

Ensayos

Propuesta de un prototipo de concentrador solar para la destilación de mezcal en la región mixteca oaxaqueña

Resumen

Los concentradores cilindro-parabólicos (CCP) son captadores solares que transfieren la energía térmica de la radiación solar concentrada en una línea focal a un fluido de trabajo. Al calentar un fluido se consigue elevar la temperatura de este dentro de un rango de 35°-300°, haciendo a los CCP ideales para acoplarse a una diversidad de procesos industriales.

Los concentradores solares están compuestos de una superficie reflejante colectora, un tubo receptor, el fluido, y de un sistema electro-mecánico para el seguimiento solar. Generalmente, para la superficie del concentrador se usa una placa metálica pulida o una placa de aluminio con una película reflejante. En este trabajo se presenta el proceso de diseño y manufactura de un prototipo de concentrador solar del tipo parabólico. Para lograr un desempeño eficiente se utilizaron técnicas de manufactura asistida por computadora CAM en la elaboración de la estructura de soporte de la superficie y así garantizar una geometría parabólica.

Se utilizó, temporalmente para fines de demostración, una placa de acrílico acabado espejo como superficie reflexiva. Los resultados obtenidos muestran que es factible de utilizar concentradores solares en procesos industriales como en la destilación del mezcal.

Abstract

Cylindrical-parabolic concentrators (CPC) are solar collectors that transfer thermal energy from concentrated solar radiation in the line-focus collector to a working fluid. Upon heating the fluid, the temperature is elevated within a range of 35°-300°, making CPCs an ideal fit for a range of industrial processes.

Solar concentrators are composed of a reflective collecting surface, a receiver, the fluid, and an electromagnetic system for solar tracking. Generally, the concentrator's surface is made of a polished metal plate or an aluminum plate with a reflecting film. This paper presents the design and construction process for a parabolic prototype solar concentrator that uses an acrylic plate as the reflecting surface. To achieve efficient performance, manufacturing techniques aided by CAM software were used in creating the surface support structure, thus guaranteeing a parabolic shape.

For purposes of demonstration, an acrylic-finished mirror plate was used as the reflecting surface. The experimental results show that its use is viable in industrial processes such as mezcal distillation.

Résumé

Les concentrateurs cylindriques paraboliques (CCP) sont des capteurs solaires qui transfèrent l'énergie thermique de la radiation solaire concentrée le long de la ligne focale jusqu'à un fluide de travail. En chauffant un fluide, on obtient une élévation de température de 35 à 300°C, ce qui rend les CCP idéaux pour s'adapter à une diversité de processus industriels.

Les concentrateurs solaires se composent d'une superficie réfléchissante collectrice, d'un tube récepteur, d'un fluide et d'un système électromécanique pour le suivi solaire. Généralement, pour la superficie du concentrateur, on utilise une plaque mécanique polie ou une plaque en aluminium avec une couche réfléchissante.

Dans ce travail, on présente le processus de conception et de fabrication d'un prototype de concentrateur solaire de type parabolique. Pour un fonctionnement plus efficace, on a utilisé des techniques de fabrication assistée par ordinateur CAM dans l'élaboration de la structure de support de la superficie, garantissant ainsi une géométrie parabolique.

On a utilisé temporairement, à des fins de démonstration, une plaque en acrylique finition miroir comme superficie réfléchissante. Les résultats obtenus montrent qu'il est possible d'utiliser des concentrateurs solaires dans les procédés industriels comme celui de la distillation du mezcal.

V. M. Cruz Martínez¹, A. Santiago Alvarado¹, J. González García¹, B. I. G. Licona Morán¹, G. Castro González¹, V. I. Moreno Oliva² y M. E. Ramírez Guzmán¹

¹Universidad Tecnológica de la Mixteca

²Universidad del Istmo

1. Introducción

La región de la mixteca alta oaxaqueña (sierra sur), es una zona árida donde el clima es semi-cálido húmedo con lluvias en verano. La región cuenta con más de 150 días soleados anuales en promedio con niveles aceptables de irradiación solar [1]. La actividad económica que se realiza en la región es la producción de mezcal, pastoreado de ganado bovino principalmente, además del comercio, sin una industria importante en la región. Por lo que resulta vital explorar y caracterizar de manera puntual el recurso solar de la región para su posible aprovechamiento, como ha sucedido en otras regiones como la del istmo, que cuentan con un recurso eólico importante y que actualmente están siendo explotadas para la generación de energía eléctrica [2], ocasionando con ello, una derrama económica a los pobladores del lugar.

