

PROTOTIPO DE ALTA TEMPERATURA MEDIANTE CONCENTRACIÓN SOLAR

Arturo Martínez Ayala^{a*}, Alfredo Montaña López^b, Agustín Santiago Moreno^c, Hosbeidi Calleja Guatemala^b, Víctor Manuel Sánchez Molina^b

^a Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Chihuahua II, Av. De las Industrias #11101 Complejo Industrial C.P. 31130, Chihuahua, Chihuahua. México.

^b Centro Regional de Educación Superior Campus Cruz Grande de la Costa Chica - Universidad Autónoma de Guerrero, Carretera Cruz Grande - Ayutla SN C. P. 41800, Florencio Villarreal, Guerrero, México.

^c Unidad Académica de Matemáticas, Universidad Autónoma de Guerrero, Carlos Adame No. 54, Colonia La Garita, Acapulco de Juárez, Guerrero, C. P. 39650, México

*E-mail de autor responsable: arturomartinezayala77@gmail.com

Recibido 14 marzo 2022, Aceptado 30 marzo 2022

Resumen

El uso de la energía térmica es indispensable para la mayoría de los procesos industriales y la mayor parte de esta energía térmica es obtenida mediante combustibles fósiles, lo cual considera un alto costo de operación y altas emisiones de CO₂; es por ello por lo que las investigaciones se han centrado en la obtención de la energía térmica solar. El objetivo de este trabajo es diseñar y fabricar un prototipo de concentración solar tipo parabólico para la producción de vapor. El prototipo se implementó en la Costa Chica del estado de Guerrero por su alta incidencia de radiación solar, 6.5 kW-h/m²-día. La cámara de concentración de vapor tiene un volumen de 100 ml, la cual está fabricada de acero galvanizado. Se instalaron tres sensores de temperatura, los cuales se colocaron uno dentro de la cámara, otro en el foco de la antena y el tercero se utilizó para medir temperatura ambiente; también se incluye un sensor de presión para obtener los diagramas P-T. Se utilizó una antena tipo offset de 85 cm de diámetro mayor con espejos para reflejar la radiación solar hacia el foco de la parábola, en la cual se alcanzan temperaturas de hasta 350 °C. En los resultados se presentará los perfiles de temperatura dentro de la cámara y en el foco de la parábola, los diagramas P-T con presiones de 60 psi, 80 psi y 100 psi; y la eficiencia del sistema.

Palabras clave: Incluir máximo cinco palabras clave.

1. Introducción

El uso desmedido de los combustibles fósiles indica que el petróleo se agotará en aproximadamente un siglo y el carbón probablemente en mucho menos de 500 años. Los combustibles fósiles son las reservas de energía que se obtuvieron del Sol durante millones de años y, solo este tipo de energía había sido empleada, sin considerar la energía que se obtiene directamente de la radiación solar. Además de que se tienen las formas indirectas de energía solar que son: eólica, biomasa, oceánica e hidráulica; también está la energía proveniente de la Tierra, la geotérmica y la energía nuclear originada de materiales radiactivos. A medida que avanzamos la energía solar toma un papel mucho más importante y su estudio se ha vuelto prioritario [1].

En este proyecto se utilizará directamente la radiación de la energía solar para convertirla a energía térmica. Existen básicamente dos tipos de sistema de conversión térmica, los de baja temperatura de trabajo y los de alta temperatura. Los sistemas de baja temperatura se obtienen cuando una superficie oscura se coloca bajo la radiación solar, esta superficie absorbe la energía solar y en consecuencia se calienta. Los colectores que trabajan bajo este principio consisten en una superficie orientada hacia el sol, absorbiendo esta energía y transfiriéndola a un fluido de trabajo en contacto con esta superficie. Estos

dispositivos de conversión térmica se denominan colectores de placa plana que pueden operar en un rango de temperatura de hasta 90 ° C. Estos colectores son utilizados principalmente para el suministro de agua caliente, calentar espacios o bien para sistemas de enfriamiento por absorción. Los sistemas de alta temperatura requieren de dispositivos que concentren la radiación solar en un receptor absorbedor; con estos dispositivos se han alcanzado temperaturas de hasta 3000 ° C. Actualmente se están construyendo varios dispositivos de concentración para la generación de vapor específicamente para generar energía eléctrica, la literatura, nos indica que los costos de estos dispositivos para aprovechar la energía térmica solar no son mayores que los de las centrales de energía térmica convencional [1-3]. En este proyecto se desarrollará un sistema solar térmico para generar vapor mediante dispositivos de concentración solar con la finalidad de ser aplicado en la industria alimentaria para la cocción, pasteurización, escaldado o deshidratación de alimentos.

