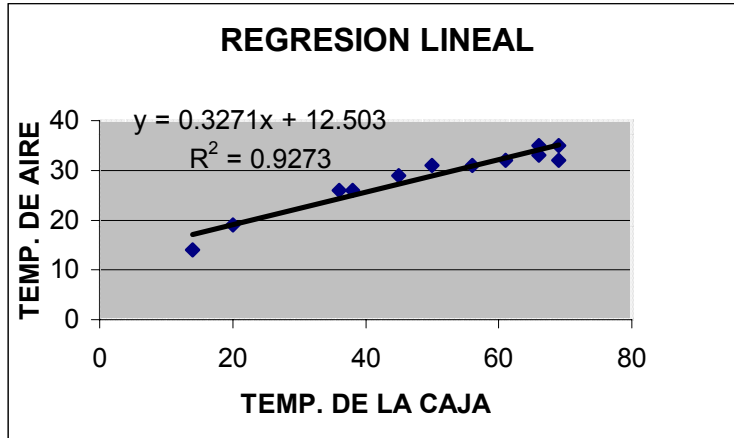


Figura 4.2.2 curva de la temperatura del aire y la caja

X	Y
14	14
19	19
42	29
61	30
73	30
73	30
72	34
71	33
71	34
66	32
51	30
37	27

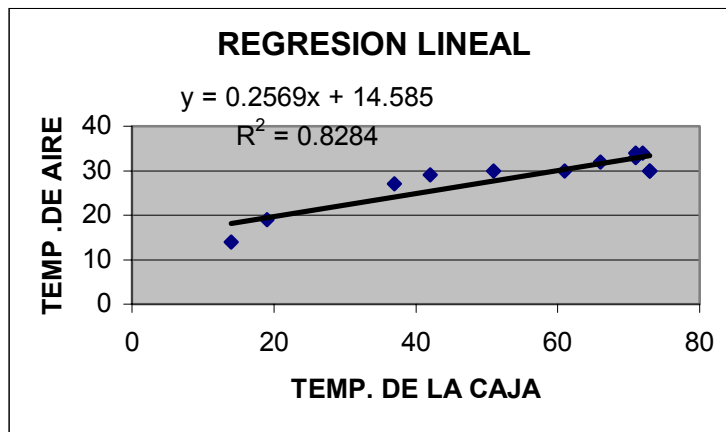


Figura 4.2.3 curva de la temperatura del aire y la caja

X	Y
14	14
17	20
30	22
37	26
50	28
63	29
63	29
63	29
62	29
55	28
49	28
38	26

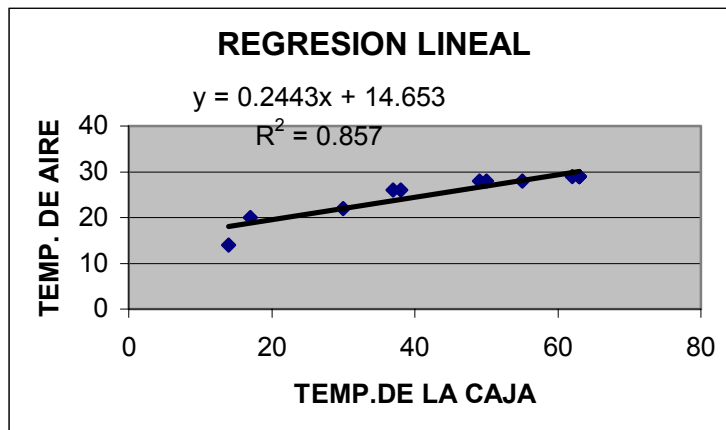


Figura 4.2.4 curva de la temperatura del aire y la caja

X	Y
13	14
21	20
40	28
62	30
73	30
73	31
72	28
61	29
49	29
42	28
32	26
32	24

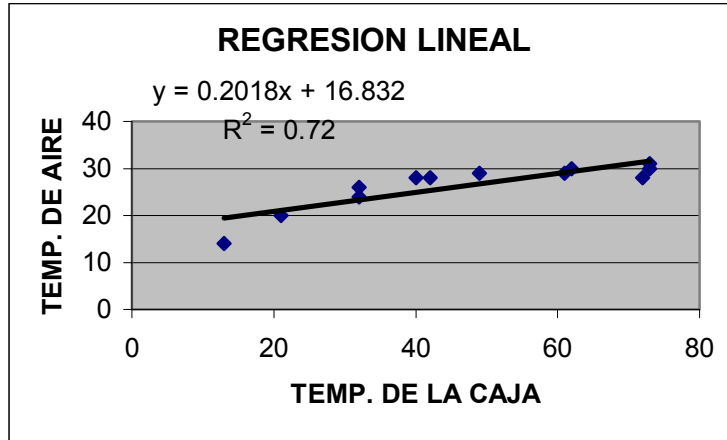


Figura 4.2.5 curva de la temperatura del aire y la caja

X	Y
14	15
17	19
28	24
44	25
54	25
59	27
60	29
60	30
58	30
58	29
51	27
42	26

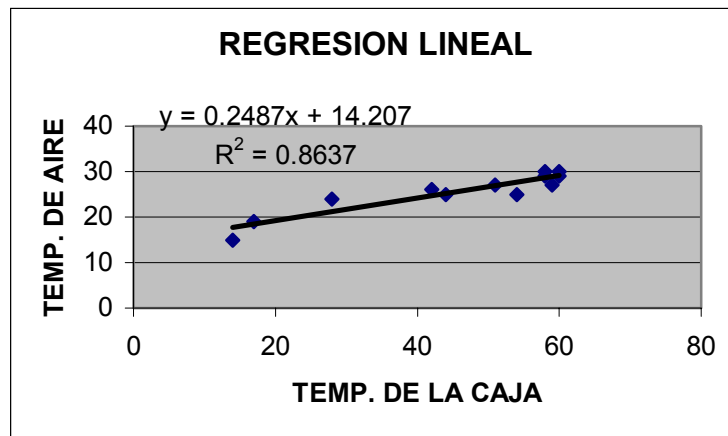


Figura 4.2.6 curva de la temperatura del aire y la caja

X	Y
13	14
16	18
26	23
39	25
54	25
60	27
60	28
