

Análisis comparativo del rendimiento térmico de un colector solar de placa plana variando el tipo de vidrio en la cubierta

 **Albarracín-Álvarez, Mauro Darío**

 **Torres-Tamayo, Enrique**

 **Laurencio-Alfonso, Héctor Luis**

Análisis comparativo del rendimiento térmico de un colector solar de placa plana variando el tipo de vidrio en la cubierta

Minería y Geología, vol. 38, núm. 3, pp. 288-300, 2022

Universidad de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223574524008>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

Análisis comparativo del rendimiento térmico de un colector solar de placa plana variando el tipo de vidrio en la cubierta

Comparative analysis of the thermal efficiency of a flat plate solar collector varying the glass type in the cover

Mauro Darío Albarracín-Álvarez

Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador

enrique.torres@utc.edu.ec

 <https://orcid.org/0000-0001-7581-0065>

Enrique Torres-Tamayo

Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador

 <https://orcid.org/0000-0002-7226-7295>

Héctor Luis Laurencio-Alfonso

Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador

 <https://orcid.org/0000-0003-2688-015X>

Recepción: 15 Septiembre 2022

Aprobación: 26 Septiembre 2022



Acceso abierto diamante

Resumen

Se realizó un análisis comparativo del rendimiento térmico en colectores solares de placa plana para el calentamiento de aire debido a la radiación solar incidente. Se utilizaron dos colectores solares de placa plana y cubierta de vidrio convencional oscuro y claro, respectivamente, lo que permitió determinar el efecto de la radiación solar incidente en la temperatura de salida del aire. Se experimentó en igualdad de condiciones con toma de datos en tiempo real cada minuto durante seis horas al día y en cuatro condiciones: sin aire forzado, con aire forzado a 0,033 kg/s, 0,5 kg/s y 0,061 kg/s. La experimentación permitió definir que la aplicación de vidrio oscuro disminuye el rendimiento térmico; los mejores valores se obtienen al utilizar vidrio claro, la temperatura de salida obtenida alcanza valores promedio de 8,26 °C sin aire forzado. El rendimiento térmico comparativo entre los colectores solares con la cubierta de vidrio claro y oscuro muestra valores que alcanzan el 12 % en cubiertas de vidrio claro, los valores de radiación solar incidente experimentales variaron entre 200 W/m² y 1 500 W/m².

Palabras clave: colector solar de placa plana, eficiencia térmica, radiación solar incidente.

Abstract

A comparative analysis of the thermal efficiency of flat plate solar collectors for air heating due to incident solar radiation was carried out. Two flat plate solar collectors and conventional cover of dark and clear glass were used, which allowed determining the incidence of incident solar radiation on the air outlet temperature. Experiments were carried out under equal conditions with real-time data collection every minute for six hours a day and four conditions: without forced air, with forced air at 0,033 kg/s, 0,5 kg/s and 0,061 kg/s. The experimentation allowed defining that the application of dark glass decreases the thermal efficiency; the best values are obtained when using clear glass, the outlet temperature obtained reaches average values of 8,26 °C without forced air. The comparative thermal performance between solar collectors with clear and dark glass covers shows values that reach 12 % in clear glass covers, the experimental incident solar radiation values varied between 200 W/m² and 1 500 W/m².

Keywords: flat plate solar collector, thermal efficiency, incident solar radiation.

1. INTRODUCCIÓN

Los calentadores solares de aire de placa plana son dispositivos que utilizan la energía solar para el calentamiento de aire. Se emplean en procesos donde la demanda de aire no supera los 70 °C, tales como el secado de productos agrícolas e industriales. El coeficiente de transferencia de calor entre la placa absorbadora y el aire es bajo por lo que no alcanzan altos rendimientos. Para mejorar el desempeño energético de los calentadores solares de aire se han realizado varias investigaciones, los principales factores que influyen son: la longitud del colector, la altura del canal de aire, el tipo de placa absorbadora, sea lisa, corrugada, aleteada o con algún otro tipo de técnica de intensificación de la transferencia de calor y el tipo de cubierta de vidrio, entre otros.