2. Parte experimental

El principio básico de la conversión de la energía solar a energía térmica es que cuando la radiación solar incide sobre una superficie, una parte de ella se absorbe, lo que aumenta la temperatura de la superficie. La eficiencia de esa superficie como colector solar no solo depende de la eficiencia de absorción; si no también de cómo se

minimizan las pérdidas térmicas y de radiación hacia el entorno; y de cómo se obtiene la energía térmica ganada para ser utilizada. Existen colectores solares de placa plana deficientes que funcionan desde los 5-10 ° C por encima de la temperatura ambiente o los colectores solares de concentración solar que funcionan a más de 1000 ° C. En la Tabla 1 se enumeran los tipos de colectores solares y los rangos de temperatura en los que trabajan [3-4].

Tabla 1. Tipos de colectores solares térmicos y sus rangos de temperatura.

Tipo de colector	Razón de concentración	Rango de temperatura de trabajo típica (° C)
Colector de placa plana	1	≤ 70
Colector de placa plana de alta eficiencia	1	60-120
Concentrador fijo	3 - 5	100 - 150
Colector parabólico	10 - 50	150 - 350
Colector de plato parabólico	200 - 500	250 - 700
Receptor central	500 a > 3000	500 a > 1000

De acuerdo con el diseño del sistema de captación de energía solar térmica serán los materiales que se utilizarán. Para el caso de sistemas solares térmicos de plato parabólico se requiere que la reflexión del haz solar sea del tipo especular, es decir, cuando el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión. Cuando la radiación reflejada se distribuye uniformemente en todas las direcciones, se denomina difusa. Ninguna superficie real es especular o difusa, pero una superficie altamente pulida se asemeja a la reflexión especular, mientras que una superficie rugosa refleja de manera difusa. Las superficies reflejantes que se utilizan en los concentradores solares suelen ser metales altamente pulidos o recubrimientos metálicos sobre sustratos adecuados, en la tabla 2 se presentan los valores de reflectancia especular de superficies para la radiación del haz solar [5].

Tabla 2.- Valores de reflectancia especular para materiales que reflejan el haz de radiación solar.

Material	Reflectancia especular (ρ)
Plateado (inestable como espejo de superficie frontal)	0.94 ± 0.02
Oro	0.76 ± 0.03
Acrílico aluminizado, segunda superficie	0.86
Aluminio Anodizado	0.82 ± 0.05
Varias superficies de aluminio	0.82 – 0.92
Cobre	0.75
Placa plateada con fondo plateado	0.88
Mylar tipo C aluminizado (del lado Mylar)	0.76

La concentración de la radiación solar se logra al reflejar el flujo de rayos solares incidentes en un área de

apertura A_a a un área más pequeña del receptor/absorbedor A_r . Una relación de concentración solar óptica, CR_o , es definida como la razón de flujo solar I_r , sobre el flujo en el receptor I_a , o bien con la siguiente ecuación [6-7]:

$$CR_o = \frac{I_r}{I_a} \quad (1)$$

Mientras que la razón de concentración geométrica, CR , está basada en las áreas

$$CR = \frac{A_a}{A_r} \quad (2)$$

Los concentradores solares son más eficientes que los colectores de placa plana, ya que el área donde se pierde el calor es más pequeña que el área de apertura. En este trabajo se utilizó como concentrador solar una antena de foco desplazado (tipo offset) con diámetro mayor de 0.85 m, la cual tiene un área de apertura de 0.53 m² con una razón de concentración geométrica de 200, ver figura 1.

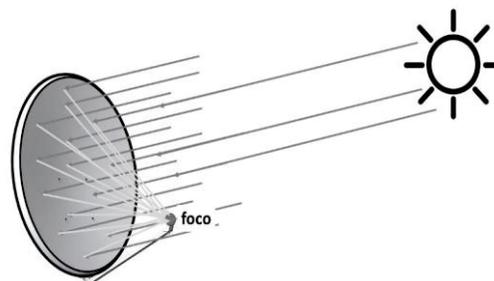


Figura 1. Antena de foco desplazado (offset).

Como material reflejante, en la superficie de la antena se colocaron espejos con recubrimiento de aluminio anodizado, como se observa en la figura 2 (a). En el foco de la antena se colocó la cámara de vapor aislada térmicamente (figura 2 (b)), la cual está fabricada con una "te" de acero galvanizado de dos pulgadas de diámetro y tiene un volumen de 100 ml. Se instalaron tres sensores de temperatura, uno está colocado dentro de la cámara, otro en el foco de la antena y el tercero se utilizó para medir temperatura ambiente; se incluye un manómetro para obtener los datos de presión dentro de la cámara; además de un anemómetro para medir la velocidad del viento.

