



Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C.

Maestría en Energías Renovables

“Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico y fototérmico para el desarrollo de prácticas en la U.T.P.”

Presentan

Saraín Flores Bautista
Juan Ramón Flores Villa

Asesora

Dra. Hila Esperanza Esparza Ponce

Junio 2013

ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN	6
OBJETIVO GENERAL	7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
HIPÓTESIS	7
ANTECEDENTES	8
JUSTIFICACIÓN	8
CAPÍTULO I. CONCEPTOS GENERALES	9
1.1 El Sol como fuente de energía	9
1.2 Radiación solar	9
1.3 Colocación de los paneles fotovoltaicos y fototérmicos	13
CAPÍTULO 2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	14
2.1 Paneles fotovoltaicos	15
2.1.1 Conceptos básicos sobre celdas solares	17
2.1.2 Tipos de paneles Fotovoltaicos	17
2.1.3 Determinación de potencia a partir de curvas V vs I	18
2.1.4 Eficiencia	20
2.1.5 Factor de llenado	20
2.2 Acumuladores	21
2.3 Controlador de carga	22
2.4 Inversores	23
CAPÍTULO 3. COLECTORES SOLARES	26
3.1 Transferencia de calor	26
3.1.1 Conducción	26
3.1.2 Convección	28
3.1.3 Radiación	29
3.2 Colectores solares	32
3.2.1 Definición y descripción	32
3.3 Colectores solares de placa plana	33

CAPÍTULO 4. DESARROLLO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICO Y FOTOTÉRMICO	38
4.1 Partes físicas del módulo fotovoltaico	38
4.1.1 Etapa de construcción	40
4.2 Partes físicas del módulo fototérmico	44
4.2.1 Partes físicas del colector solar de placas planas	44
CAPÍTULO 5. RESULTADOS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICO Y FOTOTÉRMICO	47
5.1 Sistema Fotovoltaico	47
5.2 Sistema Fototérmico	52
CONCLUSIONES	59
BIBLIOGRAFÍA	61

ÍNDICE DE FIGURAS

No.	Descripción	Pag
1	El sistema solar	9
2	Espectro electromagnético	10
3	Radiación electromagnética solar	12
4	Radiación global y sus componentes	12
5	Orientación de los paneles fotovoltaicos y fototérmicos	13
6	Sistema FV aislado de la red	14
7	Sistema FV conectado a la red	15
8	Partes de un módulo FV de silicio	16
9	Tipos de paneles fotovoltaicos	18
10	ISC y VOC como función de la intensidad de la radiación	19
11	Curva de potencia y punto de máxima potencia	19
12	Curvas de voltaje contra corriente	20
13	Baterías de ciclo profundo	21
14	Controladores de carga	23
15	Inversores	24
16	Transferencia de calor por conducción	27
17	Transferencia de calor por convección	29
18	Transferencia de calor por radiación	30
19	Partes básicas de un colector solar plano	33
20	Componentes del colector solar plano	37
21	Paneles fotovoltaicos de 15 watts y 65 watts	39
22	Baterías de 26A-h y de 115A-h @ 12 volts	39
23	Inversor de voltaje de 400 watts	39
24	Controlador de carga programable	40
25	Espacios para las cargas	40
26	Sección de cargas de C.A.	41
27	Apagadores y contactos para cargas de CA	41
28	Cargas y apagadores de CD	42
29	Switch general de cargas de CD	42
30	Módulo fotovoltaico para CA y CD	43
31	Módulo de prácticas fotovoltaico terminado	43
32	Partes principales del Calentador Solar de Placas Planas	45
33	Termotanque AXOL	46
34	Mangueras flexibles uniendo placa colectora con termotanque	46
35	Gráfica de voltaje en panel de 15 watts	48
36	Gráfica de corriente en panel de 15 watts	49
37	Gráfica de voltaje en panel de 65 watts	50

38	Gráfica de corriente en panel de 65 watts	51
39	Tanque o contenedor externo del sistema fototérmico	52
40	Gráfica del colector solar del 20 de mayo	54

INTRODUCCIÓN

En países industrializados desde hace algunos años, se le ha dado apoyo y difusión al uso de energías renovables tanto a nivel industrial como residencial para disminuir la contaminación al medio ambiente.

Actualmente en México se está trabajando en la implementación de tecnologías limpias con sistemas fotovoltaicos y fototérmicos y en algunas universidades se empieza a impartir la la carrera en Energías Renovables, dando día a día mayor difusión para la incorporación de un número suficiente de alumnos que permitirá permear estas tecnologías a todos los niveles.

En el sistema de Universidades Tecnológicas (UT's) desde hace unos años se estuvo trabajando en el proyecto de crear la carrera de TSU en Energías Renovables y en septiembre del 2009 se puso en marcha esta oferta académica en dicho nivel, y en septiembre de 2011 se dio la continuidad para obtener el grado de ingeniería de la misma carrera.

La UTP es de las pioneras en ofertarla y a pesar de que es una carrera con pocos alumnos a comparación de otras, los paneles fotovoltaicos con los que cuenta son demasiado viejos y ya están rotos; en lo que se refiere a las baterías, controladores e inversores, no se cuenta con ellos y los alumnos son quienes compran el material requerido.

Por lo anterior es necesario contar con módulos de prácticas, para que los alumnos puedan trabajar en ellos y poder complementar su formación profesional.

Por lo cual en este trabajo se diseñaron e implementaron dos módulos de prácticas, ambos para el área solar, uno fotovoltaico y el otro fototérmico con el fin de para que los estudiantes puedan realizar diversas prácticas en ésta área.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema fotovoltaico y fototérmico para realizar prácticas en el laboratorio de la carrera de Energías Renovables en la Universidad Tecnológica de Puebla (UTP).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un sistema fotovoltaico y uno fototérmico
- Implementar el sistema fotovoltaico y fototérmico en el laboratorio de la Universidad Tecnológica de Puebla.
- Comprobar la generación de energía eléctrica y térmica mediante la radiación solar.
- Determinar la eficiencia energética del sistema fotovoltaico y fototérmico.
- Comparar los datos del fabricante con los resultados experimentales.

HIPÓTESIS

El sistema permitirá a los alumnos de la carrera de Energías Renovables correlacionar los datos obtenidos en el laboratorio con los datos teóricos calculados y reafirmar los conocimientos adquiridos en el aula.

ANTECEDENTES

La Coordinación General de Universidades Tecnológicas (CGUT) decidió ampliar en su programa educativa las carreras de TSU en Energías Renovables en septiembre de 2009 y la Ingeniería en Energías Renovables en septiembre de 2011, siendo la UT de Puebla una de las 35 que ofertan el nivel de Técnico Superior Universitario (TSU) y de las 15 que ahora ofrecen el nivel de educativo en Ingeniería.

Ambas carreras son relativamente nuevas en la Universidad Tecnológica de Puebla (UTP), por lo cual se carece de equipo y material nuevo para preparar a los alumnos en el área fotovoltaica y fototérmica.

JUSTIFICACIÓN

Debido al prácticamente nulo equipamiento en las áreas de fotovoltaica y fototérmica se decidió diseñar y construir dos módulos de prácticas para la carrera de Energías Renovables para los niveles antes mencionados y mediante ellos propiciar mejor enseñanza-aprendizaje y capacitación adecuada en los alumnos de la carrera.

CAPÍTULO 1. CONCEPTOS GENERALES

1.1 EL SOL COMO FUENTE DE ENERGÍA.

Energía en forma de luz, garantizada para los próximos 5,500 millones de años es el Sol, fuente de casi todas las formas de vida y de casi todas las formas de energía que el hombre ha utilizado desde los albores de la historia, puede satisfacer las necesidades energéticas humanas, si se aprende cómo aprovechar de forma racional la energía que continuamente emite sobre el planeta. Ha brillado en el cielo entre 4,567.9 y 4,570.1 millones de años, y se estima que todavía está a la mitad de su existencia.

1.2 RADIACIÓN SOLAR

El Sol es una estrella con un diámetro medio de 1.39×10^9 m y una masa de 2×10^{30} Kg, esto es, 109 veces el diámetro terrestre. Obtiene su energía a través de reacciones termonucleares, en un proceso llamado fusión nuclear. En éste, se combinan 4 átomos de Hidrógeno (H) para formar un sólo átomo de Helio (He). En este proceso, el resultado final es la conversión de unas 700 millones de toneladas de Hidrógeno en Helio a cada segundo, donde sólo el 0,7% del material original se transforma en energía pura. Debido a esta reacción de fusión nuclear se genera una enorme cantidad de energía en forma de calor.

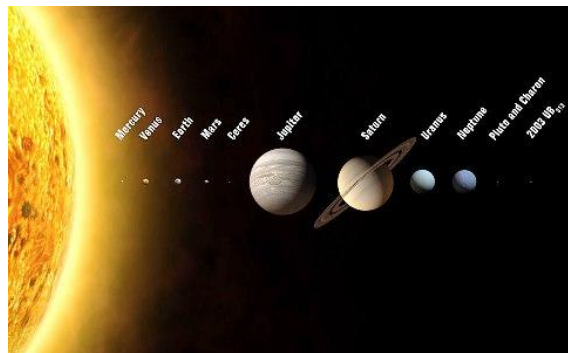


Figura 1. El sistema solar.

La temperatura del Sol es de aproximadamente 8 a 40 millones de grados Kelvin en el interior del mismo y de 6,000 K en la superficie ($\approx 5,700\text{ }^{\circ}\text{C}$). Debido a esta elevada temperatura éste emite energía en forma de radiación electromagnética a la cual se le denomina *radiación solar* y la constituyen un conjunto de ondas electromagnéticas de diferentes longitudes de onda, las cuales conforman el espectro electromagnético.

Ondulatoriamente, la radiación solar se propaga como una onda electromagnética en el espacio libre, caracterizada por su longitud de onda (λ) y su velocidad de propagación, $c = 2.99792458 \times 10^8$ m/s. Esto es, la radiación solar se aleja del Sol y viaja en línea recta a la velocidad de la luz y que, si bien no hay pérdida de energía alguna en el espacio libre, la intensidad de la radiación decrece inversamente al cuadrado de la distancia al Sol.

Las ondas electromagnéticas del Sol son de longitudes de onda pequeñas, las cuales pueden clasificarse, para fines de nuestro estudio, en tres grupos:

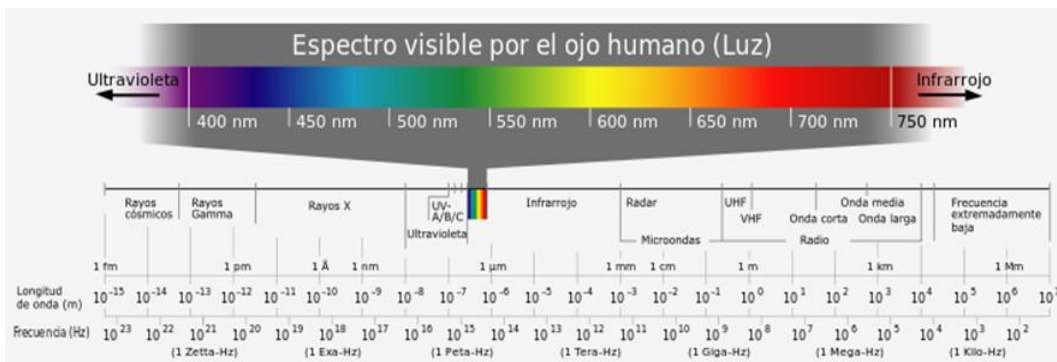


Figura 2. Espectro electromagnético

1. Radiación infrarroja, con $\lambda > 750$ nm, con fotones asociados de menos energía. Si comparamos a estos fotones con balones, en su contacto con la materia viva producirían una excitación de las moléculas de la misma y, por tanto, un aumento de su temperatura. Por lo que se tiene un aumento calorífico y una gran importancia desde el punto de vista del mantenimiento de temperaturas atmosféricas compatibles con el desarrollo de la vida. En forma de radiación infrarroja se transporta el 49% del

total de la radiación solar. Aunque otros investigadores afirman porcentajes diferentes. A las radiaciones de longitud de onda mayor a 750 nm se las conoce con el nombre de *radiaciones de onda larga*.

2. Espectro visible, que se encuentra entre los 380 nm y 750 nm. Corresponde a la luz, que por el ojo humano se puede ver. Los fotones asociados a esta radiación, poseen la energía necesaria para actuar sobre ciertos tipos de enlaces químicos, que reciben su energía de una manera “elástica”, es decir, similar a la energía que queda acumulada en un resorte que se comprime. La energía así recibida puede ser empleada inmediatamente en procesos vitales de transferencia de energía, como si el resorte, de forma inmediata, volviera a su longitud normal. En este intervalo de longitudes de onda se localizan aquellas radiaciones que son captadas por las moléculas químicas de los organismos vivos que intervienen en el proceso de la fotosíntesis, como la clorofila (con máximos de absorción en 430 nm y 680 nm), los carotenoides (con máximos de absorción en 500 nm y 660 nm). Sin la consecución de este proceso bioquímico es impensable el mantenimiento del flujo energético en la Biosfera y de la vida en la misma, de ahí la importancia ecológica de este tipo de energía. En forma de radiación luminosa se transporta entre el 41 y el 46% de la energía total transportada por la radiación solar. A estas radiaciones cuya longitud de onda es menor de 750 nm se las conoce en conjunto con el nombre de “radiaciones de onda corta”, así quedan incluidas bajo esta denominación las radiaciones ultravioleta y las del espectro visible, ver Fig. 2.

