



REVISIÓN TÉCNICO-CIENTÍFICA DE LA LITERATURA REFERENTE A COLECTORES SOLARES DE CANAL PARABÓLICO, COMO MARCO DE TRABAJO PARA EL DESARROLLO FUTURO DE PROTOTIPOS INNOVADORES DE ESTE TIPO DE TECNOLOGÍA

Wilmar Leonardo Rondón Romero, Arly Darío Rincón Quintero, Nayibe Caballero Barrera

**Unidades Tecnológicas de Santander
Bucaramanga, Colombia**

Efrén Romero Riaño

**Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia**

Resumen

En este documento se muestran los resultados de una investigación básica sobre los Colectores Cilíndricos Parabólicos (CCP) por ser la tecnología de concentración solar más desarrollada. Para el desarrollo de esta investigación se realizó una búsqueda sistemática de información en la base de datos Institute for Scientific Information Web of Science (ISI WOS), teniendo como objetivo, identificar los materiales que se han estudiado y aplicado en los CCP.

En el desarrollo de esta vigilancia tecnológica se elabora una ecuación de búsqueda usada para filtrar la obtención de documentos que tengan como tema base, investigaciones de los CCP. Una vez que se define la base de datos se le aplica una serie de criterios que identifiquen los artículos científicos (revistas de alto impacto en la comunidad académica) cuyo contenido establece los diferentes materiales empleados en esta tecnología. Al tener definidos los artículos, se extrae de ellos la información más relevante con respecto al desarrollo de las investigaciones que han realizado los

autores, plasmando en este trabajo dichos avances y el estado actual de los CCP en el mundo.

Dentro de los resultados obtenidos se identifica una tendencia creciente en el desarrollo de esta tecnología y se destaca el uso de acero y aluminio en la construcción de estructuras de los CCP. También se evidencia la aplicación de tubos receptores transparentes que permiten la entrada de rayos solares directos al fluido de transferencia de calor (FTC) y abren las puertas a una nueva gama de CCP. Uno de los aspectos más destacados en la investigación es la implementación de nano-fluidos que es el principal tema abordado dentro de los artículos encontrados sobre los diferentes materiales usados en los CCP.

Palabras clave: colectores cilíndricos parabólicos; energía solar térmica; vigilancia tecnológica

Abstract

In the following document the results of a basic research about Parabolic Trough Collectors (PTC) for being the most developed technology of solar concentration are shown. For the development of this investigation a systematic information research was made in the database Institute for Scientific Information Web of science (ISI WOS), aiming to identify the material that have been studied and applied in the PTC.

In the development of this technologic surveillance a research equation used to filter the obtaining of documents that have as base topic, investigation of the PTCs is elaborated. Once the database is defined, a serial of criteria is applied to identify the scientific articles (high impact magazines in the academic community) which content establishes the different material used in this technology. Having the articles defined, the most relevant information regarded to the development of the investigation that authors have made is extracted from them, setting in this work the mentioned advances and the current condition of PTCs in the world.

Within the obtained results a growing trend is identified in this technology development and the use of steel and aluminum stands out in the construction of PCCs structures. An implementation of transparent receptor tubes that allow the entrance of sun rays to the heat transference fluid (HTF) is also put in evidence and opens the doors to a new PTC gamma. One of the most distinguish aspect in the investigation, is the implementation of Nano fluids which is the main topic approached within the found articles about different materials used in PTC.

Keywords: *parabolic trough collectors; solar thermal energy; technological surveillance*

1. Introducción

La energía solar es de naturaleza inestable por los movimientos de la tierra (día-noche, nubosidad, clima, etc). La captura y el almacenamiento de la energía solar resultan necesarios, en busca de una fuente energética continua y estable (Fontalvo, et al., 2013). Las plantas de concentración solar han ganado un especial interés en los últimos años por ser la tecnología que permite transferir la radiación solar a un fluido de trabajo para elevar su temperatura y luego ser almacenada para su posterior uso en un ciclo de generación de energía Rankine. Esta información puede ser respaldada fácilmente en diferentes libros y artículos científicos como lo son (Kalogirou, 2009), (Barlev, 2011), (Duffie, 2013), (Zhang, 2013).