Mejorar el rendimiento energético de los calentadores solares de aire ha sido un objetivo básico de los investigadores durante varios años. Son múltiples los parámetros de diseño y otros factores que pueden influir en el comportamiento energético del colector, por ejemplo, el propio tipo de colector, sea de un paso de aire, de doble flujo o de dos pasos de aire; la longitud del colector; la altura del canal de aire; el tipo de placa absorbadora, sea lisa, corrugada, aleteada o con algún otro tipo de técnica de intensificación de la transferencia de calor; el tipo de cubierta de vidrio, sea con cubierta o sin esta. Además de estos factores, un elemento importante en el desempeño térmico del colector también lo es el tipo de flujo, forzado o natural y el régimen, ya sea laminar o turbulento (Koulibaly y González 2015).

Ávila, Mendoza y Beltrán (2010) investigan la incidencia de la relación de aspecto (razón entre la longitud y ancho de un colector de área constante), sobre la eficiencia térmica de un colector solar de placa plana que utiliza doble cubierta transparente para el calentamiento de aire. El estudio se realiza desde dos enfoques: el primero utiliza un modelo físico-matemático a partir de los balances de energía del colector; el segundo utiliza un prototipo con su respectiva instrumentación para calcular el rendimiento de manera experimental. En general demuestran que para un área constante del colector, la eficiencia térmica aumenta cuando la relación de aspecto aumenta y que el modelo teórico se ajusta de manera aceptable con los resultados experimentales.

En relación con el uso de modelos matemáticos para sistemas de colectores solares de aire de una y de dos cubiertas de vidrio con flujo de convección natural, es importante revisar el trabajo desarrollado por Bahrehamd y Ameri (2015). Los modelos se basan en una solución analítica de ecuaciones de balance de energía para varios elementos de colectores. También se investigan los efectos de una lámina de metal de estaño suspendida en el medio del canal de aire, aletas longitudinales con formas rectangulares y triangulares y variaciones de profundidad y longitud del canal sobre la eficiencia energética y exergética de los colectores solares de aire. Los resultados muestran que el colector con tapas de dos vidrios tiene un mejor desempeño que un colector de un solo vidrio, y es analíticamente preferido por la primera y la segunda ley de la termodinámica. Los resultados también ilustran que los colectores con aletas triangulares son más eficientes, en términos de energía, que aquellos con aletas rectangulares.

Bahrehamd, Ameri y Glolampour (2015) realizan una investigación similar utilizando un flujo de aire en convección forzada. Mediante un análisis de energía y exergía, se presenta la influencia de parámetros efectivos como la profundidad, la longitud, la forma de la aleta y el número de Reynolds. Los resultados indican que los sistemas con aletas son más eficientes. En términos de rendimiento energético y exergético, los resultados obtenidos serían útiles para seleccionar el sistema más eficiente y determinar parámetros de diseño como el número de Reynolds, la profundidad del canal y la longitud del colector.

El análisis del comportamiento de los parámetros que caracterizan el proceso de enfriamiento de minerales ha permitido establecer un modelo teórico-experimental que permite predecir el comportamiento de la temperatura de enfriamiento, los coeficientes de transferencia de calor y el flujo de calor (Torres et al. 2021). Los modelos anteriores ayudan al entendimiento de la metodología adecuada para la modelación y simulación de otros sistemas de intercambio térmico.

Sharma y Som (2017) presentan el desempeño, basado en el análisis exergético, de calentadores solares de aire de doble flujo con absorbedor de placa plana y corrugada. Utilizan un modelo matemático para el

calentador solar de aire de doble flujo basado en ecuaciones de balance de energía, los resultados obtenidos se comparan con los de un calentador de aire solar de placa plana convencional. El calentador de aire solar de absorción corrugada de doble flujo funciona térmicamente mejor que el calentador de aire solar de placa plana de doble flujo y el calentador solar de placa plana convencional en las mismas condiciones de funcionamiento. Sin embargo, el absorbente corrugado conduce a una mayor caída de presión, lo que aumenta la potencia de bombeo. Sus resultados revelan que la eficiencia energética y exergética del calentador de aire solar de absorción corrugada de doble flujo es mucho más alta que la del calentador de aire solar convencional con el concepto de aumento en el área de superficie de transferencia de calor y turbulencia en el flujo de aire. Los resultados apuntan a que la eficiencia energética aumenta, sin embargo, la eficiencia exergética disminuye con el aumento del caudal másico.

