

Caracterización de un colector solar de tubos evacuados y de flujo continuo para aplicaciones industriales

Characterization of a solar collector of evacuated and continuous flow pipes for industrial applications

LEMUS-HERNÁNDEZ, Julio*†, MONTER-ARREGUIN, Samuel y CASTAÑEDA-OLIVARES, Felipe

Universidad de Guanajuato, División de Ciencias Económico-Administrativas, Guanajuato, Guanajuato, México.

ID 1^{er} Autor: *Julio, Lemus-Hernández*

ID 1^{er} Coautor: *Samuel, Monter-Arreguin*

ID 2^{do} Coautor: *Felipe, Castañeda-Olivares*

DOI: 10.35429/JOES.2020.22.7.23.30

Recibido: Enero 25, 2020; Aceptado: Junio 30, 2020

Resumen

Este trabajo describe la caracterización de un sistema colector solar de tubos evacuados y de flujo continuo que utiliza LabView como interface y puntas de termopar como sensores de temperatura para las condiciones climáticas de San Juan del Río, Querétaro, México. Se determinaron las ΔT y eficiencias térmicas del Sistema y sus posibles aplicaciones. Los resultados experimentales fueron comparados con los obtenidos mediante una simulación numérica. Se obtuvieron mejores resultados de eficiencia para el arreglo en paralelo. En la actualidad continúa la tendencia de diversificar las fuentes de energías para procesos industriales y las energías renovables están tomando un papel cada vez más importante en el mediano plazo. El sistema que se propone permite bombear un fluido a través de un sistema colector para proveer de energía suplementaria al proceso industrial.

Energía Solar, Transferencia de calor por radiación, Eficiencia energética

Abstract

The characterization of a solar collector with evacuated tubes and continuous flow water heating, was measured by thermocouples and LabView interface data acquisition is presented. Weather conditions for San Juan del Río, Querétaro, México. ΔT and the system efficiency is obtained and its possible applications are considered. The experimental results were compared with a numerical solution. The best results were obtained by parallel system. A trend in renewable energy is diversification of sources and it may have good prospects in the medium term, as the flow through pumps hot fluid can be exploited to a greater distance in an industrial process and provide supplemental energy form for industrial processes.

Solar energy, Radiation heat transfer, Energy efficiency

Citación: LEMUS-HERNÁNDEZ, Julio, MONTER-ARREGUIN, Samuel y CASTAÑEDA-OLIVARES, Felipe. Caracterización de un colector solar de tubos evacuados y de flujo continuo para aplicaciones industriales. Revista de Sistemas Experimentales. 2020. 7-22:23-30.

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: jclmush@utsjr.edu.mx)

† Investigador contribuido como primer autor.

Introducción

Los colectores solares de tubos evacuados representan en la actualidad una alternativa de calentamiento de agua muy importante. Se han realizado muchas investigaciones alrededor del mundo tratando de optimizar éste y otros mecanismos de captación de energía solar. Es sabido que la irradiancia del sol varía dependiendo de factores como las condiciones atmosféricas y ambientales de la zona o lugar, la situación geográfica, la época del año y la situación de la Tierra respecto al Sol. (Roldán Vilorio, 2012)

Los principales aparatos que se usan con la energía solar térmica son los calentadores de agua y las estufas solares. Los colectores solares, tanques de almacenamiento y fluidos de transferencia de calor son los tres componentes básicos en aplicaciones de calentadores de agua solares. (Jamar, Majid, Azmi, Norhafana, & Razak, 2016). Para llevar a cabo el estudio realizado se documentaron las últimas investigaciones realizadas y sus vertientes.

En los sistemas de colección de tubos evacuados (ETCs) se ha demostrado que la combinación de una superficie selectiva y un espacio evacuado dan como resultado un desempeño excelente para la colección de energía solar a altas temperaturas. El vacío reduce las pérdidas de calor por conducción y convección al ambiente. Su geometría permite lograr excelentes niveles de colección en ángulos de incidencia bajos. (Kalogirou, 2009) Las variables en el diseño de un colector solar de tubos evacuados se concentran en los siguientes aspectos:

- a) La geometría y arreglos del colector solar. Uno de los principales temas estudiados es el efecto de la relación de aspecto del tubo (relación longitud-diámetro) sobre la eficiencia de la temperatura del agua en el tubo de vidrio evacuado.

