

ESTUDIO DE UN COLECTOR SOLAR DE TUBOS EVACUADOS MEDIANTE LA DINAMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL (CFD)

Sharon Stephanie López Esquivel (1), Jorge Arturo Alfaro Ayala (2)

1 Licenciatura en Ingeniería Química, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: ss.lopezsquivel@ugto.mx

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

El estudio térmico e hidráulico de un colector solar de tubos evacuados de bajas temperaturas tipo termosifón es realizado mediante la dinámica de fluidos computacional para diferentes flujos volumétricos y radiaciones solares. De igual forma se analizó un arreglo de colectores tipo serie con dos colectores. Para la simulación se utilizó el modelo de aproximación de Boussinesq, en el cual se ignoran las variaciones de las propiedades de los fluidos excepto la densidad que da lugar a las fuerzas de flotabilidad. La simulación y resolución del modelo matemático nos permitió conocer internamente el perfil de temperatura y presión del colector, así como la temperatura en la salida del colector y la caída de presión.

Abstract

The thermal and hydraulic study of a thermosyphon evacuated tubes solar collector at low temperatures was made through computational fluid dynamics for different volumetric flows and solar radiations. Likewise was analyzed an serial arrangement collector with two collectors. For the simulation was used the mathematical model of Boussinesq approximation, this model disregards the properties fluid variations on exception of the density, the density gives place to buoyancy forces. The simulation and the mathematical resolution model let us to know the internal temperature and pressure profile, as well as the outlet temperatura and the pressure drop.

Palabras Clave

Calentador; en materia solar, es un aparato que aprovecha la radiación solar para calentar un fluido, a diferencia del colector solar este tiene tanque de almacenamiento, es decir no está en circulación continua. Convergencia; en una sucesión matemática a resolver, la convergencia ocurre cuando los elementos de la sucesión se aproximan tanto como queramos al valor límite o adquieran un patrón secuencial.

INTRODUCCIÓN

Energía solar

El aprovechamiento de la energía solar en la actualidad se ha convertido en una necesidad debido a la inminente desaparición de los combustibles fósiles, los cuales generan gran contaminación y altos costos. La energía solar se produce por la continua reacción termonuclear en el sol, la cual llega al planeta en forma de radiación a una razón de 66 MW/m^2 . Esta energía puede ser aprovechada por tecnologías de conversión fotovoltaicas y fototérmicas. México es uno de los países de alta irradiación solar con 5.2 kW/m^2 en la mayor parte de su territorio [1].

Colector solar

Un colector solar es un tipo de intercambiador de calor que absorbe y transforma la energía de radiación solar en energía interna en este caso calor, el cual es transferido a un fluido. Hay dos tipos de colectores los de concentración y los estacionarios. En este trabajo se estudia un colector solar estacionario, este se caracteriza por que tiene la misma área para interceptar y absorber radiación solar y trabaja a bajas temperaturas. Hay tres tipos de colectores estacionarios los planos, los parabólicos compuestos y tubos evacuados.

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 (ver tubo evacuado en IMAGEN 1), esta radiación se transfiere como calor al fluido. Hay tres tipos de este colector tubos calóricos, terminación de tubos en U y tubos termosifón [2].

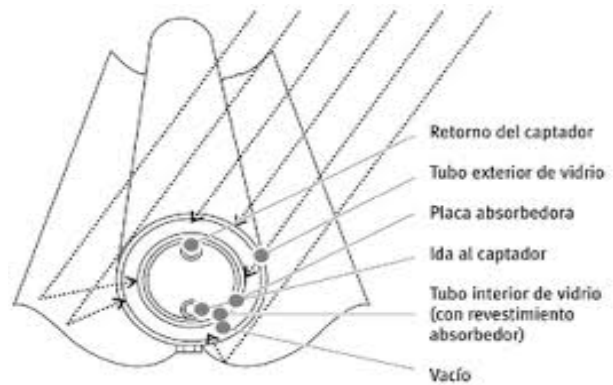


IMAGEN 1: Partes de un tubo evacuado.

