

ESTUDIO DE UN COLECTOR SOLAR DE TUBOS EVACUADOS MEDIANTE LA DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL CFD

Juan Carlos Romero Gómez (1), Jorge Arturo Alfaro Ayala (2)

1 Ingeniería en Energías Renovables, Instituto Tecnológico de la Región Sierra | Dirección de correo electrónico: vagavoy_leo@hotmail.com

2 Departamento de Ingeniería Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: ja.alfaroayala@ugto.mx

Resumen

La presente investigación de este artículo describe el estudio de tres colectores solares con diferentes números de tubos evacuados manteniendo el mismo ángulo de inclinación, mediante simulaciones en dinámica de fluidos computacional (CFD). Se considera que el agua entra al colector a una temperatura de 20 °C y éste se encuentra expuesto al nivel más bajo de radiación que se presenta en la ciudad de Guanajuato. Mediante esta herramienta, se obtienen las temperaturas de salida del agua y caída de presión en el colector para las tres diferentes configuraciones geométricas estudiadas. Los resultados muestran la comparación térmica e hidráulica de los colectores solares.

Abstract

The research of this article describes the study of three solar collectors with different numbers of evacuated tubes maintaining the same angle through the simulations in the Computational Fluid Dynamics (CFD). It is considered that the water enters the collector at a temperature of 20 °C and the collector is exposed under the lowest level of solar radiation that occurs in the city of Guanajuato. Using this computational tool, the outlet water temperatures and pressure drop in the collector for three different geometric configurations were obtained. The results showed a comparison of the thermal and hydraulic performance of the solar collectors.

Palabras Clave

Colector solar de tubo evacuado, Simulación CFD, Radiación solar, Transferencia de calor.

INTRODUCCIÓN

Durante un tiempo los colectores solares fueron equipos muy caro y de difícil acceso. Sin embargo, estos equipos comienzan a hacerse cada vez más accesible para algunas aplicaciones, como lo demuestra la proliferación de sistemas compactos de agua caliente por termosifón con tubos de vacío, los cuales, en los últimos años han invadido mercados como por ejemplo el mexicano [1]. El uso de fuentes de energías alternativas y limpias es una de las maneras más eficaces para hacer frente a la crisis de energía y medio ambiente [2]. Los colectores solares de tubos evacuados se pueden clasificar como equipo térmico [3].

Colector solar de tubos evacuados (CSTE)

Este colector consiste en tubos sellados al vacío conectados a un cabezal. El vacío reduce las pérdidas por conducción y convección. Operan con radiación directa y difusa, lo cual les da mayor eficacia en ángulos de incidencia bajos, por ejemplo climas fríos, nublados y ventosos. La radiación es absorbida por la superficie interna de los tubos evacuados, esta radiación se transfiere como calor al fluido. Hay tres tipos de este colector tubos calóricos, terminación de tubos en U y tubos termosifón [4]. La IMAGEN 1 muestra los principales componentes de un tubo evacuado o al vacío.

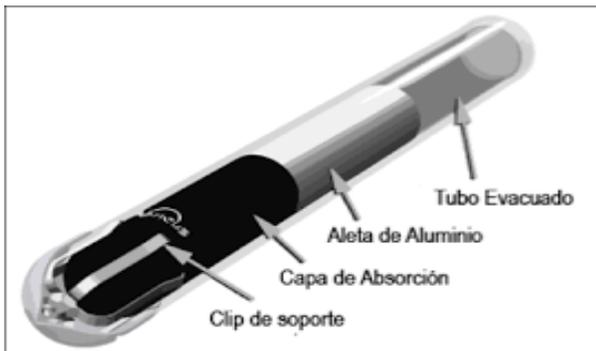


IMAGEN 1: Partes de un tubo evacuado

Colector solar de tubos evacuados tipo termosifón

El efecto termosifón ocurre cuando el líquido, dentro de los tubos evacuados, simplemente se mueve por la diferencia de densidades que se presenta cuando un líquido incrementa su temperatura. Un líquido frío pesa más que uno caliente [5].