Los resultados muestran que la relación longitud-diámetro tiene un efecto significativo en la eficiencia de este tipo de calentadores solares de agua. A mayor relación longitud-diámetro, menor es la eficiencia de ellos. (Yekta, Veysi, & Shojaeizadeh, 2015).

El uso de software con simulaciones numéricas se ha ocupado en la identificación de formas para mejorar la eficiencia de los colectores solares y poder ser utilizado para la optimización de las configuraciones geométricas según Min Thant, Myat Soe, & Maw Htay en 2015.

Opciones como el uso de una serie de tubos inclinados conectados a un tanque de cabecera, o dos filas de tubos horizontales en cada lado de un colector central fueron evaluadas por Thomas en 2015. Encontrando mejores resultados para el arreglo en paralelo del sistema.

Existe una tecnología denominada Heat Pipe, que consiste en el uso de dos materiales de transferencia de calor. Esta tecnología se utiliza principalmente para la generación de agua caliente con una mayor eficiencia, menos pérdida de calor y menos fricción. (Parmar & Bhojak, 2016). Li y colaboradores (2016) diseñaron un nuevo tubo al vacío con microcanales, que da algunas ventajas como las altas temperaturas y una baja pérdida de calor.

Recientemente se han escrito varios reviews que evalúan todas las tecnologías disponibles como la de los colectores de placa plana, de tipo parabólico, tubos de vacío, parabólica comedero, lente de Fresnel, antena parabólica y Heliostato colector de campo (HFC). Se encontró que el colector plano es el más adecuado debido a la mayor eficiencia y economía en el sistema de calentador de agua solar. (Patil & Deshmukh, 2016) (Patil, Deshmukh, & Paul, A Review on Different Collectors Performance, 2016). La misma idea pero trabajada en SolidWorks fue realizada por Bellos y colaboradores en 2015.

La modelación de sistemas de colectores solares se ha realizado también con tubos en "U", logrando elevar los coeficientes de transferencia de calor y por lo tanto la capacidad de absorción de energía térmica. (Kiran Naik, Varshney, Muthukumar, & Somayaji, 2015). El uso de aletas arroja que su orientación no influye en la temperatura alcanzada por el fluido usando tubos de cobre, sin embargo reduce los tiempos de espera para ello. (Krumholz, Agavo, & Dundon, 2016) (Mishra, 2015)

- b) El tipo de arreglo de flujo

Cambios en el caudal y su efecto han sido reportados por la Universidad Aleksandras Stulginskis en 2015, donde el aumento de la velocidad del caudal en el sistema ha reducido las pérdidas de calor en la tubería, pero con más energía utilizada por la circulación del agente de transferencia de calor (Agua). También se han realizado pruebas de flujos en tubos evacuados colocados en paralelo y en serie, dando ventaja a los arreglos en paralelo según Ricci y colaboradores en 2015. Lo cual comprueba Daghigh & Shafieian en 2016, al reportar menor eficiencia aplicando convección forzada.

c) Análisis financiero

Ayompe, Duffy, McCormack, & Conlon en 2011, Nájera Trejo, Martín Domínguez, & Escobedo Brenato en 2016 y Ghoneim, Shabana, Shaaban, & Mohammedeln en 2016 usaron TRNSYS que es una herramienta de simulación dinámica para el diseño y optimización de sistemas energéticos y simulación térmica. Con ello han podido predecir el rendimiento a largo plazo del calentamiento solar de agua en diferentes lugares. Simular corridas del sistema en distintas condiciones meteorológicas y condiciones de operación.

Y optimizar el tamaño del sistema solar de calentamiento de agua para que coincida con diferentes perfiles de carga. Diversos estudios evalúan las eficiencias de los colectores solares en diversas regiones del mundo, tal como Daghigh & Shafieian en 2016 quienes encontraron el número óptimo de tubos (15 tubos) para las condiciones estudiadas por ellos. Bouzenada y colaboradores en 2016, compararon en pruebas simultáneas el efecto geográfico de los colectores probados en Asia, Medio Oriente y América del Norte, encontrando la región de Túnez como la mejor opción para el sistema evaluado.

