

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALENTADOR SOLAR DIDÁCTICO

V. Cardozo, F. Fernández, J. Duarte

*Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Seccional Duitama*

*Grupo de Energía y Aplicación de nuevas tecnologías. (GEANT)*

*Carrera 18 calle 22 Duitama, Boyacá, Colombia*

(Recibido 10 Jul. 2005; Aceptado 5 Nov. 2005; Publicado 23 Dic. 2005)

### RESUMEN

Con el fin de suplir la falta de cultura de las nuevas generaciones con respecto a la conservación del medio ambiente, el ahorro de energía y la ausencia de bases sólidas en los estudiantes con respecto al área de tecnología, en el presente trabajo se plantea el desarrollo de un calentador solar didáctico para la enseñanza de la energía solar. En el texto se describe el diseño, fabricación y funcionamiento del prototipo para la demostración práctica y experimental de la conversión de energía solar en energía térmica, por medio de la absorción de la radiación solar sobre una superficie oscura. El calentador solar consta de un sistema de captación de la energía solar, un acumulador térmico y un circuito electrónico para el monitoreo de temperatura. La estructura se complementa con un soporte metálico que lo hace compacto y fácil de transportar.

**Palabras claves:** Calentador solar, Enseñanza de la Física

### ABSTRACT

In order to replace the lack of knowledge of young people with respect to the preservation of the environment, the save of energy and the absence of solid knowledge in the students with respect to the field of technology, the development of a didactic solar heater for educational purposes in solar energy is considered in the present work. the design, manufacture and operation of a prototype for a practical and experimental demonstration of the solar conversion of energy in to thermal energy, by means of the absorption of the solar radiation on a dark surface are described in this text. The solar heater consists of a system which collects the solar energy, a thermal storage cell and an electronic circuit which controls the temperature. The structure is complemented with a metallic support which is compact and easy to transport.

**Keywords:** Solar heater, Physics teaching.

### INTRODUCCIÓN

Según algunos autores, prácticamente todos los problemas ecológicos que afectan al planeta: deforestación, efecto invernadero, contaminación del aire y del agua; están íntimamente relacionados con la obtención de recursos energéticos; y se plantea que la única llave capaz de frenar la destrucción masiva y brutal de nuestros ecosistemas es un cambio en las políticas energéticas, apostando fuerte por recursos energéticos inagotables e inoocuos como lo es la energía solar [1].

De acuerdo con lo anterior, nos encontramos ante la necesidad de culturizar a las nuevas generaciones de estudiantes en la conservación del medio ambiente. Para ello, será necesario aprovechar la educación en ciencia y tecnología, haciendo énfasis en la importancia del uso y apli-

cación de energías limpias y renovables, como la solar. Esto será más fácil de conseguir con la integración de los medios educativos y didácticos al currículo [2].

Apoyados en las reflexiones anteriores, se desarrolló un calentador solar didáctico, como una nueva herramienta pedagógica que permite ilustrar los conceptos físicos involucrados en su funcionamiento y que podrá ser utilizado con estudiantes de diversos niveles.

Las características fundamentales de este módulo de demostración solar son: la practicidad a la hora de su manipulación, compacto, liviano, fácil transporte y su componente didáctico. A continuación se describen la estructura y su funcionamiento. Igualmente se proveen las características físicas de los diversos elementos y materiales del prototipo. Finalmente, se presentan los resultados prácticos correspondientes a la prueba y puesta a punto del equipo.

### DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO SOLAR

Un calentador solar basado en una celda solar térmica, consta de varios sistemas, los cuales funcionan mancomunadamente como se observa en la figura 1, estos elementos son:

- a) El sistema de captación: Consta de los paneles o calentadores solares propiamente dichos
- b) El sistema de acumulación: Corresponde al depósito para almacenar el agua caliente.
- c) El sistema hidráulico: Son las bombas y tuberías por donde circula el fluido de trabajo.
- d) Un sistema de intercambio: Será necesario en caso de que el fluido que circula por los paneles solares no sea el mismo que el que emplea el usuario en su aprovechamiento. (En este caso, el prototipo funciona por intercambio directo y circulación por efecto termosifón, lo cual hace innecesario el empleo de un intercambiador).
- e) El sistema de medición: Monitorea las temperaturas de entrada y salida del flujo caloportador y de la superficie del panel mediante un sensor de temperatura con su respectivo circuito de acople y visualización.