3. Radiación ultravioleta, con $\lambda < 380$ nm y con una gran energía asociada a sus fotones. Imaginemos a los fotones como las balas de una pistola, de tamaño muy pequeño, pero con una gran energía asociada. En contacto con la materia viva, estos fotones, al igual que las balas, producirían la destrucción de la misma debido a que se provocarían alteraciones en las uniones moleculares de los átomos de la materia viva. En forma de radiación ultravioleta se transporta 10%, 9% o 7% según sean los diferentes autores. En la estratósfera se absorbe de forma regular la radiación ultravioleta comprendida entre 200 y 310 nm y, por tanto, no llega a la

superficie terrestre, permitiendo el desarrollo de la vida en la misma. El espectro se observa en la figura 3.

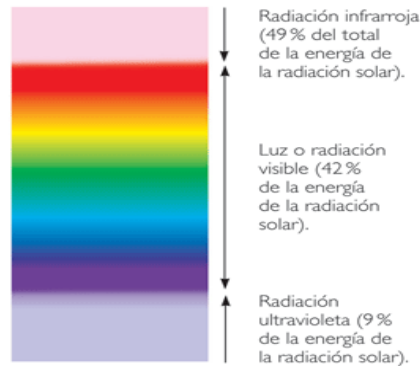


Figura 3. Radiación electromagnética solar

La luz que llega hasta el suelo es la suma de la luz difusa y de la luz directa. La luz directa es la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra directamente; la luz difusa es la que llega después de haberse difundido la radiación solar en las capas atmosféricas al atravesar estas; la luz reflejada de la superficie terrestre es conocida como radiación reflejada o de albedo.

Esta radiación difusa sumada a la radiación directa y la reflejada nos da la radiación global, que se define como la energía total de origen solar que recibe una superficie horizontal de un metro cuadrado durante un intervalo de tiempo determinado. La cantidad de energía que llega a la ionosfera es de 1.94 calorías-gramo por centímetro cuadrado y por minuto; pero tan solo un 50% aproximadamente llega a la superficie terrestre, perdiéndose antes el resto por reflexión y absorción.

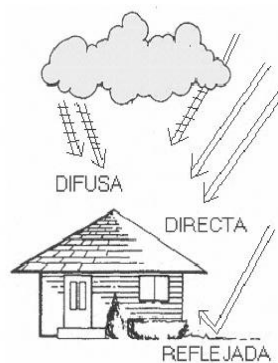


Figura 4. Radiación global y sus componentes

1.3 COLOCACIÓN DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS Y FOTOTÉRMICOS

Para lograr la máxima captación de radiación solar los paneles y colectores planos se recomienda orientarlos hacia el sur geográfico en el hemisferio norte (Fig. 5) y se inclinen a un ángulo similar al de la latitud del lugar. Cuando se pretende una mayor captación solar durante el verano se sugiere inclinar el colector a un ángulo igual al de la latitud y agregar -10° y cuando se requiere de una mayor captación durante el invierno, se recomienda un ángulo igual al de la latitud $+10^\circ$. Así mismo, si la aplicación es para calentamiento de agua durante todo el año, la inclinación óptima es $\text{Latitud} + 5^\circ$. También se recomienda el evitar la proyección de sombras entre las 9:00 a las 17:00 h por árboles, construcciones contiguas y por la misma construcción.

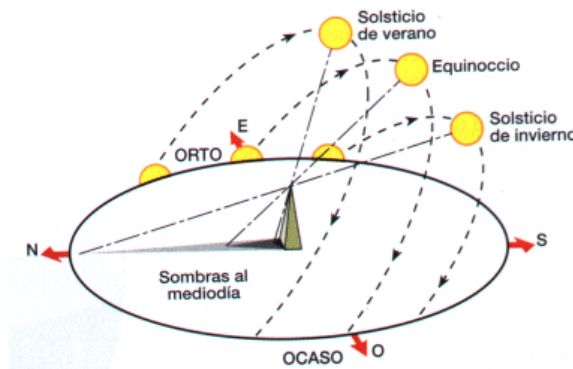


Fig. 5 Orientación de los paneles fotovoltaicos y fototérmicos

La orientación del edificio es la clave para maximizar la cantidad de energía solar capturada. Lo ideal debería ser que el edificio tenga el techo posicionado hacia el sur en el cual se colocará el colector solar. Si el colector se orienta a cualquier otra parte que no sea el sur, su eficiencia disminuirá... El sombreado debido a los edificios o árboles también reducirá considerablemente la eficiencia del sistema. ⁽¹⁾

CAPÍTULO 2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de elementos que interconectados son capaces de captar y convertir la energía solar en energía eléctrica para satisfacer una necesidad determinada.

Su diseño depende de la actividad que va a desempeñar, del lugar y otras condiciones del sitio en el cual va a operar. ⁽⁶⁾

Se dividen en 2 grupos: los Sistemas Aislados y los Conectados a la Red.

Los Sistemas FV Aislados o Autónomos son aquellos que reciben la radiación solar, la convierten en corriente eléctrica, se almacena en baterías y dependiendo de las necesidades, se puede alimentar la carga en CD ó pasar la energía almacenada a un inversor para alimentar cargas en CA. El almacenamiento se hace para que se pueda obtener energía eléctrica en la ausencia total o parcial del Sol, un diagrama simplificado se puede ver en la figura 6

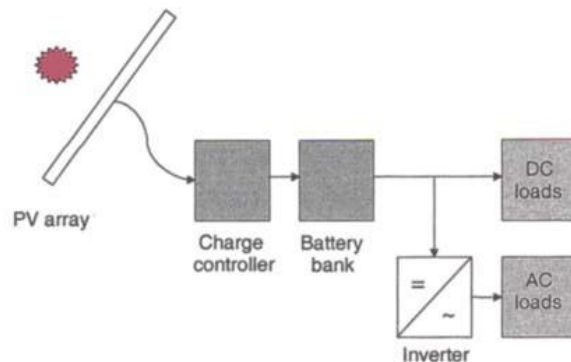


Figura 6. Sistema FV aislado de la red ⁽⁵⁾

Los Sistemas Conectados a la Red son aquellos que trabajan en conjunto con CFE. Mediante el panel FV generan corriente eléctrica, a diferencia del anterior, estos pueden proveer a CFE electricidad y también abastecer de la misma al lugar en donde se encuentre instalado. Figura 7.

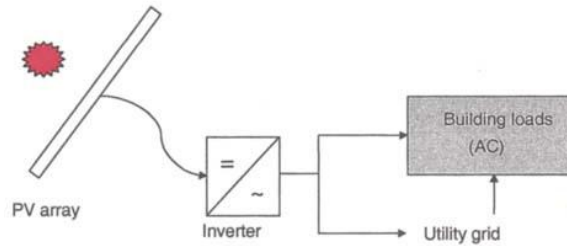


Figura 7. Sistema FV conectado a la red ⁽⁵⁾

El panel fotovoltaico es la parte principal del sistema, ya que es el elemento que se encarga de convertir la energía solar en energía eléctrica. El tipo de corriente que genera un panel es de corriente directa o CD.

Las baterías o acumuladores son parte del sistema que se encarga de almacenar la energía eléctrica generada por los PFV y normalmente se utilizan en los sistemas aislados.

El controlador tiene que verificar la cantidad de carga que tiene la batería. Su función es protegerlas de cargas excesivas o descargas muy profundas, ya que si sucede cualquiera de los dos casos, perjudica la vida útil de las mismas.

Como el PFV da corriente directa, y la mayoría de los aparatos electrodomésticos funcionan con corriente alterna, es necesario hacer el cambio de una corriente a otra, para lo cual se utiliza el inversor.

2.1 PANELES FOTOVOLTAICOS

Las celdas solares están hechas de silicio, y se encargan de convertir la energía solar en energía eléctrica. Al conectar varias celdas solares, obtenemos un panel o módulo solar.

“Las celdas solares por lo regular no se usan de forma individual. Las celdas con características similares son conectadas y encapsuladas para formar módulos los

cuales, a su vez, son los bloques básicos para la construcción de arreglos solares.”
(5)

Cada celda proporciona aproximadamente 600 mV. y para poder incrementar el voltaje, éstas se conectan en serie. *“Generalmente se usan alrededor de 36 celdas en serie para un sistema de 12V de carga nominal.”* (5)

Un panel fotovoltaico o también abreviado en muchos textos como FV o PFV, “es un sistema captador de energía solar en el que tiene lugar una conversión directa, para proporcionar corriente eléctrica mediante la radiación solar”. (4)

Como se mencionó anteriormente, para poder tener un panel fotovoltaico de mayor voltaje, se hacen arreglos de celdas solares en serie. Debido a que estos arreglos son muy frágiles, se deben proteger adecuadamente con diferentes materiales para evitar que se dañen por golpes o por el medio ambiente.

En la figura 8 se muestra un módulo FV con las partes que lo conforman.

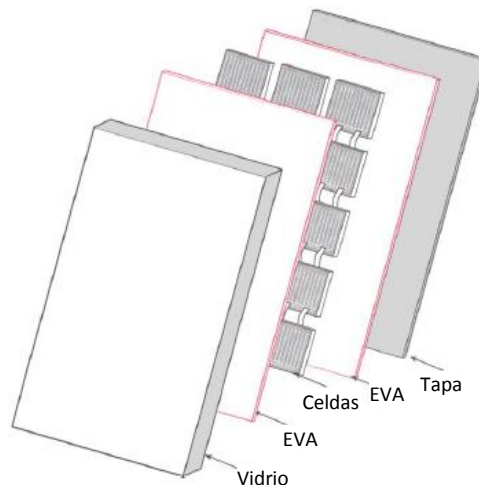


Figura 8. Partes de un módulo FV de silicio. Fuente: Green and Hansen (1998)

2.1.1 Conceptos básicos sobre celdas solares

En 1839 Becquerel observó que ciertos materiales, cuando eran expuestos a la luz, producían una corriente eléctrica. Actualmente esto es conocido como efecto fotovoltaico y es la base del funcionamiento de las celdas solares o fotovoltaicas. ⁽⁵⁾

La mayoría de las celdas solares están hechas de silicio debido a que las primeras aplicaciones fueron en la industria aeroespacial. Cabe mencionar que se están haciendo pruebas con otros materiales para mejorar la eficiencia y disminuir los costos.

2.1.2 Tipo de paneles Fotovoltaicos

Existen diferentes tipos de paneles fotovoltaicos. Dependiendo de su fabricación, será su precio, eficiencia, características eléctricas, color, peso, entre otros.

Silicio monocristalino.- Estos son los que marcaron el inicio de las celdas solares en 1954 ⁽⁴⁾. Se distinguen de los demás por su color azul homogéneo.

Este tipo de paneles son de los mejores, ya que la obtención de energía eléctrica es del 15 al 18% con respecto a la energía que incide en él ⁽⁴⁾. Pero se requiere de un proceso complicado para el crecimiento de monocristales de alta pureza

Silicio Policristalino.- Son menos eficientes que los anteriores, su color es azul en diferentes tonalidades debido a su fabricación. Tienen menor eficiencia, por consiguiente su precio también será menor.

Silicio Amorfo.- Son hechos de una capa muy delgada y de bajo costo que permite crear paneles fotovoltaicos flexibles. Como podemos ver que tendría más aplicaciones y mejor aceptación en los clientes, pero el problema es que la eficiencia que poseen es demasiado baja.

En la figura 9 se pueden los diferentes tipos de paneles fotovoltaicos.

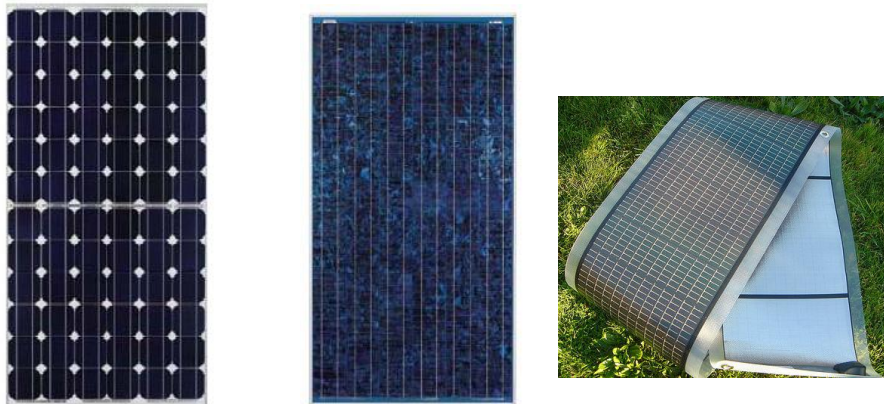


Figura 9. Tipos de paneles fotovoltaicos

2.1.3 Determinación de potencia a partir de curvas V vs I.

Para poder determinar la potencia total de un panel se deben tomar en cuenta los siguientes conceptos:

- Corriente de corto circuito
- Voltaje circuito abierto
- Potencia

La corriente de corto circuito (I_{SC}) es proporcional a la radiación solar a través de un amplio rango como se puede ver en la figura 10.

El voltaje en circuito abierto corresponde al voltaje a través del diodo interno, cuando la fotocorriente total generada fluye por este.

Como se puede ver en la figura 10 el voltaje aumenta rápidamente con un poco de radiación, y llega a un punto de saturación.

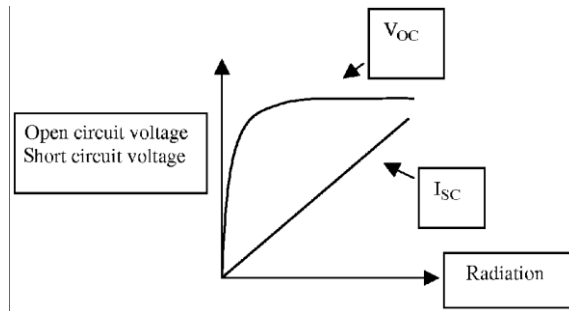


Figura 10. I_{sc} y V_{oc} como función de la intensidad de la radiación ⁽²⁾

La potencia es el producto del voltaje con la corriente. La curva de potencia se obtiene de multiplicar los valores anteriores punto por punto y quedaría como se muestra en la figura 11.

