

Comparación de la eficiencia térmica de un concentrador cilindro parabólico con distintas mezclas

*Yuridiana Rocio Galindo Luna
Área de Ingeniería en Recursos Energéticos,
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
Jesús Javier Luna Jaime
Jorge Ramos Sierra
Licenciatura de Ingeniería en Energía,
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa*



Abstract:

The use of solar energy is carried out through solar collectors, which convert solar radiation into electrical energy or thermal energy. The parabolic trough collector is capable of collecting solar rays and redirecting them to a focal line, where the receiving tube is located and inside, a working fluid which increases its thermal level. Water is the most used fluid, however, it has limitations that reduce the thermal efficiency of the system. For this reason, the use of the water-ethylene glycol mixture with 5% ethylene glycol as a working fluid is proposed, with the aim of increasing the thermal efficiency of the concentrator. Both working fluids water and water-ethylene glycol were experimentally evaluated, in similar climatic conditions during the month of April with irradiance of 598.45 W/m² and 603.09 W/m² respectively, according to the results obtained, the H₂O-C₂H₆O₂ mixture managed to increase efficiency by 1.23%. Thermal compared to water.

Keywords: solar energy, parabolic trough collector, working mixture, thermal efficiency.

Resumen

El aprovechamiento de la energía solar se realiza mediante colectores solares, los cuales logran convertir radiación solar en energía eléctrica o en energía térmica. El colector cilindro parabólico es capaz de recolectar los rayos solares y redirigirlos a una línea focal, donde se encuentra el tubo receptor y en su interior, un fluido de trabajo el cual aumenta su nivel térmico. El agua es el fluido más utilizado sin embargo, presenta limitantes que disminuyen la eficiencia térmica del sistema. Por tal motivo se propone el uso de la mez-

cla agua-etilenglicol al 5 % de etilenglicol como fluido de trabajo, con el objetivo de aumentar la eficiencia térmica del concentrador. Se evaluaron experimentalmente ambos fluidos de trabajo agua y agua-etilenglicol, en condiciones climáticas similares durante el mes de abril con irradiancia de 598.45 W/m² y 603.09 W/m² respectivamente, de acuerdo con los resultados obtenidos la mezcla H₂O-C₂H₆O₂ logró incrementar en 1.23 % la eficiencia térmica en comparación con el agua.

Palabras clave: Energía solar, Concentrador Cilindro Parabólico, mezcla de trabajo, eficiencia térmica.

1.- Introducción

La energía solar es la fuente más abundante del planeta y se encuentra disponible en casi todas las zonas geográficas del mundo. Para aprovechar la energía solar existen diversas metodologías y una de las alternativas son los dispositivos denominados colectores solares, los cuales se clasifican en dos tipos: colectores que convierten la energía solar en electricidad y colectores capaces de convertir la energía solar en energía térmica o en su defecto energía térmica que puede almacenarse para su posterior uso. El colector solar térmico absorbe la radiación solar y la convierte en calor que finalmente se transfiere a un fluido de trabajo, ya sea líquido o gaseoso. El fluido de trabajo puede ser agua, aceite térmico o algunos disolventes orgánicos. Los Concentradores Cilindro Parabólicos (CCP) son capaces de alcanzar entre 350 °C y 400 °C, la eficiencia de este colector se encuentra basado en el índice de concentración, que se define como la relación entre el área efectiva de la apertura y el área de superficie del absorbente (Nawsud, 2022).



Figura 1. Concentrador cilindro parabólico, elaboración propia.

El tubo absorbedor consta de dos componentes: la cubierta envolvente y el tubo receptor; la cubierta de vidrio minimiza las pérdidas convectivas al ambiente mientras que el tubo metálico generalmente revestido con una película negra o alguna película selectiva, captura la energía solar. Al interior fluye el fluido de trabajo, generalmente agua, sin embargo, este fluido tiene ciertas limitantes que afectan de forma negativa a la eficiencia térmica del sistema. La mezcla binaria $H_2O-C_2H_6O_2$ se utiliza ampliamente en la transferencia de calor en las industrias, debido al aumento de la conductividad térmica cuando se combina con agua (Huang, 2022, Kang, 2022).

El análisis propone combinar el fluido base agua con etilenglicol al 5 % (v/v) con el propósito de aumentar la eficiencia térmica cuando ambos fluidos son comparados bajo condiciones climáticas similares. Las propiedades de la mezcla $H_2O-C_2H_6O_2$ fueron determinadas con ecuaciones exis-

tentes en literatura. Se realizó la evaluación experimental durante el mes de abril y los resultados son comparados.

