

Desarrollo tecnológico de un concentrador solar lineal tipo Fresnel, como alternativa para ahorrar energía en las empresas de servicio

GUTIÉRREZ - Javier †*, PALACIOS – Rolando, Castellanos – Carmelo, MARTÍNEZ – Marcela.

Instituto Tecnológico de Acapulco.

Recibido: Agosto, 22, 2017; Aceptado febrero 9, 2018

Resumen

El objetivo de este proyecto es dimensionar y construir el prototipo (CSLF), hará desafiarse el ahorro de energía de gas L:P: o gas natural, para calentar agua y generar vapor, que está integrado por un concentrador horizontal de 10,5 m² con 6 espejos de 0,48 x 2,50 m y un segundo Concentrador Parabólico Compuesto CPC invertido, situado a 4 m de altura, con un foco absorbedor de tres tuberías de 1,27 cm con aletas de cobre cromadas de color negro mate. El proceso de calentamiento de agua, consiste en concentrar los rayos solares, para ser reflejados por la curvatura del primer concentrador. Esta reflexión se muestra en cada espejo, como un absorbedor, debido a las diferentes reflexiones de la trayectoria del sol, porque disminuyen a mayor distancia. Los resultados son experimentales de 890 W/m² de irradiancia, pero la norma de ASHRAE es de 830 W/m². Donde este valor es aceptable y los incrementos de temperaturas de entrada y salida de 32 y 85 °C, respectivamente. A cambio de este esfuerzo se obtienen beneficios energéticos, económicos y ambientales, en términos de políticas de difusión, formación de recursos humanos y sobre todo se propicia el auto abasto energético.

Palabras clave: Energía solar, Eficiencia energética, Concentrador solar Fresnel.

Abstract

The objective of this project is to dimension and build the prototype (CSLF), to challenge the energy saving of gas L: P: or natural gas, to heat water and generate steam, which is integrated by a horizontal concentrator of 10.5 m² with 6 mirrors of 0.48 x 2.50 m and a second inverted CPC Compound Parabolic Concentrator, located at 4 m in height, with an absorber focus of three 1.27 cm pipes with matt black chromed copper fins. The process of heating water, consists of concentrating the solar rays, to be reflected by the curvature of the first concentrator. This reflection is shown in each mirror, as an absorber, due to the different reflections of the sun's trajectory, because they diminish at a greater distance. The results are experimental at 890 W / m² irradiance, but the ASHRAE standard is 830 W / m². Where this value is acceptable and the inlet and outlet temperature increases of 32 and 85 ° C, respectively. In exchange for this effort, energy, economic and environmental benefits are obtained, in terms of dissemination policies, training of human resources and, above all, energy self-sufficiency is fostered.

Keywords: Solar Energy, Energy Efficiency, Fresnel solar concentrator.

Citación: GUTIÉRREZ - Javier †*, PALACIOS – Rolando, Castellanos – Carmelo, MARTÍNEZ – Marcela. Desarrollo tecnológico de un concentrador solar lineal tipo Fresnel, como alternativa para ahorrar energía en las empresas de servicio. Foro de Estudios sobre Guerrero. 2019, mayo 2018 - abril 2019 Vol. 6 No. 1 775 - 784

*Correspondencia al Autor: javiguta12@hotmail.com

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los sistemas concentradores de calentamiento de agua de altas temperaturas con energía solar, se han utilizado desde hace varios años de una manera artesanal, pero ahora con el desarrollo de la tecnología de los concentradores y el gran auge que está teniendo la implementación de las energías renovables, se implementaron estos sistemas de calentamiento de agua sofisticados y eficientes, para generar vapor a altas temperaturas; Esto hace interesante, conocer y evaluar el comportamiento de estos sistemas.

Pocos estudios se han realizado sobre la utilización de la energía solar en el proceso de calentamiento de agua en nuestro Estado de Guerrero, por ello, el presente trabajo, se ha realizado con el objetivo de caracterizar un prototipo de Concentración de Energía Solar Lineal tipo Fresnel (CSLF), con agua caliente, ubicado en el Laboratorio de Ingeniería Electromecánica del Departamento Académico de Metalmeccánica de este Instituto Tecnológico de Acapulco.