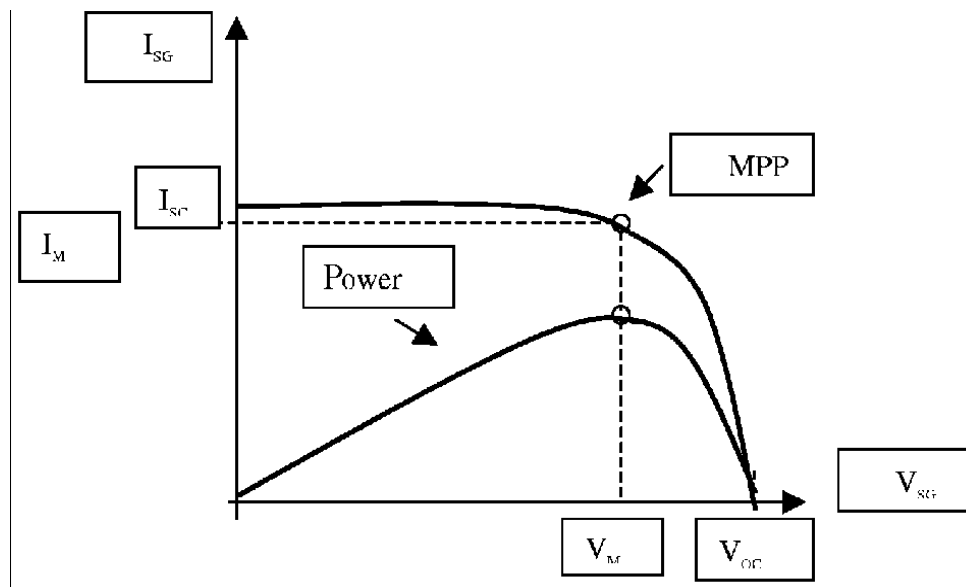


Figura 11 . Curva de potencia y punto de máxima potencia ⁽²⁾

Como se puede observar en las figuras 11 y 12, el punto de máxima potencia (MPP) no se obtiene cuando hay mucho voltaje, ya que se observa en una parte que cuando el voltaje aumenta, la corriente disminuye. De la misma forma se ve que tampoco se tiene cuando la corriente es la máxima, ya que cuando el voltaje es bajo, el producto de ambos valores será cercano a cero.

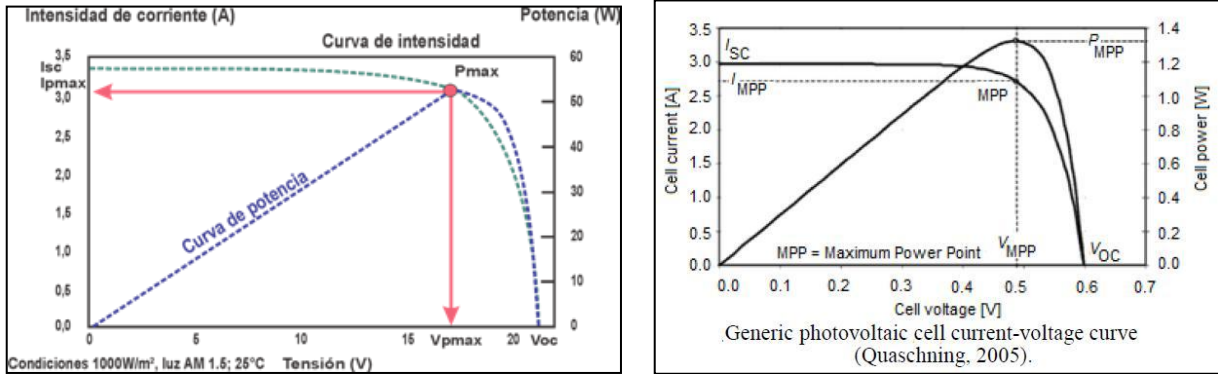


Figura 12. Curvas de voltaje contra corriente

2.1.4 Eficiencia

La relación entre la energía eléctrica de salida con respecto a la radiación solar recibida es definida como valor de eficiencia ⁽²⁾

El Sol emite una gran cantidad de radiación solar que llega a la tierra. La eficiencia de los paneles ha ido mejorando conforme pasa el tiempo debido al desarrollo de la tecnología de celdas solares. A pesar de los avances en el desarrollo de nuevas y mejores celdas, todavía es muy poca la energía que se puede convertir en energía eléctrica. Lo anterior lo podemos ver en las especificaciones eléctricas de los paneles solares.

La eficiencia de un panel solar normal, es de alrededor del 14 %, esta eficiencia depende del fabricante. Algo que está en contra de la eficiencia es el precio. Mientras más eficiente sea un panel o celda, más caro será su costo de producción.

2.1.5 Factor llenado

El Factor de llenado (Fill Factor FF) es esencialmente una medida de calidad de la celda solar. Éste se calcula comparando la potencia máxima (P_{MAX}) con la potencia teórica (P_T) que podría ser generada si la celda puede simultáneamente generar la tensión en circuito abierto y corriente de corto circuito.

Para calcular el FF recurrimos a la siguiente fórmula $FF = \frac{P_{Max}}{P_T} = \frac{I_{MP} * V_{MP}}{I_{SC} * V_{OC}}$

2.2 ACUMULADORES

Las baterías son otra parte importante para los sistemas aislados. Éstas nos sirven para acumular la energía eléctrica producida por el panel fotovoltaico durante el día y que va a ser utilizada cuando no tengamos la presencia del Sol.

Actualmente existen diferentes tipos de baterías en el mercado entre las cuales podemos encontrar de plomo-ácido, níquel-cadmio, iones de litio, alcalinas de manganeso, etc.

Es importante señalar que las baterías que se utilizan para aplicaciones fotovoltaicas, son las conocidas como de “ciclo profundo”, ya que éstas pueden soportar descargas grandes a comparación de una batería automotriz. En la figura 13 se muestran algunos modelos de baterías para aplicaciones fotovoltaicas.



Figura 13. Baterías de ciclo profundo

Para poder elegir una batería debemos tener en consideración algunos aspectos importantes, los cuales se mencionarán a continuación.

- Capacidad
- Profundidad de descarga
- Mantenimiento

La capacidad de la batería es la máxima cantidad de energía que puede ser extraída de la misma sin que caiga por debajo de un valor determinado ⁽⁵⁾, la cual está determinada por los A-h (Amperes-hora)

La profundidad de descarga se refiere al porcentaje de la capacidad nominal que se utiliza de la batería. Recordemos que no cualquier batería puede soportar descargas profundas, en caso de que llegue a suceder eso, se acortará el tiempo de vida de la misma. Normalmente la profundidad de descarga para una batería debe ser del 80%.⁽⁵⁾

En lo que se refiere al mantenimiento, éste es muy variado dependiendo del tipo de batería, existen baterías a las cuales se les tiene que agregar agua cada determinado tiempo, por lo regular cada 6 meses; otro tipo son las selladas o también conocidas como libres de mantenimiento.

2.3 CONTROLADOR DE CARGA

Este dispositivo es muy importante para mantener la vida útil de las baterías, ya que cuando sufren sobrecargas o descargas fuera de los límites permitidos se reduce el tiempo de vida.

Los reguladores de voltaje de baterías, también conocidos como controladores de carga, se necesitan en sistemas fotovoltaicos para proteger las baterías mediante la limitación de niveles de descarga o sobrecarga. Roberts, 1991; Preiser, 2003; Schmid & Schmidt, 2003; von Aichberger, 2004 ⁽⁵⁾

Existen diferentes tipos de controladores de carga, por consiguiente van a tener variaciones en sus precios. Un controlador de carga sencillo es aquel que se limitará a que la batería no tenga una sobrecarga de energía o se descargue más de lo debido. Los datos a tomar en cuenta para elegir un controlador adecuado son: LVD (Low Voltage Disconnect, Desconexión por Bajo Voltaje). Y el otro sería el

VR(Voltage Regulation, Regulación de Voltaje). El primero no permite que se descargue de un nivel mínimo y el segundo es el que no permitirá que se le siga inyectando corriente a la batería.

En la figura 14 se muestran algunos tipos de controladores de carga



Figura 14. Controladores de carga

En el mercado también podemos encontrar otros controladores que, aparte de proteger la batería, pueden encender y apagar las cargas dependiendo de la programación que el usuario haga.

2.4 INVERSORES

Como se ha visto anteriormente, las baterías y los paneles Fotovoltaicos nos dan corriente directa (DC). En muchos casos es necesario alimentar aparatos de corriente alterna (AC). Para esto, necesitamos conectar un inversor, el cual va a convertir la DC en AC y al mismo tiempo convertir los 12, 24 o 48 V_{DC} a 120 o 240V_{AC}.

Existen prácticamente 2 tipos de aplicaciones de los inversores. Los que van conectados a la red y los que van a sistemas aislados. En este trabajo se utilizará un inversor para sistemas aislados. En la figura 15 se ven los dos tipos de inversores



a) Sistemas aislados

b) Sistemas interconectados

Figura 15. Inversores

Muchos de los inversores tienen eficiencias entre 80 y 85% con cargas en el rango de 25 -100% de la potencia del inversor, pero las eficiencias pueden ser mucho menores para cargas pequeñas. ⁽⁵⁾

Para lo anterior, es recomendable no sobredimensionar la capacidad del inversor, ya que esto traería como consecuencia que no se aproveche de manera correcta al mismo.

Aparte de la eficiencia, se deben tomar otros dos aspectos adicionales, que son, la forma de onda y el consumo de energía en espera ⁽⁵⁾

En lo que se refiere a la forma de onda, ésta debe ser de forma senoidal como la que nos proporciona la CFE. El problema de tener una señal de ese tipo es que el dispositivo sería demasiado caro y por consiguiente, menos accesible. Pero podemos encontrar a la venta pequeños inversores que nos dan señales aproximadas a la senoidal como son las ondas cuadradas, y que nos sirven para la mayoría de las aplicaciones. Cabe mencionar que existen dispositivos de AC que necesitan la señal senoidal pura, por lo que se debe utilizar un inversor con esas características.

Con respecto al consumo de energía en espera, los inversores aunque no estén en uso estarán consumiendo energía de la batería, por lo que es necesario que vengan con este control de descarga. ⁽⁵⁾

A continuación se mencionarán algunos requisitos que deben cumplir los inversores:

(5)

- Amplio rango de voltaje de entrada
- Forma de onda muy cercana a la senoidal
- Control en el voltaje de salida ($\pm 8\%$) y de frecuencia ($\pm 2\%$)
- Alta eficiencia para cargas bajas (mayor al 90% con una carga del 10%)
- Tolerancia a breves sobrecargas, particularmente al arranque de motores
- Buen funcionamiento con cargas reactivas
- Tolerancia a cargas que utilizan rectificación de media onda
- Tolerancia a corto-circuitos

CAPÍTULO 3. COLECTORES SOLARES

3.1 TRANSFERENCIA DE CALOR

Si un cuerpo caliente se pone en contacto con otro frío la experiencia nos dice que el primero se enfría y el segundo se calienta hasta que ambos igualan sus temperaturas. Esto es debido a una transferencia de energía del cuerpo caliente al frío.

Esta energía, transferida a través de las paredes o límites de un sistema, en virtud de una diferencia de temperaturas, constituye el calor. Es decir, el calor es un fenómeno transitorio. Si consideramos el cuerpo caliente como un sistema y el frío como otro, se llega a la conclusión de que originalmente ni uno ni otro contienen calor (pero sí energía). Al poner ambos sistemas en comunicación térmica el calor se transfiere del primero al segundo hasta que se establece el equilibrio de temperatura. Ninguno de los sistemas contiene calor al final del proceso.

Existen tres formas distintas según las cuales el calor puede pasar de un cuerpo a otro: *conducción*, *convección* y *radiación*. La *conducción* acontece mediante el contacto entre los cuerpos. La *convección* depende del movimiento de una masa de una región del espacio a otra. La *radiación* es transferencia de calor por radiación electromagnética, como la luz del Sol, sin la presencia de materia sólida, líquida o gaseosa en el espacio entre los cuerpos.

3.1.1 Conducción.

En los sólidos, la única forma de transferencia de calor es la conducción. Si se calienta el extremo de una varilla metálica, ver figura 16, ahí aumenta su temperatura, el calor se transmite hasta el extremo más frío por conducción. La *conducción* es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de sus

interacciones. La conducción puede suceder en sólidos, líquidos o gases, en estos dos últimos la conducción se debe a las colisiones de las moléculas durante su movimiento aleatorio, mientras que en los sólidos se debe a la combinación de la vibración de las moléculas en una red y el transporte de energía de los electrones libres. Esta teoría explica por qué los buenos conductores eléctricos tienden también a ser buenos conductores del calor. Joseph Fourier dio una expresión matemática a manera de explicación y que hoy se conoce como ley de Fourier de la conducción del calor. Esta ley afirma que la velocidad de conducción de calor a través de un cuerpo por unidad de área transversal A, es proporcional al gradiente de temperatura que existe en el cuerpo (con el signo cambiado).

Para un flujo unidimensional la expresión matemática respectiva es:

$$\dot{Q}_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad (7)$$

dónde:

\dot{Q}_x es la velocidad del calor que atraviesa el área A en la dirección perpendicular x;

k es una constante de proporcionalidad llamada conductividad térmica del material, que es una medida de la capacidad del material para conducir calor.