Por lo que dadas las condiciones ambientales actuales y la marginación en la región mixteca, es necesario empezar a explorar dicho recurso solar con el que se cuenta, incursionando en aplicaciones específicas las cuales permitan aprovechar este recurso de manera que pueda significar un desarrollo de la región mediante la generación de tecnología propia (mexicana).

Es conocido que la potencia de la radiación solar en una región varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas y la latitud. Cifras oficiales muestran que en buenas condiciones de irradiación se cuenta con aproximadamente 1000 watts/m² en la superficie terrestre y fuera de ésta con un valor promedio de 1354 watts/m² [3]. La Tierra recibe 174 petavatios de radiación solar entrante (insolación), de la cual el 30% es reflejado de vuelta al espacio mientras que el resto es absorbido por las nubes, los océanos y las masas terrestres [4]. Así la cantidad de energía solar recibida anualmente equivale aproximadamente al doble de toda la energía producida jamás por otras fuentes de energía no renovable como son el petróleo, el carbón, el uranio y el gas.

México se localiza en una zona donde existe una alta irradiación solar, geográficamente se localiza entre los 14° y 33° de latitud septentrional [1]; ideal para el aprovechamiento de la energía solar, ver figura 1 (radiación solar promedio entre 1991 y 1993); la irradiación global media diaria en el territorio nacional es de alrededor de 5.5 kWh/m²/d ver figura 2. La

irradiación promedio diaria cambia a lo largo de la república y depende también del mes en cuestión, descendiendo ligeramente por debajo de 3 kWh/m² y pudiendo alcanzar valores superiores a 6.5 kWh/m² (ver mapa 3 de la figura 3.) [5].

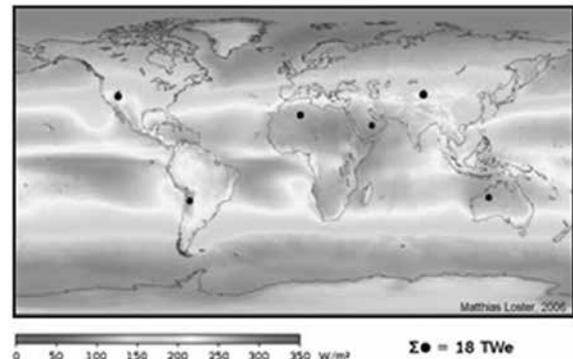


FIG. 1. ZONA DE ALTA RADIACIÓN SOLAR EN LA TIERRA.



FIG. 2. IRRADIACIÓN SOLAR GLOBAL MEDIA EN MÉXICO.

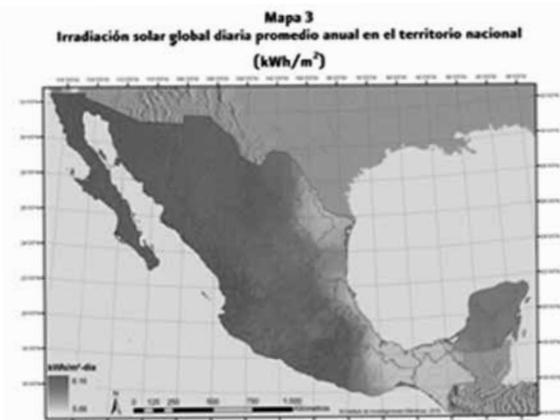


FIG. 3. IRRADIACIÓN SOLAR GLOBAL DIARIA PROMEDIO ANUAL.

En la figura 4 se muestra un mapa de irradiación solar del país, donde la región mixteca Huajuapeña cuenta con una irradiación promedio anual de 6.41 kWh/m²; ver figura 5 [6].

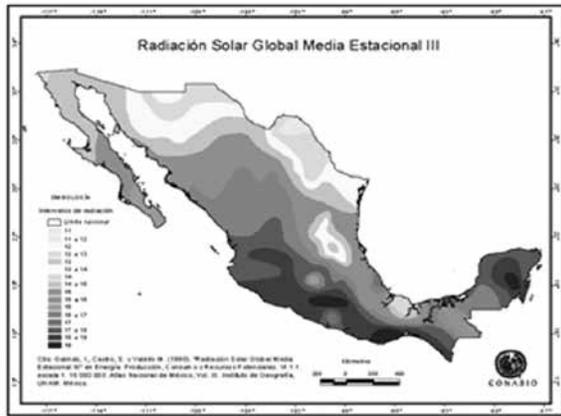


FIG. 4. IRRADIACIÓN SOLAR MEDIA EN OTOÑO EN MÉXICO.



FIG.5. IRRADIACIÓN SOLAR DEL ESTADO DE OAXACA.