Colector solar de tubos evacuados tipo termosifón

Este tipo de colector funciona bajo el efecto termosifón (ver movimiento del fluido en IMAGEN 2). Este efecto se presenta cuando los fluidos se calientan, al calentarse el fluido se dilata y disminuye su densidad, por tanto menos denso asciende y lo más denso desciende [3].

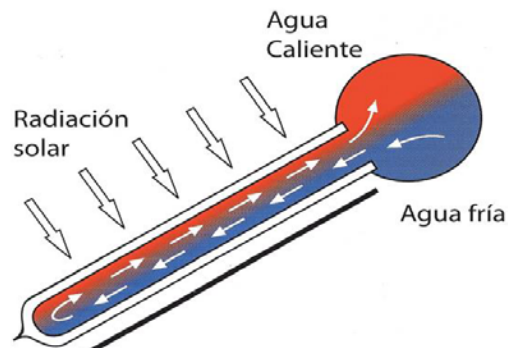


IMAGEN 2: Efecto termosifón.

Tipos de arreglos de colectores solares: serie y paralelo

Dependiendo del objetivo de la aplicación se pueden combinar distintos arreglos de los colectores solares. Un arreglo tipo paralelo tiene como objetivo el aumentar el flujo volumétrico y un arreglo en serie nos daría como resultado un mayor calentamiento de agua, esto debido al paso del fluido por dos o más colectores[4].

Aplicación

El calentamiento de sustancias, especialmente el agua, es indispensable en procesos industriales como los alimenticios, textiles, saponificaciones, manufactura de plásticos. De igual manera se emplea en la industria hotelera, restaurantera, uso doméstico. Para ello se utilizan colectores solares de baja temperatura en sus distintas combinaciones serie y paralelo [4].

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 en distintas aplicaciones.

MATERIALES Y MÉTODO

Se simuló por separado un CSTE de 36 tubos (dimensiones ver Tabla 1 y geometría ver IMAGEN 3) a tres diferentes radiaciones solares, que son la mínima, media y máxima en el estado de Guanajuato, a seis diferentes flujos volumétricos con las especificaciones de la Tabla 2.

Tabla 1: Dimensiones del CSTE	
Colector solar de 36 tubos evacuados	
Longitud del tubo	1.5m
Diámetro interno del tubo	0.037cm
Diámetro externo del tubo	0.047m
Área total de absorción	3.14m ²
Longitud del cabezal	2.5m
Diámetro interno del cabezal	0.13m
Ángulo de inclinación	30°

Los datos empleados fueron temperatura inicial a 20°C, los distintos flujos volumétricos y el flux de calor. Este último se obtuvo con la ecuación $Q_{util} = mC_p\Delta T$ conociendo la masa, C_p del agua, la temperatura inicial y considerando la temperatura final de datos obtenidos experimentalmente. Después se dividió el calor útil entre el área para obtener el flux de calor $q = Q_{util} / area_{abs}$, como se muestra en la Tabla 2.

Se utilizó el modelo de aproximación de Boussinesq, donde se consideran las variaciones en la densidad. La viscosidad, el calor específico y la conductividad se mantienen constantes; para resolver las ecuaciones de Navier-Stokes y ecuación de la energía.

Tabla 2: Datos utilizados para el cálculo de flux de calor.									
Flujo Lpm	Radiación solar								
	600 W/m ²			900 W/m ²			1200 W/m ²		
	Q _{útil} (W)	T _{sal} (°C)	q(W/m ²)	Q _{útil} (W)	T _{sal} (°C)	q(W/m ²)	Q _{útil} (W)	T _{sal} (°C)	q(W/m ²)
2	1173.6	28.4	374.2	1713.2	32.3	546.3	2248.8	36.2	717.1
4	1241.3	24.5	395.8	1815.9	26.5	579.0	2388.4	28.6	761.6
6	1268.2	23.0	404.4	1856.5	24.4	591.9	2443.2	25.9	779.1
9	1288.7	22.1	410.9	1887.4	23.0	601.8	2484.9	24.0	792.3
12	1300.5	21.6	414.7	1904.9	22.3	607.4	2508.5	23.0	799.9
15	1308.2	21.3	417.1	1916.6	21.8	611.1	2524.2	22.4	804.9