T es la temperatura.

El signo menos es consecuencia de que la energía fluye en la dirección de las temperaturas decrecientes.

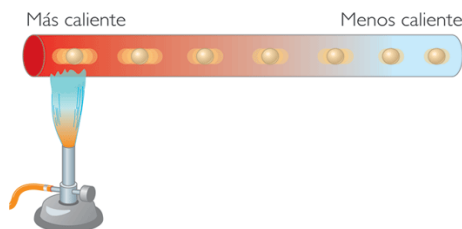


Figura 16. Transferencia del calor por conducción.

Los materiales como el oro, la plata o el cobre tienen conductividades térmicas elevadas y conducen bien el calor, mientras que materiales como el vidrio o la porcelana tienen conductividades menores; conducen muy mal el calor, y se conocen como aislantes. En ingeniería es útil conocer la velocidad de conducción del calor a través de un sólido en el que se tiene una diferencia de temperatura conocida.

3.1.2 Convección.

Dada una diferencia de temperatura en el seno de un líquido o un gas, con mucha probabilidad se producirá un movimiento del fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección. El movimiento del fluido puede ser natural o forzado. Si se calienta un líquido o un gas, su densidad suele disminuir. Si el líquido o gas se encuentra en el campo gravitatorio, el fluido más caliente y menos denso asciende, mientras que el fluido más frío y más denso desciende. Este tipo de movimiento, debido exclusivamente a la no uniformidad de la temperatura del fluido, se denomina convección natural. La convección forzada se logra sometiendo el fluido a un gradiente de presiones, con lo que se fuerza su movimiento de acuerdo a las leyes de la mecánica de fluidos.

Supongamos, por ejemplo, que calentamos desde abajo una cacerola llena de agua. El líquido más próximo al fondo se calienta por el calor que se ha transmitido por conducción a través de la cacerola. Al expandirse, su densidad disminuye y como resultado de ello el agua caliente asciende y parte del fluido más frío baja hacia el fondo, con lo que se inicia un movimiento de circulación. El líquido más frío vuelve a calentarse por conducción, mientras que el líquido más caliente situado arriba transmite parte de su calor por radiación al aire situado por encima. De forma similar, en una cámara vertical llena de gas, como la cámara de aire situada entre los dos paneles solares de una ventana con doble vidrio, el aire situado junto al panel exterior —que está más frío— desciende, mientras que al aire cercano al panel interior —más caliente— asciende, lo que produce un movimiento de circulación.

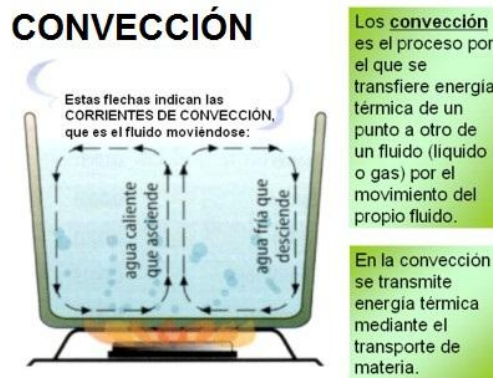


Figura 17. Transferencia del calor por convección.

El calentamiento de una habitación mediante un radiador, ubicado en el suelo, no depende tanto de la radiación como de las corrientes naturales de convección, que hacen que el aire caliente suba hacia el techo y el aire frío del resto de la habitación se dirija hacia el radiador. Debido a que el aire caliente tiende a subir y el aire frío a bajar, es recomendable que los radiadores se coloquen cerca del suelo (y los aparatos de aire acondicionado cerca del techo) para que la eficiencia sea máxima. La convección es lo que propicia el movimiento de las grandes masas de aire sobre la superficie terrestre, la acción de los vientos, la formación de nubes, las corrientes oceánicas y la transferencia de calor desde el interior del Sol hasta su superficie.

3.1.3 Radiación.

La radiación presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección: las sustancias que intercambian calor por este procedimiento no requieren la presencia de un medio, sino que pueden estar separadas por un vacío. La radiación es un término que se aplica genéricamente a toda clase de fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas. Algunos fenómenos de la radiación pueden describirse mediante la teoría de ondas, pero la única explicación general satisfactoria de la radiación electromagnética es la teoría cuántica. En 1900 el físico alemán Max Planck empleó la teoría cuántica y el formalismo matemático de la mecánica estadística para obtener una ley de la radiación. La expresión matemática

de esta ley, llamada distribución de Planck, relaciona la intensidad de la energía radiante que emite un cuerpo en una longitud de onda determinada con la temperatura del cuerpo. Para cada temperatura y cada longitud de onda existe un máximo de energía radiante. Sólo un cuerpo ideal (cuerpo negro) emite radiación ajustándose exactamente a la ley de Planck. Los cuerpos reales emiten con una intensidad algo menor.



Fig. 18 Transferencia del calor por Radiación.

Las superficies sólidas, los líquidos y gases emiten, absorben y transmiten radiación térmica en grados diferentes. La velocidad a la que la energía es emitida, $\dot{Q}_{emitida}$, desde un sistema con áreas superficial A , se calcula mediante la ley de *Stefan-Boltzmann*

$$\dot{Q}_{emitida} = \epsilon \sigma A T^4 \quad (8)$$

donde T es la temperatura absoluta en la superficie, ϵ es la emisividad, la cual es una propiedad de la superficie que indica la eficiencia con que radia la superficie ($0 \leq \epsilon \leq 1$), y σ es la constante de Stefan-Boltzmann cuyo valor se considera $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$. En general, la velocidad *net*a de transferencia de energía mediante la radiación térmica entre dos superficies implica relaciones complicadas entre las propiedades de dichas superficies, sus orientaciones relativas, el grado en que el medio que interviene dispersa, emite y absorbe radiación térmica, así como otros factores.

El factor de proporcionalidad σ se denomina constante de Stefan- Boltzmann en honor a los físicos austriacos, Joseph Stefan y Ludwig Boltzmann que, en 1879 y 1884 respectivamente, descubrieron esta proporcionalidad entre el cuerpo emisor y la temperatura. Según la ley de Planck, todas las sustancias emiten energía radiante por el simple hecho de tener una temperatura superior al cero absoluto. Cuanto mayor es la temperatura, mayor es la cantidad de energía emitida. Además de emitir radiación, todas las sustancias son capaces de absorberla. Por eso, aunque un cubito de hielo emite energía radiante de forma continua, se funde si se ilumina con una lámpara incandescente porque absorbe una cantidad de calor mayor de la que emite.

Las superficies opacas pueden absorber o reflejar la radiación incidente. Generalmente, las superficies mates y rugosas absorben más calor que las superficies brillantes y pulidas, y las superficies brillantes reflejan más energía radiante que las superficies mates. Además, las sustancias que absorben mucha radiación también son buenos emisores; las que reflejan mucha radiación y absorben poco son malos emisores. Por eso, los utensilios de cocina suelen tener fondos mates para una buena absorción y paredes pulidas para una emisión mínima, con lo que maximizan la transferencia total de calor al contenido de la cazuela.

Algunas sustancias, entre ellas muchos gases y el vidrio, son capaces de transmitir grandes cantidades de radiación. Se observa experimentalmente que las propiedades de absorción, reflexión y transmisión de una sustancia dependen de la longitud de onda de la radiación incidente. El vidrio, por ejemplo, transmite grandes cantidades de radiación ultravioleta, de baja longitud de onda, pero es un mal transmisor de los rayos infrarrojos, de alta longitud de onda. Una consecuencia de la distribución de Planck es que la longitud de onda a la que un cuerpo emite la cantidad máxima de energía radiante disminuye con la temperatura. Este hecho, junto con las propiedades de transmisión del vidrio antes mencionadas, explica el calentamiento de los invernaderos. La energía radiante del Sol, máxima en las

longitudes de onda visibles, se transmite a través del vidrio y entra en el invernadero. En cambio, la energía emitida por los cuerpos del interior del invernadero, predominantemente de longitudes de ondas mayores, correspondientes al infrarrojo, no se transmiten al exterior a través del vidrio. Así, aunque la temperatura del aire en el exterior del invernadero sea baja, la temperatura que hay dentro es mucho más alta porque se produce una considerable transferencia de calor neta hacia su interior (efecto invernadero).

Además de los procesos de transmisión de calor que aumentan o disminuyen las temperaturas de los cuerpos afectados, la transmisión de calor también puede producir cambios de fase, como la fusión del hielo o la ebullición del agua. En ingeniería, los procesos de transferencia de calor suelen diseñarse de forma que aprovechen estos fenómenos. Por ejemplo, las cápsulas espaciales que regresan a la atmósfera de la Tierra a velocidades muy altas estaban dotadas de un escudo térmico que se funde de forma controlada en un proceso llamado ablación para impedir un sobrecalentamiento del interior de la cápsula. La mayoría del calor producido por el rozamiento con la atmósfera se emplea en fundir el escudo térmico y no en aumentar la temperatura de la cápsula.

3.2 COLECTORES SOLARES

3.2.1 Definición y descripción

Los colectores solares son dispositivos diseñados para interceptar, absorber, y transferir la radiación solar a un fluido de trabajo (agua, aceite, etc.) transformándola en energía térmica utilizable.

Los colectores solares se clasifican por el rango de temperatura a la que trabajan en:

- Colectores de *baja temperatura*. El fluido de trabajo alcanza entre 50 y 80 °C de temperatura. Básicamente se les utiliza para desarrollar funciones del ámbito doméstico, por ejemplo agua para el aseo del hogar, la calefacción,

calentamiento de albercas, y en la industria, entre otras, en el lavado textil y acondicionar el aire del ambiente.

- Colectores de *mediana temperatura*. Estos trabajan típicamente entre los intervalos de temperaturas de 90 a 250 °C. Para lograr estos intervalos de valores la configuración estructural de los colectores va de la forma plana a los concentradores parabólicos.
- Colectores de *alta temperatura*. El arreglo geométrico espacial de estos concentradores (parabólico, cilindro parabólico, plato parabólico) les permite trabajar a temperaturas entre 300 °C, y más elevadas que 3000 °C. Debido a estas altas temperaturas logradas la energía térmica se aprovecha transformándola en energía eléctrica.

3.3 COLECTORES SOLARES DE PLACA PLANA

En la diversidad de colectores solares, están los solares planos. Consta de una placa absorbente o captadora con un recubrimiento negro mate, una o varias cubiertas transparentes, un gabinete y un aislante térmico o carcasa (Fig. 19).

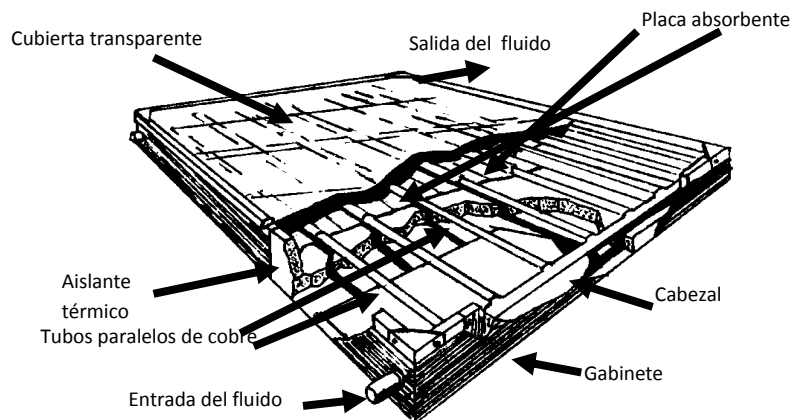


Fig. 19 Partes básicas de un colector solar plano

El colector de placa plana se aíslan térmicamente en el fondo y en los lados para disminuir las pérdidas por conducción calorífica. La parte superior del colector se cubre a cierta distancia con una o varias cubiertas transparentes de vidrio o de

plástico, cuya finalidad es la de producir el efecto invernadero y a su vez reducir pérdidas por convección con el aire ambiente y por radiación, al absorber y regresar la radiación infrarroja, emitida por la placa colectora.

Como los colectores planos comúnmente están fijos, aprovechan la radiación la proveniente directamente del sol (radiación directa) y la que ha sido reflejada y dispersada por la atmósfera y nubes (radiación difusa).

La gama de temperaturas de operación de los colectores solares planos fluctúa entre los 35 °C a 100 °C y tiene aplicaciones en los sectores: residencial, calefacción de edificios, comercial e industrial.

La placa absorbente intercepta, absorbe, transfiere y transforma la radiación solar en calor. Para que opere a temperaturas superiores a 35 °C generalmente se construye de metales como cobre, aluminio, acero y para temperaturas menores a 35 °C se utilizan plásticos. Esto debido a su baja o alta conductividad térmica. Así el Cu tiene una conductividad de 385 W/K·m, el Al de 211 W/K·m, en contraste el PVC tiene 0.147 W/K·m, el Polipropileno de 0.138 W/K·m.

Las placas absorbentes metálicas se recubren de una superficie con una alta absorción de la energía solar como pinturas negro mate y cuando se requieren temperaturas superiores a 60 °C se emplean superficies selectivas y que así mismo tienen una baja emisión de la radiación infrarroja. Las pinturas son más económicas que un tratamiento selectivo.

Así tenemos que al cubrir el cobre con cromo negro su absorción $\alpha = 0.92$ y su emisividad $\epsilon = 0.12$, en el caso de bióxido de manganeso (MnO_2) sobre acero inoxidable su $\alpha = 0.85$ y su emisividad $\epsilon = 0.20$ o la pintura negro mate le corresponde $\alpha = 0.92$ y su emisividad $\epsilon = 0.90$. Debido a los valores muy próximos entre los coeficientes de emisión y el de absorción no se recomiendan estas pinturas si se buscan alcanzar altas temperaturas.