62	30
59	30
55	29
51	27
43	25

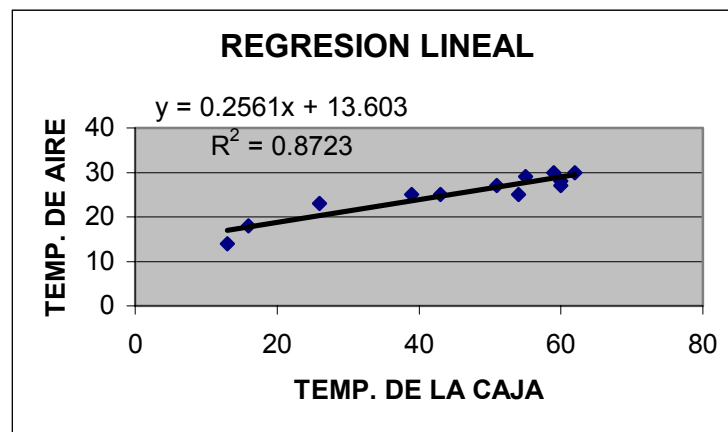


Figura 4.2.7 curva de la temperatura del aire y la caja



X	Y
14	14
18	19
30	23
54	25
54	25
55	27
57	29
58	30
57	29
53	28
49	27
43	26

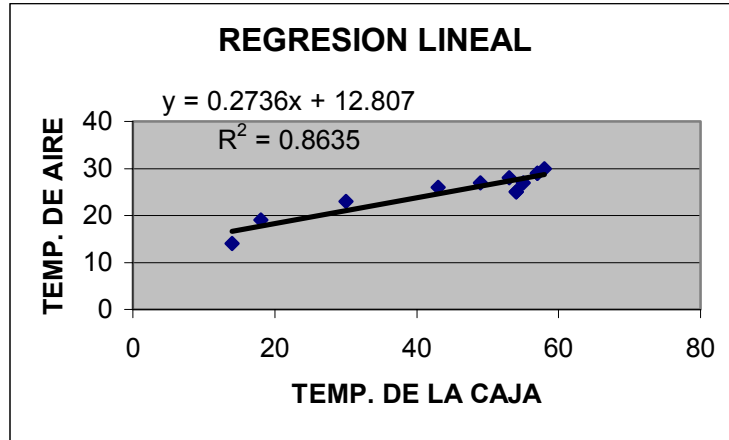


Figura 4.2.8 curva de la temperatura del aire y la caja

X	Y
14	19
18	23
35	38
53	48
66	63
73	75
69	73
69	73
65	68
49	51
42	47
34	41

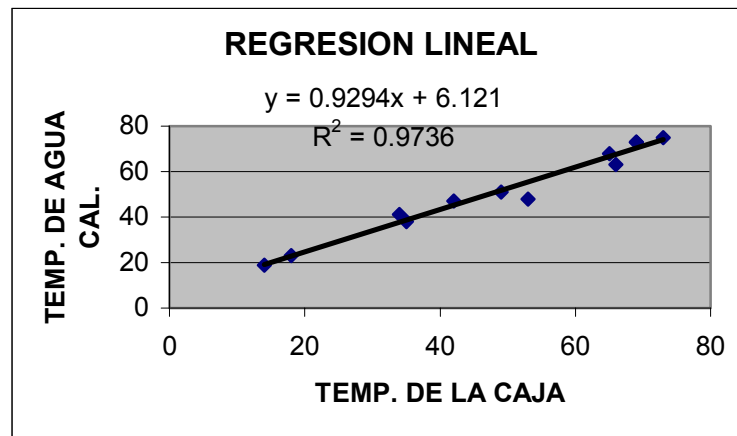


Figura 4.3.1 curva de la temperatura de agua caliente y la caja

X	Y
14	18
20	22
38	42
56	59
61	65
69	72
69	70
66	71
66	68
50	53
45	48
36	43

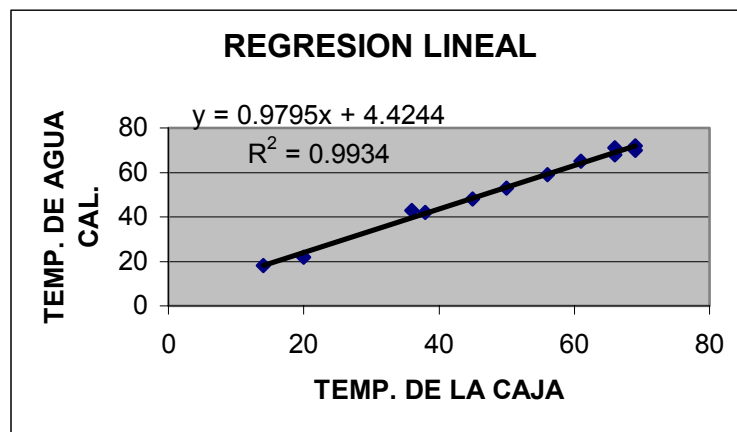


Figura 4.3.2 curva de la temperatura de agua caliente y la caja

X	Y
14	18
19	24
42	44
61	68
73	76
73	76
72	74
71	73
71	73
66	68
51	54
37	47

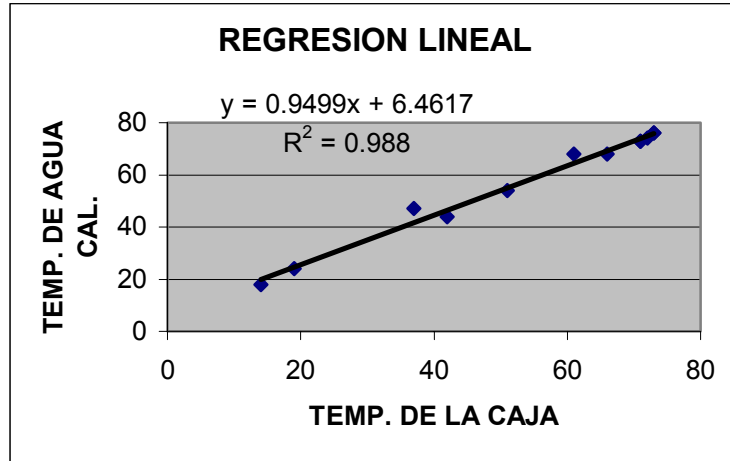


Figura 4.3.3 curva de la temperatura de agua caliente y la caja