La energía solar térmica que básicamente usa espejos para concentrar la radiación en un punto denominado foco, logrando aumentar la temperatura de los fluidos que se hacen pasar por éste, contiene diversos sistemas concentradores que podemos encontrar expuestos en el artículo "Innovation in concentrated solar power" de (Barlev, 2011) o en el artículo titulado "Concentrated solar power plants: Review and design methodology" de (Zhang, 2013).

Barlev y Zhang describen 4 principales colectores concentradores usados en la generación de energía eléctrica, entre los cuales se encuentran los colectores cilindro-parabólicos (Parabolic trough collectors), colector de campo de helióstatos (Heliostat field collectors), reflectores lineales de Fresnel (Linear Fresnel reflectors) y colectores de disco parabólico (Parabolic dish collectors). Al hacer lectura de estos artículos se identifica al colector cilindro-parabólico CCP como la tecnología más desarrollada e implementada en el mundo y esto se puede confirmar en la página www.protermosolar.com (Protermosolar, 2015) de la Asociación Española de la Industria Solar Termoeléctrica donde se encuentra información específica sobre las múltiples plantas funcionando, en ésta se observa que más del 90% de la potencia generada en la industria solar termoeléctrica es mediante la implementación de los CCP.

En este documento se muestra los resultados de una investigación básica sobre la tendencia y los materiales que se usan en los CCP para su construcción y funcionamiento de modo que permita tener un marco de trabajo para futuros proyectos de investigaciones aplicadas, experimentales o de desarrollo tecnológico. Para obtener la información necesaria se hace una búsqueda sistemática en la base de datos ISI WOS.

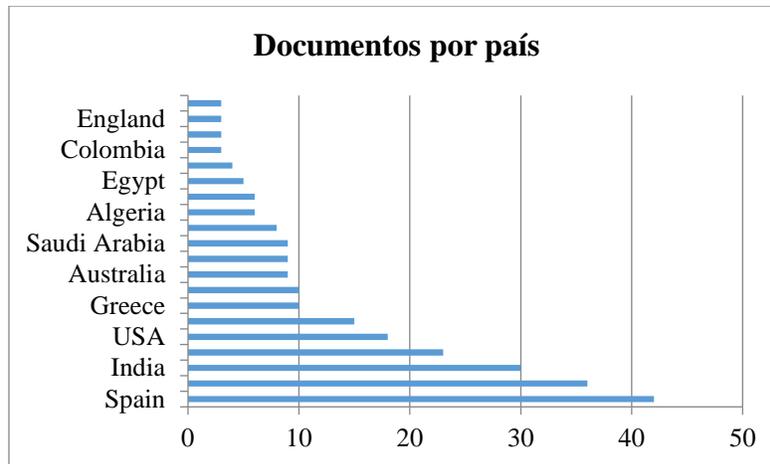
2. Ejecución de la revisión

Para la elaboración de este trabajo se tiene como base metodológica la vigilancia tecnología, que de acuerdo con el libro de (Castellanos Domínguez, 2011), consiste en "identificar áreas claves, oportunidades, amenazas hacia el desarrollo tecnológico y tendencias de investigación a partir de indicadores de bibliometría, cienciometría y patentometría". En esta investigación se usa la bibliometría y procesamiento de bases de datos a través de herramientas especializadas con el fin de identificar los países con

mayor dominio del conocimiento sobre CCP, las organizaciones o entidades que tienen mayor producción científica, los autores con mayor trayectoria en investigación y la tendencia de esta tecnología.