La caracterización del colector solar de tubos evacuados en flujo continuo se ha realizado con anterioridad, sin embargo, en la información disponible hasta el momento, no se había realizado aplicando el flujo en paralelo y en serie con el uso de una bomba en ambos casos. Lo cual industrialmente puede ser atractivo al tener más aplicaciones al permitir transportar el fluido de calentamiento más lejos hasta el lugar de aplicación.

Para evaluarlo se usó el software de LabView de National Instrument. Realizado en las condiciones climáticas predecidas por el software Meteonorm 5.1, para la región de San Juan del Río, Querétaro. México. En abril de 2016.

El objetivo es caracterizar un colector solar basado en tubos evacuados y serpentín con flujo de agua en arreglos en serie y en paralelo, con convección forzada y con la finalidad de evaluar su posible aplicación en procesos industriales.

Metodología

El sistema general está compuesto por cinco elementos principales:

1. Colector con 4 Tubos de borosilicato de 58 mm de diámetro externo, tubo absorbedor de 42 mm de diámetro y 1.8 m de longitud. Cada tubo cuenta con un serpentín de tubo de cobre de 3/8" de diámetro externo.
2. Un soporte para tubos diseñado y construido con la capacidad de ajustar su orientación a la trayectoria del sol en un eje.
3. Un sistema de transmisión de flujo de agua en circuito cerrado con venteo. La distribución del agua de alimentación se realiza mediante Tubing de teflón 3/8" OD aisladas térmicamente. Para las necesidades previstas, el sistema permite cambiar fácilmente a un arreglo de tubos en serie o en paralelo. Utiliza una bomba peristáltica de flujo variable marca MasterFlex L/S Mod. 7523-40 de 10 a 600 RPM, 115 VCA. 2.3 A. con capacidad de regular flujos de 0 a 1700 mL/min.
4. Sistema de medición y control de variables. Se utilizó la tarjeta de adquisición de datos DAQ NI-USB6008 de 12 bits de National Instruments. Se programó para proporcionar lecturas de temperatura promedio cada 10 segundos. Termopares tipo K y compensadores de temperatura de punta fría AD595 de marca Analog Devices. Su instalación al centro de la tubería permite sensor directamente la temperatura del fluido.

5. Estación Meteorológica de CEA instalada en la Universidad Tecnológica de San Juan del Río. Proporciona la información de variables meteorológicas tales como la temperatura ambiente, velocidad de aire y Radiación solar.

La estación está instalada a 30 metros de donde se ubicó el colector. En la Figura 1 se presenta una fotografía del sistema sin deflectores y en la figura 2 el arreglo de conexión entre los 4 tubos evacuados en serie.

Para este estudio se utilizó agua desionizada como fluido de trabajo por su alto valor de C_p , disponibilidad y su punto de ebullición de 96 °C. Además por su inocuidad, su bajo factor de incrustación y bajo riesgo ambiental. En las corridas experimentales se estudiaron flujos de agua de 50 hasta 500 mL/min. Las condiciones de radiación solar fueron variantes obteniéndose en instantes máximos de hasta 1100 W/m². La salida del colector se conectó a un disipador de calor enfriado por aire con el fin de simular la carga térmica demandada por una unidad de proceso. Su salida se retorna al colector.

Para concluir con la caracterización se obtuvo la solución numérica de las ecuaciones de transferencia de calor con la ayuda del software ESS por su versatilidad y capacidad de proporcionar propiedades termodinámicas.



Figura 1 Sistema del colector solar de tubos evacuados

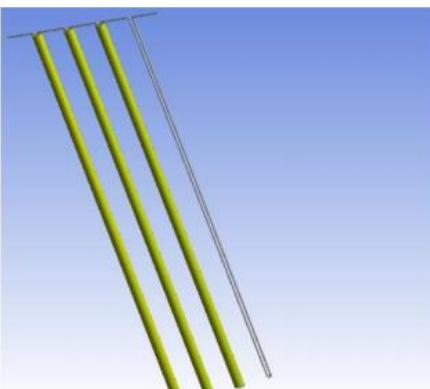


Figura 2 Arreglo de serpentines en el sistema

Simulación numérica del desempeño del colector

Antes de presentar las ecuaciones que describen el modelado es necesario enunciar las siguientes consideraciones. Se consideraron tres nodos de temperatura en cada tubo evacuado:

Temperatura exterior del tubo, temperatura superficial del tubo absorbedor y temperatura del tubo de cobre. Además, se omite la resistencia de transferencia de calor por conducción a través de los tubos de borosilicato y tubo de cobre. Se desprecia el fenómeno de retromezclado del fluido dentro del tubo de cobre. Además se supone una condición de estado estacionario. De acuerdo con (Ricci, y otros, 2015) el coeficiente de transmitancia del borosilicato y coeficiente de absorción del tubo colector son de 0.92 y 0.95 respectivamente. A continuación se presentan las ecuaciones para realizar los balances de energía térmica en un tubo colector basadas en los modelos propuestos por Ndiaye (2015).

Tubo exterior:

$$Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4 = 0 \quad (1)$$

$$Q_1 = \alpha_g A_{sup} G \quad (2)$$

$$Q_2 = A_p \sigma \varepsilon (T_p^4 - T_{sup}^4) \quad (3)$$

$$Q_3 = A_{sup} \sigma \varepsilon (T_{sup}^4 - T_{sky}^4) \quad (4)$$

$$Q_4 = A_{sup} h_{amb} (T_{sup} - T_a) \quad (5)$$

Y de acuerdo con la ecuación de Swinbank citado por Ndiaye (2015):

$$T_{sup} = 0.0552 T_a^{1.5} \quad (6)$$

Y también por la ecuación de Churchill y Bernstein:

$$Nu = 0.3 + \frac{0.62 Re^{1/2} Pr^{1/3}}{[1 + (0.4/Pr)^{2/3}]^{1/4}} B \quad (7)$$

$$B = \left[1 + \left(\frac{Re}{282000} \right)^{5/8} \right]^{4/5} \quad (8)$$

Tubo absorbedor:

$$Q_5 - Q_2 - Q_6 = 0 \quad (9)$$

$$Q_5 = \tau_g \alpha A_p G \quad (10)$$

$$Q_6 = \dot{m} c_p \left[1 - \exp\left(-\frac{h_i A_t}{\dot{m} c_p}\right) \right] (T_p - T_1) \quad (11)$$

Fluido:

$$T_2 = T_p - (T_p - T_1) \exp\left(-\frac{h_i A_t}{\dot{m} c_p}\right) \quad (12)$$

Eficiencia térmica:

$$\eta = \frac{Q_u}{A_p G} \quad (13)$$

$$Q_u = \dot{m} c_p (T_p - T_1) \quad (14)$$

O también por:

$$\eta = a_1 - a_2 \left(\frac{T_1 - T_a}{G} \right) \quad (15)$$

Nomenclatura:

A_{sup} = Área superficial del tubo externo (m^2)
 A_i = Área del tubo absorbedor (m^2)
 B = Factor de la ecuación de Churchill y Berstein.
 C_p = Capacidad calorífica promedio del fluido ($J \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)
 G = Radiación solar ($W \text{ m}^{-2}$)
 h_{amb} = Coeficiente de transferencia de calor por convección en el exterior ($W \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-1}$)
 h_i = Coeficiente de transferencia de calor por convección entre el tubo de cobre y el fluido ($W \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-1}$)
 \dot{m} = Flujo másico (kg s^{-1})
 Nu = Numero de Nusselt
 Pr = Numero de Prandtl
 Q_1 = Energía solar absorbida por el absorbedor (W)
 Q_2 = Radiación de calor intercambiado entre el tubo absorbedor y tubo exterior (W)
 Q_3 = Energía emitida al cielo (W)
 Q_4 = Perdidas de calor por convección al ambiente (W)
 Q_5 = Energía recibida por el tubo absorbedor (W)
 Q_6 = Energía retirada por el fluido por convección (W)
 Re = Numero de Reynolds
 T_p = Temperatura del tubo absorbedor (K)
 T_{sup} = Temperatura superficial externa (K)
 T_a = Temperatura ambiente (K)
 T_1 = Temperatura de entrada (K)
 T_2 = Temperatura de salida (K)
 T_{sky} = Temperatura del cielo (K)
 α = Absortividad de radiación solar
 ϵ = Emisividad de tubo borosilicato
 σ = Constante de Stefan - Boltzmann ($W \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)
 τ_g = Transmitancia del tubo de borosilicato.
 η = Eficiencia energética

Resultados

En la Gráfica 1 podemos observar la variación de las temperaturas experimentales que se obtuvieron a lo largo de una jornada desde las 9:00 horas hasta las 15:40 horas. Se puede observar la correlación directa entre la ganancia de energía térmica por el fluido y la radiación solar en W/m^2 presente en ese instante.

