

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA DISTRIBUCIÓN DE FLUJO EN UN COLECTOR SOLAR PLANO

Silviano Mendoza Hector Hugo (1), Martínez Rodríguez Guillermo (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería Química] | [silviano_hecator@hotmail.com]

2 [Departamento en Ingeniería Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [guimarod@ugto.mx]

Resumen

La mala distribución de flujo es un problema vigente que se presenta en los equipos de transferencia de calor como los colectores solares planos y que reduce la eficiencia de los mismos. Por lo tanto, resulta de interés determinar las variables que causan la mala distribución en tales dispositivos. En este trabajo se desarrolla un estudio experimental de la distribución de flujo en un colector solar plano con el fin de identificar las variables que influyen en la mala distribución y con ello en la pérdida de eficiencia. Considerando aplicaciones industriales, las pruebas experimentales se realizaron en un régimen de flujo turbulento y no isotérmico. Los resultados muestran que la mala distribución de flujo para un colector solar plano en régimen de flujo turbulento presenta un comportamiento parabólico, presentando menos flujo los tubos intermedios, la mala distribución de flujo depende de la posición del tubo y de la velocidad del flujo.

Abstract

Maldistribution is a current issue in heat transfer devices, like flat solar collectors, that reduces these devices efficiency. Therefore, researchers are interested to determine the physical variables that promote the bad fluid flow in the devices mentioned. This work presents the development of an experimental study about the fluid flow distribution in a flat solar collector to identify the physical variables, which can induce a bad fluid flow distribution, impacting on efficiency. With respect to industrial applications, experimental tests were carried out on a not isothermal, turbulent flow regime. Results show a bad flow distribution in a flat solar collector: it depends of the relative tube position and the fluid flow velocity, it keeps a parabolic behavior, and it provokes the intermediate tubes contain less fluid flow that the others.

“PALABRAS CLAVE”

Colector Solar, Distribución de Flujo, Eficiencia, Caída de Presión

INTRODUCCIÓN

Los colectores solares planos pueden definirse como intercambiadores de calor que aprovechan la radiación solar global (directa y difusa) para calentar un fluido usualmente a bajas temperaturas (<100 °C) [1].

Los colectores solares planos están contruidos de manera que todos los tubos elevadores de transferencia de calor están conectados en paralelo, el flujo se distribuye de manera no uniforme por los tubos que conforman el colector [2].

El funcionamiento de un colector solar plano se basa en las leyes básicas de la radiación, la energía radiante se propaga en longitudes de onda corta, cuando la radiación incide en una superficie transparente (cubierta) una parte se absorbe, otra se refleja y otra en mayor proporción se transmite hacia la capa selectiva de la aleta del colector. Dentro del colector la mayor parte de la radiación transmitida se absorbe en la capa selectiva y por conducción el calor se transfiere hacia el fluido térmico en los tubos, mientras la otra parte se refleja hacia la cubierta en longitud de onda del infrarrojo, la cubierta a estas condiciones es opaca a la radiación infrarroja, por lo que la energía se refleja nuevamente hacia la capa selectiva, este proceso se repite varias veces dentro del colector, a esto se le denomina efecto invernadero [3].

La distribución de flujo en colectores solares planos

Se ha estudiado que la eficiencia o el desempeño térmico de un colector disminuye cuando se tiene una mala distribución de flujo es decir que el flujo no es el mismo en cada uno de los tubos elevadores [2]. La distribución de flujo en un colector solar plano se ve afectada por distintos factores, como puede ser la geometría, la configuración del sistema (Z ó U), el tipo de flujo que se alimenta al sistema y la temperatura del mismo.

Jones y Lior [4] desarrollaron un modelo para predecir la distribución de flujo en un colector solar plano con una configuración en Z. El modelo fue validado de manera experimental considerando únicamente régimen de flujo laminar. El comportamiento observado para este tipo de configuración y de flujo es parabólico donde la mayor cantidad de flujo se va por el tubo más alejado de la alimentación y la menor cantidad de flujo por el tubo más cercano a la alimentación.

Kikas [5] realizó pruebas con flujo en régimen laminar (isotérmico y no isotérmico), concluyendo que para un flujo isotérmico la razón de flujo entre dos tubos elevadores no depende del número total de elevadores, ni del flujo total que entra al sistema, sino de la posición del tubo en el colector.

Weitbrecht y col. en el 2002, llevaron a cabo un estudio experimental donde se analizó la distribución de flujo en un colector de placa plana que opera en régimen laminar, donde obtuvieron una correlación experimental para predecir la distribución de flujo en los tubos elevadores [6].