En la IMAGEN 2 se muestra el efecto termosifón y además como se conecta un tubo evacuado con el cabezal, también se puede observar la radiación solar que incide sobre la superficie del tubo. Como podemos ver la entrada de agua fría esta abajo y la de caliente arriba, así no se tiene que poner bombas para sacar el agua caliente de los tubos, por convección natural sube y sale por la parte superior del tubo regresando al cabezal.

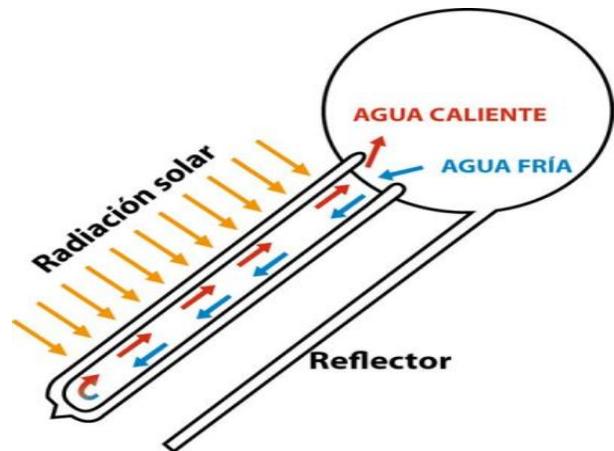


IMAGEN 2: Efecto termosifón

El objetivo de este artículo está centrado en conocer el comportamiento térmico-hidráulico del colector solar en estudio. Con ello conoceremos los flujos ideales, temperatura final a la salida del colector y caída de presión. Todo esto con el fin de mejorar el aprovechamiento de los colectores solares de tubos evacuados los cuales se pueden utilizar en distintas aplicaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron las siguientes fórmulas para calcular el flujo de calor y flujo másico, ambas se utilizaron como condiciones de frontera:

Flujo de calor: $q'' = Q_{\text{útil}}/A$, donde $Q_{\text{útil}}$ se obtuvo de manera experimental.

Flujo másico: $m = \rho \cdot v \cdot A$

Con ayuda de la dinámica de fluidos computacional CFD, se utilizaron métodos numéricos y algoritmos para resolver las ecuaciones de Navier-Stokes, la aproximación de Boussinesq y la ecuación de la energía. Se utilizó el modelo de aproximación de boussinesq, donde se consideran las variaciones en la densidad con la temperatura. La viscosidad, el calor específico y la conductividad se mantienen constantes. Los ordenadores son utilizados para realizar millones de cálculos requeridos para simular la interacción del flujo en los tubos y cabezal con la transferencia de calor.

Se simularon por separado los tres colectores solares a una radiación solar de 600 W/m^2 (ver IMAGEN 3, 4 y 5). La Tabla 1 representa las dimensiones de los colectores en estudio.

Tabla 1: Configuraciones de diámetros de cabezal de los diferentes colectores

Características	Colector solar		
	36 Tubos	25 Tubos	20Tubos
Longitud Del tubo	1.5 m	1.8 m	1.8 m
Longitud del Cabezal	25 m	1.9 m	1.7 m
Diámetro interno Del colector	13 cm	15 cm	14 cm
Diámetro interno Del tubo	3.7 cm	4.8 cm	4.8 cm
Diámetro externo Del tubo	4.7 cm	5.8 cm	5.8 cm