Avadhesh y Bajpai (2011) investigan experimentalmente un sistema de calentamiento de aire alimentado por energía solar que utiliza tubos al vacío, para encontrar el efecto de la intensidad de las radiaciones solares y el caudal de aire sobre la temperatura de salida del aire con el tiempo y qué caudal es más eficiente. Los resultados muestran que la configuración de flujo descendente es más efectiva que la condición de flujo ascendente en todos los caudales debido a las menores pérdidas en el flujo descendente. Las diferencias de temperatura de la altura superior e inferior, tanto del agua como de la superficie de las tuberías en los extremos respectivos, es menor en el flujo descendente.

Babu y Chinnapandian (2017) analizan el diseño y desarrollo de un colector de aire solar de placa plana, tanto en convección natural como forzada y encuentran que la eficiencia del colector en convección natural es mayor. Sus resultados muestran que la velocidad promedio del aire en la convección forzada es aproximadamente un 25 % más alta que la convección natural, lo cual es importante en los secadores solares. La eficiencia del colector de convección natural es 18,6 % veces mayor que la del colector de convección forzada.

El análisis de las pérdidas de calor en la cubierta de vidrio es importante en la estimación de las pérdidas totales de calor en un colector solar de placa plana para la evaluación del rendimiento térmico. El coeficiente de pérdida de calor es función de varios parámetros que incluyen la temperatura de la placa absorbente, la temperatura ambiente, la temperatura de la cubierta de vidrio y el coeficiente de transferencia de calor del aire, la emisividad de la placa absorbente y la cubierta de vidrio, y el ángulo de inclinación del colector. Al comparar los efectos de las propiedades del aire en el coeficiente de pérdida de calor superior se determina que en convección forzada del aire exterior existen mayores pérdidas de calor (Bisen, Dass y Jain 2011).

Fudholi et al. (2011) analizan las prestaciones de colectores solares de doble paso con absorbentes de aletas longitudinales. Los autores investigan el efecto de la tasa de flujo másico, el número y la altura de las aletas en la eficiencia, lo que implica ecuaciones de balance de energía en estado estacionario en el absorbedor de aletas longitudinales de los colectores solares. El procedimiento para el balance de energía utiliza un método de inversión de matrices. Se demuestra con esta investigación que la eficiencia del colector aumenta a medida que aumentan el número y la altura de las aletas. Se alcanzan valores de incremento del 35 %.

Otra investigación orientada al incremento de la eficiencia en calentadores solares de aire es la desarrollada por Gopi y Kalam (2017). Aunque no se establece el porcentaje de incremento, los autores demuestran que la tasa de transferencia de calor se puede aumentar con el área superficial mediante el uso de aletas cilíndricas. Las aletas cilíndricas están dispuestas tangentes a la placa absorbente.

Kayiem y Tadahmun (2015) presentan las mediciones experimentales versus los resultados de las correlaciones disponibles en la literatura que se utilizan para predecir el coeficiente de transferencia de calor por convección libre entre la superficie colectora y el aire que fluye por el interior del calentador. Las medidas se realizaron en ángulos de inclinación de 30°, 50° y 70°, para determinar el ángulo óptimo del mecanismo de convección en el calentador solar de aire. La comparación se presenta y discute en términos del número de Nusselt. El ángulo de inclinación óptimo para lograr se encontró que el mejor rendimiento del colector era 50°. Los resultados de esta investigación pueden ayudar a resolver el problema de predecir la convección libre en sistemas térmicos.

El rendimiento de un calentador solar de aire se puede incrementar al reducir las pérdidas de la superficie del colector mediante el aislamiento adecuado y aumentando el coeficiente de convección entre la superficie de recolección de calor y el fluido de trabajo (Ravi y Saini 2016). Los autores realizan comparaciones de diferentes investigaciones sobre superficies absorbentes corrugadas o ranuradas y se han presentado muy pocos estudios sobre sistemas de doble paso con rugosidad artificial. Se defiende la idea de que los colectores solares de doble paso y de superficies corrugadas son más eficientes.