Por lo que es importante realizar caracterizaciones de la irradiación solar para aplicaciones específicas, ya sean del tipo solar fotovoltaica, solar térmica o solar termoelectricas con concentradores solares. En este trabajo el interés es abordar una aplicación solar térmica.

Así para cualquier tecnología que se utilice para el aprovechamiento de la energía solar, se debe conocer su umbral de funcionamiento (saber cuál es el mínimo de energía que necesita para comenzar a realizar el proceso para el que fue creado), y conocer la energía mínima que necesita para alcanzar su máxima eficiencia. Requiriéndose una evaluación del recurso solar en la zona donde se piensa realizar la aplicación. Si se conocen ambos valores, y se conoce la distribución energética y temporal de la radiación solar del sitio, se sabrá con mucha precisión, cuál será su desempeño.

Como se desea aprovechar el recurso solar en actividades productivas de la región, como la destilación de mezcal, resulta importante desarrollar un prototipo

de CCP que sea factible de manufacturar con los recursos disponibles en la UTM.

De los concentradores solares que existen, el tipo canal parabólico es de los más sencillos de fabricar, ya que requiere de un sistema mecánico eficiente para soportar la superficie concentradora [7-10], a diferencia del disco parabólico [11] o la torre concentradora [12] que son sistemas con un número mayor de elementos que el del tipo canal parabólico. Sabemos de la existencia y funcionamiento de estos sistemas pero no están al alcance de la población. Por ello, en este trabajo se propone el diseño y construcción de un prototipo de concentrador del tipo canal parabólico, procurando una adecuada relación peso rigidez en su estructura mecánica para lograr una alta eficiencia en su desempeño, haciendo factible su manufactura al utilizar los recursos tecnológicos disponibles en la región. En las siguientes secciones se describe el diseño, manufactura y perspectivas de aplicación en base a resultados experimentales obtenidos.

2. Funcionamiento y diseño del concentrador solar

Los concentradores cilindros parabólicos (CCP) son captadores solares que transfieren la energía térmica de la radiación solar concentrada en el foco lineal a un fluido de trabajo [8]. Al calentar el fluido se consigue elevar la temperatura dentro de un rango de 35°-300°, haciendo a los CCP ideales para acoplarse a una diversidad de procesos industriales [13]. Los concentradores solares están compuestos de una superficie reflejante colectora, un receptor, el fluido, y de un sistema electro-mecánico para el seguimiento solar ver figura 6.



FIGURA 6. COLECTOR SOLAR DEL TIPO CANAL PARABÓLICO.

Las altas temperaturas generadas por los CCP se logran debido a la concentración solar por la superficie reflectora parabólica. En un concentrador de este tipo, se utiliza la radiación directa del Sol (con una adecuada orientación, los rayos solares se reflejan en la superficie parabólica e inciden en una región a lo largo de una línea que corresponde al foco de la sección transversal del canal parabólico). En la línea focal está ubicado un receptor normalmente cilíndrico, donde la radiación es absorbida y transformada en energía térmica. Esta energía es removida por un fluido con propiedades térmicas adecuadas, ya sea agua o algún aceite térmico, y posteriormente es utilizada como calor. El aprovechamiento que tendrá el colector será de al menos la mitad del año que es el caudal solar en la zona y con una irradiación promedio de 6.41 kWh/m^2 .

3. Parámetros de diseño de CCP

Para diseñar un prototipo de CCP se realizó un proceso mediante el cual se definen las especificaciones para crear los conceptos de diseño, que a través de la toma de decisiones se logra el diseño detallado. Este proceso puede iterar varias veces. Conociendo las principales funciones del CCP, concentrar la radiación solar en el foco lineal y transferir la energía térmica a un fluido de trabajo, se definieron los siguientes parámetros de diseño: una buena relación peso rigidez, fácilmente manufacturable y que tenga una adecuada disponibilidad termodinámica para destilar mezcal.

Para crear los conceptos de diseño se acotaron las dimensiones del receptor y de la superficie reflectante teniendo como referencia las disponibles comercialmente. La definición de éstas requirió de un proceso iterativo de diseño, a través de cual se tenían como variables la distancia focal y el ángulo de borde. Con una distancia focal de 500 mm y un ángulo de borde de 60° se logró que las dimensiones obtenidas coincidieran con las comerciales.