En uno de los modelos de colector a la placa captadora metálica se le dotan unas aletas de aluminio a los tubos de cobre.

Para la tubería de los colectores a través de los cuales se conduce el líquido de trabajo el cobre es el material más utilizado, el cual va unido a la placa absorbente.

La cubierta transparente tiene la función de reducir las pérdidas por convección (efecto invernadero) y radiación, así mismo asegurar no existan fugas del colector al agua y al aire en unión con la carcasa y las juntas. Así mismo debe tener la propiedad de permitir pasar al máximo la radiación de onda corta que llegará a la placa captadora y ser opaca a la longitud de onda larga para retener radiación en el interior. La tabla 2 nos muestra los materiales más usados comúnmente y sus propiedades claves.

Propiedad	Fluoruro de polivinil	Polietileno	Policarbonato	Resina poliéster con fibra de vidrio	Metil metacrilato	Etileno-propileno fluorinado	Cristal lima flotado (0.10-0.13 % hierro)	Cristal lima (0.05-0.06 % hierro)
Transmisión solar, %	92-94	85	82-89	77-90	89	97	85	87
Temperatura máxima de operación, °C	110	70	120-135	95	85-90	120	210	210
Coefficiente de expansión térmico m/(m,°C)x10	43	27	68	32-40	74	15-19	8.9	9
Espesor, mm	0.1	0.025	3.2	1.0	3.2	0.051	3.2 a 4	3.2 a 4
Duración, años	En 5 años retiene el 95% de la transmisión total	1	2- 4	1-3	----	----	----	-----

Tabla. 2. Propiedades de los materiales de una cubierta transparente

Luego entonces las características térmicas que especifican el material y propiedades de la cubierta son: a) alto coeficiente de transmisión de la radiación

solar entre las longitudes 0.3 a 3 μm , a lo largo de los años, b) bajo coeficiente de transmisión para las ondas largas, mayores a 3 μm , c) bajo coeficiente de conductividad térmica, disminuyendo el flujo de calor del interior al exterior.

Por otro lado, como la cara interior de la cubierta estará a una temperatura mayor respecto a la exterior, por efecto de dilatación puede romperse o deformarse, de ahí que la cubierta transparente debe tener un coeficiente de dilatación pequeño.

La porción de radiación solar que ha penetrado la cubierta, una parte es absorbida y otra reflejada, a fin de obtener mayor rendimiento se requiere que la cubierta tenga un alto coeficiente de reflexión para la longitud de onda larga de la radiación emitida por la placa captadora, a fin de que esta retorne a la placa.

Los materiales más utilizados son a) el vidrio transparente a la radiación menor a 3 μm y opaco a radiaciones superiores, b) plásticos de baja densidad, malos conductores térmicos, resistencia a temperaturas elevadas y resistencia al deterioro por agentes externos como granizo y degradación por efectos solares.

El aislante tiene la función de reducir las pérdidas por conducción por los bordes y el lado inferior del colector, la fibra de vidrio es uno de los materiales más usado para estos fines. Por ejemplo el poliestireno a 95 $^{\circ}\text{C}$ tiene una conductividad térmica de 0.035 $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$, el poliuretano su conductividad es 0.029 a 95 $^{\circ}\text{C}$, el aire la tiene de 0.025, a la temperatura mencionada. Se construyen de fibra de vidrio, espuma rígida de poliuretano y poliestireno expandido.

Algunas características del aislante son: a) resistencia al deterioro por las altas temperaturas, b) no degradarse por el envejecimiento u otro fenómeno a la temperatura de trabajo, c) soportar la humedad que se pueda producir en el interior de los paneles sin perder sus cualidades.

El gabinete o carcasa es el que integra todos los componentes, aísla térmicamente, evita el polvo y la humedad del ambiente. Los materiales que más se emplean en él son el acero inoxidable, lámina galvanizada y fibra de vidrio con resina poliéster.

Debe ser: a) de rigidez y resistencia estructural como para soportar la presión del viento, b) resistencia a los elementos corrosivos de la atmósfera y la inestabilidad química por las inclemencias del tiempo, c) suficiente aireación a fin de no presentarse la condensación del agua en el interior del colector, d) facilidad en el desmontaje de la cubierta para poder tener facilidad de acceso a la placa captadora.

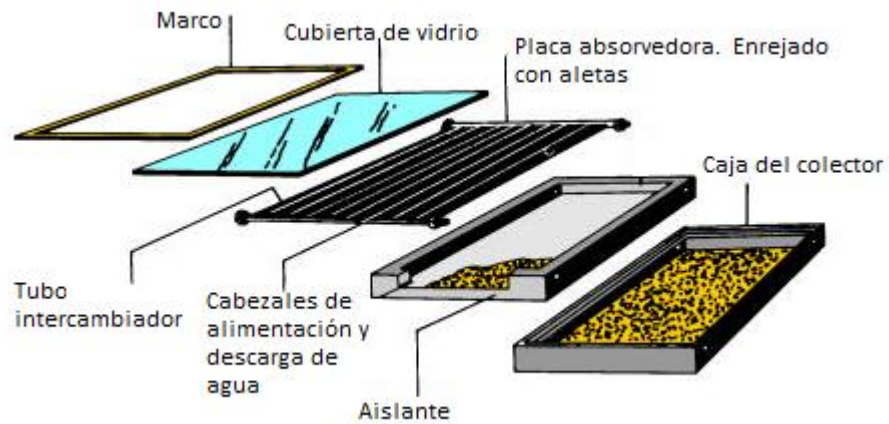


Fig. 20 Componentes del colector solar plano

CAPÍTULO 4. DESARROLLO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICO Y FOTOTÉRMICO.

4.1 PARTES FÍSICAS DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO.

El módulo fotovoltaico nos servirá para la realización de prácticas en la carrera de TSU en energías Renovables, la Ingeniería en Energías Renovables y TSU en Mecatrónica área Instalaciones Eléctricas Eficientes. Este módulo consta de un panel fotovoltaico, un controlador de carga, un inversor, una batería, una sección para cargas en CD y otra sección para cargas en CA.

Se cuenta con 2 paneles de diferentes potencias, uno es de 65W y el otro de 15W. Se compararán los datos que vienen en la hoja de especificaciones del fabricante, los de la placa del panel y mediciones obtenidas durante el día y ver la diferencia que hay entre los datos.

Las variables a medir en el panel FV son Intensidad de corriente eléctrica en corto circuito (I_{SC}) y Tensión en circuito abierto (V_{OC})

Los datos del fabricante de los paneles fotovoltaicos son los siguientes:

	Panel 65 Watts (S01PC-65)	
	STC	NOCT
I_{SC}	4.2A	3.40A
V_{OC}	21.5V	19.7V
I_{MPP}	3.71A	3.05A
V_{MPP}	17.5V	15.5V
P_{max}	65W	47.3W
Eficiencia	11.93%	

	Panel 15 Watts (S01PC-15)	
	STC	NOCT
I_{SC}	0.91A	0.74A
V_{OC}	22V	20.2V
I_{MPP}	0.85A	0.67A
V_{MPP}	17.7V	16.3V
P_{max}	15W	10.9W
Eficiencia	10.78%	

En la figura 21 se muestran los paneles que se utilizarán en el laboratorio



Figura 21. Paneles fotovoltaicos de 15 watts y 65 watts

En la figura se muestran las baterías que se utilizarán para desarrollar las prácticas una es pequeña con capacidad de 26 A-h @ 12V y la otra es más grande que tiene una capacidad de 115 A-h @ 12V .



Figura 22. Baterías de 26 A-h y 115 A-h @ 12Volts

Se cuenta con 1 inversor de 400W con entrada de 12 V_{CD} y a la salida 120V_{CA} el cual se muestra en la figura 23.



Figura 23. Inversor de voltaje de 400 watts

El controlador es un Phocos CX-10. La característica de este controlador es que se puede programar para el encendido y apagado de forma automática, independientemente del control de la carga de la o las baterías.



Figura 24. Controlador de carga programable

4.1.1 Etapa de construcción.

El módulo de prácticas está formado por una pieza de acrílico gruesa la cual se perforó para colocar algunos de los dispositivos que lo conforman. En la figura 25 podemos ver algunas de las perforaciones, En la parte izquierda se colocarán las cargas de CA y al lado derecho las de CD.



Figura 25. Espacios para las cargas

Como se mencionó anteriormente, el lado derecho es para las cargas en CA, en la figura 26 se puede ver el inversor al cual se le conectarán las cargas correspondientes que pueden ser focos incandescentes o ahorradores.



Figura 26 Sección de cargas de C.A.

En las imágenes de la figura 27 se pueden ver los apagadores y contactos que se alimentarán del inversor. En la figura de la derecha, se ve un pequeño switch que servirá como interruptor general.



Figura 27 Apagadores y contactos para cargas de CA.

En la siguiente figura vemos la sección del lado derecho del panel, la cual es para cargas de CD. Podemos ver dos focos con 3LED's y un soquet en el cual se colocará una lámpara fluorescente pero de corriente directa. Se ve junto a las lámparas de LED el controlador de carga programable.

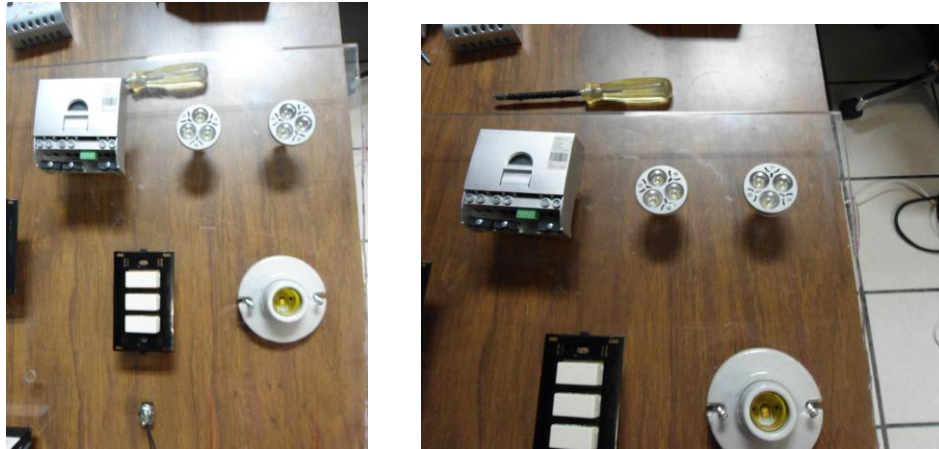


Figura 28. Cargas y apagadores de CD.

Igual que la parte de cargas de corriente alterna, ésta tendrá un apagador general como se ve en la figura 29



Figura 29. Switch general de cargas de CD.

En la figura 30 se muestra el módulo casi terminado. En la foto de la derecha se puede ver del lado izquierdo la sección para corriente alterna que está formada por 3 soquets, 3 apagadores, el inversor y un par de contactos para conectar otros dispositivos de CA.

En la parte superior central se ve el controlador de carga programable, a la derecha del controlador se ven 2 lámparas de LED de CD, un soquet para una foco fluorescente de CD, sus respectivos apagadores



Figura 30. Módulo fotovoltaico para CA y CD

En la figura 31 podemos ver el módulo de prácticas terminado.



Figura 31. Módulo de prácticas fotovoltaico terminado

4.2 PARTES FÍSICAS DEL MÓDULO FOTOTÉRMICO

4.2.1 Partes físicas del Calentador Solar de Placas Planas

El proveedor de calentadores de placas planas marca AXOL menciona que su producto está constituido principalmente de una placa colectora, un termotanque, base o soporte, tuberías y conexiones

Conforme a los datos proporcionados por la empresa PICAMZA, proveedora del equipo que adquirió la Universidad Tecnológica de Puebla, la placa colectora de la figura 32 está fundamentalmente constituida de a) *una cubierta de vidrio* templado de 4 mm de espesor, largo de 1.9 m y 1.0 m de ancho, con tratamiento antirreflectante y bajo contenido en hierro. El fabricante garantiza que con el templado del vidrio aumenta su resistencia a impactos de una esfera de masa 150 g (25 mm de diámetro) desde una altura de 1 m, previniendo con ello los posibles impactos de granizo e impactos pesados. Tiene un coeficiente de transmisión de 91%; b) *una placa absorbadora o captadora* de cobre con superficie bluesputtering soldada por alta frecuencia con 95% de absorción y sólo 5% de pérdidas. Está cubierta de negro mate para mejorar la eficiencia de la superficie absorbente de la placa. c) consta también de un *aislamiento térmico*, situado debajo de la placa absorbente, en el fondo del colector y en las partes laterales. Está elaborado de 25 mm de espuma de poliuretano y 9.89 mm de unicel. d) Una parte centrales del CSPP son los tubos del enrejado. Son de cobre y su diametro externo es de 6.1 mm, la separación entre los tubos es de 4.8 mm y su longitud de 1410 mm. e) Otra componente central de la placa colectora es *el gabinete o carcasa*, que integra, aislar y proteger del medio ambiente a los componentes antes mencionados. Está elaborada de aluminio, sus dimensiones son 2.0 m de largo, 1.1 m de ancho y 10.0 cm de profundidad. Tiene una masa de 34 Kg, un área de captación de 1.9 m² y una garantía del equipo de 10 años.