En este gráfico se alcanza a apreciar la diferencia de temperatura que alcanza el fluido a su paso por el colector. Se observan ΔT del orden de los 20°C desde las 11:30 hasta las 14:00 de ese día, en un solo paso. La ΔT del sistema máxima en recirculación fue de 70°C , con una temperatura máxima alcanzada de 85°C .

Esta diferencia de Temperatura es la que se podrá disponer como recurso energético en una aplicación industrial. Durante los análisis de resultados se determina que la potencia de calentamiento de un tubo evacuado ofrece una potencia de calentamiento máximas (14) registradas de 150 W con una media de 120 W , considerando que este valor depende de las condiciones de radiación solar, la temperatura de entrada del fluido de trabajo y del arreglo serie o paralelo instalado.

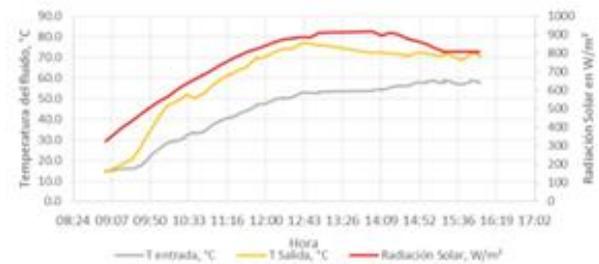


Gráfico 1 Perfil de temperaturas a un flujo de 100 mL/min
Fuente: Estación meteorológica CEA Universidad Tecnológica de San Juan del Río. 11 de Abril del 2016. <https://www.wunderground.com/personalweatherstation/dashboard?ID=IQUERETA29#history/tdata/s20140411/e20140411/mdaily>

A su vez, el Gráfico 2 muestra evidencia que el arreglo en paralelo ofrece mayor eficiencia en todas las corridas, este mismo resultado se observa con la simulación numérica (1-15). Las ecuaciones que describen su desempeño son las siguientes tomando el modelo de (15):

$$\eta_{paralelo} = 0.5544 - 0.5373 \left(\frac{T_1 - T_a}{G} \right) \quad (15)$$

$$\eta_{serie} = 0.3992 - 2.9754 \left(\frac{T_1 - T_a}{G} \right) \quad (16)$$

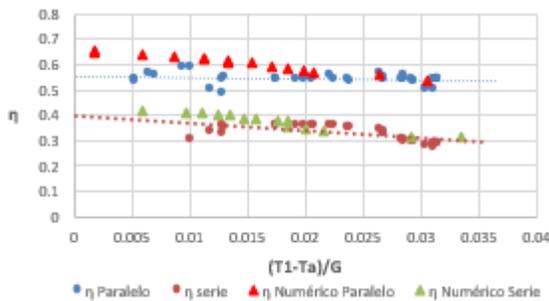


Gráfico 2 Correlación de la eficiencia del arreglo Serie y Paralelo en función del factor $(T_1 - T_a)/G$ y los estimados con la correlación numérica.

El análisis de variación de temperatura de salida contra los flujos volumétricos y de la eficiencia contra el mismo flujo volumétrico se representan en los Gráficos 3 y 4 respectivamente. Como se puede observar el ΔT en el arreglo en serie es mayor, sin embargo, la eficiencia del colector es mayor con el arreglo en paralelo.

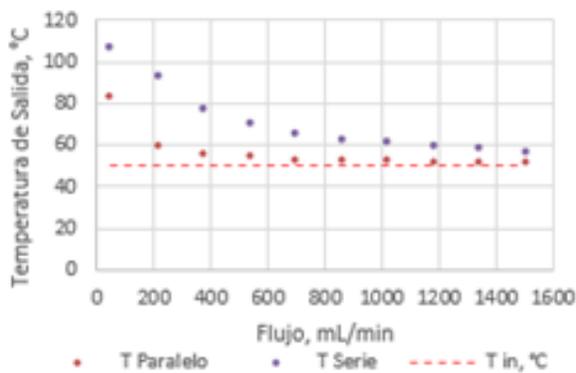


Gráfico 3 Perfil de temperaturas en función del tipo de arreglo serie o paralelo con una alimentación de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ y Radiación solar de 864 W/m^2