Para determinar el tamaño del receptor es necesario considerar el ángulo que sustenta el disco solar visto desde la Tierra y como se lleva a cabo la reflexión de la luz por la superficie reflectora; así se establece la manera en la que incide la radiación solar en la región focal. Esta técnica es conocida como trazado de rayos. El trazado de rayos (ver figura 7) se realiza vectorialmente, para una superficie reflectante,

se determinan la dirección y sentido; así como el punto de intersección de un rayo incidente con la superficie reflejante. La normal a la superficie se determina con base en la forma de superficie reflejante y en la ley de reflexión. Dado el tamaño finito del Sol y el ángulo que sustenta visto desde la tierra es necesario considerar que los rayos solares se encuentran en un cono de 16 minutos de arco [14]. En los CCP, la construcción de la superficie reflectora es normalmente una lámina de metal pulido con sección parabólica, en este trabajo utilizaremos una hoja de acrílico con acabado de espejo (altamente reflejante). Teniendo en cuenta el tamaño comercial de la lámina de acrílico con acabado espejo de $1220 \times 2440 \times 3$ m. Con un ángulo de borde de 60° , una distancia focal de 500 mm y las dimensiones comerciales de la superficie reflexiva, se realizó un modelo tridimensional utilizando dibujo asistido por computadora. Con la ayuda del modelo se corroboraron los parámetros de diseño calculados teóricamente y se presentan en la tabla 1 [8,12].

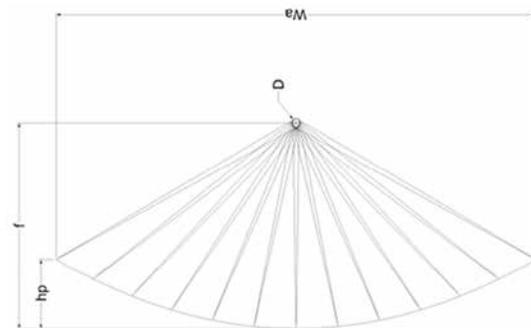


FIG. 7. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE CCP PROPUESTO.

| | Simbología | Valor | Unidades |
|--------------------------|------------|----------|-----------------|
| Área de apertura | Aa | 2826008 | mm ² |
| Apertura | Wa | 1158.2 | mm |
| Longitud | L | 2440 | mm |
| Altura focal | f | 500 | mm |
| Altura de la parábola | hp | 167.67 | mm |
| Área de recepción * | Ar | 150703.5 | mm ² |
| Diámetro tubo receptor * | D | 19.66 | mm |
| Concentración * | C | 18.75 | |

TABLA 1. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE CCP (*VALORES TEÓRICOS)

Las dimensiones del lado recto o apertura efectiva transversal del colector, la cual fue de $Wa=1158.2$ mm que coincide con la calculada teóricamente con la ecuación de la longitud de arco de una parábola [9, 15], al considerar una longitud focal de $f=500$ mm y una longitud de arco de $S=1220$ mm. También se encontró la altura de la parábola que fue de 167.67 mm. Con estos valores se calcularon los siguientes parámetros geométricos del colector:

El ángulo de abertura α dado como,

$$\alpha = 2 \tan^{-1} \left(\frac{W a}{2(f-h_p)} \right) = 120.3^\circ$$

la distancia de abertura en el borde p ,

$$p = \sqrt{\left[\frac{W a}{2} \right]^2 + [f-h_p]^2} = 667.67 \text{ mm}$$

El área efectiva de colección A_a ,

$$A a = W a * L = 2826008 \text{ mm}$$

el diámetro teórico del tubo receptor D ,

$$D = \frac{W a \text{ sen}(16')}{\text{sen } \varphi_r} = 6.232 \text{ m m}$$

este último se obtuvo al considerar el semi-ángulo del cono solar en la tierra de $16'$. También se encontró el área del tubo receptor

$$A_r = \pi D L = 150703.5 \text{ mm}$$

Donde $W a$ es la apertura efectiva transversal de colector, f es la distancia focal, h_p es la altura de la parábola, L es la longitud del eje del cilindro y φ_r es el ángulo de borde. Con estos parámetros, se calcularon teóricamente la concentración geométrica C_{max} , el diámetro del tubo receptor considerando errores ópticos D' , los errores aleatorios de la distribución de la energía total reflejada σ , el área teórica del tubo receptor con errores A_r , el factor de intercepción γ , el factor de forma A_f y la eficiencia óptica η_0 . Las cuales se calculan con las siguientes expresiones:

$$C_{max} = \frac{A_a}{A_r} = 58.9325$$

$$D' = \frac{W a \text{ sen} \left(16' + \frac{\delta}{2} \right)}{\text{sen } \varphi_r} = 19.657$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{sun}^2 + 4\sigma_{sem}^2 + \sigma_{mirror}^2} = 0.02 \text{ rad}$$