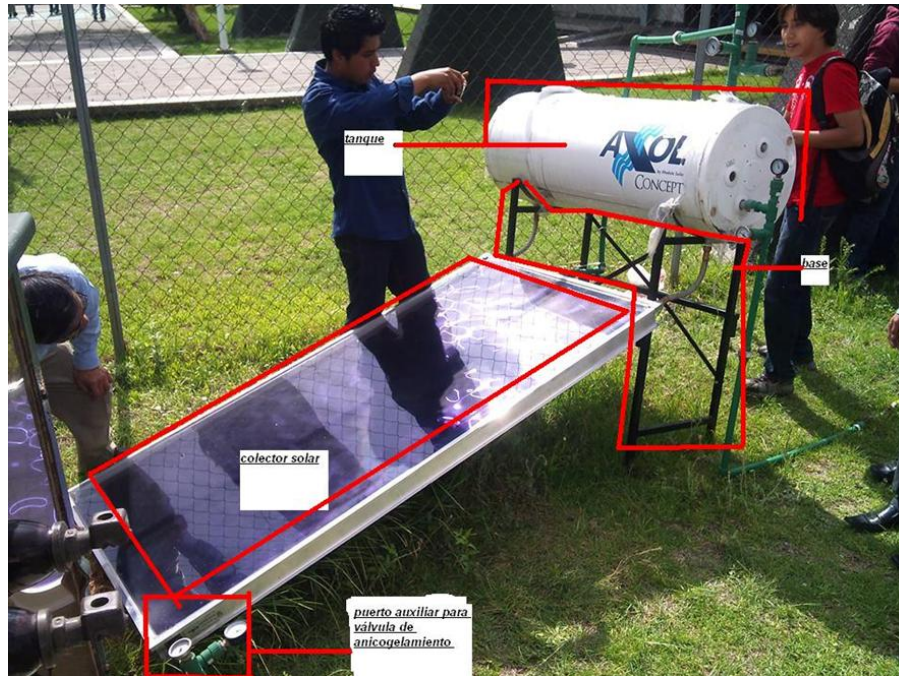


Figura 32. Partes principales del Calentador Solar de Placas Planas

El *termotanque* está conformado por un revestimiento exterior de lámina con pintura blanca esmaltada que le proporciona una gran durabilidad y una terminación atractiva. Su estructura es de acero al carbón para soportar grandes esfuerzos, hasta presiones de 6 Kg/cm^2 (probado a 9 Kg/cm^2). Su diámetro interno es de 406 mm y el externo de 464 mm, su longitud externa es de 1,170 mm, con una capacidad de almacenamiento real de 149.5 litros. Consta de un ánodo de sacrificio de magnesio y 950 mm de longitud que lo protege contra la corrosión. Su material de aislamiento es la espuma de poliuretano y unicelel en tapas. Tiene un recubrimiento interior porcelanizado que lo protege contra la corrosión. Con todo esto el proveedor afirma que al final del día se tiene agua caliente, entre 45 y 75 grados centígrados, almacenada en el termotanque. Se estima que la pérdida media de temperatura durante la noche en el interior del tanque es de entre 3 y 7 grados centígrados, por lo tanto se puede disfrutar de agua caliente almacenada durante la madrugada o por la mañana antes de que vuelva a salir el sol.



Figura 33. Termotanque AXOL

Los *soportes* cuya principal función es soportar el esfuerzo mecánico del termotanque y mantener adecuadamente orientado al colector y con una inclinación fija. Su material es de acero galvanizado para soportar las acciones de la intemperie, de forma tubular cuadrada y de 25 mm de lado. Esta estructura es capaz de soportar esfuerzos mecánicos superiores a $2,000 \text{ N/m}^2$. Su tornillería y accesorios son inoxidable.

Las mangueras o tubería que conecta el colector con el termo tanque son de 22 mm de diámetro, separadas mínimo 10 cm entre la parte superior del colector y la parte baja del termotanque a fin de que no se invierta el efecto de termosifón del termotanque al colector, cuando la temperatura de éste último es menor que la del termotanque.



Figura 34. Mangueras flexibles uniendo placa colectora con termotanque

5. RESULTADOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO Y FOTOTÉRMICO

5.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO

Las condiciones climatológicas para el día 21 de mayo de 2013 en el cual se hicieron las mediciones a partir de las 8:22 hrs; era un día con una temperatura al amanecer de 12°C y como máxima 28°C, parcialmente nublado y con lluvia a las 19 hrs. aproximadamente. Los datos se fueron obteniendo en un lapso de 30 min entre una y otra medición con un multímetro y se colocaron los paneles en forma horizontal sobre el suelo.

Las mediciones se realizaron para el panel de 15W y el de 65W cada 30 minutos. A continuación se muestran los datos obtenidos.

Panel 15W

Hora	Voltaje (Volts)	Corriente (Amperes)	Potencia (Watt)	% de potencia del Fabricante _{máx} vs Real
08:22	19.95	0.24	4.788	31.92
08:52	20.3	0.33	6.699	44.66
09:22	20.3	0.27	5.481	36.54
09:52	19.8	0.42	8.316	55.44
10:22	19.8	0.69	13.662	91.08
10:52	19.4	0.77	14.938	99.59
11:22	19.3	0.73	14.089	93.93
11:52	19.1	0.88	16.808	112.05
12:22	19.1	0.97	18.527	123.51
12:52	19.5	0.92	17.94	119.60
13:22	19.5	0.93	18.135	120.90
13:52	19.7	1.02	20.094	133.96
14:22	19.4	0.8	15.52	103.47
14:52	19.6	0.83	16.268	108.45
15:22	19.55	0.77	15.0535	100.36
15:52	19.48	0.7	13.636	90.91
16:22	19.5	0.58	11.31	75.40
16:52	19.6	0.46	9.016	60.11
17:22	19	0.32	6.08	40.53
17:52	17.9	0.11	1.969	13.13

En la tabla anterior se puede ver que el panel nos entrega más corriente y voltaje a comparación de lo que nos indica el fabricante. Se puede ver que a las 13:52 horas nos está dando el punto máximo de corriente y por consiguiente la potencia máxima. Es importante destacar que la potencia que entrega el panel en ese momento es poco más del 30 % de lo que indica la placa de datos.

En la figura 35 podemos observar como se comporta el voltaje durante el día. Se aprecia que al amanecer está dando un voltaje muy cercano a 20 Volts y más. Conforme va transcurriendo el tiempo se nota que empieza a bajar la tensión. Esto se debe a que aumenta la temperatura y como el panel se colocó sobre el suelo y prácticamente sin inclinación alguna, se elevaba la temperatura considerablemente.

Me parcaté de eso ya que conforme pasaba el tiempo, iba bajando la tensión. Por lo anterior, decidí dejar un pequeño espacio entre el panel y el suelo para que circulara un poco de aire y no se calentara en exceso. Se puede ver en la gráfica un aumento ligero en el voltaje a partir de las 12:52 hrs. Alrededor de las 17:00 hrs. el sol comienza a ocultarse, disminuye la radiación solar y por consiguiente el voltaje.

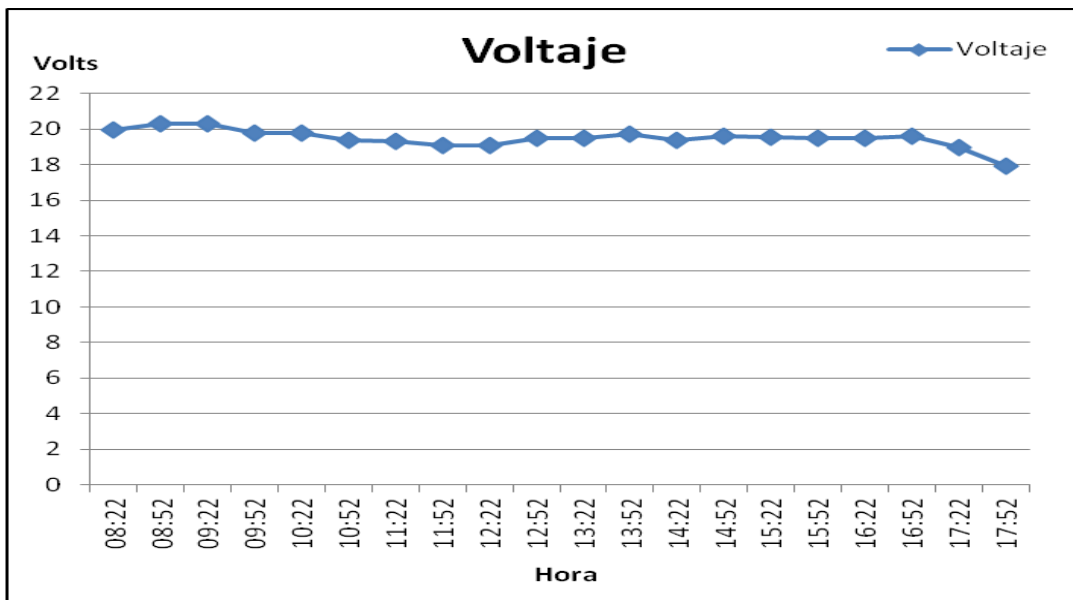


Figura 35. Gráfica de voltaje en panel de 15W

En la figura 36 podemos ver el comportamiento de la corriente eléctrica. En esta gráfica se aprecia como va aumentando la misma conforme transcurre el tiempo. Se notan unas caídas algo pronunciadas en las mediciones que se realizaron, esto se debe a que habían algunas nubes.

También se ve que el panel entrega un rendimiento de aproximadamente 70% con respecto a la potencia total que se realizaron en la práctica a partir de las 10:22 hasta las 15:52 hrs.

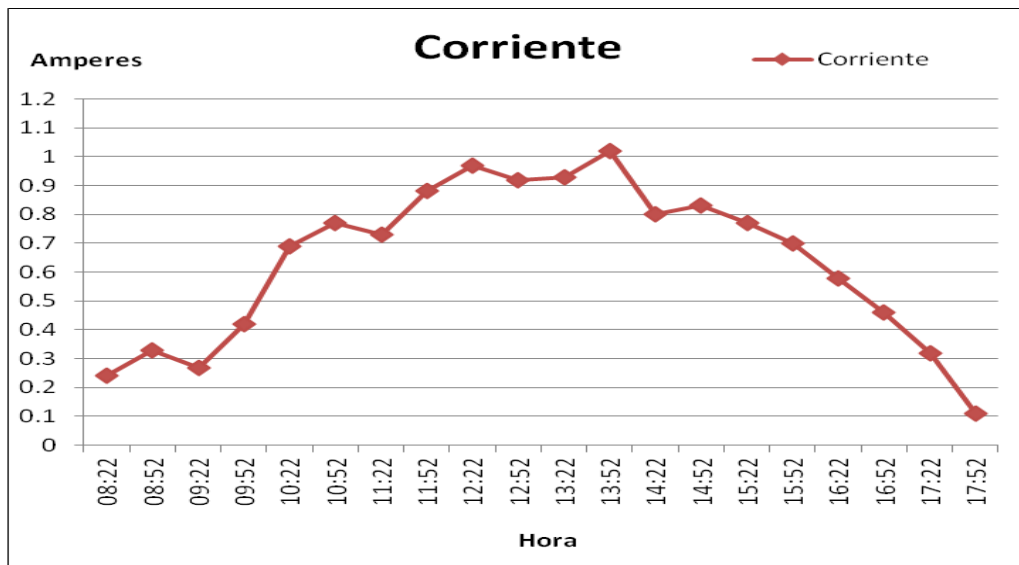


Figura 36. Gráfica de la corriente en panel de 15W

El comportamiento de las gráficas para el panel de 65 watts es muy similar al de 15 watts. En la tabla de datos, se puede observar que también nos da mayor potencia que la anunciada.

En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos para el panel de 65 watts. Las mediciones fueron realizadas el mismo día y prácticamente al mismo tiempo.

Panel 65W

Hora	Voltaje (Volts)	Corriente (Amperes)	Potencia (Watt)	% de potencia del Fabricante _{máx} vs Real
08:22	20.2	1.01	20.402	31.39
08:52	20.6	1.44	29.664	45.64
09:22	20.6	1.37	28.222	43.42
09:52	19.8	1.83	36.234	55.74
10:22	19.8	2.83	56.034	86.21
10:52	19.4	3.18	61.692	94.91
11:22	19.5	3.13	61.035	93.90
11:52	19.2	3.74	71.808	110.47
12:22	19.14	4.08	78.0912	120.14
12:52	19.5	3.97	77.415	119.10
13:22	19.4	4.1	79.54	122.37
13:52	19.7	4.47	88.059	135.48
14:22	19.7	3.08	60.676	93.35
14:52	19.4	3.79	73.526	113.12
15:22	19.6	3.46	67.816	104.33
15:52	19.6	3.3	64.68	99.51
16:22	19.79	2.89	57.1931	87.99
16:52	20	2.15	43	66.15
17:22	19.6	1.42	27.832	42.82
17:52	18.5	0.5	9.25	14.23

