

## CONSTRUCTION OF A SYSTEM OF DIRECT HEAT TRANSFER CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TERMOTRANSFERENCIA DIRECTA

**MSc. Emil Hernández Arroyo, PhD. Omar Pinzón Ardila**  
**MSc. (c) Miguel Angel Reyes Orozco**

**Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Mecánica.**  
Km 7 vía Piedecuesta, Floridablanca, Colombia.  
Tel.: (+577) - 679 6220, Fax: (+577) - 679 6221, Ext. 195.  
E-mail: {emil.hernandez, omar.pinzon, miguel.reyes}@upb.edu.co.

**Abstract:** The main objective of this project is to design, build and evaluate a system for heating water with a series arrangement of flat plate collectors, using solar energy. The design parameters were: Storage Capacity 120 L, temperature 70 ° C. consumption the system consists of two solar collectors can be connected in series or parallel. The hot water is to be used in one of the cafes located within the university campus. The maximum thermal performance obtained was 64 %  $\pm$  0.6 % for the system connected in series running at 11: 30 am, with an inlet temperature of 32.2°C $\pm$ 0.1°C and an output temperature of 33.5°C $\pm$ 0.2°C. The efficiency obtained is a well-accepted fact because efficiencies flat plate collectors are approximately 69 %, obtained at laboratory with controlled conditions.

**Keywords:** Solar collector, flat plate collector, solar energy.

**Resumen:** El objetivo principal de este proyecto es diseñar, construir y evaluar un sistema de calentamiento de agua con un arreglo serie-paralelo de colectores de placa plana, utilizando la energía solar. Los parámetros de diseño fueron: Capacidad de almacenamiento de 120 L, temperatura de consumo de 70°C. El sistema consta de dos colectores solares que pueden ser conectados en serie o paralelo. El agua caliente se pretende utilizar en una de las cafeterías que se encuentra dentro del campus universitario. El máximo desempeño térmico obtenido fue de 64 %  $\pm$  0.6 % para el sistema conectado en serie funcionando a las 11.30 am, con una temperatura de entrada de 32.2°C $\pm$ 0.1°C y una de salida de 33.5°C $\pm$ 0.2°C. La eficiencia obtenida es un dato de muy buena aceptación debido a que las eficiencias, de colectores de placa plana son de aproximadamente de 69%, obtenida en laboratorios con condiciones controladas.

**Palabras clave:** Colector solar, colector de placa plana, energía solar.

### 1. INTRODUCCIÓN

A través de los años, el ser humano ha utilizado diversas formas de energía que dieron origen, gracias al sol. La energía solar es un recurso inagotable que está garantizado por muchos millones de años, y al mismo tiempo se ha aprovechado para satisfacer todas las necesidades.

Los colectores solares son dispositivos que son utilizados para calentar agua, para sistemas de calefacción y piscinas, además pueden ser aprovechados tanto al nivel doméstico como industrial. Debido a que son equipos de fácil adquisición por su relación técnica - económica.

Está compuesto por una placa absorbente de la radiación solar que se encarga de transferir la energía térmica al fluido que circula a través de un serpentín, una cubierta transparente y una caja metálica aislada en los laterales y en el fondo, en donde estarán contenidos los elementos anteriormente descritos (Roldan, 2012).

El funcionamiento térmico de los colectores solares ofrece una alternativa de ahorro de gas, así mismo genera una disminución en el gasto mensual del consumo eléctrico de dispositivos que son utilizados para calentar agua. De esta manera se obtienen diversos beneficios tanto para la sociedad como el medio ambiente disminuyendo la contaminación que anteriormente se producía por la quema del gas, el precio de los combustibles sugiere el uso de las energías renovables (Ramón *et al.*, 2006).

En el siguiente trabajo empleamos un sistema de colectores de placa plana, con el propósito de encontrar las curvas de radiación vs eficiencia, de acuerdo a los rayos solares que inciden sobre la superficie del colector, los parámetros obtenidos fueron comparados con estudios similares realizados por la empresa CENSOLAR (Centro de Estudios de la Energía Solar) (Zabalsa, 2007).

## 2. MARCO TEÓRICO

El balance energético de un colector plano es: (Valdez, 2006).

$$Q_1 = Q + Q_2 \quad (1)$$

Dónde:

$Q_1$  es la energía incidente (directa+difusa+albedo) en la unidad de tiempo.