$$A_r = \pi D' L = 150649.8 \text{ mm}^2$$

$$\gamma = \frac{1 - \cos \varphi_r}{2 \text{ sen } \varphi_r} \times$$

$$\int_0^{1.5708} \left\{ \text{erf} \left[\frac{\text{sen } \varphi_r (1 + \cos \varphi) (1 - 2d \text{ sen } \varphi) - \pi \beta (1 + \cos \varphi_r)}{\sqrt{2\pi\sigma} (1 + \cos \varphi_r)} \right] - \text{erf} \left[\frac{\text{sen } \varphi_r (1 + \cos \varphi) (1 + 2d \text{ sen } \varphi) + \pi \beta (1 + \cos \varphi_r)}{\sqrt{2\pi\sigma} (1 + \cos \varphi_r)} \right] \right\} \frac{1}{1 + \cos \varphi} d\varphi = 0.69$$

$$A_f = \frac{2}{3} W a h_p = F W a \left[1 + \frac{W a^2}{48 F^2} \right] = 773298.6 \text{ mm}^2$$

$$\eta_0 = \rho \tau \alpha \gamma [1 - A_f \tan \theta] \cos \theta = 0.315$$

Donde δ es el ángulo de dispersión (dado como $\delta = 180\sigma/\pi$), σ_{sun} es la desviación del ángulo del cono solar ($=0.004$ rad), σ_{sem} es el error por ajuste de seguimiento Norte-Sur ($=0.009$ rad) y σ_{mirror} son los errores de superficie ($=0.008$ rad); φ es el ángulo que sustenta el cono de la radiación incidente directa, β es el error del ángulo debido a la falta de alineación ($=1.028$), d es el error debido a la mala ubicación del receptor ($=0.51$), ρ es la reflectancia de la superficie parabólica ($=0.95$), τ es la transmitancia de la envolvente (en este caso el vidrio= 0.88), α es la absorbancia del tubo receptor ($=0.8$) y θ es el ángulo de incidencia ($=85^\circ$). Lo que indica que la eficiencia óptica del CCP es del 31%, debido al factor de forma y de intercepción.

Los CCP son diseñados con estructuras ligeras y de bajo costo [16, 17]. La superficie reflectora se conforma mediante su ubicación sobre una estructura dispuesta con la forma de parábola, con los parámetros geométricos establecidos. Para garantizar una línea focal recta, la estructura debe aportar la rigidez adecuada, estabilidad, y que la geometría parabólica de la superficie se mantenga independientemente de la posición en la que se encuentre el CCP. Después del análisis de ingeniería para determinar las posibles deformaciones durante el funcionamiento del CCP, se realizó la manufactura utilizando estrategias de corte por control numérico.

Se diseñó una estructura mecánica de soporte del colector, teniendo como parámetros de diseño la rigidez y la ligereza [18]. En la fig.8 se muestra el análisis de elemento finito para calcular las deformaciones, considerando solo la inercia de la estructura, se determinó un desplazamiento máximo de .05 mm, lo que se traduce en una muy buena rigidez. Como elemento principal se dispuso al centro un tubo mecánico de

tres pulgadas de diámetro nominal tipo cédula 40. Sobre este tubo se unieron las estructuras transversales, denominadas costillas, cortadas en fresadora controlada numéricamente, en MDF calibre 12 mm y en acero al carbón calibre 14; separadas y rectificadas uniformemente por dos barras circulares que forman un marco rígido. Estas costillas fueron fabricadas en un torno de control numérico, el cual generó el perfil parabólico de las costillas.

El receptor está localizado en la línea focal del canal parabólico e incluye al absorbedor, asociado con cubiertas y aislamiento [19]. El absorbedor es comúnmente un conducto con una superficie absorbedora por donde circula el fluido que transporta el calor. Un sistema absorbedor puede ser un tubo con superficie selectiva que tiene una alta absorbanza para radiación solar y una baja reflectancia para evitar pérdidas térmicas. Comercialmente existen receptores de alta

tecnología, con gran eficiencia; pero resultan ser inaccesibles por su costo para este proyecto, ya que sólo se venden con dimensiones establecidas y en cantidades considerables. Para efectos de probar geometría óptica la "linealidad" de la concentración en el foco de nuestro modelo, utilizamos como receptor un tubo de cobre de 19 mm de diámetro, teniendo en cuenta que es un material con una conductividad térmica elevada, que bajo esfuerzos térmicos fluye fácilmente. En la fig. 9 se muestra al receptor, donde un tubo de cobre de 19 mm de diámetro que estará aislado con una cubierta de vidrio de 75 mm diámetro.