Este sistema prototipo, se construye con aproximaciones, sin embargo no se tiene el respaldo de mediciones que comprueben el funcionamiento exacto de las plantas generadoras de vapor.

La concentración de energía solar, un proceso simple en el que únicamente se refleja la radiación solar en los espejos, que se encuentran instalados en el concentrador horizontal. Esta energía solar reflejada, llega al concentrador parabólico compuesto (CPC), para calentar el agua hasta generar el vapor.

Existen varias maneras de calentar el agua, para lograr obtener vapor saturado, comúnmente se utilizan los combustibles fósiles o energía eléctrica. Estas dos formas citadas, dependen de fuentes de energías agotables y contaminantes. La energía solar, se plantea como energía limpia e inagotable. Sin embargo, el uso de esta energía existen métodos rudimentarios de calentamiento, como la leña, el gabazo de coco y caña, que no garantiza la calidad de la combustión.

El calentamiento de agua con energía solar existe en varios conjuntos de elementos, que aprovechan al máximo la energía solar térmica, como los colectores solares:

1. Colectores solares planos
2. Colectores de tubos evacuados de vacío.
3. Concentradores parabólico lineales
4. Heliostatos

Cada elemento tiene una función específica dentro del proceso de calentamiento y generación de vapor.

Objetivos

Diseñar y construir el Prototipo del Concentrador CSLF, para conservar un calentamiento de agua a una temperatura aproximada entre 80 a 120 °C.

Realizar el análisis energético del CSLF, con el fin de conocer el comportamiento del sistema a diferentes flujos máxicos de agua.

Diseñar el Concentrador horizontal y el Concentrador Parabólico Compuesto CPC, la estructura que se necesita, los componentes que lo integran y los equipos de medición, para construir el prototipo adecuado a las diferentes aplicaciones.

Desarrollar los cálculos energéticos en la trayectoria del agua en el Prototipo CSLF, para ser caracterizado.

Analizar y seleccionar el mejor prototipo del CSLF, con sus respectivos componentes de funcionamiento y mediciones.

Construir los dos prototipos de concentradores del sistema, como el concentrador horizontal con las bases de los espejos y el concentrador CPC, las tuberías que unen los dos prototipos con sus respectivas aplicaciones. Posteriormente, se realizarán las pruebas experimentales respectivas, para una correcta selección, se desarrolla el modelo matemático, para hacer la simulación con un programa de cómputo versátil y compatible con otros programas de Windows.

Metodología a desarrollar

Este proyecto es de investigación experimental, se considera aceptable para utilizarse tanto a propósitos de solución de problemas concretos de la actividad industrial de la producción de agua caliente y vapor saturado, para aplicarse en diferentes productos alimenticios, procesos industriales, eliminando el consumo del gas L.P en la generación vapor. Así también, para realizar el secado de ropa en las tintorerías, con menor contaminación y mayor calidad.

Como resultado de la investigación documental, se realizaron modelos matemáticos, para caracterizar el análisis térmico de los Concentradores Solares tipo Fresnel (CSLF), del comportamiento del Concentrador con espejos horizontal Concentrador Lineal Compuesto CPC, que está basado en una solución analítica con ecuaciones de balance de energía y transferencia de calor, para los diferentes componentes del sistema.

También se obtuvo información para el diseño y montaje del equipo experimental del CSLF relacionada con los procesos de transferencia de calor de la energía solar. Por otra parte, se describe el prototipo del CSLF, que se diseña tomando en consideración las variables involucradas, hasta llegar a los materiales, así como el análisis económico de la construcción.

Se plantea el estudio geométrico para la construcción del concentrador con un área de 10.5 m², integrado por 6 espejos de 0.48m x 2.50m y un segundo concentrador parabólico compuesto CPC, que se localiza a 4 m de altura, integrado por un absorbedor que se considera el foco de las dos parábolas y su vértice.

El grado de concentración de los rayos solares reflejados en la superficie depende de la curvatura producida. A fin de determinar la expresión matemática de la forma de los espejos, se utiliza el análisis de deformaciones al utilizar la resistencia de materiales.