X	Y
14	15
17	18
30	36
37	39
50	55
63	67
63	67
63	67
62	62
55	56
49	50
38	39

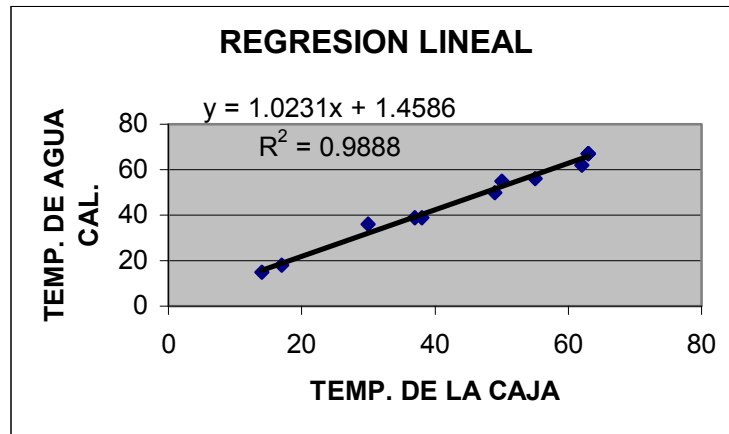


Figura 4.3.4 curva de la temperatura de agua caliente y la caja

X	Y
13	18
21	25
40	43
62	67
73	80
73	81
72	80
61	68
49	55
42	45
32	40
32	39

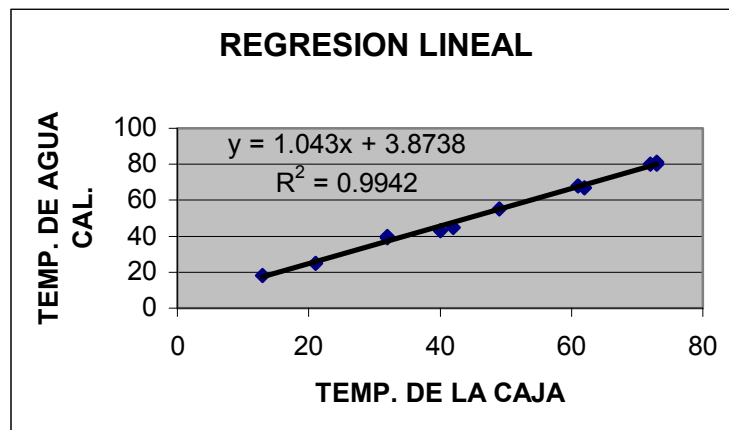


Figura 4.3.5 curva de la temperatura de agua caliente y la caja

X	Y
14	13
17	17
28	39
44	55
54	59
59	65
60	67
60	68
58	65
58	65
51	54
42	49

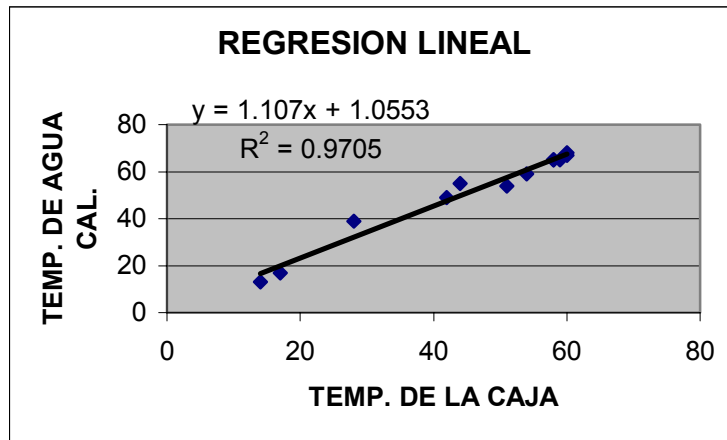


Figura 4.3.6 curva de la temperatura de agua caliente y la caja

X	Y
13	13
16	19
26	37
39	50
54	58
60	65
60	66
62	72
59	66
55	60
51	55
43	48

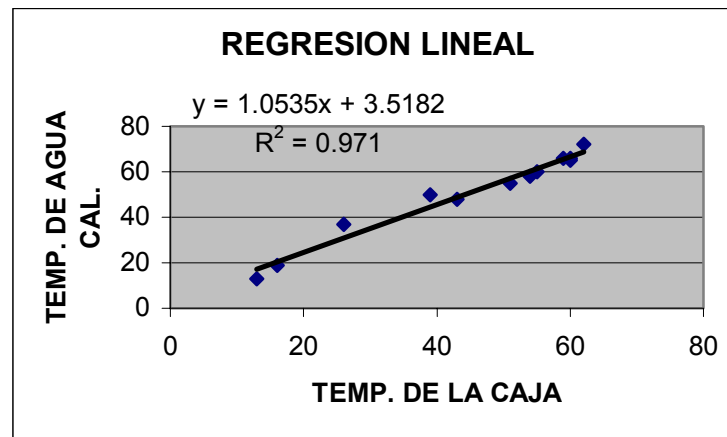


Figura 4.3.7 curva de la temperatura de agua caliente y la caja

X	Y
14	14
18	19
30	36
54	54
54	54
55	56
57	59
58	60
57	58
53	50
49	50
43	47

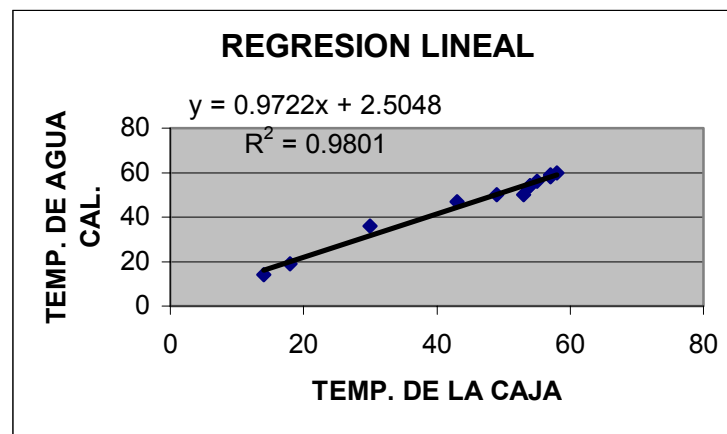