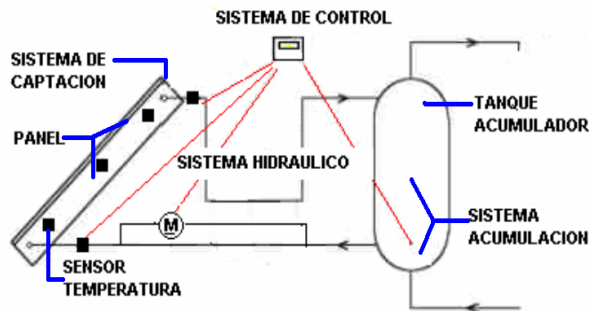


Fig. 1: Diagrama del calentador solar.

La circulación del agua dentro del calentador solar se hace por medio del efecto termosifón. En este tipo de circulación, el agua circula por naturaleza propia y sin ningún tipo de energía exterior. Principio según el cual, el agua al calentarse sufre un desplazamiento vertical y hacia arriba basado en la disminución de su densidad con el aumento de la temperatura. Esto provoca que el agua contenida en un depósito se encuentre estratificada, ocupando las posiciones más altas, las de mayor energía o temperatura [3].

## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Como el prototipo desarrollado cumple una función didáctica, los requerimientos técnicos de construcción son enfocados para tal fin.

### **Parámetros de diseño del sistema captador.**

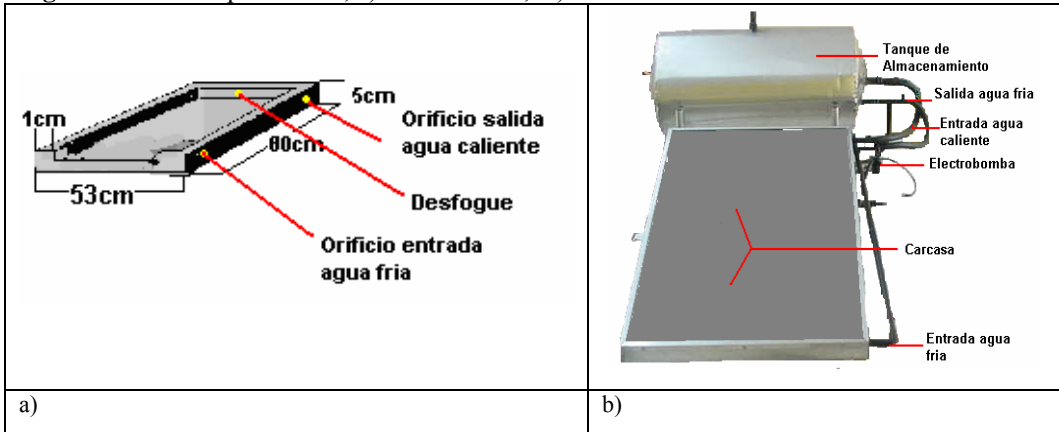
El sistema captador está esencialmente constituido por la celda solar térmica (colector solar). Con el fin de facilitar los cálculos, este elemento se dividió en varias partes.

#### *La carcasa (caja del colector).*

La carcasa está constituida por un armazón enterizo en lámina de aluminio de 800 mm de largo por 530 mm de ancho y 50 mm de espesor. Se seleccionó este tipo de lámina, ya que cumple con los requisitos de: Resistencia a choques mecánicos, bajo peso, resistencia a la corrosión e impermeabilidad.

El moldeado y formado de la carcasa se hace por corte de cizalla y dobladora para su terminado final. La lámina finalmente se une con remaches *pop* de 3/16 por 3/8, como se muestra en la figura 2.

**Fig. 2:** Carcasa del panel solar, a) Dimensiones, b) vista frontal.



La cubierta transparente.

Se seleccionó como material a utilizar la lámina de vidrio claro, ya que presenta las siguientes ventajas:

Retiene las ondas electromagnéticas produciendo el efecto invernadero, permitiendo de esta manera que el calor permanezca dentro del panel.

Disminuye las pérdidas de calor por convección hacia el exterior.

Tiene un buen comportamiento a choques térmicos, alta resistencia y bajo costo.

