

# **EFICIENCIA DE UN COLECTOR SOLAR DE CANAL PARABÓLICO COMO SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA EN YUCATÁN**

Nidiana Rosado Hau\*, Mauricio Alberto Escalante Soberanis

UADY, Facultad de Ingeniería, Avenida Industrias No Contaminantes, Apdo. postal 150, Mérida, Yucatán, México.

\*Tel: (999) 2307864  
E-mail: nidiana\_12@hotmail.com

## **RESUMEN**

El funcionamiento del colector solar de canal parabólico manufacturado en Mérida Yucatán fue evaluado bajo las normas del ANSI/ASHRAE 93-1986, se construyó el sistema de calentamiento de agua que permitía un flujo constante de agua limitado a entradas de agua de máximo 55 °C, por lo tanto el funcionamiento del colector se llevo a cabo a temperaturas bajas. Utilizando agua como fluido de trabajo se encontró que la eficiencia máxima del colector fue de 5.43 % con una velocidad de **0.022 kg/s** con un ángulo de incidencia solar de 0°. La construcción del sistema de calentamiento se describe de manera general y la metodología de evaluación del colector se presenta en este trabajo.

Preferente presentación oral del trabajo.

## 1.-Introducción

Para la mitigación de los gases de efecto invernadero es necesario la disminución del consumo de hidrocarburos como principal fuente energética y para esto se requiere el aprovechamiento y desarrollo de las energías renovables. México posee un importante potencial de energéticos renovables, por ejemplo, se cuenta con un recurso solar promedio de  $5 \frac{kWh}{m^2}$  por día [1]. Esta energía solar se transforma en calor, viento, agua evaporada y en diversas formas de biomasa, y aunque la tecnología nueva permite un uso importante de este energético, hasta la fecha en México se usa marginalmente [2].

La energía solar se clasifica en fotovoltaica y térmica. La energía solar fotovoltaica es aquella que aprovecha el efecto fotovoltaico para convertir la energía solar en energía eléctrica por medio de celdas solares; la energía solar térmica es aquella que aprovechada directamente la energía del sol, el calor es recogido por medio de colectores expuestos a radiación directa y es transferido al fluido utilizado.

Una de las aplicaciones de la energía térmica solar que recientemente se ha vuelto prometedora es la utilización de ésta en las industrias que requieren calor en sus procesos, en el rango de baja y mediana temperatura hasta los 250 °C [3]. A pesar de la pequeña contribución que se tiene actualmente de la energía solar térmica instalada por todo el mundo, el potencial para proporcionar calor al uso industrial es realmente relevante. El objetivo del presente trabajo fue realizar una primera evaluación del colector solar de canal parabólico que se encuentra en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, diseñar el sistema de calentamiento de agua e iniciar el estudio de este tipo de colectores en Yucatán para encontrar la factibilidad de instalar un sistema de este tipo en las industrias y otras posibles aplicaciones.

## 2.-Metodología experimental

### 2.1 Metodología para la evaluación del colector de canal parabólico (PTC)

La eficiencia instantánea  $\eta_c$  de un colector térmico solar está definida como el cociente del calor útil  $q_u [W]$  entregado por área de apertura  $A_a [m^2]$  e insolación  $L_c [W/m^2]$ , que incide sobre la apertura.

$$\eta_c = \frac{q_u}{L_c A_a} \quad (1)$$

El calor útil  $q_u$  está relacionado con el flujo  $\dot{m} [kg/s]$ , el calor específico a presión constante  $c [kJ/kgK]$ , y la temperatura de entrada y salida  $T_{f\text{ in}}$  y  $T_{f\text{ out}}$  del fluido utilizado como trabajo:

$$q_u = \dot{m} c (T_{f\text{ out}} - T_{f\text{ in}}) \quad (2)$$

Para muchas aplicaciones es más conveniente especificar la temperatura de entrada del fluido  $T_{f\text{ in}}$  para su estudio que la temperatura de la superficie del tubo absorbedor, la Ecuación 3 representa el comportamiento general de la curva de eficiencia de los colectores

$$\eta_c = F_{in} [\eta_o - UA_r (T_{f\text{ in}} - T_{amb}) / IA_a] \quad (3)$$

donde  $F_{in}$  es llamado factor de remoción de calor,  $\eta_o$  es la eficiencia óptica,  $U$  es el coeficiente global de pérdidas,  $T_{amb}$  la temperatura ambiente,  $I$  es la irradiación solar y  $A_r$  es el área de la superficie absorbadora.