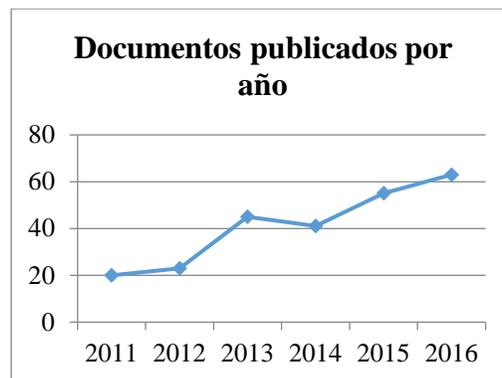
2.1. Resultados de la búsqueda en la base de datos

El presente análisis se realiza con la herramienta Vantage Point. Se descarga la información entregada por la ISI WOS (Título, autor, fuente, abstract, año de publicación, etc.) de los diferentes documentos para ser procesada por la herramienta.



Gráfica 1. Primeros 20 países con mayor número de documentos publicados sobre CCP en los años 2011 al 2016. (Fuente propia)

En primera instancia al observar la Gráfica 1 se identifica a España como el país con mayor producción de documentos sobre este tema seguido de China, India, Italia y USA. Al comenzar la investigación se tenía la hipótesis de que en Colombia no se hacía ningún tipo de investigación o desarrollo tecnológico sobre los CCP y enfocaba sus investigaciones sólo en los paneles fotovoltaicos para el aprovechamiento de la radiación solar. Pero como podemos observar en la Gráfica 1, Colombia cuenta con 3 publicaciones. Con esta información la hipótesis evoluciona y se identifica la existencia de un grupo limitado de profesionales colombianos que actualmente trabajan investigando sobre los CCP.



Gráfica 2. Documentos publicados sobre CCP entre los años 2011 a 2016 (Fuente propia).

En la Gráfica 2 se visualizan las publicaciones hechas sobre los CCP desde el año 2011 y se describe una tendencia creciente en publicaciones lo que indica que esta tecnología continúa en desarrollo.

2.1.1. Identificación de los materiales estudiados en los últimos años

Teniendo definida la base de datos entregada por la ecuación de búsqueda se hace un proceso de identificación de estudios para encontrar los materiales estudiados y aplicados en el colector cilíndrico parabólico dentro de la base de datos ISI WOS en los últimos 5 años, usando la herramienta Vantage Point para identificar los artículos que mencionan las diferentes partes de los CCP o palabras claves como por ejemplo construcción, manufactura, etc.

Se hace lectura minuciosa y analítica del título y el abstract o resumen de cada artículo para verificar que traten sobre el tema de investigación (CCP).

Es importante destacar el dominio que tiene España sobre esta tecnología, logro que han alcanzado a través del trabajo de múltiples organizaciones y la dedicación de diferentes investigadores que centran sus estudios en el desarrollo de los CCP.

3. Resultados

Para presentar los diferentes estudios realizados entre los años 2011 a 2016 de los materiales aplicados en los CCP se clasificarán según el componente que estén estudiando de la siguiente forma.

- Estructura: conjunto de elementos que cumplen con el objetivo de estabilizar el sistema de concentración, hacer seguimiento solar y reflejar la radiación solar hacia el foco.
- Tubo receptor: conjunto de elementos que tienen la función de absorber la radiación solar para ser transferida al fluido de trabajo minimizando las pérdidas de calor.
- Fluido de trabajo: fluido que tiene la función de almacenar la radiación solar para ser aprovechada dentro del ciclo de trabajo.

3.1. Estructura

En la actualidad las estructuras son de acero o de aluminio, éstas aseguran los espejos de vidrio curvado dándoles estabilidad y precisión en el seguimiento del sol. Se construyen módulos con longitudes de hasta 12 metros y un ancho de abertura de aproximadamente 5,80 m, por ejemplo, las primeras plantas cilindro-parabólicos de energía solar en Europa Andasol 1-3 (Solar Millennium, 2008). Los desarrollos actuales tienen como objetivo reducir los costos, usando materiales más económicos que

brinden confiabilidad para soportar el sistema de concentración y las cargas por fuerza del viento.