$Q$  es la energía útil, es decir, la recogida por el fluido caloportador.

$Q_2$  es la energía perdida por disipación al exterior.

Dada la definición de intensidad de energía radiante,  $Q_1$  será simplemente el producto de la intensidad por la superficie. No toda la energía  $Q_1$  incidente será absorbida en el absorbedor. En primer lugar, en caso de existir cubierta, hay que contar con la transmitancia de la misma, que dejará pasar solamente una parte de dicha energía ( $tSI$ ). Por otro lado, el coeficiente de absorción o absorptancia  $a$  de la placa absorbedora nunca llega a ser igual a la unidad, de forma que la fracción de energía realmente absorbida es:

$$Q_1 = taSI \quad (2)$$

En cuanto a la energía  $Q_2$  que se pierde, su cálculo en detalle es muy complejo debido a que, como se sabe, se debe tener en cuenta simultáneamente y en diferente proporción las pérdidas por radiación, convección y conducción. Sin embargo, y con objeto de poder utilizar una formulación simple, se ha convenido en englobar estas influencias en el denominado coeficiente global de pérdidas  $U$ , el cual se mide experimentalmente y es un dato suministrado por el fabricante. La experiencia ha demostrado que el suponer las pérdidas por unidad de superficie proporcionales a la diferencia entre la temperatura media  $t_c$  de la placa absorbedora y la del ambiente  $t_a$ , siendo el factor de proporcionalidad precisamente dicho coeficiente  $U$ , constituye una aproximación bastante buena. Entonces:

$$Q_2 = SU(t_c - t_a) \quad (3)$$

Sustituyendo (2) y (3) en (1) se obtiene:

$$Q = S[I(t - a) - U(t_c - t_a)] \quad (4)$$

Donde:

$S$  = superficie del colector.

$I$  = unidad de superficie ( $W/m^2$ ), es decir, intensidad radiante.

$t$  = transmitancia de la cubierta transparente.

$a$  = absorptancia de la placa absorbedora.

$U$  = coeficiente global de pérdidas [ $W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$ ].

$t_c$  = temperatura media de placa absorbedora ( $^\circ C$ ).

$t_a$  = temperatura ambiente ( $^\circ C$ ).

La temperatura media de la placa absorbedora no puede calcularse de forma simple. Si se desea conocerla con precisión, se debe medirla directamente mediante sensores térmicos convenientemente distribuidos. Por el contrario, si puede conocerse con suficiente exactitud la temperatura media  $t_m$  del fluido caloportador en el instante en que este circula por el colector. Una forma sencilla de calcular esta temperatura es hallar la media entre la temperatura de dicho fluido a la entrada,  $t_e$ , y a la salida,  $t_s$ , del colector según se muestra en la figura 3.

$$t_m = (t_e - t_s)/2 \quad (5)$$

Si se quiere sustituir la temperatura de la placa absorbedora  $t_c$ , por la temperatura del fluido  $t_m$ , fácilmente medible, se debe introducir un factor correctivo,  $F_R$ , llamado factor de eficacia o coeficiente de transporte de calor, que es siempre menor que la unidad y que, por tanto, hace disminuir el valor de  $Q$ .

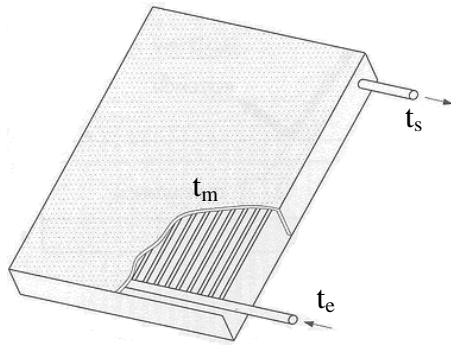


Fig. 1. Temperaturas en colector de placa plana (Roldan, 2012)

La ecuación (4) se transforma en

$$Q_2 = F_R S [I(ta) - U(t_c - t_a)] \quad (6)$$

Conocida como ecuación de Bliss (Valdez, 2006).