Los calentadores solares de aire absorben la radiación y la convierten en energía térmica en la superficie absorbente y luego transfieren esta energía a un fluido que fluye a través del colector. Son dispositivos de recolección económicos y más utilizados debido a su simplicidad inherente. Se encuentran en varias aplicaciones de energía solar, especialmente para calefacción de espacios, secado de madera y secado agrícola. Se ha observado al estudiar la literatura previa que todos los elementos de un calentador de aire solar tales como: placa absorbadora, los conductos, el acristalamiento, el aislamiento, las superficies extendidas, así como el ángulo de inclinación, tienen un efecto significativo en el rendimiento térmico del sistema (Saxena y Sebaii 2015).

La energía solar es ampliamente usada en diferentes procesos, uno de ellos es el secado solar de granos y otros materiales como los minerales lateríticos, a estos últimos se les reduce el contenido de humedad mediante el secado natural (Tamayo et al. 2017). En este sentido han sido obtenidos modelos que permiten predecir el comportamiento del contenido de humedad del mineral en función de la radiación solar incidente y el tiempo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realiza el análisis comparativo de la eficiencia térmica en colectores solares de placa plana para el calentamiento de aire por radiación solar incidente. Se utilizaron dos colectores solares de placa plana y la cubierta de vidrios convencionales oscuro y claro, que permite determinar la incidencia que tiene la radiación solar incidente en la temperatura de salida del aire. La Figura 1 muestra un diagrama del colector de placa plana para el calentamiento de aire, siendo los parámetros principales que intervienen en el proceso de intercambio de calor los siguientes: radiación solar incidente (Irr), flujo másico del aire (\dot{m}), temperatura ambiente (T_a), temperatura de entrada al colector (T_e), temperatura de salida (T_s) y velocidad del aire (v).

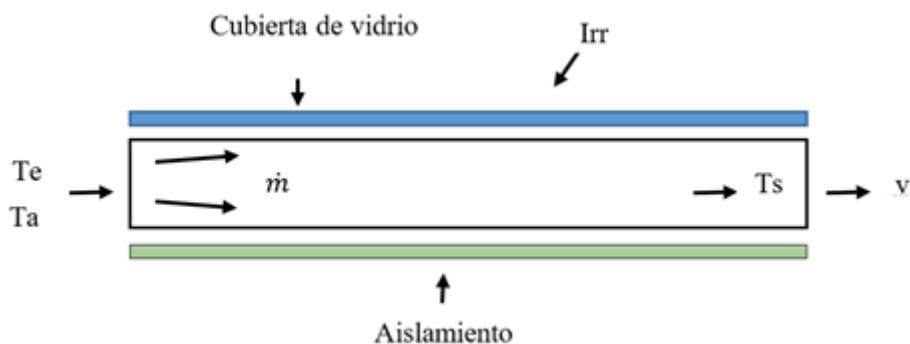


Figura 1.

Diagrama del colector solar de placa absorbadora plana.

Para la adquisición de datos relacionados con la radiación solar incidente y temperatura ambiental se utilizó la estación meteorológica WS-2000, la instalación se realiza tomando en cuenta recomendaciones del fabricante, sensor a una distancia horizontal de dos veces la altura del objeto más cercano y la altura sobre el suelo entre 1,25 m a 2 m.

En el cálculo de la eficiencia del colector se consideraron las variables del proceso; como variable de entrada se tiene el flujo másico de aire y variable de salida la temperatura de salida del aire. Las variables aleatorias que inciden en el calentamiento de aire son: radiación solar incidente (RSI), temperatura ambiente, velocidad de aire y contenido de humedad, en el presente estudio se asume las dos primeras para

la comparación y las otras se consideran despreciables por las condiciones geográficas en el lugar de experimentación. De acuerdo con lo expuesto, el rendimiento del colector solar de placa absorbedora plana depende de los siguientes variables o factores:

- Temperatura de entrada del aire ($^{\circ}\text{C}$)
- Temperatura de salida del aire ($^{\circ}\text{C}$)
- Flujo mísico del aire (kg/s)
- Radiación solar incidente (W/m^2)

La recolección de datos se realizó cada minuto durante seis horas del día. Se iniciaron las mediciones desde las 10:00 horas hasta las 16:00 horas. Se consideró este horario por ser el óptimo para evitar sombras de las paredes del colector sobre la placa absorbedora de aluminio.