Considerando la distancia y la reflexión que existe entre los dos concentradores, la reflexión de cada espejo se considera un absorbedor, porque cada espejo tiene diferente reflexión de la trayectoria del sol, que disminuye si la distancia es mayor. Para determinar la curvatura adecuada de cada espejo se estudia la traza de rayos, aplicando el programa Cabri Geometre II Plus (Cabrilog, 2003), que varía la longitud de la flecha y el grado máximo de concentración.

1. Desarrollo del Concentrador Solar Lineal Frsnel

Las formas de aprovechamiento térmico de la energía solar, es la generación directa de vapor de agua a medianas y altas temperaturas, por diferentes tecnologías de concentración de la radiación. Actualmente existe un fuerte impulso para el crecimiento del desarrollo de innovar concentradores solares térmicos, para producir vapor de agua, debido al incremento del mercado, la aparición de nuevas tecnologías, materiales y disponer de subsidios, para no utilizar combustibles hidrocarburos, que generan diferentes gases adheridos al calentamiento global. Los sistemas de concentración utilizados en la generación de potencia, son los de discos parabólicos, de receptor central y el concentrador cilindro parabólico. El concepto nuevo es el Concentrador Solar Lineal tipo Fresnel (CSLF), que se caracteriza por la sencillez constructiva en relación a las otras tecnologías.

Este CSLF, se clasifica en dos concentradores: el primer concentrador es cilindro parabólico lineal, pero de muy baja curvatura. Se instalan a nivel del piso y siguen la trayectoria aparente del sol girando alrededor de ejes axiales horizontales. Los espejos concentran la radiación solar directa a un segundo concentrador tipo "Concentrador Parabólico Compuesto CPC" inverso, que se encuentra fijo a 4 metros de altura y sostenido por una estructura, para recibir los rayos solares del primer concentrador horizontal, como se muestra en la figura 1.



Figura 1: Concentrador Solar Lineal tipo Fresnel (CSLF).

Se plantea el estudio geométrico, para la construcción del prototipo concentrador CSLF con un área de 10,5 m², integrado por 6 espejos de 0,48 m x 2,50 m y un segundo concentrador parabólico compuesto CPC, que se localiza a 4 m de altura, integrado por un absorbedor que se considera el foco de las dos parábolas y su vértice.

El grado de concentración de los rayos solares reflejados en la superficie, depende de la curvatura producida. A fin de determinar la expresión matemática de la forma de los espejos, se utiliza el análisis de deformaciones al utilizar la resistencia de materiales. Como la distancia y la reflexión, que existe entre los dos concentradores, la reflexión de cada espejo se considera un absorbedor, porque cada espejo tiene diferente reflexión de la trayectoria del sol, que disminuyen si la distancia es mayor. Para determinar la curvatura adecuada de cada espejo se estudia la traza de rayos, aplicando el programa Cabri Geometre II Plus (Cabrilog, 2003), que varía la longitud de la flecha y el máximo grado de concentración, como se muestra en la figura 2.

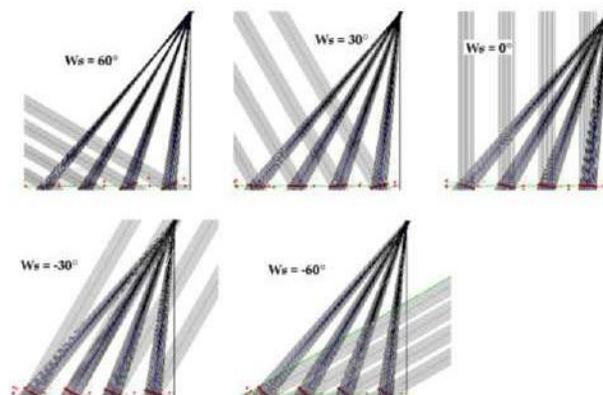


Figura 2.- Rayos de incidencia, para diferentes ángulos horarios ω_s .

2. Concentrador parabólico lineal horizontal con espejos.

En la Inclinación de los espejos, giran alrededor de un eje horizontal formando ángulos, que permiten la concentración de la radiación en el absorbedor del concentrador horizontal. Los espejos se vinculan mediante un seguimiento de sol, la variación del ángulo no es el mismo para todos los espejos. La determinación del enfoque inicial de los ángulos de cada espejo se realiza mediante el programa Cabri, que simula los rayos de concentración de radiación, para diferentes ángulos horarios (ω_s) de la irradiación solar, que corresponden a 5,5 horas promedio en este Puerto de Acapulco, donde se consideran 2,5 horas antes y 2,5 horas después del mediodía solar.

