

ENSAYO DE UN CONCENTRADOR FRESNEL. CALCULO DE EFICIENCIA

N. Salvo, M. Altamirano, H. Barcena, L. Saravia

Instituto de Energías no Convencionales (INENCO) – Facultad de Ciencias Exactas –Universidad Nacional de Salta–
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Avenida Bolivia 5150 - C.P. 4400 – Salta Tel. 54-387-4255424 – Fax 54-387-4255489

E-mail: nahuel@unsa.edu.ar

RESUMEN: Se ensayó un prototipo de concentrador lineal Fresnel de 42 m² de área de espejos. El objetivo principal de las experiencias realizadas fue la de estimar diferentes variables de funcionamiento del equipo para calcular su eficiencia. Los ensayos realizados sirvieron también para visualizar como influyen los diferentes elementos del concentrador en la generación de vapor como paso previo para la construcción de una central de generación eléctrica. Las medidas se tomaron a diferentes presiones de vapor en la salida del sistema. El concentrador está formado por 9 espejos de eje horizontal de 0,8 m de ancho por 6 m de largo cada uno y un absorbedor lineal invertido que se encuentra a 6 m de altura. El absorbedor está formado por cinco caños de acero de 1 pulgada de diámetro puestos en una cavidad trapezoidal espejada que recoge los rayos reflejados por los espejos. Los estudios geométricos para la determinación de la configuración del sistema y el diseño del absorbedor se llevaron a cabo con programas ya utilizados en la construcción de los prototipos previos de 24 m² (Saravia y otros., 2008) y de 8 m² (Gea y otros., 2007), los que han sido adaptados para este uso.

Palabras clave: concentrador Fresnel, producción de vapor, eficiencia.

INTRODUCCIÓN

En un futuro cercano, la necesidad de suplantar en el país las energía convencionales por nuevas fuentes de energía será cada vez más necesaria. En particular la generación de electricidad a partir de fuentes renovables plantea un verdadero desafío. Por lo tanto proponer, diseñar, estudiar y ensayar nuevos diseños de prototipos que permitan, por ejemplo, la generación de vapor a bajo costo para ser utilizado por ejemplo por una turbina en la producción de electricidad es verdadero desafío. Dichos equipos realizarán un importante aporte que permite implementar nuevas tecnologías para la producción de energía.

En este sentido se ensayó un concentrador lineal de Fresnel, el mismo consiste en un conjunto de 9 de espejos que reflejan la radiación incidente concentrándola en un absorbedor lineal invertido que se encuentra suspendido a 6 metros sobre el campo de espejos. Este tipo de equipo solar puede ser implementado para la producción de vapor por las altas temperaturas que se obtienen en la zona de concentración. El prototipo se encuentra construido en el campus experimental del INENCO (Salta) en la Universidad Nacional de Salta.

El concentrador lineal Fresnel cuenta con una superficie espejada de 42 m². Esta superficie se encuentra dividida por espejos individuales de 0,8 m de ancho por 6 m de largo cada uno. Los espejos están acoplados de forma tal que puedan moverse coordinadamente y reflejen la radiación en su conjunto hacia la zona donde se encuentra el absorbedor. El eje de giro de cada uno es horizontal y a lo largo de su dimensión mayor. Con respecto al absorbedor, éste tiene una forma trapezoidal, dentro de él se encuentran cinco caños de acero de una pulgada de diámetro, se encuentra invertido y se localiza a 6 m de altura sobre el campo de espejos. Los caños están pintados de negro con una emitancia y absortancia medida de 0.97. La cavidad del absorbedor también es espejada de forma tal de aprovechar toda la radiación que proviene de los espejos. El eje principal del absorbedor es paralelo al eje principal de los espejos.

Las figuras 1 y 2 muestran fotografías del equipo ensayado. En ellas puede apreciarse la forma del absorbedor y las diferentes orientaciones de los espejos para un determinado momento del día. También puede observarse el vapor generado por el prototipo.

Como se mencionó los espejos están acoplados, de forma tal que se mueven en conjunto, pero formando diferentes ángulos la normal al espejo con respecto a una dirección vertical. Este “ángulo de inclinación”, que cambia en el transcurso del día es tal que siempre la radiación reflejada incide en el absorbedor. Para el ensayo realizado se utilizó un motor para mover todos los espejos en su conjunto y mantener un seguimiento del sol constante. La velocidad del motor estaba calibrada en relación al desplazamiento del sol durante el día. A pesar del movimiento constante, durante los ensayos se tuvieron que realizar pequeñas correcciones en la inclinación de cada espejo en forma independiente. La inclinación del área espejada es una variable fundamental en el funcionamiento del equipo, porque de ella depende la energía que recibe el absorbedor y por lo tanto influye directamente en la cantidad de vapor producido por el prototipo.