Durante la experimentación se consideraron cuatro velocidades de flujo de aire, a partir del valor medido se obtuvo el flujo mísico mediante la ecuación 1.

$$\dot{m} = V \cdot A \cdot \rho \quad (1)$$

Donde:

\dot{m} : Flujo mísico de aire (kg/s)

V : Velocidad del aire (m/s)

A : Área del colector (m^2)

ρ : Densidad de flujo de aire (kg/m^3)

Para el cálculo de la cantidad de energía en forma de calor generada por el colector solar de placa plana, se utiliza la ecuación 2.

$$Q_{\text{util}} = \dot{m} \cdot C_p \text{ fluido} \cdot (T_s - T_a) \quad (2)$$

Donde:

\dot{m}

\dot{m} : Flujo mísico de aire (kg/s)

$C_p \text{ fluido}$

T_a : Temperatura de entrada del aire ($^{\circ}\text{C}$)

T_s : Temperatura de salida del aire ($^{\circ}\text{C}$)

La variación del rendimiento térmico comparativo entre los colectores solares de placa plana con vidrio convencional y oscuro se determinó mediante la ecuación 3.

$$\Delta\eta = \frac{Q_{\text{uc}} - Q_{\text{uo}}}{Q_{\text{uc}}} \cdot 100\% \quad (3)$$

$\Delta\eta$: Variación del rendimiento térmico comparativo entre colectores (%)

Q_{uc} : Calor útil del colector con vidrio claro (W)

Q_{uo} : Calor útil del colector con vidrio oscuro (W)

Con las ecuaciones descritas se realiza el análisis comparativo del rendimiento entre los colectores solares pero se debe considerar la incidencia que tiene la variabilidad de la radiación solar y el comportamiento del proceso de transferencia de calor en un flujo de aire en función del tiempo, para el presente caso de estudio se opta por realizar comparaciones entre colectores solares en relación al calor útil

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se expone el comportamiento de la temperatura de salida del aire en los colectores con vidrio claro y oscuro sin flujo de aire forzado, trabajando en convección libre o natural, el aire fluye debido a la diferencia de densidades entre las partículas del fluido.

El vidrio claro es completamente transparente e incoloro, se produce a partir de mezclas de compuestos como la arena de sílice (alrededor del 75%), el carbonato sódico y la roca caliza, que cumplen funciones vitrificantes, fundentes y estabilizantes, respectivamente. Presenta una elevada transparencia a la radiación solar, mientras que debido a su elevada emisividad solo refleja una pequeña parte de la radiación solar que recibe.

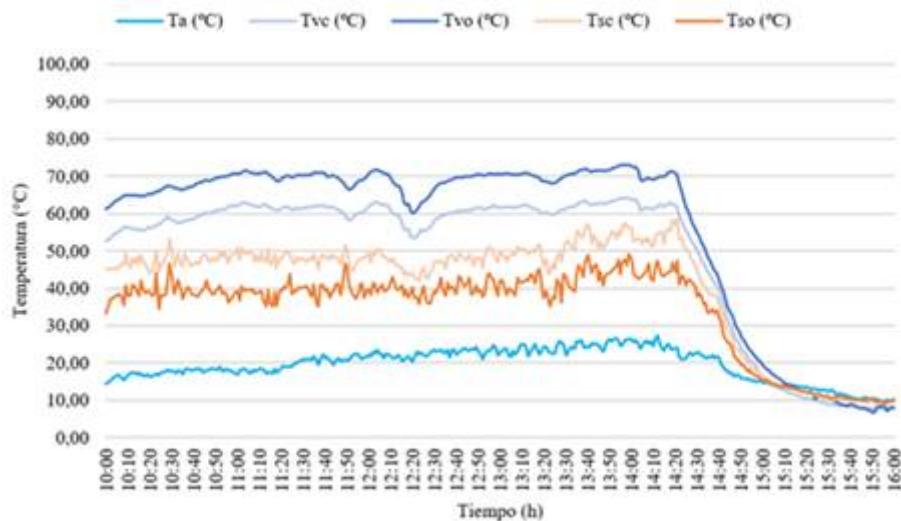


Figura 2.