El índice de eficiencia del colector  $h$ , está definida por la relación entre la energía captada y la recibida en un instante dado:

$$h = Q/[SI] \quad (7)$$

Sustituyendo (6) en (7) se obtiene:

$$h = F_R [(ta) - U(t_m - t_a)/I] \quad (8)$$

### 3. METODOLOGÍA

El sistema termosifón consiste de dos colectores solar y un tanque acumulador, con una capacidad de 150 litros, una válvula de seguridad tarada en 80 Psi debido a que la máxima presión del sistema registrada fue de 50 Psi, y se dejan 30 Psi de tolerancia debido al incremento de presión por calentamiento del fluido, todo esto acoplado, según se observa en la figura 4, en la cual se presenta la instalación construida (Eca, 2008). Las dimensiones del tanque y del colector se realizaron de acuerdo a las recomendaciones de la empresa Censolar para instalaciones por termosifón.

El colector solar tiene las dimensiones 1.6 m \* 0.8 m \* 0.13 m con placas en acero inoxidable. Internamente el colector tiene siete tubos de cobre de 1.5 m de longitud y 1.5 pulgadas de diámetro. El colector tiene un vidrio templado de dimensiones 1.6 m \* 0.8 m, que determina el área de captación de la radiación solar (Jiménez y Pardo, 2006).

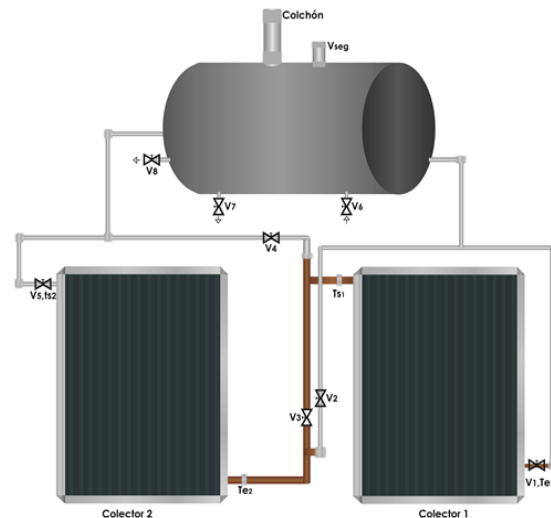


Fig. 2. Sistema termosifónico

La prueba de desempeño térmico del colector se llevó a cabo teniendo en cuenta la ecuación (8) para la cual se puede asumir  $F_R ta = \text{constante}$  y  $F_R U = m = \text{constante}$  (Roldan, 2012). La ecuación de esta curva característica del colector puede asimilarse con bastante exactitud a la de una recta en la que la variable en el eje de abscisas es  $(t_m - t_a)/I$  y cuya pendiente es  $F_R U$ . Para un c.p.p. de tipo medio se puede aproximar  $a=0.83$  y  $m=6.8$  [1], quedando la ecuación (8):

$$h = 0.83 - 6.8(t_m - t_a)/I \quad (9)$$

Si  $x = (t_m - t_a) / I$  se obtiene:

$$h = 0.83 - 6.8 x \quad (10)$$

La radiación  $I$  [ $w/m^2$ ] fue medida con un piranómetro Kipp&Zonen CM3 y las temperaturas con termocoplas tipo k ubicadas en los extremos del colector, se obtienen los resultados que se muestran en la figura 3 y la tabla 1 (Hernández, 2010).

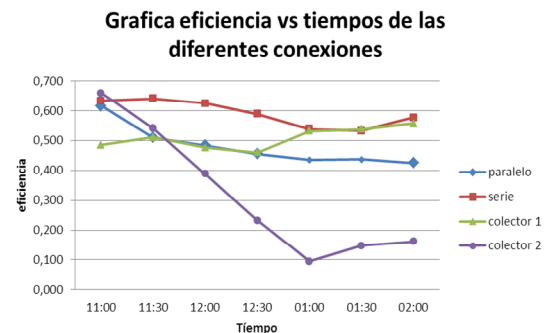


Fig. 3. Comparación de las eficiencias de las diferentes conexiones.

Tabla 1: Desempeño del colector solar

Conexión	$T_e$ (°C)	$T_s$ (°C)	$h_{max}$ (%)	Hora
Colector 1	33.1	38.8	55.6±0.3	2:00 p.m.
Colector 2	29.2	33.2	65.9±1.5	11:00 a.m.
Serie	32.2	33.5	64±0.6	11:30 a.m.
Paralelo	30.7	36.8	61.6±0.3	11:00 a.m.