Figura 4.3.8 curva de la temperatura de agua caliente y la caja

## calentador solar

La figura 4.1.8 Como se puede apreciar la curva de la temperatura del agua caliente tiene un crecimiento rápido al inicio y luego tiende a mantenerse constante. Un comportamiento similar tiene la curva de temperatura del agua fría, aunque algo diferente en los primeros horas de funcionamiento. La temperatura de la caja tiene un crecimiento muy rápido al inicio y luego tiende a mantenerse constante, pero la curva esta por debajo de la temperatura del agua caliente. Y la temperatura del aire tiene un comportamiento similar al inicio y luego tiende a mantenerse constante y esta por encima de la temperatura del agua fría.

Si bien la ganancia de calor va aumentando, también y un mayor medida lo hacen las perdidas de calor al ambiente, por lo que el sistema busca paulatinamente el equilibrio. Debido a esto, las curvas de agua caliente y fría llegaran a un punto común que indicaría esa temperatura de equilibrio. Este fenómeno comienza a aparecer después de una hora de estar funcionando, lo que da una menor diferencia de temperatura dentro del tanque, lo que significa una circulación de agua mas lenta entre el colector y el tanque.

Para obtener mayor temperatura se tendrá que aislar térmicamente todas aquellas partes por las que se pierde calor, como ser las paredes del tanque de almacenamiento, la parte posterior y los laterales del colector y, por lo menos, el tubo que conduce el agua caliente. No obstante esto, se aprecia que a la hora de funcionamiento se tiene una temperatura que sobrepasa en 15 °C a la ambiente y que al termino de dos horas esta diferencia prácticamente es de 20 °C.