El ejemplo destacable respecto a la disminución de costos en materiales, lo representa el trabajo realizado por (Forman, et al., 2015). En este se hace un estudio detallado sobre cáscaras de hormigón ligero, pues éstas son de menor costo, en comparación de aquellas que están fabricadas en acero o aluminio, además son de fácil adquisición. (Forman, et al., 2015) analizaron las deformaciones que puede sufrir este material a causa de los múltiples esfuerzos a los que se expone. Es importante tener en cuenta las deformaciones porque el sistema de concentración demanda precisión en la curvatura de sus espejos para disminuir las pérdidas ópticas.

Luego de realizar las respectivas pruebas los autores construyen un prototipo, donde usa un encofrado de poliestireno para construir el cascaron de hormigón parabólico, pero éste es desechable y de un solo uso para fines de investigación por lo que el autor recomiendo usar encofrados de acero para producción en masa. Para la superficie reflectante el autor recomienda 3 opciones papel de aluminio, espejos de vidrio o laminas delgadas de aluminio que son de fácil adherencia a la superficie de la cascara de hormigón ligero.

Además del prototipo desarrollado por (Forman, et al., 2015), se encuentra el prototipo UNIVPM.01 desarrollado por (Coccia, et al., 2015) que tiene como objetivo diseñar un sistema de concentración de bajo costo para aplicaciones industriales en procesos de calor con temperaturas entre 70° a 250° Celsius.

Para construir el prototipo (Coccia, et al., 2015) hacen el canal parabólico con un sándwich de fibra de vidrio y poli-estireno denominado XEPS colocado en tiras y para rellenar los espacios vacíos usa resina epoxi, tiene propiedades mecánicas acordes a las necesidades de los CCP. El objetivo del prototipo es probar diferentes tipos de receptores por lo que usan un soporte que puede variar en altura y ángulo permitiendo colocar diferentes receptores. Pero el desarrollo de su proyecto es ejecutado con un receptor de aluminio con una cubierta superficial de pintura negra resistente a altas temperaturas.

En la superficie parabólica construida con XEPS se pega papel de aluminio altamente reflectante resistente a las condiciones del ambiente un producto denominado MIRO-SUN producido por Alanod-solar.

Otro trabajo destacable es el realizado por (Chafie, et al., 2016) el cual construye un CCP con una estructura de acero galvanizado con 11 costillas parabólicas, sobre estas costillas se coloca el reflector que es un conjunto de láminas de aluminio ligero y duro se envuelven con una película de aluminio, que es delgado, de peso ligero, de bajo coste y que tiene sobre todo una alta reflexión.

3.2. Tubo receptor

El desarrollo de materiales selectivos para el aprovechamiento del espectro solar está ganando un papel creciente en la tecnología solar térmica. El tubo receptor requiere una alta absorción a las longitudes de onda del espectro solar y una baja emisión en las longitudes de onda de espectro térmico. El Recubrimiento del tubo receptor representa una vía prometedora para mejorar la eficiencia del mismo para colectores cilindro-parabólicos (CCP).

En el trabajo realizado por (Pratesi, et al., 2014) se describe un paso intermedio en la fabricación de absorbedores solares basados en cromo negro, es decir, la fabricación y caracterización de recubrimientos de níquel sobre soportes de acero inoxidable. Características micro-estructurales de superficies de níquel se sabe que afectan favorablemente la deposición adicional de cromo negro. Por otra parte, la alta reflexión del níquel en la región de longitud de onda del infrarrojo térmico puede explotarse ventajosamente para reducir las pérdidas térmicas de emisión. (Pratesi, et al., 2014) investigan las características estructurales y las propiedades ópticas de las superficies de níquel, su correlación de recubrir proceso de espesor y la deposición, en la perspectiva para evaluar las condiciones óptimas para aplicaciones de absorbedor solar.

En 2013 también se publica un trabajo realizado por (Risi, et al., 2013) en el que se presenta un innovador Colector de Canal Parabólico Transparente (CCPT) que funciona con nano-fluidos a base de gas como su FTC.