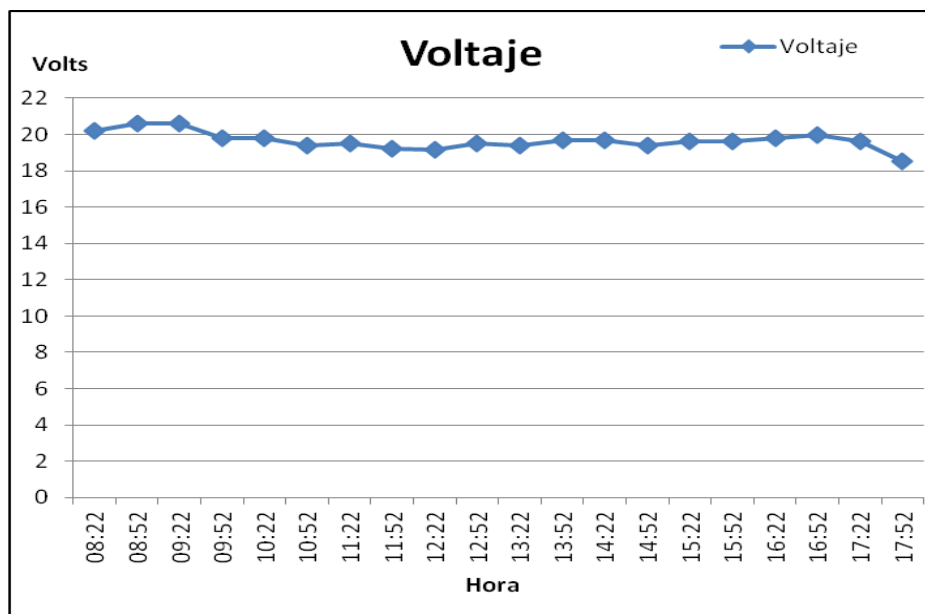


Figura 37. Gráfica de voltaje en panel de 65W

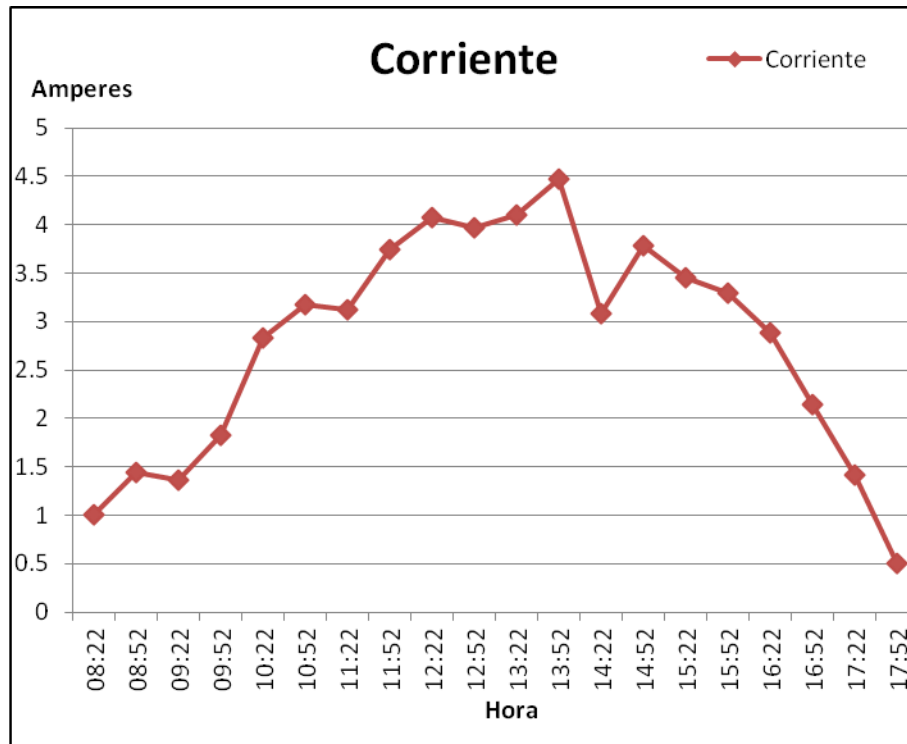


Figura 38. Gráfica de corriente en panel de 65W

En las siguientes tablas se muestran los datos del fabricante para ambos paneles.

Panel de 15 watts

Panel de 65 watts

	STC	NOCT **		STC	NOCT **
I_{sc}	4.20 A	3.40 A	I_{sc}	0.91A	0.74A
V_{oc}	21.5 V	19.7 V	V_{oc}	22V	20.2V
I_{MPP}	3.71 A	3.05 A	I_{MPP}	0.85A	0.67A
V_{MPP}	17.50 V	15.5 A	V_{MPP}	17.7V	16.3V
P_{max}	65 W	47.3 W	P_{max}	15W	10.9W
Eficiencia	11.93 %		Eficiencia	10.78%	

* STC: Condiciones de prueba standard. 1000W/m², 25°C, AM 1.5

** NOCT: Temperatura de operación nominal de la celda. 800W/m², 45±2°C, AM 1.5

5.2 SISTEMA FOTOTÉRMICO

Las mediciones se realizaron en la ciudad de Puebla que se encuentra a una Altitud de 2 175 m, una Latitud de 19.05° y Longitud de -98.06° .

Se realizaron mediciones con las variables temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y hora (h), a lo largo de varios días. De todas éstas se eligieron cinco días, por ser representativas de las condiciones climáticas y ángulos de captación distintos. Para el prototipo experimental (colector solar de placas paralelas CSPP) se le solicitó al proveedor la instalación de dos termómetros, marca METRON de exactitud $\pm 1^{\circ}\text{C}$, en lugar del termómetro único que comúnmente colocan, y con ello medir las variables que se consideraron necesarias para el control del experimento de este trabajo y para más tarde la implementación de prácticas de laboratorio con los alumnos próximos a cursar las asignaturas relacionadas con el tema. Uno de los termómetros fue instalado en el termotanque y el otro en la placa colectora. Un tercer termómetro se utilizó en un tanque o contenedor externo “testigo”, Rotoplas de 1100 litros de capacidad, Figura 39



Figura 39. Tanque o contenedor externo al sistema fototérmico

Las mediciones de este último tanque se utilizaron para compararlas con las del sistema CSPP. Con el propósito de medir la temperatura que va adquiriendo el sistema térmicamente favorecido con otro que únicamente se encuentra a la

intemperie. Los datos medidos se agruparon en tablas de Temperatura y tiempo transcurrido para comparar su evolución.

Las mediciones se realizaron desde las 7:00 de la mañana hasta las 21:00 h, con intervalos de dos horas, en algunos casos, y en otros cada hora. Ya que por las características del colector de placas planas y el lugar donde está instalado, este intervalo fue el óptimo para obtener información confiable en el estudio.

El *ángulo de inclinación* de la placa colectora de esta primera medición se estableció a 19.05° , considerando los grados de la latitud del lugar. En ella tenemos el monitoreo de cuatro temperaturas, desde las 7:00 de la mañana. Se espera que la temperatura que el termotanque registre a esa hora esté en función de la del día anterior, conforme a las especificaciones del fabricante durante la noche, en término medio, su temperatura disminuiría de 4 a 8°C . Las mediciones dejaron de realizarse a las 22:00 h. Mediante estos datos podemos averiguar si la eficiencia que reporta el fabricante es la que señalan y si el sistema es eficiente.

Fecha	Lunes 20 de mayo (humedad relativa 17%)			
hora	T_{ext} (°C)	T_E (°C)	T_T (°C)	T_C (°C)
07:00	6.0	8.5	26.0	10.0
09:00	7.0	22.5	33.5	25.0
10:00	20.0	31.5	35.0	43.5
12:00	23.0	35.0	38.0	46.0
13:00	24.0	35.0	43.5	48.5
14:00	26.0	35.0	45.0	52.0
15:00	26.0	31.5	48.5	57.5
16:00	27.0	32.0	49.0	60.0
17:00	27.0	31.0	50.0	58.5
18:00	26.0	30.0	49.0	53.5
19:00	25.0	29.0	48.0	50.0
20:00	25.0	27.0	48.0	46.5
21:00	24.0	24.0	47.0	42.0
Máx.	27.0	35.0	50.0	60.0
Mín.	6.0	8.5	26.0	10.0

Tabla del lunes 20 de mayo

dónde:

T_{ext} es la temperatura exterior o del medio ambiente del día respectivo,

T_E es la temperatura del tanque testigo, externo al sistema fototérmico,

T_T representa la temperatura del termotanque, y

T_C es la temperatura de la placa colectora.

En los dos últimos renglones de la tabla tenemos la máxima y mínima temperatura de cada una de las cuatro consideradas para este estudio. En el primer renglón se anotó el día que se realizó la medición y la humedad relativa media, proporcionada por la estación meteorológica que existe en la ciudad de Puebla y cuyos reportes se obtiene en la dirección *freemeteo.com*.

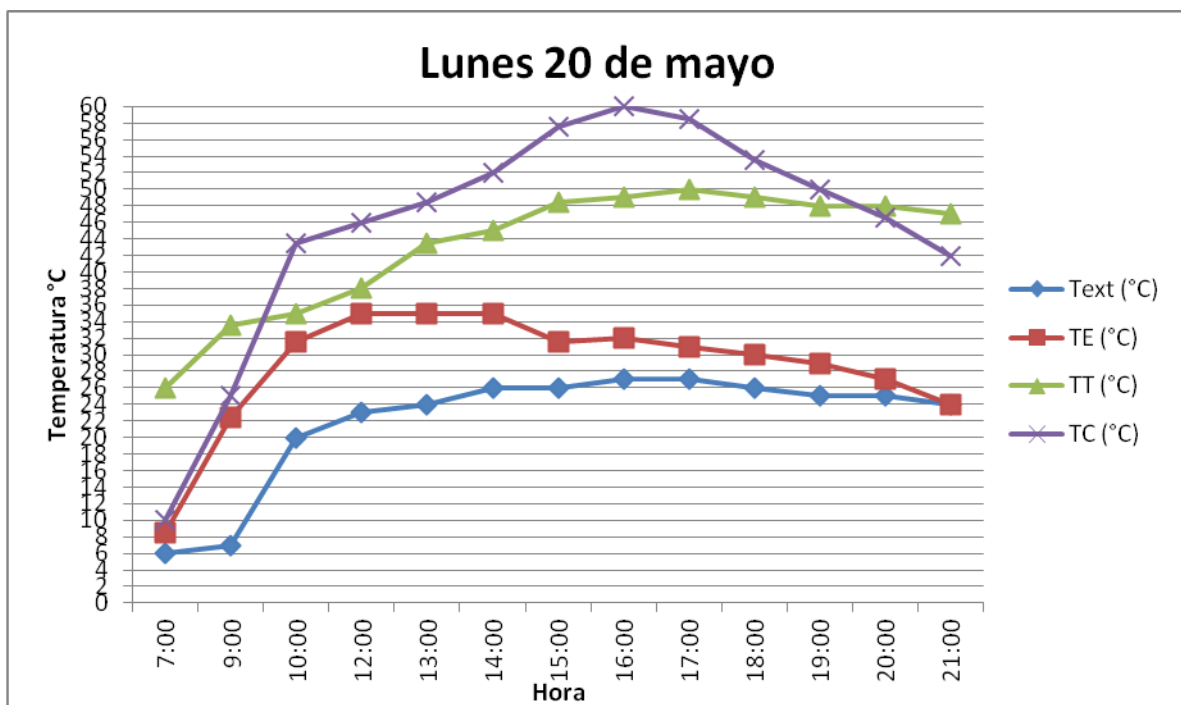


Figura 40. Gráfica del colector solar del 20 de mayo

Las condiciones climatológicas del lunes 20, reportada por la estación meteorológica mencionada, fueron buen tiempo con cielo despejado y visibilidad de 13 000 m, desde las 4:00 de la madrugada hasta las 21:00 h.

En la figura 40 observamos que a las 7:00 h la temperatura de la placa colectora (T_C) fue de $10.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, la del termotanque $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ (T_T), la del tanque testigo de $8.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (T_E), así como la del medio ambiente fue de $6.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (T_{ext}). La temperatura del termotanque a esa hora fue la mayor, conservó parte de su temperatura del anterior día. La máxima temperatura alcanzada por el termotanque fue de $50.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a las 17:00 h y la mínima de $26.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a las 7:00 h. Para el tanque testigo su máxima temperatura fue $35.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la mínima de $8.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, a las 13:00 h y 7:00 h, respectivamente. Las temperaturas del termotanque y la placa colectora siempre se mantuvieron por encima de las del tanque testigo y la ambiental. En las primeras horas del día la temperatura de la placa colectora fue menor a la del termotanque, conforme avanzó el día las curvas de sus gráficas se cruzaron y cambiaron, para nuevamente en las últimas horas del día volver a cruzarse. Así, a las 10:00 h la placa pasó a una temperatura mayor, en $43.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, y el termotanque a $35.0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Conforme avanza el día la temperatura de la placa se mantiene la más alta, la del termotanque aumenta lentamente para volver a ser mayor a la de la placa a las 20:00 h.

La tabla del martes 4 de junio muestra el comportamiento del sistema después de que el día anterior se reportó nublado y con granizo (lunes 3). Para el martes, el cielo estuvo cubierto de nubes desde las 4:50 h de la madrugada y desde las 6:00h hasta las 17:00h, cielo parcialmente cubierto, nubes fragmentadas a 6700 m, nubes dispersas a 610 m. A partir de las 17:00 horas a las 18:20h, ligera lluvia, cumulonimbos dispersos a 610 m y nubes fragmentadas a 2 400 m. De las 18:20h en adelante cielo parcialmente despejado, nubes dispersas a 610 m y fragmentadas a 6 700 m. La inclinación de la placa colectora fue de 19.05° .