Figura 1: Vista de frente del área de 42 m² de espejos.



Figura 2: Vista de los espejos y absorbedor iluminado. Se aprecia la producción de vapor

ESQUEMA DE MEDIDAS

Las medidas se realizaron de acuerdo al esquema que se muestra en la figura 3, en la misma figura se puede apreciar la disposición de los equipos utilizados para la estimación de las variables involucradas en el cálculo. La determinación de la eficiencia del sistema se realizó relacionando la potencia de entrada y de salida del sistema. La potencia se determina a partir de la energía reflejada por cada espejo, sumando luego para todos los espejos. En el cálculo de la potencia de salida intervienen temperaturas de entrada y salida del fluido que circula (agua). En este cálculo hay que tener en cuenta las presiones en el absorbedor para poder estimar valores del calor específico y temperaturas de cambio de fase. También se incluyó un caudalímetro para estimar la cantidad de masa por unidad de tiempo que circula en el absorbedor.

El inicio de las medidas se realizó cuando el equipo producía en la salida vapor de forma tal de considerar un estado estacionario. Para este propósito se variaba el caudal ajustando la potencia de la bomba y enfocando todos los espejos hacia el absorbedor. Cuando el vapor generado, para un determinado caudal, era constante se iniciaba la toma de datos variando solamente la inclinación de los espejos durante el intervalo de toma de datos. Los caudales involucrados son muy bajos,

porque se pretendía que todo el líquido que ingresa a la zona del absorbedor se evaporase. Un aspecto importante a tener en cuenta es que esta variable, el caudal, también es determinante en la generación del vapor. Por ejemplo en el caso de un equipo de dimensiones mayores donde el vapor generado se utilice en turbina para producir energía eléctrica, se necesita que sea vapor seco (sin contenido de agua), por lo tanto hay que asegurar que se evapore todo el líquido que ingresa al absorbedor y un factor de control es el caudal de circulación.

Para determinar la potencia de entrada se midió radiación global y difusa sobre los planos de cada uno de los 9 espejos, con un radiómetro fotovoltáico (Licor 800), con la diferencia de ambas se obtiene la radiación directa incidente sobre el espejo que es la que se refleja e incide sobre el absorbedor. Como cada espejo se encuentra con una inclinación diferente estos valores varían de espejo a espejo. En la figura 6 se muestran algunos valores medidos para diferentes espejos.

La determinación de las temperaturas se realizó usando termocuplas tipo K conectadas a un datalogger digi-sence. En las medidas de presión se uso un manómetro digital Cole Parmer en la entrada y un manómetro analógico TPM en la salida. Todos estos instrumentos fueron calibrados previamente.

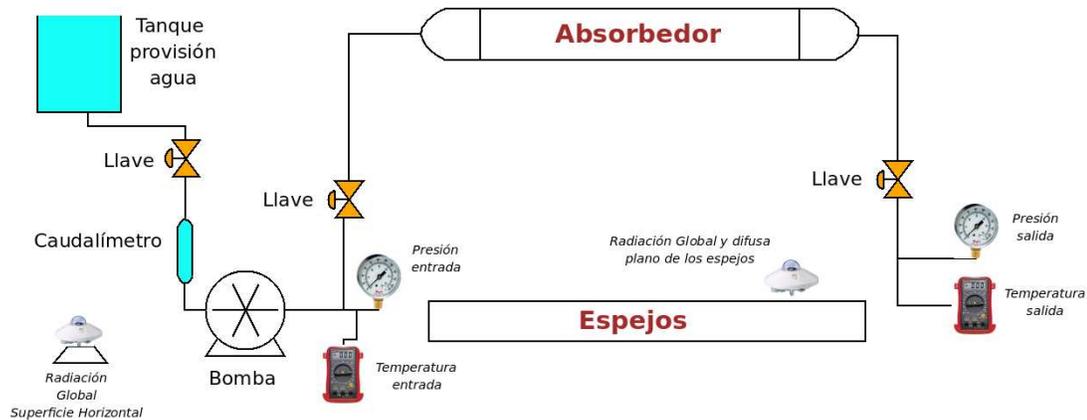


Figura 3: Esquema de la circulación del fluido de trabajo – Variables de media – Lugares de toma de datos

A continuación se representan los valores obtenidos para la eficiencia del prototipo. Si bien fueron varios los días ensayados, se muestran solo algunos días, los que se consideran más representativos en el sentido que dan una visión completa de la influencia de las diferentes variables involucradas y del gran potencial que posee este tipo de equipo para la producción de vapor.