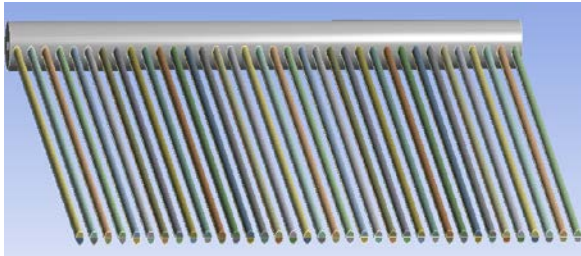


IMAGEN 3: Geometría colector solar 36 tubos

Para la conexión tipo serie (ver IMAGEN 4) se simuló con los mismos datos de la Tabla 2, solo para el segundo colector se calculó nuevamente el flux de calor con la temperatura de entrada (salida del primer colector) y datos experimentales de temperatura de salida.

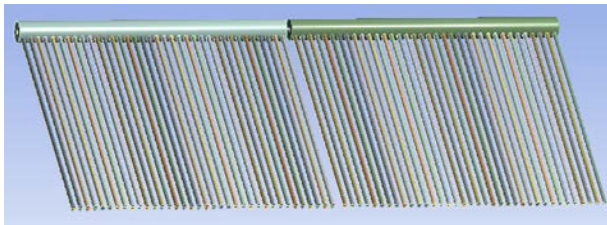


IMAGEN 4: Geometría colector solar con arreglo en serie

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la solución matemática se obtuvieron valores de temperatura mediante iteraciones. Para su interpretación se buscó el punto donde la solución converja y se obtuvo un promedio (ver ejemplo en IMAGEN 5).

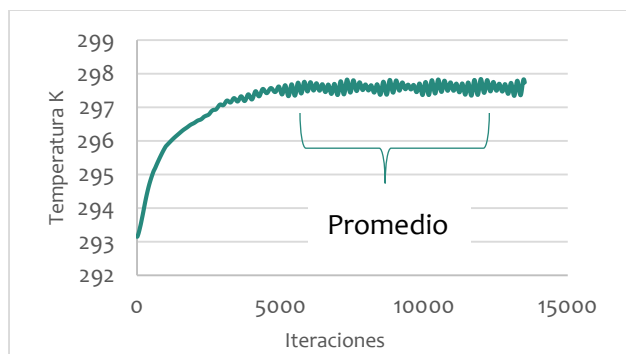


IMAGEN 5: Gráfico representativo de interpretación de resultados

Para el colector individual se obtuvieron los perfiles mostrados en el gráfico de la IMAGEN 6, con aproximadamente 24 horas de simulación para 1,042,626 celdas y 15mil iteraciones, por flujo de agua y flux de calor, con un total de 18 casos.

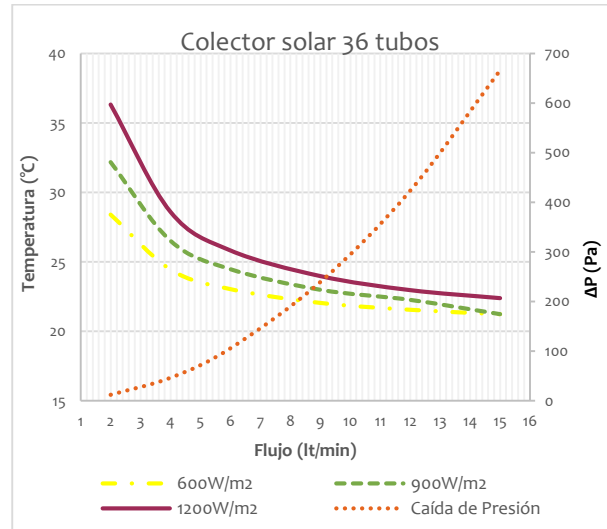


IMAGEN 6: Gráfico comportamiento térmico-hidráulico del colector solar de 36 tubos a distintos flujos volumétricos y flux de calor.