Fecha	Martes 4 de junio (humedad relativa 88%)			
hora	T _{ext} (°C)	T _E (°C)	T _T (°C)	T _C (°C)
07:00	10.0	14.0	26.0	19.0
08:00	10.0	19.0	28.5	22.5
10:00	11.0	25.0	28.5	34.5
12:00	12.0	34.0	36.0	36.0
14:00	12.0	33.5	34.5	36.5
16:00	12.2	29.0	38.0	38.5
17:00	14.0	27.5	36.0	35.0
18:00	12.5	26.0	34.0	34.0
19:00	12.0	24.5	32.0	34.0
20:00	12.0	23.0	31.0	33.0
21:00	11.0	20.0	31.0	32.5
Máx.	12.2	34.0	38.0	38.5
Mín.	10.0	14.0	26.0	19.0

Tabla del 4 de junio

La máxima temperatura del termotanque (T_T) fue de 38.0 °C y la del tanque testigo (T_E) de 34.0 °C, la primera registrada a las 16:00 h y la segunda a las 12:00 h. Trasladando estos datos a una gráfica, obtenemos:

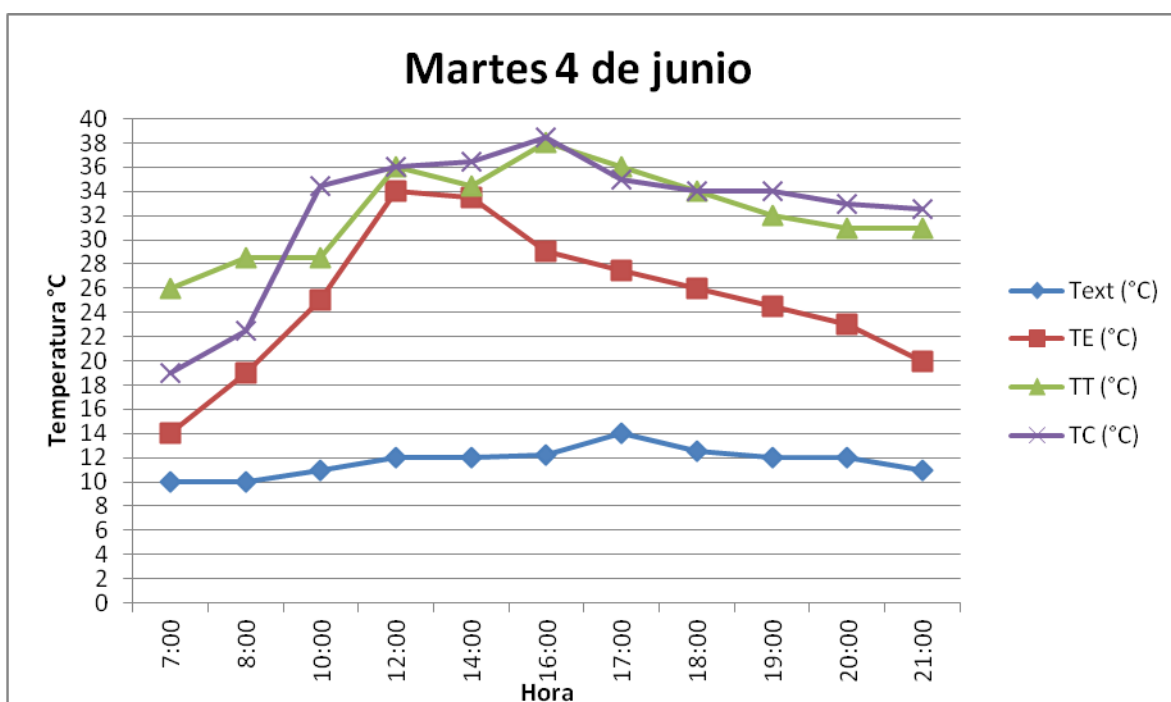


Figura 41. Gráfica del colector solar del 4 de junio

La temperatura del medio ambiente registrada en ese día estuvo prácticamente constante en 10.0 y 12.0 °C, consecuente con las condiciones climáticas de la fecha. La diferencia de temperaturas entre el tanque testigo (T_E) y termotanque (T_T) a las 7:00 $\Delta T = 12.0$ °C, a las 12:00 $\Delta T = 2.0$ °C, a las 14:00 $\Delta T = 0.5$ °C y desde las 16:00 h $\Delta T = 8.0$ °C prácticamente, no muy separadas si lo contrastamos con la gráfica del 20 de mayo. Las temperaturas entre el termotanque y la placa colectora, difieren poco desde las 12:00 h, prácticamente entre $\Delta T = 0$ y 2.5 °C. Adelantando un poco, el nublado del día y sus lluvias disminuyen la eficiencia energética del sistema experimental o del colector de placas paralelas.

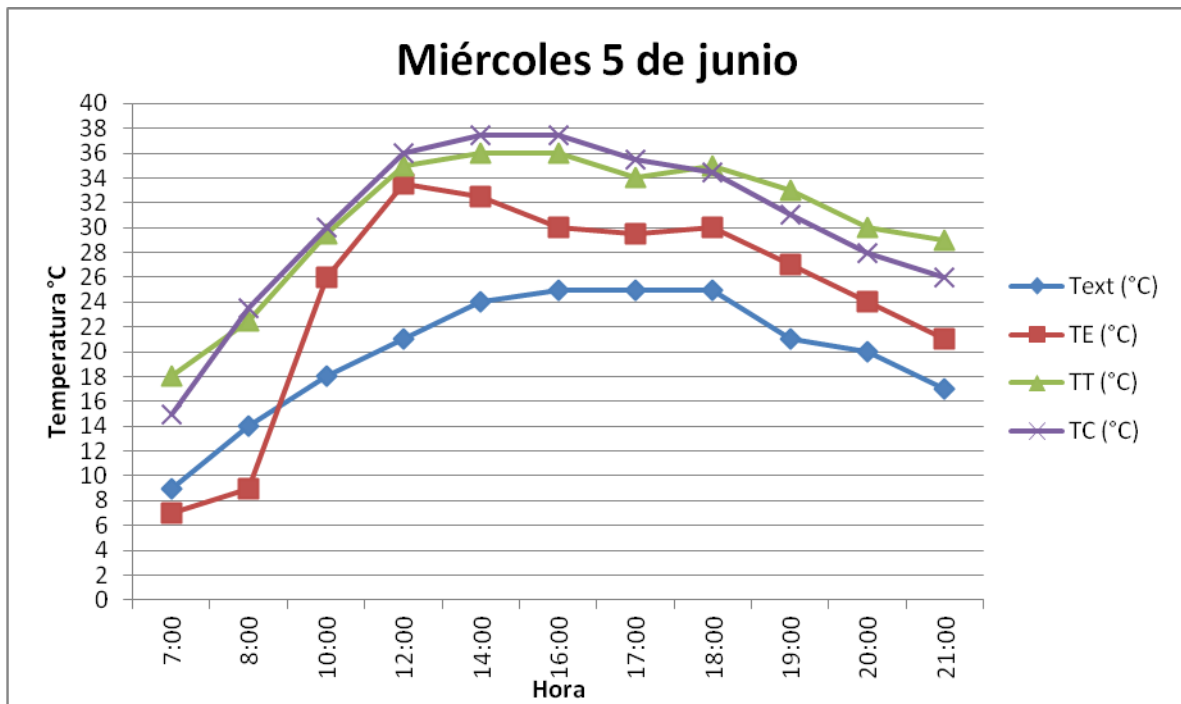
La siguiente tabla fue registrada *con un ángulo de inclinación para la placa colectora de 10.0°*. Las condiciones climáticas del día miércoles, en término medio, fue buen tiempo con cielo despejado y visibilidad de 13,000 m desde las 5:00 h, hasta las 21:00 h.

Fecha	Miércoles 5 de junio, (humedad relativa 34%)			
hora	T_{ext} (°C)	T_E (°C)	T_T (°C)	T_C (°C)
07:00	9.0	7.0	18.0	15.0
08:00	14.0	9.0	22.5	23.5
10:00	18.0	26.0	29.5	30.0
12:00	21.0	33.5	35.0	36.0
14:00	24.0	32.5	36.0	37.5
16:00	25.0	30.0	36.0	37.5
17:00	25.0	29.5	34.0	35.5
18:00	25.0	30.0	35.0	34.5
19:00	21.0	27.0	33.0	31.0
20:00	20.0	24.0	30.0	28.0
21:00	17.0	21.0	29.0	26.0
Máx.	25.0	33.5	36.0	37.5
Mín.	9.0	7.0	18.0	13.0

Tabla 5 de junio con variación de inclinación.

En esta tabla tenemos que la máxima temperatura del T_T es de 36.0 °C entre las 14:00 y 16:00 h, y la máxima del T_E fue de 33.5 °C, valores próximos, seguramente debido a la disminución del ángulo de inclinación. Las mínimas temperaturas del

termotanque y el tanque testigo se registraron en los valores 18:0 °C y 7.0 °C, respectivamente. Su gráfica nos ayudará a visualizar mejor y más claro algunos otros aspectos.



Observemos que las diferencias entre las tres temperaturas del termotanque, la placa y el tanque testigo no son muy notorias, comparándolas con la gráfica del lunes 20 de mayo. Al final del día, a las 21:00 la disminución de las cuatro temperaturas casi va en paralelo. Por otro lado, las temperaturas de la placa colectora y del termotanque desde las 8:00 hasta las 20:00 difieren entre 1.0 y 2.0 °C. La máxima temperatura del termotanque fue de 36.0 °C, a diferencia del 20 de mayo que fue de 50:0 °C

La eficiencia del CSPP disminuyó al disminuir el ángulo del colector.

Una precisión, señalemos que durante el experimento no se abrió la llave simulando el uso que se le da en un hogar, por ejemplo, el agua se mantuvo estancada. La medición de valores para cuando el agua esté en circulación se reserva para posibles prácticas con los alumnos y otros momentos de análisis.

CONCLUSIONES.

Se diseñó un sistema fotovoltaico y otro fototérmico en el laboratorio de la carrera en Energías Renovables de la Universidad Tecnológica de Puebla para que los alumnos puedan desarrollar prácticas en dichas áreas

Con la implementación del sistema fotovoltaico se pudo comprobar la generación de energía eléctrica, así como el almacenamiento de la misma y su distribución para alimentar dispositivos que funcionan con corriente alterna y con corriente directa.

Se implementó y determinó la eficiencia energética del sistema fototérmico, maximizándose cuando el sistema se coloca con el ángulo de inclinación adecuado y cuando la nubosidad del ambiente es nula.

Se comprobó la generación de energía calorífica, mediante la variación de la temperatura, en la captación de los rayos solares con el sistema fototérmico.

Los valores de temperatura y eficiencia del sistema fototérmico, señalados por el fabricante, hay que considerarlos con la precaución debida.

Por ejemplo los valores de temperatura que el fabricante señala, en su folleto de venta, oscilan entre 45.0 y 60.0 °C y en los datos experimentales sólo un día el termotanque registró 50.0 °C (lunes 20 de mayo) y se mantuvo en ese rango desde las 14:00 hasta las 21:00 h. Considerando que el agua permaneció estancada. La temperatura que registró el termotanque durante las primeras horas del día no son las óptimas para bañarse. El período de la tarde se visualizan como las mejores para el baño, ya que la permanencia de su temperatura es mayor.

Para lograr el 100% de la eficiencia térmica es necesaria una insolación permanente de 5 a 6 horas.

Los datos experimentales registran que la temperatura del termotanque disminuyó, en término medio, durante la noche unos grados más de los que el fabricante promete (de 4 a 8 °C).

Para tener agua caliente siempre lista y aprovecharse óptimamente se recomienda usar lo mínimo entre las 10:00 y 16:00 h (por ejemplo no bañarse más de dos personas, si lavan la ropa con agua caliente) y durante la noche destinarla al aseo personal.

Ambos sistemas ayudarán a realizar una diversidad de prácticas con los alumnos, ya sea cambiando el ángulo de inclinación del panel y colector, hasta modificando su orientación de sur a norte.

Cabe mencionar que con ambos módulos se involucrarán a otras asignaturas de la carrera así como de las carreras de TSU en Mecatrónica área Instalaciones Eléctricas Eficientes y área Automatización.

BIBLIOGRAFÍA

1. RAWLINGS, R. (2009) *Capturing Solar Energy*. Gran Bretaña: CIBSE.
2. GOETZBERGER, A. y HOFFMANN, V.U. (2005) *Photovoltaic Solar Energy Generation*. Alemania: Springer.
3. PERALES BENITO, T. () *Instalación de paneles solares térmicos*. España: Alfaomega
4. PERALES BENITO, T. (2010) *Guía del instalador de Energías Renovables*. España: Limusa
5. WENHAM, S.R., GREEN, M.A., WATT, M.E., y CORKISH, R. (2007) *Applied Photovoltaics*. Reino Unido
6. ARCHER, M.D. y HILL, R. (2001) *Clean Electricity from Photovoltaics*. Reino Unido: Imperial College Press
7. AJONA, J.L. (1997) *Tecnología de los colectores solares térmicos, Curso de Energía solar*. Madrid.
8. BROOKS, F.A., y Miller, W. (1997) *Introducción a la utilización de la energía solar*. McGraw-Hill.
9. CENGEL y YUNUS, A. (2008) *Termodinámica*. McGraw-Hill.
10. HERMOSILLO VILLALOBOS, J. J. (1995), *Notas sobre el curso de energía solar*. México: Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales División de Ingenieros ITESO

11 MANRIQUE, J.A. (2004) *Energía solar, fundamentos y aplicaciones*. HARLA.

12 PILATOWSKY FIGUEROA, I. (2007), *Metodología de diseño de instalaciones solares para el calentamiento de agua, Coordinación de Refrigeración y Bombas de Calor*. México: Departamento de Sistemas Energéticos Centro de Investigación en Energía, UNAM.

13. PAZ GUTIÉRREZ, J.C. (2006) *Colectores solares planos, tratamiento teórico, Vol. 1*. México: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

KRAUTER C.W.S (2006) *Solar Electric Power Generation – Photovoltaic Energy Systems*. Holanda: Springer.

KALOGIROU, S. (2009) *Solar Energy Engineering. Processes and Systems*. Estados Unidos de América: Elsevier.

ZEKAI S. (2008) *Solar energy fundamentals and modeling techniques: atmosphere, environment, climate change and renewable energy*. Reino Unido: Springer.

REFERENCIAS DE INTERNET

<http://www.conae.com.mx>

<http://freemeteo.com/default.asp?pid=20&gid=3521081&sid=766850&la=4&lc=1&nDate=3/6/2013>