Es interés del presente estudio es evaluar la influencia de la gravedad en la mala distribución de flujo ya que va a tener un ángulo de inclinación al buscar que la radiación y la superficie de captación sean perpendiculares.

Una manera de calcular el flujo que pasa a través de cada uno de los tubos elevadores es mediante la medición de la presión en la entrada y salida de cada uno de los tubos, la función matemática que relaciona el flujo, las dimensiones de los elevadores y la velocidad de flujo a través de cada uno de ellos es aquella que se utiliza para una tubería lisa y se presenta a continuación [7]:

$$\Delta P_L = f \frac{L \rho v^2}{D} \quad (1)$$

Donde ΔP es la caída de presión (en Pa), f es el factor de fricción de Darcy (es adimensional), L es la longitud (en m), D es el diámetro (en m), ρ es la densidad del fluido (en kg/m³), y v es la velocidad del fluido (m/s).

La experimentación se llevó a cabo en un colector solar plano con 6 tubos elevadores, con una configuración de flujo tipo Z, lo cual se ilustra en la IMAGEN 1.

La definición de eficiencia instantánea está dada por la ecuación (2). La eficiencia es función del flujo másico que circula y por lo tanto de la mala distribución [8].

$$\eta_i = \frac{mC_p(T_o - T_i)}{A_c G} \quad (2)$$

Donde m es el flujo másico del fluido (kg/h), C_p es el calor específico del agua (J/kg K), T_i y T_o son las temperaturas del fluido a la entrada y salida del colector solar (°C) respectivamente, G es la irradiancia (W/m^2) y A_c es el área del colector (m^2).

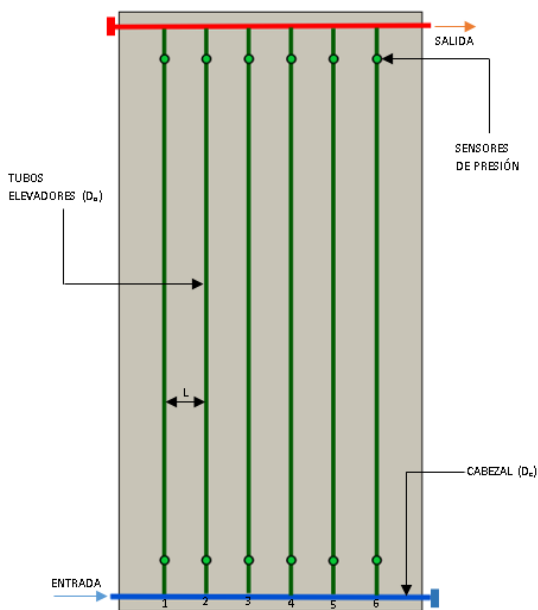


IMAGEN 1. Dibujo del colector solar plano utilizado para la experimentación.

Relevancia del estudio de la distribución de flujo

El objetivo del presente trabajo es analizar el efecto que tiene la geometría, la configuración, la ubicación del tubo, el ángulo de inclinación, el flujo

de alimentación al colector y posición del tubo en la mala distribución de flujo.

La distribución de flujo es un factor que modifica de manera significativamente la eficiencia de los colectores solares. Conocer y comprender completamente las variables que influyen en la mala distribución del flujo en dichos sistemas resulta de gran interés para maximizar la eficiencia de este tipo de dispositivos. Aumentando con ello la cantidad de calor útil y las aplicaciones al alcanzar niveles de temperatura más elevados.

MATERIALES Y MÉTODOS

El colector solar plano de estudio es un equipo que se comercializa para calentamiento de agua, tiene las características geométricas que se mencionan en la Tabla 1.

Tabla 1. Dimensiones y características del colector solar.

Característica	Medida
Diámetro del cabezal	0.01905 m
Longitud del cabezal	0.9190 m
Número de tubos elevadores	6
Diámetro del tubo elevador	0.01270 m
Longitud del tubo elevador	1.8180 m
Separación entre tubos elevadores	0.1410 m
Capa absorbedora	Pintura selectiva
Cubierta	Vidrio grado solar (templado)
Área de captación	1.67 m ²

Para recabar los datos obtenidos durante la experimentación se utilizó el Banco de Pruebas del Laboratorio de Energía Solar de la Universidad de Guanajuato que está conformado por: un sistema mecánico, un sistema térmico-hidráulico y un sistema de adquisición de datos. El Laboratorio

está ubicado geográficamente a una latitud de 21°01'0"N, longitud 101°15'24"O, a una elevación del nivel del mar promedio de 2 000 msnm.