## valores de los parámetros del calentador solar

cuadro 2.1 media de las temperatura diaria del calentador solar

HORAS	T °C AIRE	T °C CAJA	T °C H2O FRIA	T °C H2O CAL.
08:00	14	14	11	16
09:00	19	18	16	21
10:00	25	34	21	39
11:00	28	51	24	55
12:00	28	61	25	64
13:00	29	66	26	70
14:00	31	65	26	69
15:00	31	64	26	69
16:00	31	61	27	64
17:00	29	54	26	56
18:00	28	46	26	50
19:00	25	38	25	44

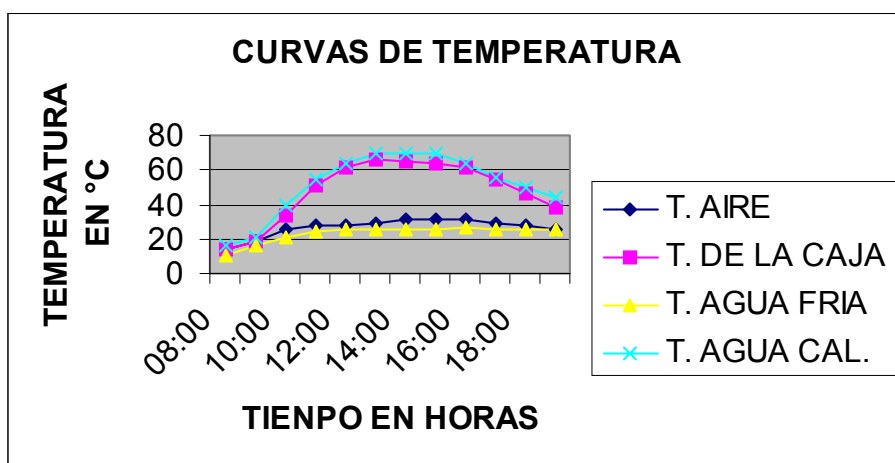


Figura 2.1 curvas de temperatura en °C contra el tiempo en horas (hrs).