Comportamiento de la temperatura de salida del aire en colectores sin flujo de aire forzado.

Ta, temperatura ambiente, °C. Tsc, temperatura de salida del aire en el colector con vidrio claro, °C. Tso, temperatura de salida del aire en el colector con vidrio oscuro, °C. Tvc, temperatura en el vidrio claro, °C. Tvo, temperatura en el vidrio oscuro °C. I, radiación solar incidente, W/m².

Al comparar las curvas de comportamiento de la temperatura de salida del aire y la temperatura en el vidrio de los colectores solares de placa plana con vidrio convencional oscuro y claro se observan variaciones significativas; en la cubierta el vidrio que mayor temperatura presenta es el oscuro, alcanzando valores promedios de 69,37 °C; mientras que la temperatura del aire en el interior del colector y en la placa colectora es superior en el módulo con vidrio claro. En la salida tiene mayor valor de temperatura el colector con vidrio claro (Figura 2).

Debido a que se mantiene una temperatura mayor en el vidrio oscuro, se comprueba que este presenta mayor cantidad de pérdidas por reflexión, así como también absorción de la radiación solar incidente, en consecuencia, el proceso de transferencia de calor interna es menor. Al comparar los valores de temperaturas sin flujo de aire forzado, se obtiene una variación de temperatura promedio de 8,26 °C. El comportamiento variable de los valores en los parámetros medidos en función del tiempo, está asociado a la variabilidad de la radiación solar incidente durante las mediciones realizadas.

La Figura 3 muestra el comportamiento de la temperatura de salida del aire para un flujo másico de 0,033 kg/s. Las mediciones se realizaron en el horario desde las 10 AM hasta las 4 PM aprovechando los valores máximos de radiación solar incidente. Los resultados muestran un incremento de la temperatura promedio de salida de 0,58 °C del colector con vidrio claro con respecto al oscuro. Se observó un incremento de la temperatura del vidrio oscuro, lo que demuestra su oposición al paso de la radiación incidente en comparación con el vidrio claro. Los valores promedio de temperatura de salida del aire se encuentran en los 34,18 °C para valores de radiación solar incidente de 1 400 W/m².

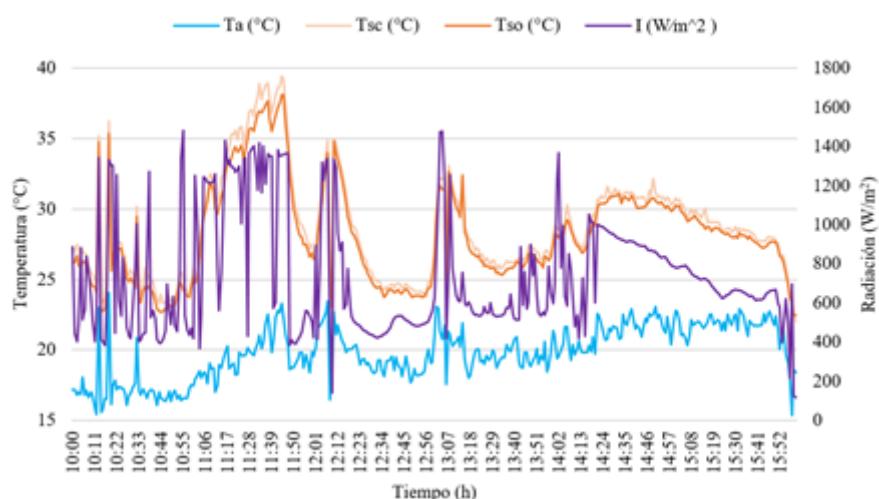


Figura 3.