2.- Metodología

2.1 Descripción del Sistema

El Colector Cilindro Parabólico (CCP), emplea una superficie reflectante con forma parabólica, la lámina del material toma la forma parabólica para formar un canal reflectante. La irradiancia es recolectada en la superficie y los rayos solares son redirigidos hacia la línea focal, en esta línea se encuentra ubicado el tubo receptor, dentro de él fluye un fluido de trabajo. El fluido de trabajo recolecta energía, incrementando así su temperatura (Jebasingh, 2022). En la Figura 1, se aprecia el CCP instalado en la azotea del edificio AT, orientado Este-Oeste dentro de las instalaciones de UAM-Iztapalapa. El sistema de seguimiento (Norte-Sur) utilizado es comercial y considera un brazo mecánico, un controlador y una celda fotosensible, ubicado en un extremo del CCP.

H ₂ O-C ₂ H ₆ O ₂ , %	A	B	C
10	0.97236	1.8001x10 ⁻⁴	5.7049x10 ⁻⁷
20	0.93576	3.9963x10 ⁻⁴	0
30	0.89889	5.1554x10 ⁻⁴	0
40	0.85858	6.2639x10 ⁻⁴	0
50	0.81485	7.3219x10 ⁻⁴	0
60	0.76768	8.3293x10 ⁻⁴	0
70	0.71707	9.2863x10 ⁻⁴	0
80	0.66304	1.0193x10 ⁻³	0
90	0.60557	1.1049x10 ⁻³	0
100	0.54467	1.1854x10 ⁻³	0

Tabla 1. Constantes para determinar el Cp de la mezcla H₂O-C₂H₆O₂.

2.2 Fluido de trabajo

Para este análisis se utilizó una mezcla binaria de agua-etilenglicol en una concentración del 5 % volumen/volumen, las propiedades térmicas se determinaron de acuerdo a las siguientes formulas:

- Calor específico (Cp):

$$Cp_{mezcla} = A + BT + CT^2 \quad (1)$$

Los valores de las contantes A, B y C de acuerdo al catálogo de proveedor (MEGlo-bal, 2013), se presentan en la Tabla 1, la cual está en función del porcentaje de la cantidad de etilenglicol disuelto en agua y considerando la temperatura en grados Celsius (°C), en la ecuación 1.

- Conductividad térmica (k):

$$k_{mezcla} = \frac{(1-x)k_{agua} + xk_{etilenglicol} - K(k_{agua} - k_{etilenglicol})}{(1-x)x} \quad (2)$$

La constante K es la constante de Filippov (Bolme, 1985) es determinada como sigue:

$$K = 0.6635 - 0.6698x - 8.8510^{-4} t \quad (3)$$

	j=1	j=2	j=3
i=1	1.0004	1.7659x10 ⁻¹	-4.9214x10 ⁻²
i=2	1.2379x10 ⁻⁴	-9.9189x10 ⁻⁴	4.1024x10 ⁻⁴
i=3	2.9837x10 ⁻⁸	2.4614x10 ⁻⁸	9.5278x10 ⁻⁸

Tabla 2. Coeficientes Aij para determinar la densidad de la mezcla H₂O-C₂H₆O₂.

- Densidad (ρ):

$$\rho_{mezcla} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 A_{i,j} x^{(j-1)} t^{(j-1)} \quad (4)$$

Las constantes i y j son mostradas en la Tabla 2, de acuerdo con un análisis publicado en 1985, sobre propiedades de la mezcla agua-etilenglicol (Bolme, 1985), las cuales dependen del orden en que son utilizadas en la ecuación 4.

2.3 Modelo matemático

- Eficiencia térmica.

La eficiencia térmica ($\eta_{térmica}$) del CCP representa la relación entre el calor útil (Q_u) y la irradiancia solar disponible (Q_s) y se expresa de la siguiente manera:

$$\eta_{térmica} = \frac{Q_u}{Q_s} \quad (5)$$

La producción de energía útil (Q_u) se puede calcular utilizando el balance de energía en el volumen del fluido con la siguiente ecuación:

$$Q_u = mC_p (T_{salida} - T_{entrada}) \quad (6)$$

La tasa de transferencia de calor disponible (Q_s) en la apertura del colector es el producto de la irradiación solar directa (G_b) y el área de apertura total (A_a):

$$Q_s = G_b \cdot A_a \quad (7)$$

Para este análisis se consideró un nivel de irradiación solar local de Iztapalapa (-99.062 longitud y 19.355 latitud). El área de apertura permanece constante con un valor de 2.56 m².