Como se puede observar de en la IMAGEN 6, de 2 a aproximadamente 5 Lt/min existe un cambio representativo en el aumento de la temperatura del agua, después de los 6 Lt/min el aumento de la temperatura es poco. Es visible como con el aumento de flujo másico de agua va decreciendo la energía ganada y aumentando la caída de presión.

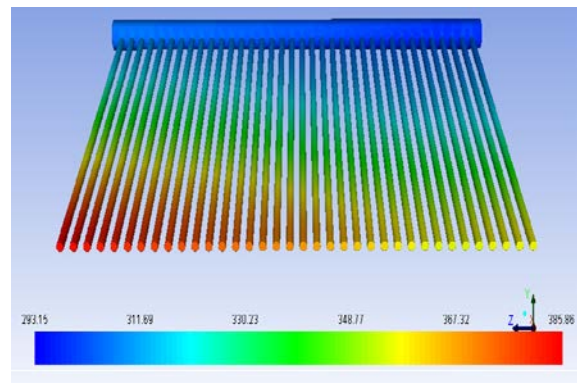


IMAGEN 7: Contornos de temperatura (K) en el colector solar a 900W/m² y 2Lt/min.

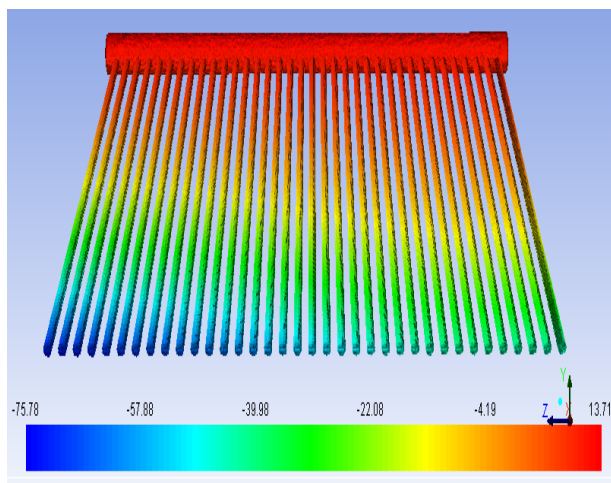


IMAGEN 8: Contornos de Presión (Pa) en el colector solar a 900W/m^2 y 2L/min .

Se pudo analizar por separado cada radiación a los diferentes flujos máxicos, obteniendo perfiles y contornos individuales de temperatura (ver IMAGEN 7) y presión (ver IMAGEN 8). La caída de presión se tomó como un diferencial entre la entrada y la salida considerada a 0Pa .

Para la simulación del colector con arreglo en serie (ver IMAGEN 9) se simuló alrededor de 372 horas con cerca de 90mil iteraciones y 3,011,062 celdas; para el caso de la radiación de 600W/m^2 a un flujo de 2L/min . Se tiene una estimación de porcentaje de calentamiento del segundo colector de un 84.5% con respecto primer colector.