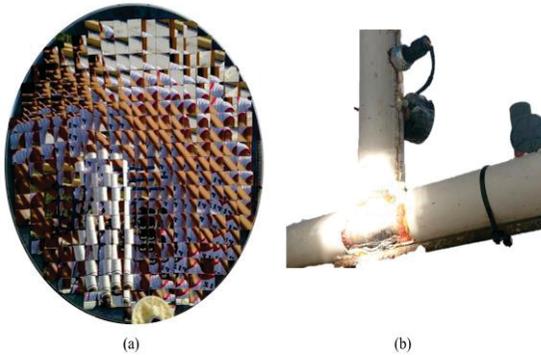
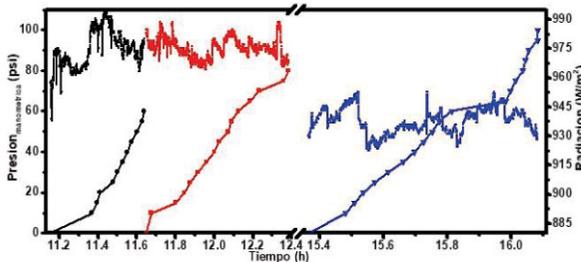


Figura 2. (a) Concentrador parabólico y (b) cámara de vapor.

En los resultados se presentará los perfiles de temperatura dentro de la cámara y en el foco de la parábola, los diagramas P-T a presiones de 60, 80 y 100 psi.

3. Resultados y discusión

En la figura 3 se muestra el diagrama de fases del agua, así como los valores de presión obtenidos al interior de la cámara de vapor, la cual es un sistema cerrado (a volumen constante), el cual permite el flujo de calor (Q) en un solo sentido hacia el interior de la cámara, pero que se encuentra aislado térmicamente para evitar transferencia de calor del sistema hacia el medio ambiente y evitar pérdidas de calor. Se midieron 3 presiones manométricas al interior de la cámara 60, 80 y 100 psi.



100 psi, dichas presiones fueron alcanzadas durante diferentes intervalos de tiempo en un mismo día, para evitar lo más posible la variabilidad ocasionada por diferentes condiciones atmosféricas. En el diagrama de fases, se puede observar que el sistema se encuentra en la fase líquida como líquido sobrecalentado, esta fase se alcanza por efecto de la presión, por definición se refiere como líquido sobrecalentado a cualquier líquido que se encuentra entre un rango de temperatura de 100 a 314 °C que, se conserva en fase líquida por efecto de la presión. Como puede observarse de la figura 3, la temperatura máxima alcanzada por las tres presiones se encuentra en el rango de los 110 °C a 120 °C. Las temperaturas máximas alcanzadas por cada una de la presiones se encuentran muy cerca de la fase de vapor y dado que el sistema es un sistema cerrado, al permitirse el flujo masico del agua desde el sistema, esto ocasionaría una disminución de la presión hasta a un valor de 101 kPa (valor de presión atmosférica) lo que transformaría el líquido contenido en el sistema de un líquido

sobrecalentado a un líquido en su fase de vapor, esto puede observarse en el inset de la figura 3 al disminuir la presión (hasta 10-1 kPa) desde las temperaturas máximas nos encontraremos en la fase de vapor.

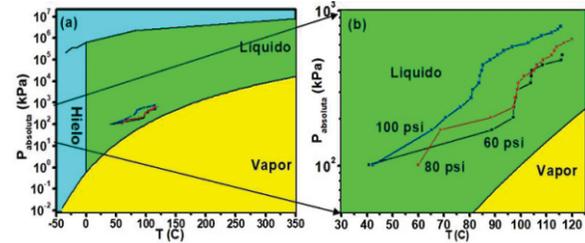
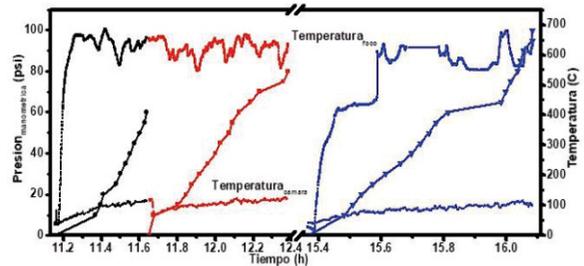


Figura 3. (a) Diagrama de fases del agua y (b) mediciones experimentales de presión vs temperatura.

La relación de la presión manométrica y la radiación solar incidente proveniente del concentrador parabólico en la cámara de vapor es mostrado en la figura 4, se puede observar que la radiación incidente está en un promedio de 957.5 W/m², estos valores fueron obtenidos en un horario de 11:00 a.m. a 16:00 p.m. hrs. Se puede observar que cerca de las 12:00 p.m. el valor promedio



de la radiación incidente es de alrededor de 978 W/m² y a las 16:00 p.m. de 937 W/m² por lo que en promedio la radiación que recibe el sistema es de 957.5 W/m², lo cual permitirá que el sistema alcance las tres distintas presiones en un promedio de 25 a 40 min dependiendo de la hora del día, permitiéndonos obtener la fase vapor del agua al permitir el flujo masico desde el sistema. Permiéndonos el aprovechamiento solar para generar vapor utilizando la configuración propuesta en el presente trabajo en gran parte del día.