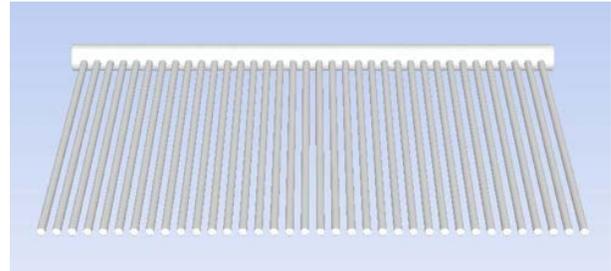


IMAGEN 3: Geometría Colector solar de 36 tubos

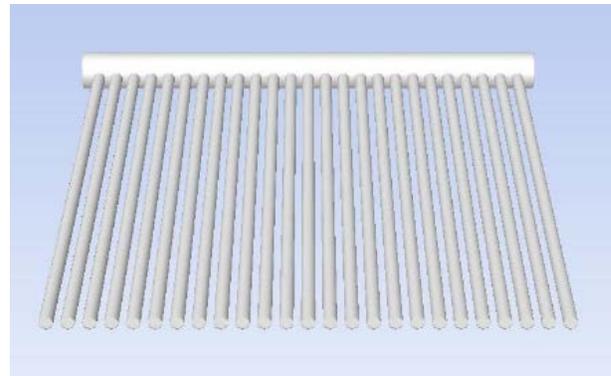


IMAGEN 4: Geometría Colector solar de 25 tubos

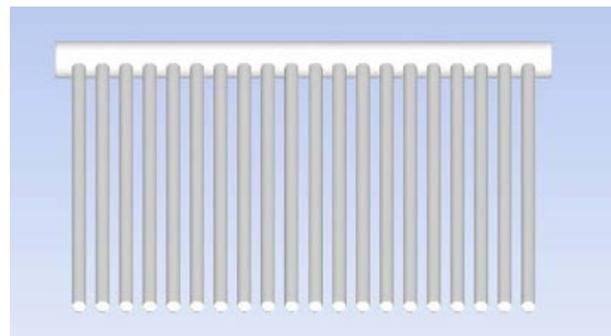


IMAGEN 5: Geometría Colector solar de 20 tubos

Tabla 2. Datos utilizados para el flujo de calor

Flujo Lpm	Colector solar					
	36 Tubos		25 Tubos		20 Tubos	
	Qútil (W)	Tent (°C)	Qútil (W)	Tent (°C)	Qútil (W)	Tent (°C)
2	1173.6	20°C	1371.6	20°C	1123.4	20°C
4	1241.3	20°C	1461.0	20°C	1185.8	20°C
6	1268.2	20°C	1497.2	20°C	1211.2	20°C
9	1288.7	20°C	1525.2	20°C	1231.0	20°C
12	1300.5	20°C	1541.3	20°C	1242.5	20°C
15	1308.2	20°C	1552.1	20°C	1250.2	20°C

Observamos en la Tabla 2 los datos empleados para el calor útil y temperatura de entrada al colector de 20°C para diferentes flujos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores numéricos de la temperatura se obtuvieron por medio del programa de simulación ANSYS-FLUENT® a 50000 iteraciones, o cuando la temperatura en la salida del colector se establezca como se muestra en la IMAGEN 6.

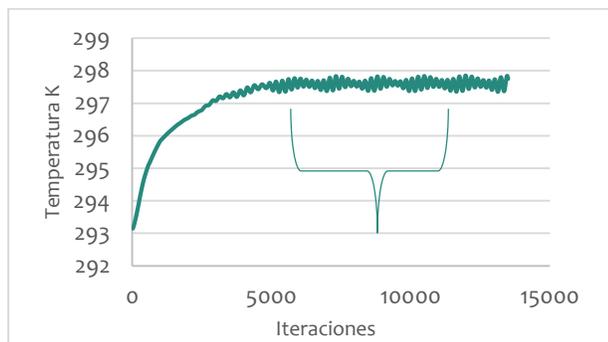


IMAGEN 6: Gráfico representativo de interpretación de resultados

Para los tres tipos de colectores se obtuvieron los perfiles mostrados en el gráfico de la IMAGEN 7.