El dispositivo experimental se diseñó, se construyó, se montó y se operó para medir las caídas de presión en cada uno de los tubos elevadores y la distribución de flujo en los mismos, para el régimen de flujo turbulento a diferentes velocidades y ángulo de inclinación.

El dispositivo se compone un colector solar, un boiler eléctrico, un tanque de almacenamiento, una bomba centrífuga, un sistema de adquisición de datos, sensores de temperatura, medidores de flujo, radiación y presión que se detallan en la Tabla 2.

Las pruebas preliminares nos permitieron conocer las condiciones de operación óptimas de trabajo, para posteriormente hacer un estudio detallado de la distribución de flujo.

Tabla 2. Características de los sensores utilizados para las mediciones durante la experimentación.

Marca y Modelo	Magnitud medida	Tipo	Rango
Gem sensor 180396	Flujo	Rotor Flow	5-30 GPM
Gem sensor 181689	Flujo	Rotor Flow	8-60 GPM
Pt100	Temperatura	RTDs	0-200°C
Honeywell PX2EN1X X015PAAX	Presión	Absolute Pressure	0-15 psi
Dwyer DPGW-06	Presión	Gauge Pressure	0-30 psig

El procedimiento realizado para obtener información acerca de la distribución de flujo en los tubos elevadores del colector consiste en alimentar al cabezal del colector agua a 3

diferentes velocidades de flujo, durante aproximadamente 30 minutos para cada uno de los caudales propuestos.

Durante el tiempo de experimentación se registran las presiones y temperaturas a la entrada y salida del colector solar, además de las presiones al inicio y final de cada uno de los tubos elevadores. A la par se tomaron medidas de la radiación solar instantánea recibida en el plano del colector.

Las velocidades de flujo empleadas para alimentar el colector se ajustaron acorde a las dimensiones de los tubos elevadores para garantizar un régimen de flujo turbulento en todo el sistema.

Las propiedades del fluido de trabajo (agua) se suponen constantes durante toda la experimentación debido a que no cambian significativamente en el rango de temperaturas manejado, por lo tanto, no es necesario medirlas.

Se asume estado estacionario y flujo completamente desarrollado para los cálculos posteriores y el almacenamiento de datos.

En las pruebas se consideraron el ángulo de 0° y 21° con respecto a la horizontal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las pruebas experimentales se realizaron para: 10 l/min, 12 l/min y 14 l/min. Se adquirió una base de datos con 749 lecturas de: presión, temperatura y flujo, para un flujo de 10 l/min. En la IMAGEN 2 se muestran las variaciones que se tiene para un flujo de 10 l/min en un periodo de tiempo de 37 min. El régimen de flujo que se tiene en los tres casos está en la región de flujo turbulento. En la IMAGEN 3 se presentan las variaciones para la temperatura de entrada al colector, temperatura de salida del colector y la temperatura de salida del termotanque para un flujo de 10 l/min.

En la IMAGEN 4 se presenta la caída de presión en cada uno de los elevadores del colector solar, y se aprecia el comportamiento que presentan al variar el flujo. Se puede observar que la caída de presión está directamente relacionada con el flujo. A mayor flujo mayor caída de presión.

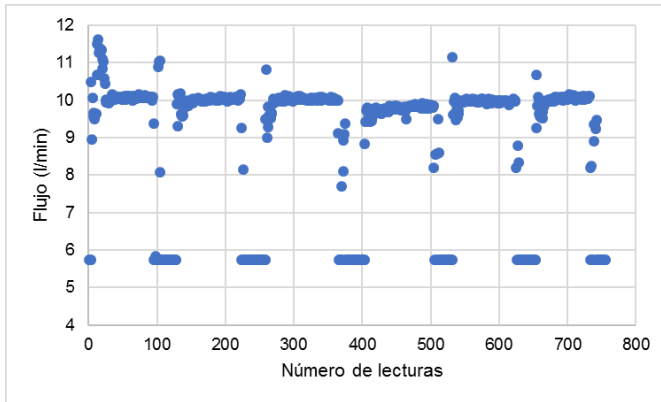


IMAGEN 2. Variación del flujo durante la prueba.

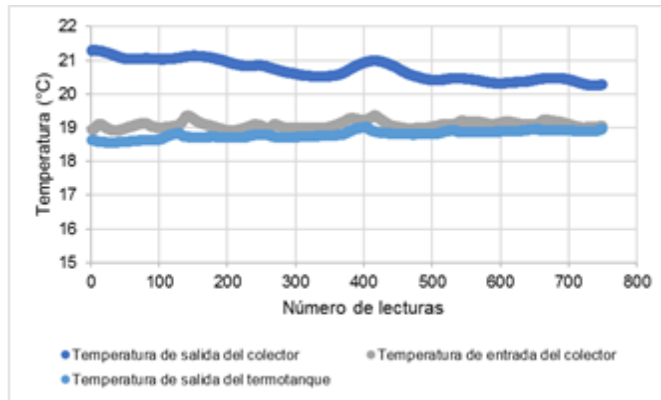


IMAGEN 3. Variación de las temperaturas del sistema.