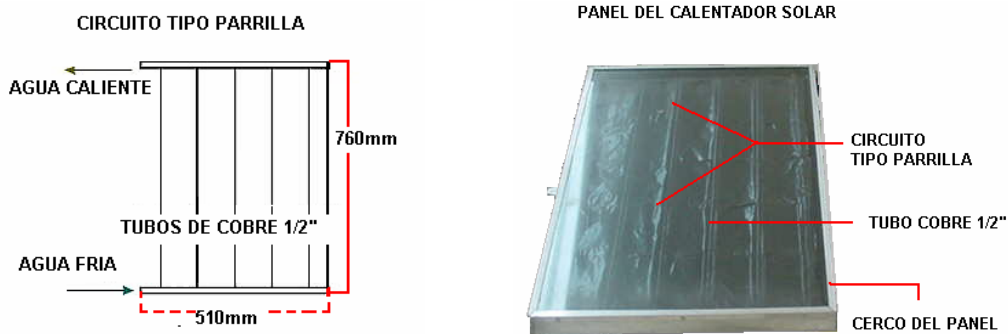
Transparencia del 92% (Una absorción del 95 % de la energía recibida y una emisión del 5% de la radiación solar) [4].

La cubierta transparente tiene las medidas internas según el cajón o carcasa de la celda solar térmica (790 mm X 520 mm) con una área efectiva de colector de  $0.41\text{m}^2$  y se soporta sobre un recubrimiento de caucho espumoso de 10 mm X 2 mm con el fin de evitar esfuerzos en los puntos de contacto con las partes metálicas del cerco de la celda.

Capa absorbente.

Está constituida por placas metálicas de aluminio recubiertas por una lámina de marsol de color negro. Como el prototipo didáctico es a escala, se optó por utilizar como absorbente el circuito tipo parrilla (ver figura 3), ya que este sistema mejora el rendimiento y funcionamiento de la celda solar.

Fig. 3: Capa absorbente y Circuito tipo parrilla.



Una consideración importante a tener en cuenta para el diseño del absorbente es la presión máxima de trabajo,  $P_{cmx}$ , dada en  $Kg/m^2$ , de la celda solar, la cual determinamos de la siguiente manera [5]:

$$P_{cmx} = \delta * Y, \tag{1}$$

donde  $\delta$  es peso específico del agua en  $Kg/m^3$  y  $Y$  corresponde a la altura entre el punto mas alto del deposito y el punto más bajo.

Por exigencias internacionales de seguridad se toma la presión máxima como uniforme en toda la celda solar y el factor de seguridad es de 1.5, es decir, la presión de seguridad,  $P$ , viene dada como: [6]

$$P = 1.5 P_{cmx} : \tag{2}$$

Tomando los valores del prototipo:  $\delta = 1000 Kg/m^3$  y  $Y = 300 mm$  reemplazando en la ecuación (1) tenemos que.  $P_{cmx} = 0.05 Kg/m^2$ . Reemplazando en la ecuación (2) se observa que  $P = 0.045 Kg/m^2$

Como se observa en los cálculos anteriores, la presión que ejerce el flujo calo-portador no supera la presión de seguridad de los tubos de cobre 1/2" [6].

*Aislamiento térmico*

Por la cara posterior de la celda solar térmica se colocó una capa de aislamiento térmico con el fin de evitar que el calor escape hacia la atmósfera (por convección o por conducción). Se debe tener en cuenta que los aislamientos sufren un grado de deterioro con el tiempo y que en condiciones normales las temperaturas pueden pasar de 125 °C. Los materiales comúnmente utilizados son: La lana de fibra de vidrio, el icopor, la espuma de poliuretano y poliestireno. En este

caso se tomó la espuma de poliuretano como aislante térmico. Después de inyectar el poliuretano se recubrió con una película de pintura epóxica, la cual lo protege de los rayos ultravioleta. Para determinar el espesor del aislamiento,  $e$ , se tienen la ecuación [5]:

$$e = \frac{K}{U} \tag{3}$$

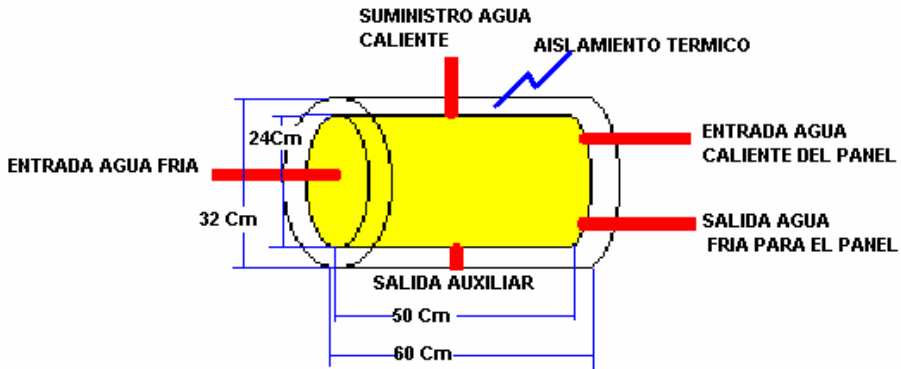
donde  $K$  es la conductividad térmica del aislante en  $W/m^{\circ}K$  y  $U$  corresponde al coeficiente total de transferencia de calor. Para que el calentador solar funcione con un rendimiento promedio del 70%, las pérdidas de calor no deben ser mayores a  $1.5 W/m^2^{\circ}K$  en el borde del panel solar térmica [7]. En este caso, la conductividad térmica del poliuretano es de  $K= 0.038 W/m^{\circ}K$ ; reemplazando estos valores en la ecuación (3) se obtiene que su espesor es de 2.51 cm.

El aislamiento en los laterales de la celda solar (colector) es de 25 mm aproximadamente y el fondo, según normas internacionales, debe ser por lo menos el doble del espesor lateral [7]. En este caso es de 40 mm.

**Sistema acumulador**

Se diseñó un tanque para almacenar 19 litros de agua a una temperatura promedio de  $65^{\circ}C$ . Se construyó en lámina de “cold rolled” calibre 18 recubierto con aislamiento en poliuretano y protegido del medio ambiente con una lámina de aluminio de 1mm, como lo indica la figura 4.

**Fig. 4:** Sistema de acumulación.

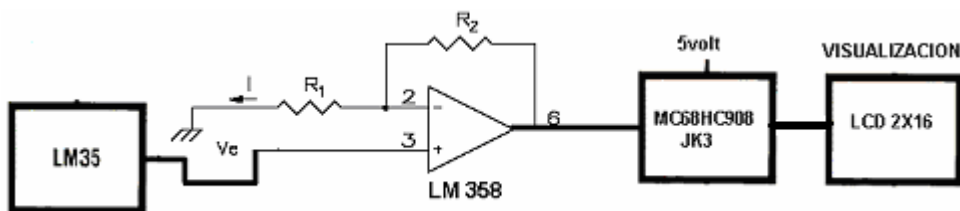


Usualmente el aislamiento térmico del tanque se calcula para que las pérdidas térmicas no superen el 10% de su temperatura en un periodo de 24 horas, considerando una temperatura ambiente promedio de  $6^{\circ}C$ , espesor de aproximado de 5 cm y una conductividad térmica aproximada de  $0.03 K CAL / hm^{\circ}C$  [8]. Para este caso se escogió como aislante térmico la espuma de poliuretano, ya que su conductividad térmica es aproximada al valor requerido.

**Desarrollo del sistema de medición**

Para el sistema de medición se diseñó un circuito electrónico que maneja cinco sensores de temperatura con visualización en la LCD (ver figura 5). Tres de estos sensores permiten obtener un promedio de la temperatura en la superficie del panel solar, mientras que los otros dos monitorean las temperaturas de entrada y salida del agua en el colector.

**Fig. 5:** Diagrama esquemático del circuito de medición.



Como sensor de temperatura se utilizó el LM 35 debido a su linealidad, fácil utilización y bajo costo. La señal del sensor se adaptó a través de un amplificador operacional LM358, configurado como no inversor con una ganancia de 4 veces la señal recibida del sensor finalmente, esta señal es digitalizada por el conversor análogo digital de un microcontrolador Motorola MC68HC908JK3, el cual procesa la información y la entrega a una LCD 4 x 16 para su visualización.

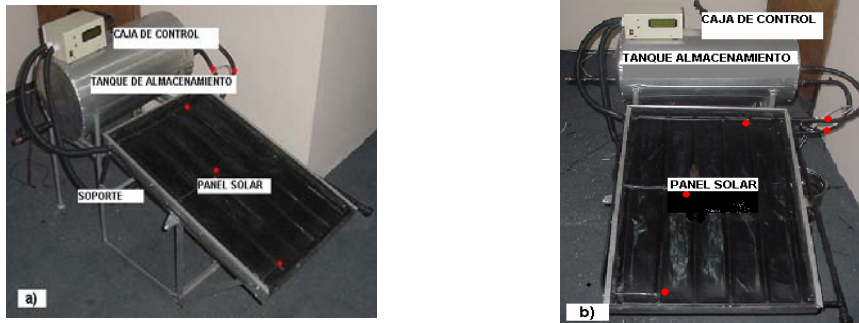
**Programa para determinar la radiación solar.**