Comportamiento de la temperatura de salida del aire en colectores solares para flujo másico de 0,033 kg/s.

Mediante la ecuación 3 se obtiene la comparación en igualdad de condiciones del rendimiento térmico entre los colectores con cubierta de vidrio convencional oscuro y claro. En el análisis se tuvo en cuenta la variación de la radiación solar incidente y el calor útil independiente del tiempo.

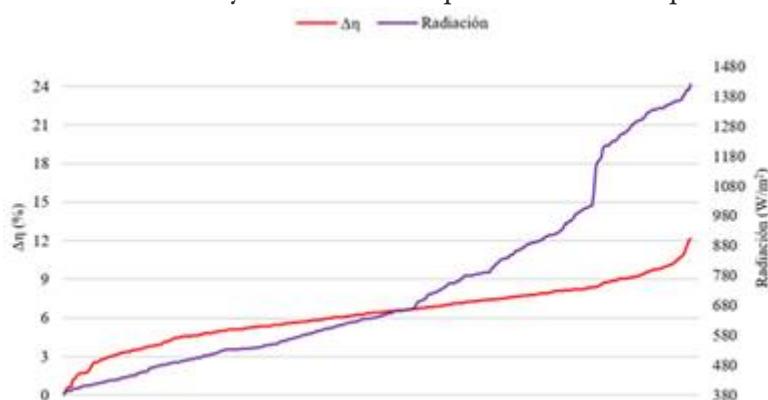


Figura 4.

Análisis comparativo del rendimiento térmico para flujo másico de 0,033 kg/s.

Para un flujo másico de 0,033 kg/s la variación del rendimiento térmico del colector con vidrio claro en comparación con el vidrio oscuro es superior (Figura 4), los valores máximos obtenidos son del 12 % para valores de radiación solar incidente de $1\ 380\text{ W/m}^2$. Para valores de radiación solar inferiores a los 400 W/m^2 , los valores comparativos del rendimiento térmico se encuentran por debajo del 3 % por lo que no se consideran significativos en los resultados experimentales.

El incremento del flujo másico provoca una reducción del rendimiento térmico de los colectores, los valores experimentales comparativos obtenidos son inferiores al 12 % para valores de radiación solar incidente de $1\ 480\text{ W/m}^2$ (Figura 5).

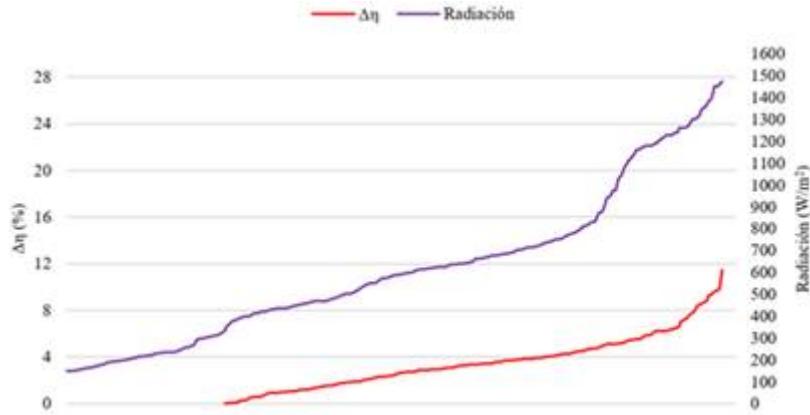


Figura 5.
Análisis comparativo del rendimiento térmico para flujo másico de 0,05 kg/s.

4. CONCLUSIONES

La comparación de las curvas de comportamiento de la temperatura de salida del aire y la temperatura en el vidrio, de los colectores solares de placa plana presenta variaciones significativas, en el caso de la cubierta el vidrio que mayor temperatura presenta es el oscuro, alcanzando valores promedios de 69,37 °C. En los valores de temperaturas de salida del aire en convección libre o natural se obtiene una variación de temperatura promedio de 8,26 °C, superior en el colector con vidrio claro.