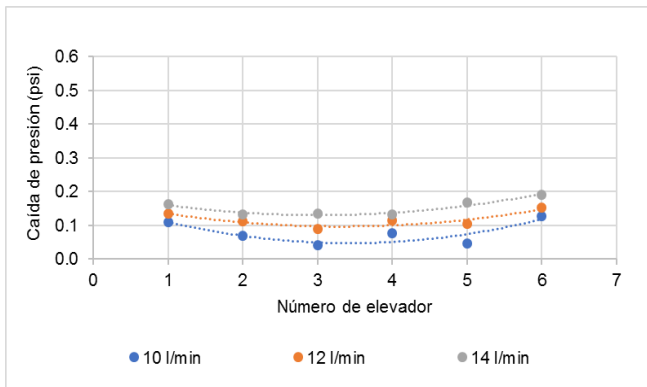


IMAGEN 4. Caída de presión en cada uno de los elevadores del colector solar.

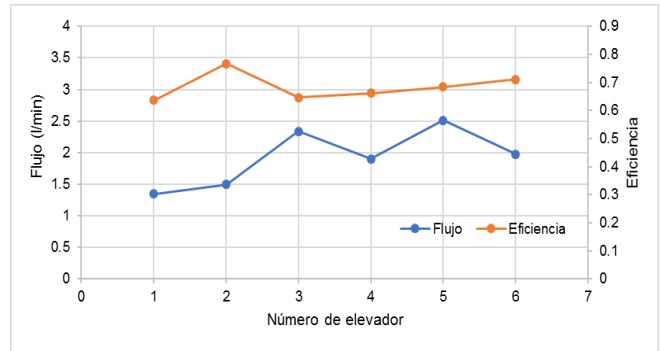


IMAGEN 5. Eficiencia térmica y flujo de cada elevador en el colector solar.

En la IMAGEN 5 se muestra la eficiencia térmica de los tubos elevadores y se muestra la distribución del flujo en cada uno de ellos.

CONCLUSIONES

La distribución de flujo en un colector solar depende del régimen de flujo de alimentación y de la posición del tubo elevador.

La caída de presión está directamente relacionada con el flujo, a mayor flujo, se presentan mayores caídas de presión.

El ángulo de inclinación del colector solar no tiene un efecto significativo en la mala distribución de flujo.

El comportamiento que se presenta es el reportado por Wang Y Wu (1990) para flujo turbulento [6].

Este trabajo contribuye a sentar las bases para realizar estudios más detallados de la mala distribución de flujo en equipos de transferencia de calor como los colectores solares planos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la MIQ. Amanda Lucero Fuentes Silva por el apoyo logístico para la realización del proyecto, al Dr. Guillermo por darme la oportunidad de trabajar con él, y a la Universidad de Guanajuato por apoyarme en mi preparación profesional y personal.

REFERENCIAS

- [1] Altfeld K., Leiner W., Fiebig M. (1988) Second Law Optimization of Flat Plate Solar Air Heaters. *Solar Energy*, 41 (4), 127-132.
- [2] J.P. Chiou. (1982). The effect of nonuniform fluid flow distribution on the thermal performance of solar collector. *Solar Energy*, 48 (6), 487-502.
- [3] L.E. Fauroux, M. Jager. (2013) Diseño y Análisis de Colectores Solares Planos. Recuperado de http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2013/trabajos/COA05_TC.pdf
- [4] Jones G.F. and Lior N (1994) Flow distributions in manifolded solar collectors with negligible buoyancy effects. *Solar Energy*, 52 (3), 289-300.
- [5] N.P. Kikas. (1995). Laminar Flow Distribution in Solar Systems. *Solar Energy*, 54 (4), 209-217.
- [6] V. Weitbrecht, D. Lehmann, A. Richter (2002) Flow Distributions in Solar Collectors with Laminar Flow Conditions. *Solar Energy*, 73 (6), 433-441.
- [7] Cengel A.Y. (2006) *Mecánica de Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones* (1ra Edición en español) México D.F., Mc Graw Hill.
- [8] Duffie, J. A., Beckman W.A., 1991, *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley and Sons. New York, USA.