Los autores describen el receptor de la siguiente forma:

- Un tubo de cuarzo exterior.
- Un espacio anular de vacío, útil para reducir la transferencia de calor por convección desde el tubo receptor.
- Un tubo de cuarzo interno, con un recubrimiento espectralmente selectivo caracterizado por una baja emisividad en la región del infrarrojo con un corte a 1.600 nm, adecuada para reducir las pérdidas de radiación.

El sistema usa un nano-fluido a base de gas como fluido de transferencia de calor que absorbe directamente la energía solar. Los autores usan un modelo matemático riguroso que considera los aspectos dinámicos geométricos, térmicos y de fluidos de la CCPT desarrollado con el fin de obtener un rendimiento global. Además, una optimización de algoritmo genético (MOGA II) utilizado para mejorar y optimizar el rendimiento del colector solar.

Sus resultados numéricos demuestran que los nano-fluidos a base de gas combinados con CCPT pueden ser una alternativa eficaz a los sistemas convencionales, tales como aceites sintéticos o sales fundidas que han mostrado diferentes problemas de aplicación en las plantas existentes.

3.3. Fluido de trabajo

Las plantas de colectores cilindro-parabólicos consisten en grandes campos de colectores cilindro-parabólicos, un sistema de transferencia de calor de generación de fluido/vapor, un ciclo Rankine de turbinas de vapor/generador y almacenamiento opcional y/o sistemas de copia de seguridad base de combustibles fósiles. Sin embargo, a pesar de la gran experiencia acumulada en esta tecnología, todavía hay varias lagunas técnicas para que sea competitiva con las tecnologías basadas en combustibles fósiles tradicionales. Los principales esfuerzos han dado lugar a la mejora de la transferencia de calor del colector, la eficiencia del espejo, la integración de un sistema de almacenamiento térmico y la sustitución del fluido de transferencia calor

La sustitución del actual FTC (fluido de transferencia de calor) aparece como un paso importante para reducir costos y mejorar el rendimiento de la CES (concentración de energía solar) en plantas debido al hecho de que se necesitarían grandes cantidades de FTC, esto supone costos altos de inversión en capital. La generación actual de fluidos comerciales utilizados son aceites sintéticos compuestos por mezclas eutécticas de óxido de difenilo y bifenilo. Este aceite sintético actualmente ofrece la mejor combinación de bajo punto de congelación (12°C) y el límite superior de temperatura (393°C). Sin embargo, estos aceites son productos inflamables y tóxicos, lo que resulta en un peligro directo para los operadores de la planta. Además, su uso está limitado por su temperatura de degradación ($<400^{\circ}\text{C}$), lo que limita la eficiencia del ciclo termodinámico para la generación de energía. Además, tienen presiones de vapor altas, superior a la presión atmosférica, lo que hace difícil su uso como medio de almacenamiento térmico, ya que requeriría grandes recipientes a presión poco prácticos.

Dentro de la vigilancia tecnológica realizada se identifica una tendencia en investigación que aborda el tema de los nano-fluidos, que consisten en un fluido base con partículas nano-métricas (1-100 nm) de óxidos metálicos suspendidas dentro de ellas (Saidur, et al., 2011). Éstos representan la principal oportunidad para mejorar la eficiencia de los sistemas concentradores de energía solar, lo que se manifiesta en diferentes estudios realizados en los últimos años, dentro de estos se destaca el trabajo realizado por (Risi, et al., 2013), (Muñoz-Anton, et al., 2014), (Sokhansefat, et al., 2014), (Mwesigye, et al., 2015), (Menbari, et al., 2016) y (Hussein, 2016) quienes analizan y estudian diferentes aspectos de la implementación de estos FTC.