El calor útil puede expresarse de la siguiente manera (Bellos y Tzivanidis, 2019):

$$Q_u = A_{ri} \cdot U_r \cdot (T_r - T_{en}) \quad (8)$$

Donde A_{ri} es el área interior del tubo, T_r es la temperatura del tubo receptor y T_{en} es la temperatura de entrada y el coeficiente global de transferencia de calor (U_r) es determinado como:

$$U_r = \left[\frac{1}{h} + \frac{A_r}{2 \cdot (\rho \cdot C_p) \cdot V} \right]^{-1} \quad (9)$$

Donde A_r es el área del receptor y V es el flujo volumétrico.

Resultados

La comparación experimental fue realizada durante los meses de marzo a mayo del año en curso, la comparativa de la mezcla H₂O- C₂H₆O₂ al 5 % con respecto al H₂O es descrita a continuación. La evaluación fue realizada bajo las siguientes condiciones: flujo másico de 0.1 kg/s, irradiación directa promedio para la mezcla de 603.09 W/m² y 598.45 W/m² para la evaluación con agua, mientras la temperatura ambiente promedio fue registrada en 29.36 °C para el agua y 30.02 °C para la mezcla.

En la Figura 2 se presentan los datos del 19 de abril en un periodo de 9:30 am a 1:30 pm, en esta se observa el comportamiento de la eficiencia promedio cada 10 minutos. La eficiencia promedio durante el periodo de prueba fue de 16.44 %, y la máxima del 26%.

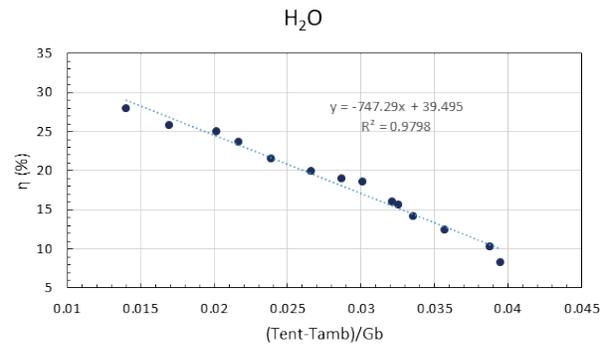


Figura 2. Evaluación experimental del 19 de abril, utilizando agua como fluido de trabajo.

Durante la operación fue tomada la temperatura (°F) del tubo receptor, en la Figura 3, se observa el tubo metálico y la envoltura de vidrio con una temperatura de 130.5 °F (54.7 °C), durante la evaluación.

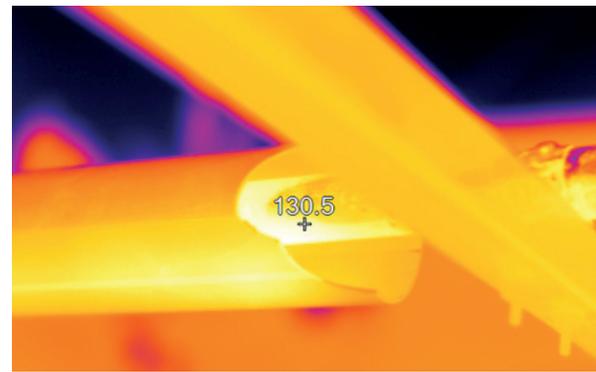


Figura 3. Captura de la temperatura en °F con la cámara termográfica, el 19 de abril de 2024.

La mezcla H₂O- C₂H₆O₂ al 5 % fue evaluada durante el mes de abril, en la Figura 4 se observa el comportamiento de la eficiencia promedio cada 10 minutos corres-

pondiente al 26 de abril, en un periodo de 9:30 am a 2:00 pm. La eficiencia máxima fue calculada como 27.23 %, con un valor promedio de 18.19 %.

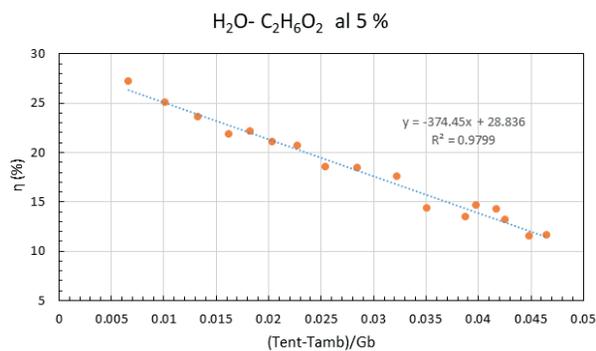


Figura 4. Evaluación experimental del 26 de abril, utilizando agua-etilenglicol al 5% como fluido de trabajo.

La Figura 5 muestra el registro de temperatura ($^{\circ}\text{F}$) en el tubo receptor durante la operación del 26 de abril, la temperatura determinada fue de 132.0°F (55.6°C).