4. Construcción y arreglo de CCP

Una vez realizado el diseño y análisis del mismo con elemento finito, se construyó la estructura mecánica del CCP (tubo principal de 3 pulgadas, ejes de guía para las costillas, el soporte del tubo receptor y

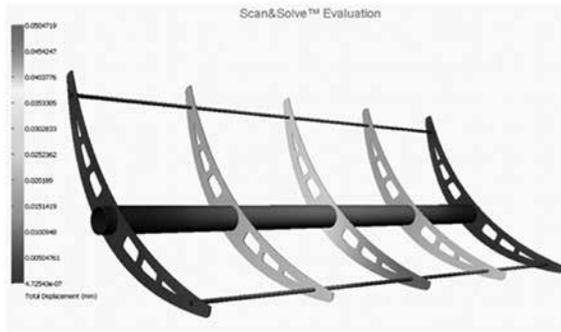


FIG. 8. DESPLAZAMIENTOS CALCULADOS PARA LA ESTRUCTURA DEL CCP, PARA UNA INCLINACIÓN DE 45°.

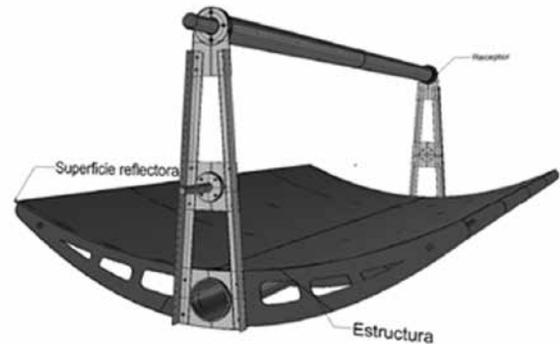


FIG. 9. COMPONENTES PRINCIPALES DE CONCENTRADOR DE CANAL PARABÓLICO



FIG. 10. ELABORACIÓN DE COMPONENTES MECÁNICOS: A) COSTILLAS EN ACERO, B) GUÍAS EN ACERO, C) COSTILLAS EN MDF D) SUPERFICIE REFLECTORA EN ACRÍLICO ACABADO ESPEJO, E) TUBO RECEPTOR EN COBRE Y F) UNIONES EN FIERRO

la estructura de soporte con ángulo), las costillas se elaboraron en MDF y acero al carbón ver fig. 10.

Las adaptaciones para las llaves de paso y manómetro son de hierro colado comercial. Una vez fabricados los perfiles, se procedió a su ensamble, la placa de acrílico se unió a la estructura de soporte con un pegamento 3M [19]. Para unir la estructura de soporte con el tubo receptor, se utilizó una montura hecha de MDF, para evitar pérdidas de calor por convección. Una vez ensamblado el CCP, se realizaron pruebas cualitativas preliminares para observar la concentración de la radiación en el tubo receptor, una imagen del CCP ensamblado es mostrada en la fig. 11.



FIG. 11. CANAL PARABÓLICO ENSAMBLADO.

De la prueba preliminar realizada para generar vapor de agua, se midió la temperatura del tubo receptor con un termómetro laser digital y la presión con un manómetro, los valores alcanzados después de 5 minutos fueron 102°C y 900KPa.

Estos datos experimentales fueron tomados en el mes de diciembre, a las 11:00 hrs. Imágenes del manómetro, termómetro y generación de vapor son mostrados en la fig. 12.



FIG. 12. PARÁMETROS MEDIDOS EXPERIMENTALMENTE: A) PRESIÓN, B) TEMPERATURA Y C) VAPOR GENERADO.

5. Propuesta de configuración experimental para la destilación con el CCP

Dado que se busca que el CCP pueda ser empleado en el proceso de destilación del mezcal, se describe brevemente el proceso de elaboración de mezcal y como se piensa implementar, el cual abarca una serie de operaciones unitarias dentro de las que se encuentran: selección de la planta de maguey a utilizar de acuerdo con los estándares de calidad previamente establecidos (variedad, madurez, tamaño, etc.), rasurado de las pencas para obtener la piña, transporte de la materia prima hasta el lugar donde se llevará a cabo el proceso de fabricación, troceado de la piña cuya finalidad es llevar a cabo una mejor transferencia de calor, horneado de la materia prima para llevar a cabo la hidrólisis de los azúcares complejos existentes y hacerlos disponibles, prensado de las piñas para extracción del jugo que contiene los azúcares simples, fermentación del jugo a través de microorganismos que llevan a cabo la transformación de los azúcares a alcohol etílico y otros subproductos, destilación del alcohol etílico, en esta etapa se separan los subproductos del producto de interés con la ayuda del punto de fusión, es decir, aquellos alcoholes que destilan a temperaturas diferentes a los 68 °C se desechan o se recuperan para darles un uso diferente, sin embargo, el alcohol que destile a 68°C es etílico (producto primario) el cual finalmente se almacena en barricas para darle añejamiento o simplemente se mezcla con saborizantes y colorantes para ser envasado y comercializado. La destilación se realiza de manera artesanal, un arreglo típico se muestra en la fig.13.