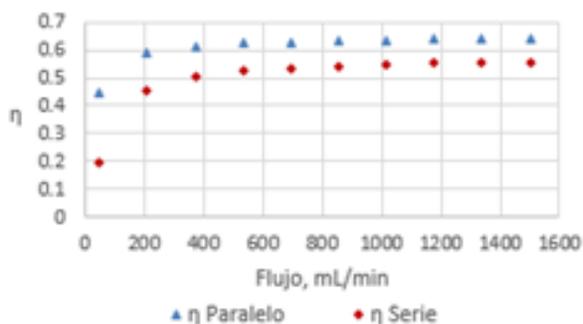


Gráfico 4 Variación de la eficiencia en función del flujo de alimentación para los arreglos de serie y paralelo

La caracterización del colector solar de tubos evacuados fue posible de llevar a cabo, arrojando información relevante para el prototipo construido.

En flujos de entre $100\text{--}150\text{ mL/min}$, se obtuvo la máxima ganancia energética cuando fue acoplado a un secador de alimentos, obteniendo a su vez productos aceptables en términos de cantidad de humedad. En términos de eficiencia y considerando una posible aplicación industrial, el arreglo en paralelo respecto al arreglo en serie tiene el 100% más de eficiencia. Éste proyecto sirve de plataforma para diseñar y monitorear proyectos a mayor escala, pues ya se conocen parámetros de diseño que pueden ser escalados como la geometría y las relaciones de flujo con las eficiencias.

Cualquier aplicación industrial involucra el suministro de energía de forma más económica posible basado en las energías renovables. Se observa éste proyecto puede formar parte de las redes de suministro de energía que pueden ser diversas y tener un impacto en la elección de las tecnologías en la industria. Se coincide con lo que opinan Muster Slawitsch, y otros en 2016, sobre los procesos en la gestión de la energía total de las empresas, pues la meta es la diversificación.

De igual forma coincidimos con Porras Prieto en 2015, en que la utilización de un sistema único de suministro es inviable en la mayoría de los casos, especialmente a tasas de transferencia elevadas, al no ajustarse la demanda de agua caliente a la estacionalidad de la producción del sistema solar, y al existir muchos días sin producción de agua caliente por la ausencia de irradiación mínima.

Referencias

Aleksandras Stulginskis University. (2015). Experimental investigation of energy characteristics of evacuated tube heat-pipe solar collector system. (A. Raupelienė, Ed.) Proceedings of the 7th International Scientific Conference Rural Development 2015, 1-6.

Ayompe, L. M., Duffy, A., McCormack, S. J., & Conlon, M. (2011). Validated TRNSYS model for forced circulation solar water heating systems. Applied Thermal Engineering, 31(8-9), 1536-1542. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.01.046>