X	Y
14	14
18	19
34	25
51	28
61	28
66	29
65	31
64	31
61	31
54	29
46	28
38	25

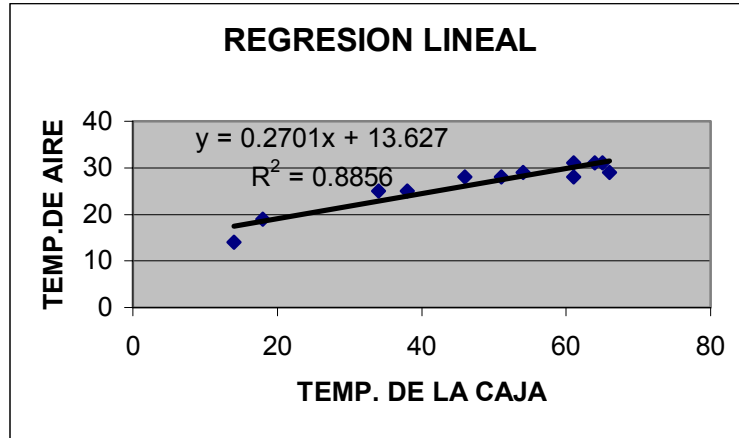


Figura 2.2 curva de temperatura de aire contra temperatura de la caja

X	Y
14	16
18	21
34	39
51	55
61	64
66	70
65	69
64	69
61	64
54	56
46	50
38	44

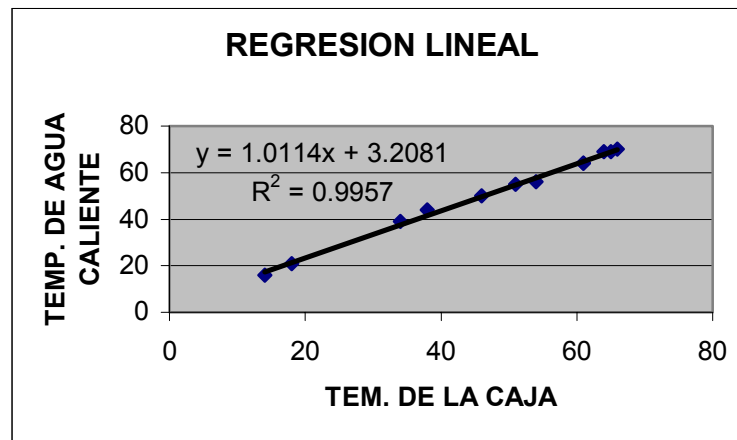


Figura 2.3 curva de temperatura de agua caliente contra temperatura de la caja

T °C H2O FRIA	T °C H2O CAL.	T °C H2O MEZCLADA
	X	Y
19	50	35
19	70	45
19	80	53

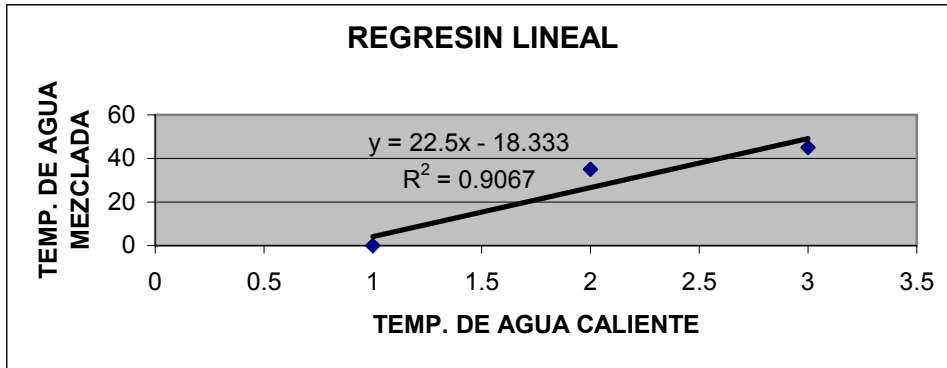


Figura 2.2.1 curva de temperatura de agua mezclada contra agua caliente

T °C H2O FRIA	T °C H2O CAL.	T °C H2O MEZCLADA	X	Y
21	50	35	1.3	50
21	70	35	2.1	70
21	80	35	3	80

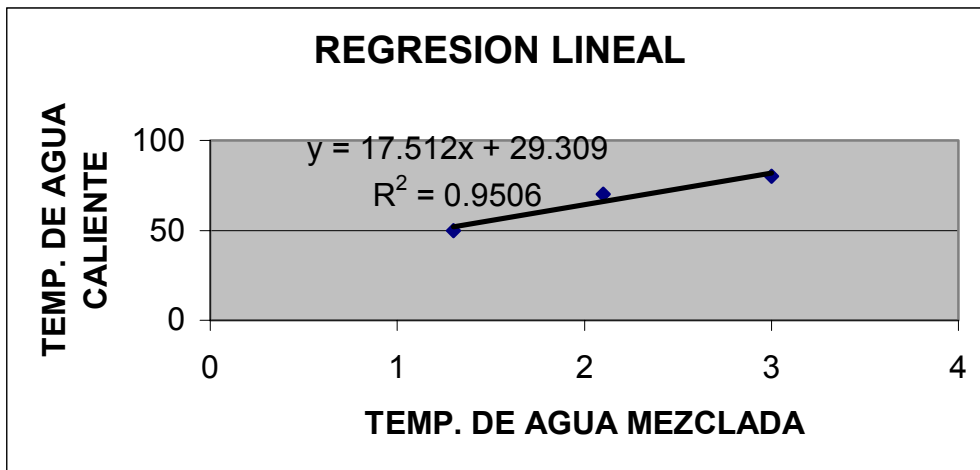


Figura 2.2.2 curva de temperatura de agua caliente contra agua mezclada

## **Media de las temperaturas diaria**

Figura 2.1 la media de los datos anteriores. Como se puede apreciar mejor la curva de la temperatura del agua caliente tiene un crecimiento rápido al inicio y luego tiende a mantenerse constante. Y esta por encima de la temperatura de la caja. Un comportamiento similar tiene la curva de temperatura del agua fría, aunque algo diferente en los primeros horas de funcionamiento. Y la temperatura del aire tiene un comportamiento similar al inicio y luego tiende a mantenerse constante y esta por encima de la temperatura del agua fría.