Lo que se propone es utilizar un CCP para realizar la destilación, previamente se filtra la mezcla de mezcal-agua para quitar impurezas sólidas y se deposita en un contenedor (previamente al sistema

se le dota de un sistema de control para monitorear la temperatura y presión a la entrada y salida, teniendo un sistema de llaves para regular la entrada y salida de la mezcla de mezcal –agua) el cual abastecerá al tubo absorbedor del concentrador, y una vez que el sistema ha alcanzado la temperatura necesaria, se introduce la mezcla al tubo absorbedor por medio de las llaves de paso y se procede a la destilación del mezcal, separando el vapor del alcohol de la mezcla líquida de agua y agregados. Por las pruebas realizadas de manera cualitativa empleando agua (donde su punto de ebullición es más alto que el mezcal), se observa que es factible de implementar el sistema para realizar el proceso de destilación con ayuda de un CCP, para que el sistema funcione con una buena eficiencia y alto rendimiento, los rayos incidentes del Sol deben ser paralelos al eje de la parábola para que sean dirigidos hacia el foco receptor, lo cual se logra, con un sistema de seguimiento Solar, regresar al colector a su posición original al final del día o de seguirlo en

periodos de nubosidad intermitente. Un esquema del sistema propuesto se muestra en la fig. 14 y tabla 2.

6. Conclusiones

En el presente trabajo se diseñó y se construyó un prototipo de CCP que se empleará para la destilación de mezcal, las temperaturas que se requieren para la separación del mezcal del agua son de 68°C. Se utilizó como superficie reflectora una placa de acrílico acabado espejo como una alternativa de diseño para su caracterización y se construyeron costillas en MDF y acero al carbón para brindar un mejor soporte. Los resultados medidos experimentalmente para una muestra de agua, muestran que es posible alcanzar las temperaturas necesarias para esta aplicación, que después de 5 minutos se alcanzaron temperaturas de 102°C y presiones de 900 Kpa. Finalmente se presentan algunos parámetros teóricos que permiten evaluar el CCP. Se presentan los resultados del diseño óptico y mecánico para el prototipo de CCP, junto con la eficiencia óptica, el factor de forma etc., los cuales nos permiten conocer la eficiencia óptica del prototipo desarrollado. Finalmente, en un trabajo a futuro se



FIG. 13. DESTILACIÓN ARTESANAL DEL MEZCAL.

| | | |
|----------------------------------|--------------------|------------------------|
| 1 Depósito de mezcla | 2 Válvula esfera | 3 Bomba centrífuga |
| 4 Medidor flujo | 5 Válvula aguja | 6 Válvula de retención |
| 7 Termómetro | 8 Manómetro | 9 Tubo receptor |
| 10 Concentrador canal parabólico | 11 Termómetro | 12 Manómetro |
| 13 Válvula aguja | 14 Trampa de vapor | 15 Medidor flujo vapor |

TABLA 2. COMPONENTES DE SISTEMA PROPUESTO PARA LA DESTILACIÓN DE MEZCAL.

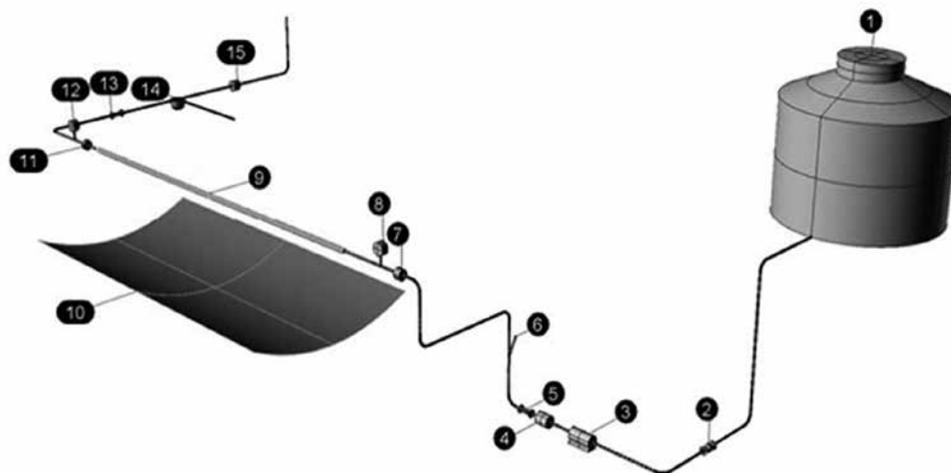


FIG.14. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL PARA GENERACIÓN DIRECTA DE MEZCAL CON CCP.