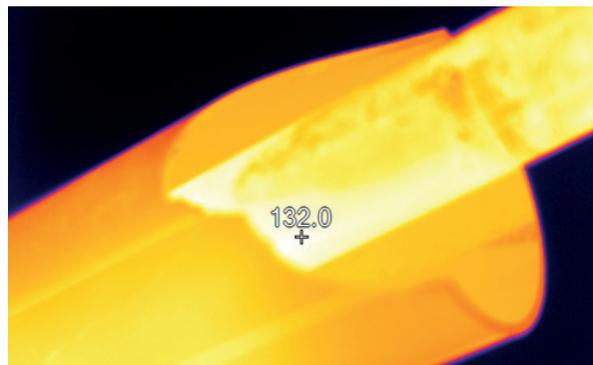


Figura 5. Captura de la temperatura en $^{\circ}\text{F}$ con la cámara termográfica, el 26 de abril de 2024.

La Figura 6, muestra la comparativa de la eficiencia térmica entre ambas pruebas, en esta se observa un incremento del 1.23 % al utilizar la mezcla binaria con respecto al agua. La temperatura de salida promedio es de 40.90°C para H_2O y 43.48°C para la mezcla binaria. Sin embargo, se

observa que el comportamiento de la eficiencia térmica al usar el fluido base no disminuye precipitadamente en los valores más altos del eje x, con respecto a la de la mezcla binaria. Lo anterior se le atribuye a un valor más alto de irradiancia (603.09 W/m^2) con respecto al valor registrado en la prueba con la mezcla binaria (598.45 W/m^2) y a la presencia de nubes aunado a la contaminación del aire durante la prueba con agua-etilenglicol.

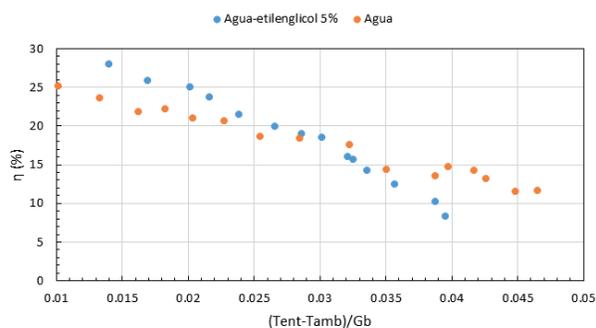


Figura 6. Comparativa de la eficiencia térmica.

Conclusiones

En el presente trabajo se muestra el análisis comparativo experimental en un concentrador cilindro parabólico que utiliza agua como fluido de trabajo con respecto a una mezcla binaria agua-etilenglicol al 5%.

- La evaluación fue realizada durante el mes de abril con el objetivo de mantener condiciones similares de irradiancia directa para el agua y la mezcla, 598.45 W/m^2 y 603.09 W/m^2 respectivamente, así como la temperatura ambiente de 29.36°C para el agua y 30.02°C para la mezcla.
- La eficiencia térmica calculada máxima fue de 26.00 % cuando se usó agua y 27.23 % al usar agua-etilenglicol al 5 %, la temperatura promedio en la salida del concentrador fue 40.90°C para el agua y 43.48°C para la mezcla binaria.

Los resultados muestran un aumento en la eficiencia térmica al utilizar H₂O-C₂H₆O₂, lo que hace evidente el camino a seguir en trabajos futuros.

Referencias

Bellos, E., y Tzivanidis, C. (2019). Thermal efficiency enhancement of nanofluid-based parabolic trough collectors. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 135, 597-608.

Bolme, D., Fischer, S., Obermeier, E., Thermal conductivity, density, viscosity and Pradtl-numbers of ethylene Glycol-water mixtures, *Berichte der Bunsengesellschaft für physikalische Chemie*, 89 (7), pp. 805-809, 1985.

Huang, A., Bao, Y., Li, H., Lui, Y., Zheng, X., Qin, G., Thermal conductivity of ethylene glycol and water binary mixtures at evaluated temperature and pressure.

Jebasingh, V.K., Joselin Herbert, G.M., A review of solar parabolic trough collector, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 54 pp. 1085-1091, 2016. *J. Chem. Thermodyn.* 175, pp. 106900, 2022.

Kang, K., Gu, Y., Wang, X., Assessment and development of the viscosity prediction capabilities of entropy scaling method coupled with a modified binary interaction parameter estimation model for refrigeration blends. *J. Mol. Liq.* 358, pp. 119184, 2022.

MEGlobal, Ethylene Glycol product guide, pp. 19, 2013.

Nawsud, Z.A., Altouni, A., Akhijahani, H.S., Kargarsharifabad, H., A comprehensive review on the use of nano-fluids and nano-PCM in parabolic trough solar collectors (PTC), *Sustain. Energy Technol. Assess.*, 51, pp. 101889, 2022.