Cuando se mide la eficiencia como una función de  $(T_{f\text{ in}} - T_{amb})/I$  se pueden determinar 2 constantes del colector: la ordenada al origen  $(F_{in} \eta_o)$  y la pendiente  $(F_{in} UA_r / A_a)$ .

Usando la temperatura del fluido como base, no se puede medir  $F_{in}$  separado de  $\eta_o$  y  $U$ . Esto no representa problema alguno porque en la práctica se utilizarán solo las ecuaciones basadas en la temperatura del fluido. Otro parámetro importante para la evaluación del colector es la constante de tiempo  $\tau$  (medida en segundos); para encontrar este valor es necesario mantener la temperatura de entrada del fluido cercana a la del ambiente durante la determinación de la constante; además, se debe permitir el paso de la radiación sobre el colector hasta que la diferencia de temperatura entre la salida y entrada se estabilice, una vez alcanzada esta última se bloquea de manera abrupta la radiación y se espera hasta que la diferencia de temperatura del fluido de salida y entrada haya disminuido al 36.8% de su valor inicial.

Las pruebas de eficiencia del colector se realizaron bajo los estándares ANSI/ASHRAE 93-1986, con un ángulo de incidencia cercana a la normal del plano del colector en el medio día solar, la distribución de las temperaturas de entrada fueron: 40, 45, 50, 55 °C. El número de datos para cada temperatura fue de 2 veces la constante de tiempo, a una relación de 1 dato por segundo, y el flujo másico estudiado fue de  $0.022 \text{ Kg/s}$ .

La evaluación del colector de canal parabólico consiste en determinar la curva de eficiencia presentada en la Ecuación 1 y encontrar las dos constantes del colector  $(F_{in}\eta_o)$  y  $(F_{in}UA_r/A_g)$  y la constante del colector  $\tau$  [4]. Con esta curva de eficiencia podemos determinar las condiciones de funcionamiento del colector. Debido a que el colector no contaba con un sistema automático para el seguimiento solar, con la ayuda del programa del NOAA [5] se determinó la altitud solar al medio día solar con las coordenadas: 21.04° Latitud Norte y 89.64° Longitud Oeste de la posición del colector y el plano normal del mismo se ajustó a ese ángulo; la orientación del colector fue de Norte-Sur.

## 2.2 Sistema de calentamiento de agua y adquisición de datos

El sistema de calentamiento de agua construido se presenta en la Figura 1. Otros sistemas para la evaluación de colectores se pueden encontrar en [6] y [7]. Para la adquisición de los

datos de temperatura, se utilizan los módulos de adquisición de datos FP 1000 y FP-TC-120, ambos de la National Instruments y se conectan a una computadora portátil. El módulo FP-TC-120 es específicamente para termopares. Se configuraron estos módulos con el Fieldpoint 4.0 y Labview 8.5. Los datos se guardan cada segundo con la hora respectiva. Los termopares utilizados son tipo K cuyo rango de medición es:  $-40$  a  $260^{\circ}\text{C}$ .

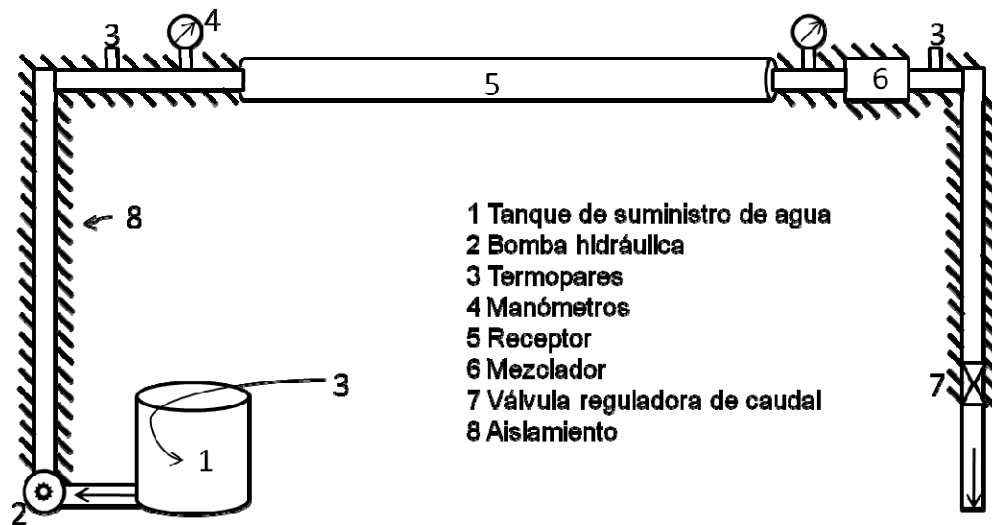


Figura 1. Diagrama del sistema de calentamiento de agua para la evaluación del colector