Para efecto de las prácticas con el calentador solar didáctico, un dato importante que se requiere es la cantidad de radiación solar existente para ese periodo de tiempo en el sitio de la prueba. Debido a la complejidad de las ecuaciones [9], y teniendo en cuenta que el prototipo será utilizado por estudiantes de educación media, se optó por desarrollar un programa para computador. A este programa se le ingresan las siguientes variables: día, año, temperatura ambiente, latitud del lugar y altitud, entregando como resultado los datos de la radiación solar existente en el lugar para cada hora del día.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Como resultado del diseño descrito anteriormente, se obtuvo un equipo liviano y portátil, lo cual facilita el trabajo con los estudiantes a la hora de utilizarlo como medio didáctico para la enseñanza de la energía solar. Desde el punto de vista técnico, el prototipo funciona con un rendimiento promedio del 70% para una radiación solar promedio de 650 W/m<sup>2</sup>. En la figura 6 se observa los diferentes partes del calentador solar didáctico y la ubicación de los sensores de temperatura dentro del mismo (puntos rojos en la foto).

**Fig. 6:** Fotografía del calentador solar: a) Vista lateral, b) Vista frontal.



**Medición del rendimiento**

- 1) Con el fin de verificar el rendimiento del prototipo y caracterizar su comportamiento, se llevo a cabo la siguiente prueba:
- 2) Con el programa se estima la radiación solar directa existente para el día de la prueba a las 12 del día.
- 3) Se colocó la celda solar térmica a la radiación solar directa, ajustándola a un ángulo de 25° para que empiece a funcionar bajo el efecto de termosifón.
- 4) Se registró la temperatura durante una hora, con intervalos de 10 minutos, de entrada y salida del agua que circula por panel obteniéndose los datos mostrados en la tabla 1.

Tabla 1. Temperatura de entrada y salida del panel para el día 21 diciembre de 2004.

Hora	Temperatura entrada	Temperatura salida
12:00	17	17
12:10	18	21
12:20	19	24
12:30	23	25
12:40	24	27
12:50	27	30
1:00	29	34

Con los datos de la tabla 1 se halló el rendimiento promedio,  $\eta$ , del calentador solar durante ese periodo de tiempo (60 minutos), para ello se utiliza la siguiente ecuación [9].



$$\eta = \frac{Qu}{(HT \times Ac)} \quad (4)$$

donde  $Qu$  es el calor útil en W,  $HT$  es la energía solar incidente ( $1045 \text{ W/m}^2$ ) y  $Ac$  es el área efectiva del colector ( $0.41 \text{ m}^2$ ).

$Qu$  se calcula teniendo en cuenta la diferencia de temperaturas inicial y final de los 60 minutos, que para nuestro caso fue de  $17^\circ\text{C}$ .

Junto con la capacidad de almacenamiento del tanque, la cual es de  $18925 \text{ cm}^3$ , se halla el trabajo calórico en Kilocalorías durante los 60 minutos, el cual es de  $283.87$  Kilocalorías, que equivalen a  $1186.5975$  Kilojulios.

Con el trabajo calórico en Kilojulios, hallamos la potencia calórica en un periodo de tiempo, el cual es el mismo  $Qu$  de la celda solar térmica, dando como resultado  $329.5$  Watts.

Aplicando los valores anteriores a la ecuación (4), se obtiene que el rendimiento es del  $75 \%$ . Vale decir, que el rendimiento anteriormente hallado es de todo el sistema del calentador solar, (acumulador y captación). Para hallar el rendimiento instantáneo del panel se toma como referencia la diferencia de temperaturas, entre la temperatura promedio de la placa absorbadora y la temperatura ambiente, y se gráfica contra el rendimiento.