Dónde:

$T_e$ : Temperatura de entrada del agua al colector.

$T_s$ : Temperatura de salida del agua al colector.

$h_{max}$ : Eficiencia máxima del colector.

#### 4. CONCLUSIONES

Se diseñó, construyó y evaluó un sistema de calentamiento de agua, con un arreglo en serie-paralelo de colectores de placa plana, utilizando energía solar. Este equipo funciona a través del sistema termosifón que cuenta con una capacidad de almacenamiento de agua de 150 litros, que pueden ser utilizados para suministrar agua caliente a la cafetería campestre dentro del campus universitario de la Universidad Pontificia Bolivariana.

De acuerdo a los datos obtenidos y los análisis realizados, se obtuvo que en la conexión en paralelo se alcanzara una eficiencia máxima de  $61.6 \pm 0.3\%$  y en serie una eficiencia de  $64\% \pm 0.6\%$ . Por otra parte el colector 2 alcanzó una eficiencia de  $65.9 \pm 1.5\%$  y el colector 1 alcanzó una máxima eficiencia de  $55.6 \pm 0.3\%$ .

El sistema termosifón es un principio físico que nos indica que el agua caliente tiende a ascender hacia la parte más alta del tanque, debido a la pérdida de densidad del fluido, en las pruebas realizadas se notó que dentro del tanque de almacenamiento se da una recirculación donde la temperatura del agua va aumentando a medida que la radiación solar incide sobre las placas absorbedoras obteniendo una temperatura entre los  $40^\circ\text{C}$  y  $45^\circ\text{C}$ .

En el momento en que el sistema deja de recibir la radiación solar se encuentra en equilibrio y el agua se estanca, de esta forma notamos en los datos adquiridos durante la pruebas, que la temperatura del tanque disminuyó  $4^\circ\text{C}$ , por más de 12 horas sin luz solar.

#### REFERENCIAS

- Centro de energías renovables. Colectores sin cubierta. [25 de septiembre de 2013]. [cer.gob.cl/tecnologías/solar/energías-solar-termicas-agua-caliente-sanitaria-acs/colectores-sin-cubierta/](http://cer.gob.cl/tecnologías/solar/energías-solar-termicas-agua-caliente-sanitaria-acs/colectores-sin-cubierta/)
- Cleanenergysolar (2013). Ángulo de inclinación de los colectores solares. [04 de diciembre de 2013]. <http://www.cleanenergysolar.com/2011/11/03/angulo-de-inclinacion-de-los-colectores-solares/>
- Eca. Instituto de Tecnología y Formación. (2008). Energía Solar Térmica. FC Editorial.
- Hernández, E. (2010). "Construcción y análisis de una válvula de control en lazo abierto en un sistema de refrigeración". Revista de Tecnologías de Avanzada, Vol. 1, No. 15, pp. 25-29.
- Jiménez P., Pardo A., (2006). "Tecnologías de avanzada en el sector hídrico". Revista de Tecnologías de Avanzada, Vol. 2, No. 8, pp 126-128.
- Portal de las energías renovables. Colectores solares térmicos. [25 de septiembre de 2013]. [http://esp.energiasrenovaveis.com/DetailConceitos.asp?ID\\_conteudo=41&ID\\_area=8&ID\\_sub\\_area=26](http://esp.energiasrenovaveis.com/DetailConceitos.asp?ID_conteudo=41&ID_area=8&ID_sub_area=26)
- Ramón, J.; et al. (2006). "Diseño de la automatización de una planta generadora de bio-gas". Revista de Tecnologías de Avanzada, Vol. 2, No. 8, pp 48-54.
- Rodríguez, M. (2009). "Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas", Revista de Ingeniería, No. 28, pp. 84-86.
- Roldan V., J. (2012). *Necesidades energéticas y propuestas de instalaciones solares*, Editorial Paraninfo.
- Sitiosolar. Los colectores de tubos de vacío. [26 de septiembre de 2013]. Disponible en: <http://www.sitiosolar.com>
- Valdez S., B. (2006). Tecnología en la UABC. California, Estados Unidos.
- Zabalza, B. (2007). *El ahorro energético en el nuevo código técnico de la edificación*, Editorial FC.