### 3.-Resultados

#### 3.1 Constante de tiempo a un flujo de $0.022 \text{ Kg/s}$

Se determinó la constante de tiempo, cuya curva se observa en la Figura 2. Durante el experimento las presiones de entrada y salida del agua se mantuvieron a  $17.23 \pm 0.2154 \text{ KPa}$ . La radiación directa fue de  $821 \text{ W/m}^2$ , con una desviación estándar de  $\sigma = 11 \text{ W/m}^2$ , la temperatura ambiente se mantuvo constante a  $33.5^{\circ}\text{C}$  y la velocidad del viento fue  $2.71 \text{ m/s}$  con direcciones variables.

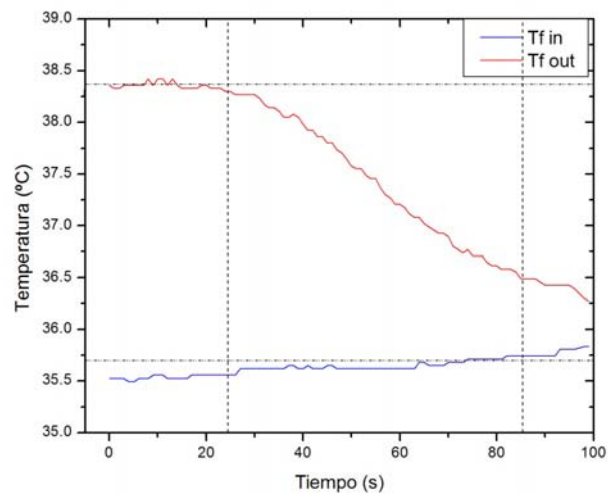


Figura 2. Curvas de la temperatura de entrada y salida del fluido para la constante de tiempo a un flujo de  $0.022 \text{ kg/s}$ .

En la Figura 2 se observa que en el intervalo de tiempo  $0 < t < 24\text{s}$ , la temperatura de entrada y salida tiene una diferencia constante con un valor aproximado de  $1.023$ , el cual se reduce a menos del  $0.368$  cuando  $t = 85\text{s}$  por lo que la constante de tiempo a  $0.022 \text{ Kg/s}$  es de  $\tau = 61\text{s}$ .

### 3.2 Curva de eficiencia a $0.022 \text{ Kg/s}$

En la curva presentada en la Figura 3, se muestra la eficiencia del colector al flujo determinado para 4 temperaturas diferentes, las primeras 3 se realizaron el día 21 de Junio de 2010 y la cuarta el día 22 de Junio, esto se debió a que las condiciones del clima no permitieron realizar de manera continua el experimento. Las condiciones a las cuales se determinaron las curvas se presentan en la Tabla 1, la radiación directa presentada es un promedio de la radiación durante 3 minutos con su respectiva desviación estándar.

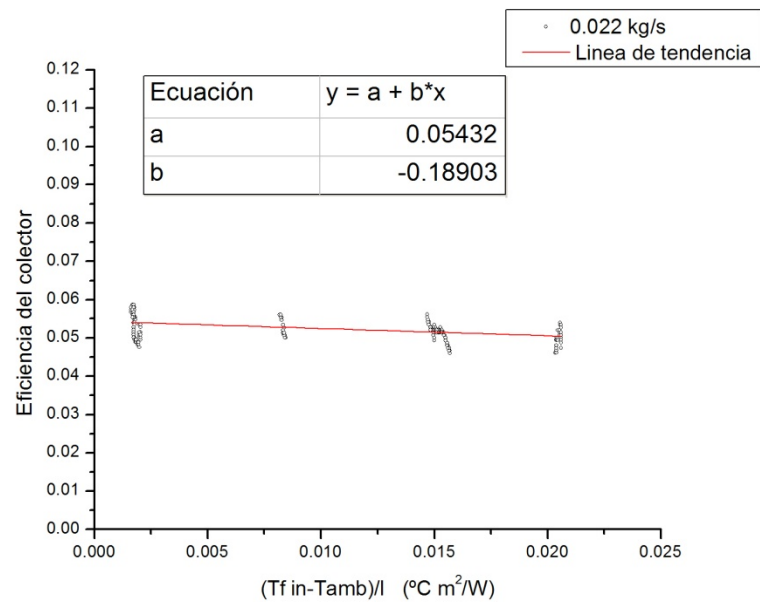


Figura 3. Curva de eficiencia del colector de canal parabólico al medio día solar con ángulo de incidencia  $0^\circ$  y flujo másico de **0.022 kg/s**.