Este concentrador se diseña, al construir una parábola donde su foco se encuentra alejado del vértice, para obtener una curvatura casi horizontal, para obtener la irradiancia en el centro de los espejos planos, distribuida en su área captadora. Para ello se fabrican marcos de ángulos de una pulgada estructural, donde se apoyan los bordes de espejos planos de vidrio de 2 mm de espesor. Para la construcción de cada concentrador en la parte inferior del espejo, sobre su eje longitudinal, se anexa el mecanismo que se utiliza en las ventanas giratorias y presionadas las barras roscadas, como se muestra en la figura 3.

GUTIÉRREZ - Javier †*, PALACIOS - Rolando, Castellanos - Carmelo, MARTÍNEZ - Marcela. Desarrollo tecnológico de un concentrador solar lineal tipo Fresnel, como alternativa para ahorrar energía en las empresas de servicio. Foro de Estudios sobre Guerrero. 2019, mayo 2018 - abril 2019 Vol. 6 No. 1 775 - 784



Figura 3.- Concentrador parabólico lineal con sus espejos reflejantes.

Los marcos de los espejos se apoyan en el eje longitudinal, que permiten el giro con mínima fricción, que agrupa un espejo para un movimiento individual.

La concentración para los diferentes ángulos, se realiza en el absorbedor horizontal para captar la energía solar en el área iluminada de cada espejo. La distancia focal, es sensible a las variaciones de ángulos.

Por otro lado, el sistema tiene otro concentrador secundario, denominado concentrador parabólico compuesto CPC, con una abertura de 0,25 metros, con un error del ángulo de enfoque de $\pm 0,5$.

3. Concentrador Parabólico Compuesto (CPC)

Este concentrador secundario, capta la mayor radiación en el foco denominado absorbedor, se dimensionó con un programa en Excel, que depende del diámetro del absorbedor, donde se obtienen dos parábolas del CPC, como se muestra en la figura 4.

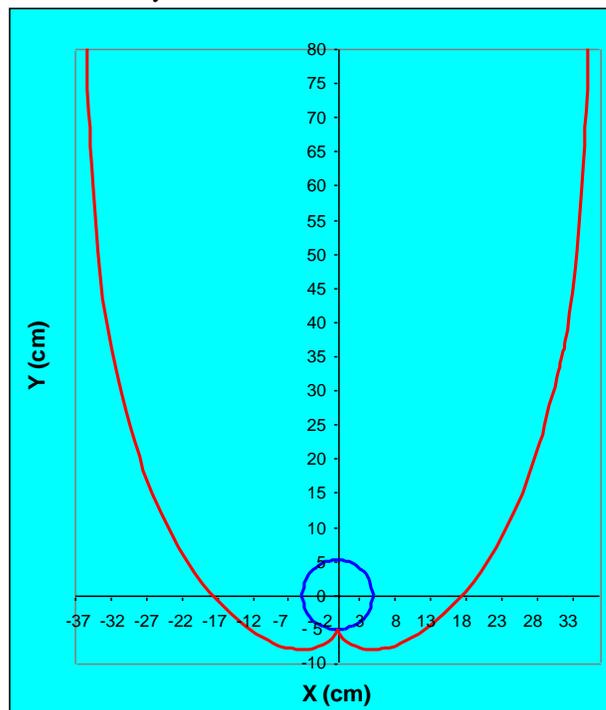


Figura 4.- Esquema del diseño del CPC en Excel y foco del concentrador secundario.

El absorbedor está constituido por una carcasa de solera, madera y lámina de acero inoxidable colocados dentro de una cavidad aislada térmicamente. La cavidad consiste en una caja revestida con chapa galvanizada abierta en la parte inferior.

En la figura 5, se muestra la forma de la copa y las parábolas realizadas sobre la hoja de triplay, se recortaron para obtener los moldes.