Figura 2.2.1 como se puede apreciar la curva de temperatura se mezclo agua caliente en diferentes temperatura 50°C, 70°C, 80°C. Con agua fría de 19°C, se izo la mezcla 1 Litro de cada uno. Y se obtuvo diferentes temperatura del agua al final. 35°C, 45°C, 53°C.

Figura 2.2.3 se izo la misma mezcla pero en diferente temperatura de agua fría fue 21°C, la temperatura del agua caliente fueron las mismas 50°C, 70°C, 80°C. primero se mezclo con 1.30 Litros, el segundo se mezclo con 2.100 Litros y el tercero se mezclo con 3 Litros. Esto se izo para mantener a 35°C de agua caliente, para consumo humano. Con la finalidad que cantidad de agua fría puedo calentar.



## **V. CONCLUSIONES**

**Finalmente con los resultados obtenidos y con la observación hechas durante el trabajo de campo de esta investigación se tienen la siguientes conclusiones:**

El sistema es bastante precario, se pudo observar resultados importantes y satisfactorios, que revelan la importancia del sistema en cuanto el calentador de agua.

Se cuenta con muy bien material de estudio y enseñanza, en el cual se puede apreciar la realidad del fenómeno del calentador de agua con una caja negra.

Este estudio tiene como finalidad intentar hacer otro calentador solar de mayor tamaño y capacidad, para así poder obtener su rendimiento y lograr una optimización del sistema. Se considera en todo momento el factor económico como determinante en la evaluación del proyecto

## VI. RECOMENDACIONES

- continuar con la investigación, probando la caja negra de mayor tamaño para obtener un mejor rendimiento.
- Adquirir un mayor tamaño de la caja negra que se necesita para realizar las pruebas.
- Realizar un estudio sobre los parámetros de funcionamiento de los calentadores de la caja negra.
- Instalar el equipo con inclinación hacia el Angulo de radiación solar.

## **BIBLIOGRAFÍA**

BAITSELL George. Uso directo de la energía solar". H. Blume ediciones, (1982).  
P. 235-241

BECKMAN William A. Proyecto de sistemas térmico-solares. Editorial Index,  
(1984). P. 80-84

DUFFIE John A. Solar engineering of thermal processes. John Wiley & Sons,  
(1976). P. 143-180

HUNT Daniel V. Diccionario de energía. Publicaciones Marcombo, (1976).  
P. 350-366

MANRIQUE J.A. Energía solar, fundamentos y aplicaciones fototérmicas. Industria  
editorial fototérmicas, reg. 723, 1984

RAU Hans. Energía solar. Marcombo ediciones, (1977). P. 43-66

Valera, Aníbal. Energía solar. Lima (1978). P. 510-518

ING. Gustavo Fernández titular de Ingeniería Solar

NORMAN C. HARRIS Emeritus professor of Higher Education the University of  
Michigan (1998). P. 36-42

CYDNEY E. MILLER (1976). Solar Energy Consultante. P. 115-133

IRVING E. THOMAS Solar Engineer (1999). P. 15-26

Richar C. Jordan and Benjamin Y. H. Liu. Eds., Applications of solar Energy for Heating and cooling of Buildings Atlanta: (1977). p. 1-3

<http://www.conae.gob.mx/wb/distribuidor.jsp?seccion=1469>

[www.conae.gob.mx](http://www.conae.gob.mx),

[www.proyectoobra.com](http://www.proyectoobra.com)

<http://revista.consumer.es/web/es/19990901/medioambiente/31089.php>

<http://www.la-epoca.com/verporseccion.php>

<http://didattica.dma.unifi.it/WebWrite/pub/Utenti/GiacomoPecchioli/manualpiscinas.pdf>

<http://g.unsa.edu.ar/asades/actas2000/03-01.html>