

## Evaluación de concentradores solares de una instalación termosolar en condiciones de operación

Omar Humberto Cruz-Silva\*, Raúl Contreras-Acosta y Salvador Sosa-Reyes

Dirección de Sistemas Mecánicos, Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ A.C.), Zapopan, Jalisco, México.

\* Autor de correspondencia: omar.cruz@ciateq.mx; Tel.: 52 33 2687 0310 Ext 4413

**Energías Renovables** (Energía solar).

**Palabras clave:** Colector solar, Caracterización térmica, Concentrador solar de canal parabólico, Eficiencia térmica, TRNSYS.

**Introducción.** La información obtenida de la caracterización de un colector solar permite estimar su comportamiento transitorio en condiciones climáticas y de operación específicas. Los métodos de evaluación de colectores solares se implementan en condición estable o en condición dinámica con referencia a estándares de evaluación reconocidos (Kalogirou, 2013). No obstante, en la condición estable cuando las condiciones de evaluación se desarrollan durante el funcionamiento rutinario de los colectores solares, los requerimientos de los estándares no siempre son satisfechos cabalmente. En estas condiciones de evaluación inusual de colectores solares los trabajos reportados son escasos (Valenzuela et al, 2014). Este trabajo propone una aproximación con referencia al estándar ANSI/ASHRAE 93-1986 (Standard, 1991) para la obtención de la curva de eficiencia de colectores solares en condición cuasiestable considerando lo siguiente: que la radiación solar no es en dirección normal al plano de apertura del colector (efecto coseno), que los colectores conforman un arreglo y que no se dispone de un reservorio acondicionado para el control de temperatura del agua durante las pruebas.



Figura 1. Instalación termosolar con arreglo de CCPs con orientación N-S y seguimiento solar E-W, ubicada en CIATEQ Jalisco (20.719°, -103.426°)

**Materiales y Métodos.** El equipo a evaluar consta de un arreglo en serie de tres concentradores cilindro-parabólicos (CCPs) idénticos con tubos evacuados de vidrio que albergan tubos absorbentes con recubrimiento selectivo que conducen agua. La instalación de circuito cerrado incorpora un termostato de 300 l, accesorios e instrumentación (ver Fig. 1). Por el diseño de la instalación, el arreglo se considera como un solo colector a evaluar. Las pruebas se realizan en dos días soleados consecutivos para la obtención de la curva de calentamiento del agua en un rango amplio de temperaturas. Se eligen intervalos de 2 minutos en puntos distribuidos a lo largo de la prueba donde la cuasiestabilidad de las variables es observada; es decir, donde los valores de la irradiancia solar directa ( $G_B$ ), temperatura ambiental ( $T_{amb}$ ), el flujo másico ( $\dot{m}$ ) y la temperatura de entrada ( $T_i$ ) a los CCPs fluctúan en torno a un valor constante. Durante las pruebas la acción del tanque de almacenamiento fue observada efectiva para evitar cambios abruptos en  $T_i$ . El monitoreo fue cada 5 s y las variables fueron promediadas en los intervalos elegidos. Adicionalmente, las condiciones climáticas fueron conforme al estándar de evaluación.

La eficiencia térmica del colector se propone con modificaciones respecto al estándar de evaluación debido al efecto coseno y al área de reflexión perdida ( $A_l$ ) por efecto de borde, a saber, donde  $A_r$  es el área del absorbente,  $C$  la concentración,  $\theta$  el ángulo de incidencia promedio de la radiación solar,  $(\rho\tau\alpha\gamma)_n$  es el producto de parámetros ópticos del colector en incidencia normal,  $F_R$  el factor de remoción de calor y  $U_l$  el coeficiente global de pérdidas térmicas, estos dos últimos asumidos con valores constantes. Por otra parte, de la definición de eficiencia térmica  $\eta = \dot{m}C_e(T_o - T_i)/A'G_B\cos\theta$ , donde  $A'$  es el área de apertura reducida del colector, y del factor entre paréntesis del segundo término de la Ecuación 1, se genera un conjunto de datos para obtener la curva de la eficiencia del colector mediante un ajuste lineal. Finalmente, el valor del modificador de ángulo de incidencia ( $K_\theta$ ) de la Ecuación 1 se propone y se ajusta al comparar la curva de calentamiento contra los resultados de simulaciones de la instalación utilizando el software TRNSYS 18.

$$\eta = K_\theta F_R (\rho\tau\alpha\gamma)_n - \frac{F_R U_l}{(C - \frac{A_l}{A_r}) \cos\theta} \left( \frac{T_i - T_{amb}}{G_B} \right) \quad (1)$$

**Resultados.** La Fig. 2a muestra la curva de eficiencia para datos de pruebas realizadas el 19 y 20 de noviembre de 2019. La Fig. 2b muestra la respuesta térmica del agua calentada y los resultados numéricos asumiendo un valor de  $K_\theta = 0.9$ , en donde se exhibe proximidad y comportamiento común entre ambas curvas.

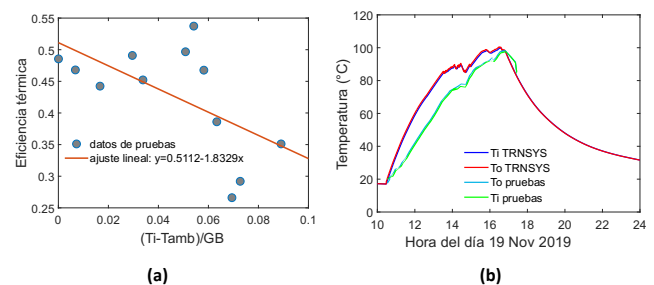


Figura 2. (a) curva de eficiencia del colector para  $\theta = 39.8^\circ$ , (b) curva de calentamiento del agua contra resultados de la simulación en TRNSYS.

**Conclusiones.** Por este procedimiento se obtuvieron  $F_R = 0.736$  y  $U_l = 35.78 \text{ W/m}^2\text{K}$  y la curva de eficiencia del colector en incidencia normal puede ser aproximada al grado deseado. La realización de pruebas para diversos valores de  $\theta$  pueden implementarse para obtener una curva representativa del comportamiento  $K_\theta$ .

### Bibliografía.

- Kalogirou, S. A. (2013). Solar energy engineering: processes and systems. Academic Press.
- Valenzuela, L., López-Martín, R., & Zarza, E. (2014). Optical and thermal performance of large-size parabolic-trough solar collectors from outdoor experiments: A test method and a case study. *Energy*, 70, 456-464.
- Standard, A. S. H. R. A. E. (1991). ANSI/ASHRAE 93-1986 (RA 91). Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors, ASHRAE Publication Sales, Atlanta.