### **Funcionamiento a largo plazo**

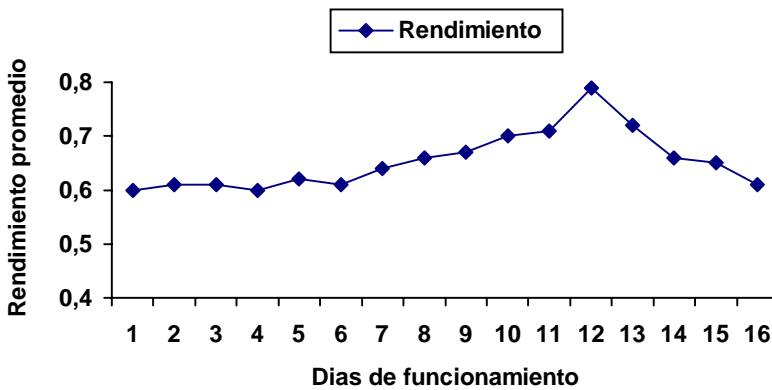
Durante el mes de enero de 2005, se desarrollaron pruebas de funcionamiento bajo el sistema de termosifón, del 15 de enero al 30 de enero, con el fin de hallar la curva de su rendimiento promedio para esos 16 días. En la tabla 2 se muestra los datos obtenidos de radiación solar promedio y rendimiento en este periodo de tiempo.

Graficando los datos de la tabla 2 se obtiene la figura 8, en la cual se observa un rendimiento promedio  $65\%$ , con un valor máximo  $79\%$ . Este valor máximo de rendimiento se puede explicar en virtud de que a ese día le corresponde la máxima radiación solar.

**Tabla 2.** Rendimiento del calentador solar durante 16 días.

Día	Radiación diaria promedio (W/m <sup>2</sup> )	Rendimiento
1	648	0.6
2	650	0.61
3	651	0.61
4	649	0.6
5	653	0.62
6	650	0.61
7	655	0.64
8	657	0.66
9	660	0.67
10	668	0.7
11	670	0.71
12	684	0.79
13	673	0.72
14	664	0.66
15	661	0.65
16	650	0.61

**Fig. 8:** Gráfica del rendimiento promedio entre el 15 y 30 de Enero de 2005.



## CONCLUSIONES

Se obtuvo un equipo liviano y portátil, lo cual facilita el trabajo con los estudiantes a la hora de utilizarlo como medio didáctico para la enseñanza de la energía solar.

Desde el punto de vista técnico, el prototipo funciona con un rendimiento promedio del 65% para una radiación solar diaria promedio de  $648 \text{ W/m}^2$  y  $680 \text{ W/m}^2$ .

Con los resultados obtenidos para el funcionamiento del calentador solar, se puede afirmar que el sistema es eficiente desde el punto de vista térmico y que puede ser utilizado para el fin didáctico propuesto. Adicionalmente, será posible utilizar una versión mejorada del prototipo en aplicaciones domésticas e industriales donde se quiera reducir el consumo de energías no renovables.

Desde el punto de vista didáctico, la utilización del prototipo a mostrado ser una herramienta beneficiosa y amigable en la motivación de los estudiantes hacia el tema de la energía solar. Esta motivación se refleja en un mayor interés sobre los conceptos teóricos y aplicaciones prácticas de las energías renovables.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo económico a la Dirección de Investigaciones de la UPTC, a través del proyecto código 9009.068. Igualmente, se agradece a Patricia Agudelo, por la elaboración del programa para el cálculo de la radiación solar. Igualmente, Víctor Cardozo agradece a Colciencias y a la UPTC por el apoyo brindado a través del programa de Jóvenes Investigadores 2004.

### REFERENCIAS

- [1]. <http://solarweb.net>.
- [2]. C. Castaño Garrido, "Las actitudes de los profesores hacia los medios de enseñanza. Revista píxel-Bit N° 1, Enero 1994
- [3]. TECNISOL. Telecomunicaciones Energía Solar Térmica y Fotovoltaica. <http://www.tecnisol.com/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=23>
- [4]. S. Escoda, Catalogo Técnico Energía solar Térmica. Barcelona, Rosello 430-432.
- [5]. J. A. Manrique, Transferencia de calor. México, Editorial Harla, S.A.
- [6]. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Directrices comunes de la U.E.A.T.C. para la apreciación técnica de colectores solares con circulación de líquidos. Esteban Sainz José Luis. 1988.
- [7]. J. W. Barbosa, L. E. Granados, Tesis de pregrado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Duitama, Boyacá, Colombia 1993.
- [8]. A. Solis Gamba, A. Gómez Rey, Calculo de Sistemas Solares para Calentamiento de agua. Madrid. Publicaciones Fleming. Segunda edición.
- [9]. J. J. Hermosillo Villalobos, M. Mendoza Ramírez, Notas sobre el curso de energía solar, Instituto Tecnológico y de Estudios superiores de Occidente. Tlaquepaque, Jalisco, Febrero 1995