Figura 5.- Recorte de los moldes.

Estas soleras de 1" x 1/8" se le realiza un rolado, para reforzar la superficie del molde de madera que tiene la forma de la copa, que posteriormente se corta, para colocarla en al sistema del concentrador CPC.

En seguida se procede a armar la estructura del concentrador, aplicando el ángulo y la misma solera de 1" x 1/8", para quedar completamente estática sin ningún movimiento, como se muestra la figura 6.



Figura 6.- Construcción de concentrador CPC.

Después de completar la estructura, se corta la lámina de aluminio que se utiliza como superficie reflejante de las parábolas. Estas láminas son recortadas para obtener las formas de las parábolas de acuerdo a las medidas del diseño, Posteriormente se le coloca la lámina de acero inoxidable, para proteger al sistema del movimiento del aire, que provoca pérdidas por convección, de los rayos solares.

Así también, se observan los soportes para colocar los primeros tubos de cobre y la instalación con respectivos instrumentos de medición. Dentro de la curvatura, transversalmente tiene los tubos de una pulgada pintada negro mate, se fijaron costillas de madera cada 50 cm con la forma del CPC,

4. Instalación del segundo concentrador CPC

Para instalar el segundo concentrador CPC, se construye la estructura, que une los dos concentradores del prototipo del CSLF. Esta estructura consiste en diseñar el lugar donde se va a colocar e introducir este concentrador CPC, que va a recibir la reflexión de los rayos solares del primer concentrador horizontal, que se localiza en el piso. Este concentrador, se debe estar ubicado en la parte superior de la estructura, completamente fijo sin movimiento, instalado en dirección al eje Este-Oeste e inclinado 16° hacia el Sur.

Se realiza esta orientación, para obtener los rayos solares perpendiculares al área de los espejos en la trayectoria del sol en el transcurso del día, sin utilizar seguimiento solar y funciona dentro de un rango de latitud de entre 14 y 34 ° de latitud norte. Este concentrador queda a una altura de 0,010 m sobre la superficie del piso de la explanada solar, para que exista una circulación de aire en la parte interior y alrededor del concentrador.

Sobre esta estructura se apoya el concentrador secundario, construido con chapa de aluminio refractivo, como se muestra en la figura 7. El espacio entre el CPC y el concentrador horizontal de los espejos es de 4 metros de altura, para obtener la radiación de alta temperatura. En los extremos del absorbedor se instaló un sistema, para que el fluido se distribuya equilibradamente por los tres tubos con aletas de cobre de 1/2 pulgada, en seguida se le coloca una cubierta transparente en el área de captación de la energía solar reflejante.



Figura 7.- Prototipo del concentrador CPC, con absorbedor colocado en el vértice de las parábolas.

Posteriormente, se colocan los instrumentos de medición para la temperatura y la presión. Con estos instrumentos de medición, se procede a terminar la instalación hidráulica con tubería de cobre, para completar el sistema de distribución del agua y así realizar las pruebas experimentales, como se muestra en la figura 8.



Figura 8.- Instalación de la tubería con sus instrumentos de medición de temperatura y presión.

Después de terminar la instalación hidráulica, se realiza la prueba hidrostática, para verificar las fallas de fugas, que se puedan presentar. Claro que, en este caso, se obtuvo una presión de 2 bar, porque la bomba hidráulica fue su máximo., la medición se muestra en la figura 8, anterior. En consecuencia, después, de realizar la prueba hidrostática se procede a realizar la recirculación del sistema hidráulico, para observar que no existan fallas en la soldadura y sus respectivas fugas.

En seguida se describe el sistema de captación de la energía solar en el Concentrador Parabólico Compuesto CPC, para que se transforme en energía térmica hacia el fluido de trabajo agua y se localiza a una altura de 4 metros, como se muestra en la figura 9.

GUTIÉRREZ - Javier †*, PALACIOS - Rolando, Castellanos - Carmelo, MARTÍNEZ - Marcela. Desarrollo tecnológico de un concentrador solar lineal tipo Fresnel, como alternativa para ahorrar energía en las empresas de servicio. Foro de Estudios sobre Guerrero. 2019, mayo 2018 - abril 2019 Vol. 6 No. 1 775 - 784



Figura 9.- Concentrador CPC con lámina de aluminio terminado en espejo, para distribuir la radiación solar reflejada por el primer concentrador horizontal de espejos.