Tabla 1 Condiciones ambientales para la determinación de la curva de eficiencia

Radiación directa $I$ ( $W/m^2$ )	Desviación estándar $\sigma$ ( $W/m^2$ )	$T_{amb}$ ( $^\circ C$ )	Velocidad del viento ( $m/s$ )
845.7	10.85	34.32	2.18
825.6	8.37	34.38	2.61
813.6	4.20	34.54	2.25
836.8	29	33.22	2.79

En la Figura 3 se presenta la línea de tendencia de la curva de eficiencia, donde las constantes del colector son:  $F_{in}\eta_o = 0.0543$  y  $F_{in}UA_r/A_o = 0.1889$ . Para una concentración geométrica  $C = \frac{A_o}{A_r} = 38.8$  el coeficiente  $F_{in}U = 7.32$ . Para determinar de

manera individual la eficiencia óptica y la constante de pérdidas es necesario realizar la experimentación variando los ángulos de incidencia. La eficiencia del colector a  $0.022 \text{ kg/s}$  y a una temperatura cercana a la del ambiente fue de 5.43%. Esta eficiencia representa el punto más alto en la línea de tendencia por lo cual concluimos que la eficiencia del colector es muy baja, en comparación con otros trabajos publicados con anterioridad y que se han mencionado previamente. Lo anterior puede deberse a las pérdidas en la eficiencia óptica del colector, derivadas de las imperfecciones en la superficie, y a las pérdidas por convección, ya que el receptor utilizado perdió el vacío al que se le había sometido durante su fabricación.

#### **4.-Conclusiones**

La eficiencia que presenta el colector de canal parabólico es baja, en comparación con otras reportadas en la literatura. Una de las causas principales es la falta de vacío en el receptor, sin embargo el comportamiento que presenta la curva de eficiencia permite conocer las características que deben mejorar en el colector como son la eficiencia óptica y la disminución del coeficiente global de pérdidas. A pesar de que las eficiencias alcanzadas por algunos colectores de canal parabólicos llegan al 56% [8], es importante el estudio en esta área de energías renovables ya que en nuestro país se cuenta con radiación alta la mayor parte del año, en especial en la península de Yucatán, donde la realización de estudios y aplicaciones en esta área es prometedora.

#### **5.-Agradecimientos**

A todos los integrantes del Laboratorio de Energía de la Facultad de Ingeniería de la UADY por el apoyo brindado durante la realización del proyecto.

A la Academia Mexicana de Ciencias por la beca otorgada para la realización de una estancia en el Centro de Investigación en Energía de la UNAM.



## 6.-Referencias

- [1] *Comisión Nacional para el uso eficiente de la energía* (CONAE,) [http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_630\\_termosolar?page=3](http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_630_termosolar?page=3) (2009)
- [2] *Senado de la República, LIX Legislatura*; Nuevas energías renovables, una alternativa energética sustentable para México; Instituto de investigaciones legislativas del senado de la república (2004).
- [3] R. Battisti<sup>1</sup>, S. Drigo and C. Vannoni; *Solar Heat for Industrial Processes Operating Plants and Potential for Application*; 1<sup>st</sup> International Congress On Heating, Cooling and Buildings; Lisboa Portugal; (2008).
- [4] ASHRAE Standard; *Methods of testing to determine thermal performance of solar collectors*; ANSI/ASHRAE 93-1986 (1997).
- [5] *National Oceanic & Atmospheric Administration*: NOAA Solar Calculator; <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/> (2010).
- [6] Duffie J.W; *Solar engineering of thermal process*; second edition; John Wiley & Sons, (1991).
- [7] Rabl Ari; *Active solar collector and their applications*; Oxford University Press (1985).
- [8] MJ Brooks, I Mills, TM Harms; *Journal of Energy in Southern Africa*; Vol 17 No 3; p. 71-80; (2006).