El incremento del flujo másico de aire en los colectores desde 0,033 kg/s hasta 0,061 kg/s muestra una reducción de la variación de temperatura promedio de los colectores desde 0,58 °C hasta 0,15 °C. Los valores máximos de temperatura para los máximos valores de radiación solar incidente tienen un valor de 37,4 °C. El rendimiento térmico comparativo entre los colectores solares con la cubierta de vidrio claro y oscuro muestra valores que alcanzan el 12 % a favor del vidrio claro; los valores de radiación solar incidente experimentales varían entre 200 W/m² y 1 500 W/m².

5. REFERENCIAS

- Avadhesh, Y. and Bajpai V. 2011: An experimental study on evacuated tube solar collector for heating of air in India. *International Journal of Mechanics and Mechatronics Engineering*, 5(7): 1188-1193.
- Ávila, A.; Mendoza, J. y Beltrán, J. 2010: Evaluación energética de un colector solar de placa plana de doble cubierta. *Ingeniería y Desarrollo*, 27(1): 93-112.
- Babu, S. and Chinnapandian, M. 2017: The performance study of a solar flat plate type air collector with natural and forced convection. *Industrial Pollution Control*, 33(2): 1155-1162.
- Bahrehamd, D. and Ameri, M. 2015: Energy and exergy analysis of different solar air collector systems with natural convection. *Renewable Energy*, 74(1): 357-368.
- Bahrehamd, D.; Ameri, M. and Glolampour, M. 2015: Energy and exergy analysis of different solar air collector systems with forced convection. *Renewable Energy*, 83(1): 1119-1130.
- Bisen, A.; Dass, P. y Jain, R. 2011: Parametric studies of top loss coefficient of double glazed flat plate solar collector. *International Journal of Mechanical Engineering*, 1(2): 71-78.
- Fudholi, A.; Sopian, K.; Mohd, H. and Yusof, O. 2011: Thermal Efficiency of Double Pass Solar Collector with Longitudinal Fins Absorbers. *American Journal of Applied Sciences*, 8(3): 254-260.
- Gopi, R. and Kalam, A. 2017: Experimental investigation of flat plate collector with cylindrical fins in a solar air heater. *Industrial Pollution Control*, 33(2): 1128-1131.
- Kayiem, A. and Tadahmun, Y. 2015: On the natural convection heat transfer in a rectangular passage solar air heater. *Solar Energy*, 112(1): 310-318.
- Koulibaly, A. y González, J. 2015: Modelación de un colector solar para calentamiento de aire. *Ingeniería Energética*, XXXVI(3): 282-293.
- Ravi, K. y Saini, R. 2016: A review on different techniques used for performance enhancement of double pass solar air heaters. *Renewable and Sustainable Energy*, 56(1): 941-952.
- Saxena, A. and Sebaii, E. 2015: A thermodynamic review of solar air heaters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43(1): 863-890.
- Sharma, S. and Som, N. 2017: Exergy Based Performance Analysis of Double Flow Solar Air Heater with Corrugated Absorber. *International Journal of Energy and Power Engineering*, 11(12): 1212-1218.
- Tamayo, E.; Guadalupe, J.; Mediaceja, Y. and Díaz, E. 2017: Mathematical modeling of the natural solar drying process in lateritic mineral deposits. *International Journal of Mechanics*, 11(1): 182-187.
- Torres, E.; Morales, J.; Albarracín, M. and Laurencio, H. 2021: Cooling temperature and heat transfer coefficients in cylindrical heat exchangers. *International Journal of Mechanics*, 15(1): 254-259

Información adicional

Conflictos de intereses: Los autores no tienen conflictos de intereses que declarar

Contribución de los autores:: MDAA: recolección de muestras; análisis e interpretación de datos; redacción del original; discusión de los resultados. ETT: revisión bibliográfica relacionada con el calentamiento de aire mediante el uso de colectores solares; colaboración en la interpretación de los resultados y en la redacción de las conclusiones. HLLA: colaboración en el análisis e interpretación de datos y en la interpretación de los resultados. Todos los autores colaboraron en la corrección del original y aprobación de la versión final.