En el trabajo titulado "Theoretical basis and experimental facility for parabolic trough collectors at high temperature using gas as heat transfer fluid" de (Muñoz-Anton, et al., 2014) en el cual buscan justificar las bases teóricas de la utilización de gas en los CCP. La idea principal de la nueva tecnología es el uso de un gas como fluido de transferencia de calor en los concentradores parabólicos solares. Algunas opciones son helio, dióxido de carbono, aire o nitrógeno. El helio es el más caro y el aire es el más barato, pero presenta, con N_2 , el comportamiento termo-hidráulico más pobre como fluido de transferencia de calor en los colectores. Este hecho ha llevado a la utilización de dióxido de carbono en la primera etapa de desarrollo.

Otro trabajo destacable es el realizado por (Mwesigye, et al., 2015) y (Menbari, et al., 2016) donde estudian el comportamiento térmico de un nano-fluidos que consiste en aceite sintético y Al_2O_3 en el tubo absorbedor de un colector cilindro-parabólico hacen una simulación y una transferencia de calor por convección mezclado turbulento con el flujo de calor no uniforme. Los resultados del estudio demuestran que el coeficiente de transferencia de calor del fluido de trabajo en un tubo absorbedor se ve reforzada por la presencia de nano-partículas.

El coeficiente de transferencia de calor se incrementa como la concentración de las nano-partículas en el fluido base se va incrementando. Para un número de Reynolds de entrada dado, la mejora en el coeficiente de transferencia de calor causada por nano-partículas se reduce a medida que aumenta la temperatura de funcionamiento del tubo absorbedor. Los resultados de su trabajo para investigar las variaciones de transferencia de calor del colector asumido fueron validados con otros estudios similares.

Utilizar un nano-fluido en CCP tiene beneficios ambientales y logra una mejora de la transferencia de calor, por consiguiente, se puede reducir el área de transferencia de calor necesaria de los tubos e intercambiadores de calor. Sin embargo, estas ventajas se podrían lograr con pocos cambios (en términos de materiales, el diseño del sistema, y la inversión de capital inicial) en todo el sistema de CCP.

4. Conclusiones

Los países líderes en esta tecnología han logrado su posición gracias al trabajo de múltiples organizaciones entre las cuales se destacan universidades y centros de desarrollo tecnológicos. Estas entidades establecen redes entre ellas para hacer intercambios de conocimiento y poder llevar sus desarrollos a aplicaciones industriales. Ya en el contexto nacional se evidencia con vigilancia tecnológica que sólo la UNINORTE tiene estudios en este campo.

En el desarrollo de estructuras para los CCP se identifica al hormigón como el material con las mejores características para sustituir las estructuras metálicas construidas a nivel comercial, la cáscara de hormigón presenta ventajas no sólo mecánicas si no también económicas, destacándola como la mejor opción para futuros diseños de prototipos.

En cuanto al desarrollo de los tubos receptores las mejoras están ligadas al estudio de su recubriendo que disminuya la emisión de calor y por ende aumenta la eficiencia del sistema. También se ha identificado una variedad en los materiales de los cuales están compuestos los tubos, que los hace transparentes, permitiendo que la radiación solar llegue directamente al fluido de trabajo, entre los cuales podemos identificar a los nano-fluidos con nano-partículas de óxidos y metales que aumentan la capacidad de absorción de calor del FTC (específicamente por radiación).

Los nano-fluidos son el principal tema de investigación en cuanto al desarrollo de los CCP, por ser el limitante para lograr mayores temperaturas de trabajo que está ligado a la eficiencia de estos sistemas y el que hace posible el almacenamiento de energía térmica permitiendo generar electricidad de forma continua.