Una vez construido e instalado el Concentrador CPC, se debe caracterizar y determinar su rendimiento y su capacidad energética. Así también, establecer la disponibilidad termodinámica y comportamiento térmico factible y proponer la aplicación en las empresas de servicio de este Puerto de Acapulco.

La norma ANSI/ASHRAE, 93-1986 se utiliza como guía, para realizar la evaluación del rendimiento del Concentrador CPC. Los requerimientos que determinan el estándar ASHRAE, se resume en los siguientes puntos:

1. Se prefiere la prueba en escala completa de los concentradores.
2. Para pruebas en exterior, para determinar la eficiencia térmica, el colector o concentrador debe estar instalado en un lugar, donde no exista suficiente energía reflejada, desde los edificios vecinos o algunas otras superficies.

Se debe tener cuidado en la ubicación de las pruebas, de tal forma que evite la alta reflectancia del suelo.

3. El flujo másico debe ser el mismo, para determinar la curva de eficiencia térmica, la constante de tiempo y el modificador del ángulo de incidencia, para un colector o concentrador.
4. El rendimiento térmico de un concentrador solar, en parte se determina, al obtener los valores de la eficiencia instantánea, para una combinación de valores de radiación incidente, temperatura ambiente y temperatura de entrada y salida del fluido de trabajo. Todas las características, que requieran ser medidas, tienen que estar regidas por el estado estacionario o casi-estacionario.

El componente importante del Concentrador CPC, es el fluido de trabajo, que se utiliza s agua. Se analiza, que la energía solar que incide sobre las áreas de los espejos de material reflejante, donde la energía solar que se refleja, debe llegar al foco de la parábola, denominada área absorbadora, que está integrada por las aletas de absorción cromada de color negro, adherida a los tubos de cobre de $\frac{1}{2}$ pulgada. En esta área receptora de diferentes características, se transforma la energía radiante en calor, que se transfiere por conducción al fluido de trabajo agua y finalmente esta energía térmica del concentrador, se almacena en un depósito térmico, para ser utilizado en diferentes aplicaciones.

5. Tanque de almacenamiento

Existen otros sistemas, que utilizan concentradores CPC, aunque menos populares, como son los sistemas forzados, que necesitan un tanque a la presión de la tubería, ubicado a nivel del suelo y el concentrador CPC a una altura de 4 metros de altura. En estos sistemas, la bomba de agua se activa en el transcurso del día, cuando se irradiancia solar, porque de lo contrario, sólo circula agua fría en el concentrador.

Los sistemas forzados tienen mayor costo, debido que necesitan energía eléctrica, para accionar la bomba hidráulica, que los sistemas integrados por gravedad, denominado termosifón.

Por otro lado, para los sistemas de almacenamiento de agua, se debe realizar un cálculo para determinar el dimensionamiento del depósito térmico e instalarlo en un lugar de determinada altura. El Concentrador CPC, debe estar expuesto a recibir la energía solar reflejada por el Concentrador lineal horizontal en el piso. La posición de los concentradores debe ser la adecuada, para permitir se produzca termosifón en forma natural, como se muestra en las figuras 3 y 9.

Las características del tanque de almacenamiento:

- “Termotanque”, con capacidad de 200 lt de agua.
- Aislamiento de espuma de poliuretano de 1” de espesor.
- La Capa de espuma de Poliuretano es ecológica, no daña la capa de ozono y posee una duración indefinida.
- Acumula el agua caliente obtenida del colector solar plano y la mantiene así al siguiente día.

En la segunda etapa, corresponde hacer las pruebas experimentales, para determinar la producción de vapor. Es decir, aplicar la Norma NMX-ES-001-NORMEX-2005. Esta norma está vigente, que comprende el Rendimiento Térmico y Funcionalidad de colectores planos y concentradores solares, para calentamiento de agua y generar vapor saturado, respectivamente. Para realizar estas pruebas experimentales se deben utilizar un piranómetro, para medir la irradiancia solar directa y difusa, termopares tipo “J” y traductores de presión, para medir las temperaturas y presiones a la entrada y salida del fluido de trabajo en el sistema, denominado “Concentrador Solar Lineal tipo Fresnel (CSLF)”absorbedor.