Figura 4. Presión manométrica y radiación solar.

En la figura 5 se muestra la relación existente entre la temperatura del foco y la de la cámara, la temperatura máxima obtenida en el foco es de 700 °C (para la presión de 100 psi), lo cual está en concordancia con lo reportado en la literatura para sistemas con una configuración del tipo de concentrador parabólico, de la misma figura se puede observar que en el rango máximo de temperatura alcanzada en la cámara oscila entre los 110 a 120 °C como se mencionó anteriormente. Una de las principales limitantes para alcanzar un rango de temperaturas mayor, se debe a los procesos de transferencia de calor del sistema con el medio ambiente, el más importante de ellos y que limita obtener temperaturas mayores a 120 °C

en el interior del sistema se debe a la transferencia calor que se lleva a cabo entre el punto de entrada de calor de la cámara (área del sistema donde se concentra la radiación solar) y el viento circundante del medio ambiente.

Figura 5. Temperatura en el foco y temperatura dentro de la cámara.

Los valores promedios medidos para cada presión (60, 80 y 100 psi) son de 1.31, 1.14 y 1.85 m/s respectivamente se muestran en la figura 6 donde se pueden observar que el viento circundante oscila continuamente, sin embargo, con la presente configuración del prototipo es obtener liquido en su fase de vapor. Por lo que el uso de materiales que eviten pérdidas de calor en el sistema, producidas desde el área donde se concentra la radiación del sistema (área perteneciente a la cámara de vapor que permite el flujo de calor) y aislamiento del sistema, nos permitan incrementar la eficiencia de este.

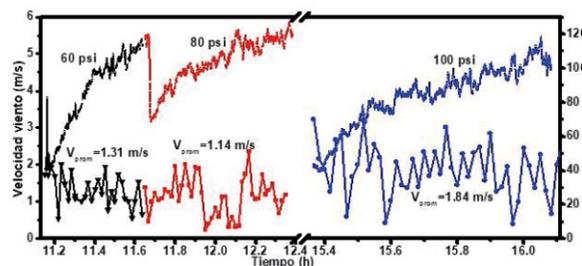


Figura 6. Temperatura en la cámara y velocidad del viento.

4. Conclusiones

Del análisis del diagrama de fases podemos observar que a la temperatura máxima promedio es de 120 °C para los distintos valores de presión medidos al interior de la cámara (60, 80 y 100 psi), permiten obtener liquido en la fase de líquido sobrecalentado por lo que al permitir el flujo masico desde el interior del sistema al exterior permitiría obtener liquido en su fase vapor. Una de las principales limitantes para alcanzar una temperatura mayor a 120 °C y obtener un sistema más eficiente se debe al viento circundante al sistema, el cual produce que la entrada de calor al interior del sistema sea menor, debido a que el viento interactúa con la superficie metálica del sistema produciendo una transferencia de calor entre ellos. Sin embargo, con la presente configuración es posible obtener liquido en su fase vapor, por lo que la utilización de materiales diferentes en la construcción de la cámara de vapor y el uso de diferentes materiales para el aislamiento del sistema permitirá obtener un sistema más eficiente para la producción de vapor.

5. Agradecimientos

Agradecimientos al Centro Regional de Educación Superior Campus Cruz Grande por el uso de sus instalaciones y a la Dra. Ana Rosa Garcia Angelmo por su apoyo en la parte experimental de concentración solar.

6. Referencias

[1] Soteris Kalogirou. (2003). The potential of solar

industrial process heat applications. *Applied Energy*, 76, 337–361.

[2] Ashish K. Sharma, et al. (2017). Solar industrial process heating: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 124–137.

[3] Soteris A. Kalogirou, Solar thermal collectors and applications, *Progress in Energy and Combustion Science* 30 (2004) 231–295; doi:10.1016/j.pecs.2004.02.001.

[4] Muhammad Asif, Tariq Muneer. *Thermal Energy: Solar Technologies*. In *Encyclopedia of Environmental Management*. Taylor and Francis: New York, Published online: 29 May 2013; 2498-2507.

[5] John A. Duffie, William A. Beckman. (2013). Radiation Characteristics of Opaque Materials. *Solar Engineering of Thermal Process*(173-201). New Jersey: John Wiley & Sons.

[6] K. Lovegrove, J. Pye. (2012). Fundamental principles of concentrating solar power (CSP) systems. *Concentrating Solar Power Technology: Principles, Developments and Applications*(15-65). USA: Woodhead Publishing.

[7] John A. Duffie, William A. Beckman. (2013). Solar radiation. in *Solar Engineering of Thermal Process*(3-42). New Jersey: John Wiley & Sons.