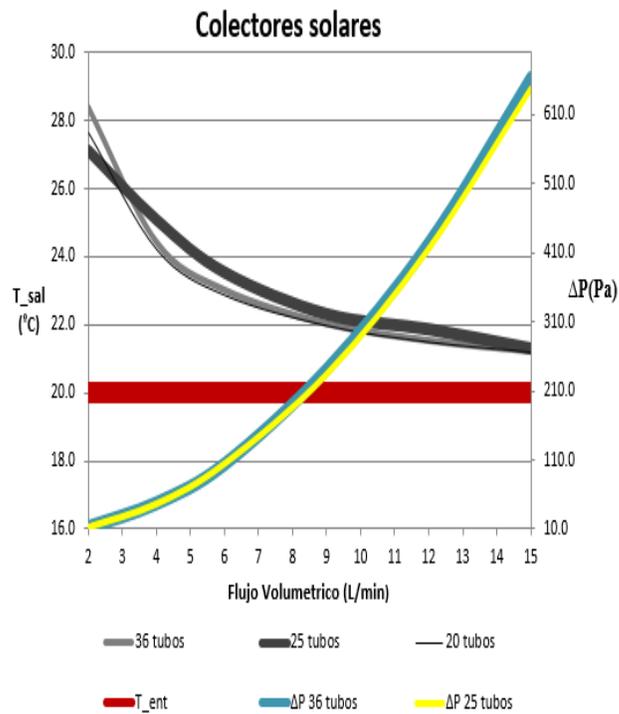


IMAGEN 7: Gráfico comportamiento térmico - hidráulico de los colectores solar a distintos flujos volumétricos y flux de calor.

Se puede observar en la IMAGEN 7 que al bajar el flujo de 7 Lt/min a 2 Lt/min existe un cambio representativo en el aumento de la temperatura del agua, después de los 8 Lt/min el cambio de la temperatura en la salida del colector es muy poco. Es visible como el aumento de flujo másico de agua va decreciendo la energía ganada y aumentando la caída de presión.

Se puede observar que el colector solar de 36 tubos es el que más temperatura alcanza para bajos flujos másicos de agua y mismo nivel de radiación, por lo cual es más factible para emplearlo en industrias, hogares, etc.

CONCLUSIONES

Los componentes principales de un colector solar de tubos evacuados de baja temperatura fueron simulados para obtener el desempeño térmico e hidráulico por medio de simulaciones numéricas (CFD).

El comportamiento flujo volumétrico- caída de presión – temperatura en la salida del colector se obtuvo dada las condiciones ambientales (radiación solar 600W/m²).

Las simulaciones que aquí se presentan tienen suficiente exactitud en la predicción del comportamiento real de este tipo de colector solar.

AGRADECIMIENTOS

Al CCYTEC por haber sido participe en la elaboración de este trabajo, al Instituto Tecnológico Superior de la región Sierra (ITSS) por haber permitido la elaboración del proyecto, al Dr. Jorge Arturo Alfaro Ayala por el asesoramiento en la elaboración del proyecto, al CONCYTEG por el proyecto 14-IJ-DPP-Q182-23.

REFERENCIAS

- [1] Solar, S. (16 de Julio de 2015). Los colectores solares de tubo de vacío. Obtenido de Portal de energías renovables: <http://www.sitiosolar.com/los-colectores-solares-de-tubo-de-vacio/>
- [2] Marroquin, de Jesus., Olivares, Ramírez, J.M., Jiménez, Sandoval, O., Zamora, Antuaño, M.A., Encinas, Oropeza, A. (2012). Analysis of Flow and Heat Transfer in a Flat Solar Collector with Rectangular and Cylindrical Geometry Using CFD. Ingeniería Investigación y Tecnología, Vol. XIV, pp. 554 - 561
- [3] Alfaro-Ayala J. A., Martínez-Rodríguez G., Picón-Núñez M., Uribe-Ramírez A. R., Gallegos-Muñoz A. (2015). Numerical study of a low temperature water-in-glass evacuated tube solar collector. Energy Conversion and Management, Vol. 94, pp. 472-481. doi: 2015.01.091
- [4] Soteris, A. K. (2013). Solar Energy Engineering. En A. K. Soteris, Chapter 3 - Solar Energy Collectors (págs. 115-220). Chippers, Limassol, Chipre: Academic Press.
- [5] CEMAER. (16 de Julio de 2015). Qué es termosifón, fenómeno. Obtenido de Energía Solar: <http://www.gstriatum.com/energiasolar/blog/2008/04/14/que-es-termsifon-fenomeno/>