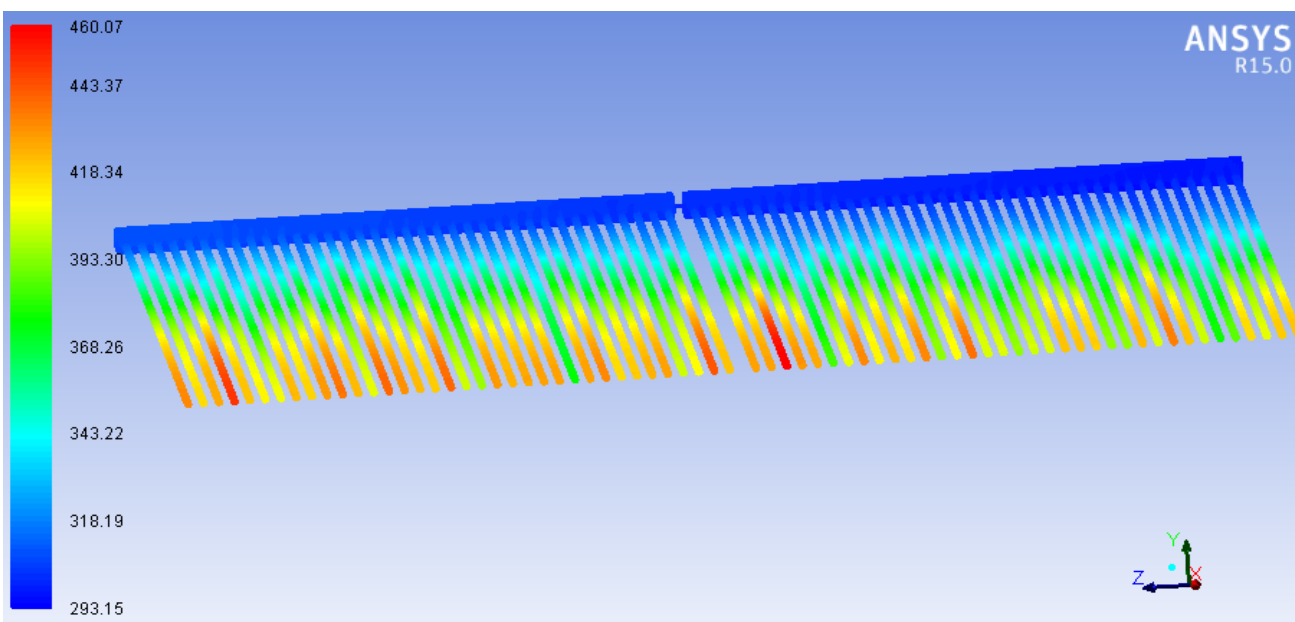


IMAGEN 9: Contornos de temperatura (K) en el colector solar en arreglo serie a 600W/m^2 y 2L/min .

Tabla 3: Resultados de la simulación en arreglo serie de temperatura de salida. C1: colector 1, C2: colector 2

Colector solar en arreglo tipo serie						
Flujo Lpm	Temperatura final en °C					
	600 W/m ²		900 W/m ²		1200 W/m ²	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2
2	28.4	35.5	32.2	42.5	36.3	50.1
4	24.4	28.2	26.5	32.0	28.6	35.9
6	23.03	25.6	24.5	28.2	25.8	30.7
9	22.0	23.8	23.0	25.5	24.0	27.3
12	21.5	22.8	22.3	24.2	23	25.5
15	21.2	22.3	21.2	22.3	22.4	24.4

Al igual que con la simulación de un solo colector en el arreglo tipo serie solo obtenemos cambios significativos en los 2 primeros flujos con un aumento de 15 a 30 °C según la radiación.

CONCLUSIONES

El empleo de colectores solares de tubos evacuados a bajas temperatura s, resulta útil solamente para flujos volumétricos pequeños, incluso en conformación tipo serie. No sería

recomendable para flujos altos debido al alto costo de los colectores y el bajo calentamiento que generarían, se tendría que analizar un arreglo paralelo para aumentar el flujo y adaptarse a las condiciones deseadas.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Guanajuato, por crear un programa para dar oportunidad a sus alumnos de investigar. Al Dr. Jorge Arturo Alfaro Ayala por aceptarme en su investigación y por su valioso asesoramiento durante el Verano de Investigación Científica UG 2015. Al CONCYTEG por el proyecto 14-IJ-DPP-Q182-23.

REFERENCIAS

[1] Muhlia, A. (1995). Los flujos de radiación solar de onda corta: la radiación global, directa y difusa. Boletín de Investigaciones Geográficas UNAM. Vol.31

[2] Soteris, A. Kalogirou. (2014). Chapter 3, Solar energy collectors. Solar Energy Engineering. Second Edition. Limassol, Cyprus. AP editorial. doi:10.1016/B978-0-12-397270-5.00003-0

[3] Lee, BF. (2001). The progress and prospect of middle/high temperature evacuated tubular solar collector. Renewable Energy. Vol.24, pp.539-544. doi: 10.1016/j.egypro.2015.02.107

[4] 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:10.1016/j.enconman.2015.01.091