Así también, se debe instalar a la salida del absorbedor un recipiente, que actúa como separador de agua, cuando obtengamos el vapor saturado de agua, un condensador y una válvula, para controlar la presión del sistema.

Por otro lado, se debe considera la presión y temperatura del medio ambiente. Estas mediciones se consideran la base de datos, para realizar el comportamiento térmico del concentrador lineal Fresnel y el rendimiento del sistema.

6. Fluido de trabajo (agua).

Este fluido ofrece cambio de fase, por lo general es corrosivo y presenta gran disponibilidad, sin embargo, tiene mejor capacidad térmica y tiende a fugarse dentro de los sistemas termo-solares. Es utilizado para diferentes procesos, como en las lavanderías, restaurantes, calentamiento de agua para uso doméstico, para procesos de invernadero, finalmente tiene una efectiva conservación térmica y su disponibilidad para la extracción de calor.

Se utiliza como fluido de trabajo en una instalación de concentración solar, los valores de la temperatura de trabajo que se alcanzan, tienen la probabilidad de ser mayor a la de congelación y/o evaporación.

La concentración de sales minerales es elevada, porque se desprenden cuando la temperatura se incrementa mayor de 100 °C y se depositan en el interior del concentrador CPC. Estos depósitos calcáreos, reducen las prestaciones energéticas de la instalación, especialmente de estos Concentradores Solar Lineal Tipo Fresnel (CSLF), se incrementan las pérdidas de carga.

- Fluido: Agua.
- Temperatura (t) = 25 °C
- Calor específico

Agradecimiento

Este proyecto con clave 5689.16-P, es financiado por la Secretaría Académica de Investigación e Innovación de la Secretaría de Planeación, Evaluación y Desarrollo Institucional del TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO.

Conclusiones

El desarrollo de este Concentrador Solar Lineal tipo Fresnel (CSLF), proporciona un método, para mejorar el calentamiento de agua hasta cambiar de fase a vapor saturado y solucionar los problemas de reducción de costos de producción, el ahorro de energía en el consumo de combustible tradicionales, reducir las emisiones de gases que contaminan el medio ambiente y el ahorro de tiempo en producción, en comparación a las calderas que generan vapor.

Este sistema de Concentradores tipo Fresnel, calientan en forma directa el agua, con energía solar que es reflejada con los espejos del primer concentrador horizontal, hacia el segundo Concentrador Parabólico Compuesto CPC, que recibe los rayos solares en el foco concentrado, que corresponde a la tubería con aletas, donde circula el agua, que cambia de fase de líquido a vapor saturado, con el proceso de transferencia de calor convectiva, donde el agua absorbe el calor de la energía solar reflejada.

Para validar los resultados del diseño y construcción de los concentradores horizontal y CPC, se aplica tecnología avanzada, para que posteriormente se aplique el software con programas de cómputo en un lenguaje versátil, que utilice las mismas condiciones climáticas iniciales y de diseño. Este CSLF, se ha construido de acuerdo al análisis del comportamiento del sistema de calentamiento del agua, para mostrar las curvas características de rendimiento, partiendo del análisis de todas las soluciones.

Referencias

Almanza R, Muñoz R.- “Ingeniería de la energía solar, ed. El Colegio Nacional”; México, 1984.

ANSI/ASHRAE 93-1986 (1986). Methods of testing to determine the thermal performance of solar collectors, ASHRAE Standard.

Barbosa J., “Método de diseño de sistemas solares para calentamiento de agua”. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias. SEPI-ESIME-IPN.México, 1999.

Jimenez A. y Salgado I. (2006) “Desarrollo de Concentradores Solares CPC y Fotocatalizadores de Tio, para uso en Procesos de descontaminación” ANES-2006. UNAM. CIE.

Marcelo Gea, Luis Saravia1, Carlos Fernández, Ricardo Caso y Ricardo Echazú . (2007). Concentrador lineal Fresnel para la generación directa de vapor de agua. Avanceen Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol 11, 3.83-3.89.