5. Referencias

Artículos de revistas

- Barlev, D. (2011). Innovation in concentrated solar power. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, p. 2703–2725.
- Chafie, M. y otros (2016). Experimental investigation of parabolic trough collector system under Tunisian climate: Design, manufacturing and performance assessment. *Applied Thermal Engineering*, p. 273–283.
- Coccia, G., Di Nicola, G. and Sotte, M. (2015). Design, manufacture, and test of a prototype for a parabolic trough collector for industrial process heat. *Renewable Energy*, p. 727–736.
- Fontalvo, A., Garcia, J., Sanjuan, M. and Vasquez Padilla, R., (2013). Automatic control strategies for hybrid solar-fossil fuel power plants. *Renewable Energy*, Volumen 62, p. 424–431.
- Forman, P. y otros. (2015). Light concrete shells for parabolic trough collectors - Conceptual design, prototype and proof of accuracy. *Solar Energy*, p. 364–377.
- Hussein, A. K. (2016). Applications of nanotechnology to improve the performance of solar collectors – Recent advances and overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p. 767–792.
- Menbari, A., Alemrajabi, . A. A. and Rezaei, A. (2016). Heat transfer analysis and the effect of CuO/Water nanofluid on direct absorption concentrating solar collector. *Applied Thermal Engineering*, p. 176–183.
- Muñoz-Anton, J., Biencinto, M., Zarza, . E. and Díez, L., (2014). Theoretical basis and experimental facility for parabolic trough collectors at high temperature using gas as heat transfer fluid. *Applied Energy*, p. 373–381.
- Mwesigye, A., Huan, Z. and Meyer, J. P. (2015). Thermodynamic optimisation of the performance of a parabolic trough receiver using synthetic oil–Al₂O₃ nanofluid. *Applied Energy*, p. 398–412.
- Padilla, R. V. y otros. (2011). Heat transfer analysis of parabolic trough solar receiver. *Applied Energy*, Volumen 88, p. 5097–5110.
- Padilla, R. V. y otros. (2014). Exergy analysis of parabolic trough solar receiver. *Applied Thermal Engineering*, Volumen 67, p. 579–586.
- Pratesi, S., Sani, E. and De Lucia, M. (2014). Optical and Structural Characterization of Nickel Coatings for Solar Collector Receivers. *International Journal of Photoenergy*, p. 7.
- Risi, A. d., Milanese, M. and Laforgia, D. (2013). Modelling and optimization of transparent parabolic trough collector based on gas-phase nanofluids. *Renewable Energy*, p. 134–139.

- Saidur, R., Leong, K. and Mohammad, H. (2011). A review on applications and challenges of nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 1646-1668.
- Sokhansefat, T., Kasaeian, A. and Kowsary, F. (2014). Heat transfer enhancement in parabolic trough collector tube using Al₂O₃/synthetic oil nanofluid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p. 636–644.
- Zhang, H. (2013). Concentrated solar power plants: Review and design methodology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 466-481.

Libros

- Castellanos Domínguez, O. F. (2011). Análisis de tendencias: de la información hacia la innovación. Bogotá.D.C.: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- Duffie, J. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Wisconsin: University of Wisconsin-Madison.
- Kalogirou, S. A. (2009). *Solar Energy Engineering*. s.l.: s.n.

Fuentes electrónicas

- Protermosolar (2015). Protermosolar. [En línea] Available at: <http://www.protermosolar.com/>

6. Sobre los autores

- **Wilmar Leonardo Rondón Romero**, Tecnólogo en electromecánica y estudiante de ingeniería electromecánica de las Unidades tecnológicas de Santander. Correo electrónico: rondon-wilmar@hotmail.com
- **Arly Darío Rincón Quintero**, Ingeniero Mecánico, Especialista en Administración de la informática educativa UDES, Magíster en Eficiencia Energética UPV/EHU, Docente de carrera en categoría Asistente en las Unidades Tecnológicas de Santander. Email: arincon@correo.uts.edu.co
- **Efrén Romero Riaño**, Ingeniero Industrial, Magister en Ingeniería Industrial, Estudiante de Doctorado en Ingeniería. Profesor Investigador Universidad Industrial de Santander. Correo electrónico: Eromero21@unab.edu.co
- **Nayibe Caballero Barrera**, Tecnóloga en operación y mantenimiento electromecánico y estudiante de Ingeniería electromecánica de las Unidades Tecnológicas de Santander. Correo electrónico: ncaballerob@hotmail.com

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2017 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)