medirán valores térmicos experimentales para hacer la caracterización del funcionamiento del CCP, se implementará una prueba óptica para conocer la forma de la superficie colectora, y con ello mejorar la concentración de la radiación 

Bibliografía

- [1].- http://www.conae.gob.mx/wb/procalsol/energia_solar2.
- [2].- CONUEE, (2008). “Irradiación global media en la republica Mexicana”. Tabla, CONUEE, México. http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_1433_irradiacion_en_la_red [Consulta: 12 Octubre, 2009].
- [3].- <http://cre.gob.mx/articulos.aspx?id=171>.
- [4].- Pablo Mulás del Pozo, “Visión a Largo Plazo Sobre la Utilización de las Energías Renovables en México Energía Solar”, anexo 6-1, Centro de Investigación en Energía (2005).
- [5].- SENER, “Prospectiva de energías Renovables, 2012 -2026”, www.energia.gob.mx.
- [6].- <http://www.evwind.com/2012/09/10/mexico-desperdicia-la-energia-solar-fotovoltaica-y-termosolar/>
- [7].- Sedigas “Guía sobre aplicaciones de la energía solar térmica” Reporte técnico (2013). http://www.sedigas.es/dochome/Guia_solar_Sedigas.pdf.
- [8].- Luis Guillermo Vidriales Escobar, “Colector de Canal Parabólico para la Generación Directa de Vapor para Calor de Proceso”, tesis de Maestría en Ingeniería, UNAM – CIE, (2007). <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/Tesis/1.pdf>.
- [9].- Carmen Paredes Velasco, “Diseño de captador solar cilíndrico parabólico para aplicaciones rurales en Paraguay”, tesis de licenciatura, Escuela técnica superior de ingenieros de minas, Paraguay (2012).http://oa.upm.es/14011/1/PFC_CARMEN_PAREDES_VELASCO.pdf.
- [10].-Luis Guillermo Vidriales Escobar, “Concentrador de canal parabólico para la generación directa de vapor”, Proc. VII Congreso Internacional de innovación y diseño basado en simulación por computadora, CIE (2007). http://congreso.grupossc.com/ponencias/2007/mabe/plantillacongreso2007_concentrador_final.pdf.
- [11].- Esquivel, O.,Busso, A., Sogari, N. y Franco, J., “Refrigeración solar mediante ciclo de amoniaco-agua acoplado a un concentrador solar”, Com. Cie.yTec., Uni. Nal. Del Nte. de Argentina (2006). <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt2006/07-Tecnologicas/2006-T-058.pdf>.
- [12].- Daniel Serrano García, “Cálculo, diseño y análisis de una central termosolar de colectores cilíndrico parabólicos operando con sales fundidas”, Tesis de licenciatura, Universidad Carlos III de Madrid, (2012). http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/14683/1/PFC_Daniel_Serrano_Garcia.pdf.
- [13]. Duffie J A and Beckman W A 1980 Solar engineering of thermal processes (New York: John Wiley and Sons, Inc.).
- [14].-Riveros, H. G., “Graphical analysis of sun concentrating collectors”, Solar Energy, Vol. 36, No. 4, pp. 313-322, (1986).
- [15].- Murray R. Spiegel y Lorenzo Abellanas, “Formulas y tablas de matemáticas aplicadas”, Mc Graw Hill Schaum, (1998).
- [16]. FolaranmiJ Design, “Construction and Testing of a Parabolic Solar Steam Generator”, Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, 115, 14 (2009).
- [17]. Ibañez P M, RosellPlo J R, Rossell Urrutia J J, “Tecnología Solar, Energías Renovables”, (Madrid: Grupo Mundi-Prensa). (2004).
- [18].- J. F. M. Escobar-Romero, S. Vázquez-Montiel, F. Granados-Agustín, V. M. Cruz-Martínez, E. Rodríguez-Rivera, L. Martínez-Yáñez, “Building a parabolic solar concentratorprototype”, Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, 274, 012104 (2011).
- [19].- Víctor Iván Moreno-Oliva, Álvaro Castañeda-Mendoza, Edwin Román-Hernández y Manuel Campos-García, “Prueba de un colector solar de canal parabólico por medio de una pantalla nula cilíndrica,” in *XXV Reunión Anual de Óptica (RAO), LV Congreso Nacional de Física*, (2012).