- Bellos, E., Tzivanidis, C., Mitsopoulos, G., & Alexopoulos, I. (2015). Energetic, exergetic and financial evaluation of. Athens, Greece: Department of Thermal Engineering, National Technical University of Athens, Zografou, Heron Polytechniou.
- Bouzenada, S., McNevin, C., Harrison, S., & Kaabi, A. (1 de Abril de 2016). Performance of a liquid desiccant air-conditioner driven by evacuated-tube, flat-plate, or hybrid solar thermal arrays. *Energy and Buildings*, 117, 53-62. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.002>
- Cervantes Anaya, A. I., & García Carbajal, H. E. (2013). Horno automático de precisión para el soldado de componentes electrónicos de montaje superficial. México: Instituto Politécnico Nacional.
- Daghigh, R., & Shafieian, A. (Agosto de 2016). Energy and exergy evaluation of an integrated solar heat pipe wall system for space heating. *Sādhanā*, 1-10. doi:10.1007/s12046-016-0517-4
- Daghigh, R., & Shafieian, A. (25 de Junio de 2016). Theoretical and experimental analysis of thermal performance of a solar water heating system with evacuated tube heat pipe collector. *Applied Thermal Engineering*, 103, 1219-1227. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.05.034>
- Ghoneim, A. A., Shabana, H. M., Shaaban, M. S., & Mohammedeln, A. M. (Abril de 2016). Performance Analysis of Evacuated Tube Collector in Hot Climate. *European International Journal of Science and Technology*, 5(3), 8-21.
- Jamar, A., Majid, Z., Azmi, W., Norhafana, M., & Razak, A. (Agosto de 2016). A review of water heating system for solar energy applications. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 76, 178-187. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.05.028>
- Kalogirou, S. (2009). *Solar Energy Engineering*. Cambridge, Massachusetts, United States: Academic Press.
- Kiran Naik, B., Varshney, A., Muthukumar, P., & Somayaji, C. (2015). Modelling and Performance Analysis of U Type Evacuated Tube. Guwahati, India: Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology Guwahati.
- Krumholz, B., Agavo, M., & Dundon, W. (2016). *Fluid Analysis in Solar Heat Pipes*. San Luis Obispo, CA: Department of Mechanical Engineering, Cal Poly SLO.
- Li, G., Ji, J., Zhang, G., He, W., Chen, X., & Chen, H. (8 de June de 2016). Performance analysis on a novel micro-channel heat. *International Journal of Energy Research*, 1-12.
- Min Thant, Z., Myat Soe, M., & Maw Htay, M. (September de 2015). Numerical Study on Temperature Distribution of Water-in-Glass Evacuated Tubes Solar Water Heater. *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*, 2(9), 1-7.
- Mishra, D. (2015). Experimental Analysis of Thermal Performance of Evacuated U-Tube Solar Collector. *Advance Physics Letter*, 2(3), 1-7.
- Muster Slawitsch, B., Prosinecki, T., Ahmad, Q., Sattler, C., Buchmaier, J., Lux, S., . . . Brunner, C. (2016). Potential Enhancement of Solar Process Heat by Emerging Technologies. Paris, France: Solar Process Heat for Production and Advanced Applications.
- Nájera Trejo, M., Martín Domínguez, I. R., & Escobedo Brenato, J. A. (2016). Economic feasibility of flat plate vs evacuated tube solar collectors. *Energy Procedia*, 91, 477-485. Obtenido de (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).
- Ndiaye, D. (2015). Simplified Model for Dynamic Simulation of Solar Systems with Evacuated Tube Collector. (ELSEVIER, Ed.) *Procedia Engineering* (118), 1250 - 1257.
- Parmar, R. B., & Bhojak, K. (May-June de 2016). Performance of an evacuated tube collector with heat pipe technology. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 4(3), 71-90.

Patil , P. P., & Deshmukh, D. S. (2 de May de 2016). A Review on Collector Designs for Solar Water Heating System Performance Enhancement. *Pratibha: International Journal Of Science, Spirituality, Business and Technology (Ijssbt)*, 4(2), 71-77.

Patil, P. P., Deshmukh, D. S., & Paul, I. D. (2016). A Review on Different Collectors Performance. Jalgaon, India: International Conference on Global Trends in Engineering, Technology and Management (ICGTETM-2016).

ph.parker.com. (04 de 09 de 2016). Obtenido de <http://ph.parker.com/us/es/939-convoluted-ptfe-hose>

Porras Prieto, C. J. (2015). Evaluación de un sistema de energía solar térmica basado en colectores de tubos de vacío para suministro de agua a alta temperatura. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid

Ricci, M., Bocci, E., Michelangeli, E., Micangeli, A., Villarini, M., & Naso, V. (2015). Experimental Tests of Solar Collectors Prototypes Systems. *Energy Procedia*, 82, 744-751.

Roldán Viloría, J. (2012). Estudio de viabilidad de instalaciones solares. Madrid, España: Paraninfo.

Tang, R., Yang, Y., & Gao, W. (7 de 2011). Comparative studies on thermal performance of water-in-glass evacuated tube solar waters with different collector tilt-angles. *Solar Energy*, 85(7), 1381-1389.

Thomas, D. E. (December de 2015). Performance of horizontal water-in-glass evacuated tube. *Journal of Mechanical Engineering*, ME 45(2), 130-134.

Yekta, A., Veysi, F., & Shojaeizadeh, E. (2015). The Effect of Tube Aspect Ratio on the Efficiency of Water in Glass Evacuated Tube Solar Water Heaters. *Caspian Journals of Applied Sciences Research*, 4(8), 34-46.