RESULTADOS

En la figura 4 se grafican valores de eficiencia calculados para cuatro días típicos de medida. Las tres primeras gráficas corresponden a valores tomados cuatro horas antes del mediodía solar (transcurso de la mañana) y la cuarta gráfica corresponde a valores tomados cuatro horas después del mediodía solar (durante la tarde). En una primera comparación muy general de los valores representados se puede apreciar que el comportamiento del equipo varía de un día a otro, en los dos primeros días mostrados se supera el 60% de eficiencia mientras que para los días restantes se obtuvieron valores entre el 40 al 50%.

Un factor que influye significativamente en la cantidad de vapor generado y por lo tanto en la eficiencia, es la correcta orientación de los diferentes espejos. En los primeros días de medida se utilizó un seguimiento continuo con un motor paso a paso que movía todos los espejos simultáneamente. Para el tercer día y las medidas realizadas por la tarde los espejos se orientaron manualmente. Aunque en todos los casos se obtiene un buen valor para la eficiencia, es superior en término medio lo conseguido en el caso de orientar los espejos constantemente.

Una explicación de lo anterior es que en el caso de una orientación constante el absorbedor recibe energía de forma continua, lo que no sucede cuando se orientan los espejos manualmente. La orientación continua hace que la temperatura del absorbedor se mantenga en valores superiores a lo que sucede cuando se orientan los espejos manualmente. En la figura 5 se muestran valores de la temperatura de salida del equipo. En esta figura es claro el efecto de la forma de orientar los espejos, el 4/06/2009 la orientación fue constante y el 06/07/2009 la orientación fue realizada manualmente.

Esta diferencia pone de manifiesto que la orientación de los espejos es una variable crucial en la generación de vapor y para el caso de considerar una instalación de mayor envergadura deberá ser considerada como una variable de control importante. Otro factor que también debe tenerse en cuenta es que el absorbedor se encuentre totalmente iluminado. Lo que sucede si la orientación de los espejos es la adecuada, pero debido a la época del año en que se realizaron las medidas la declinación del sol no permitía esto. Si bien el equipo permite desplazar el absorbedor a lo largo del eje de los espejos, por las razones de disponibilidad de espacio el equipo estaba al máximo de su variación a lo largo del eje de los espejos, por lo tanto una pequeña parte del absorbedor no se encontraba completamente iluminada. Para el cálculo de eficiencia se tuvo en cuenta este aspecto reduciendo el área de colección en un pequeño porcentaje.

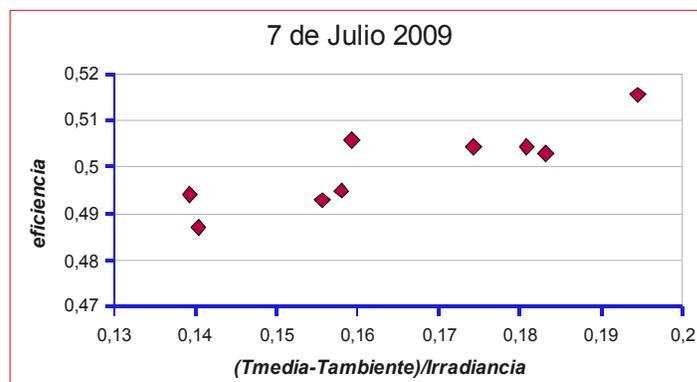
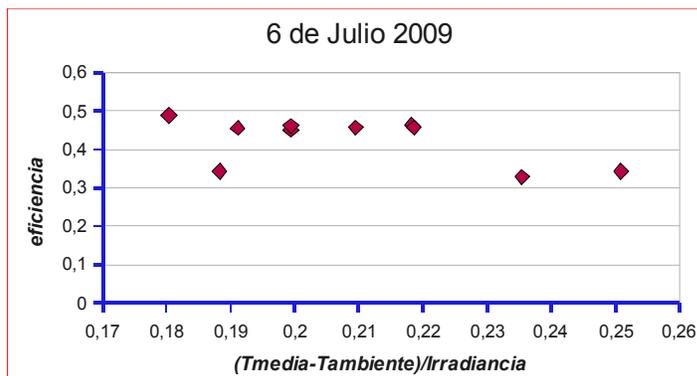
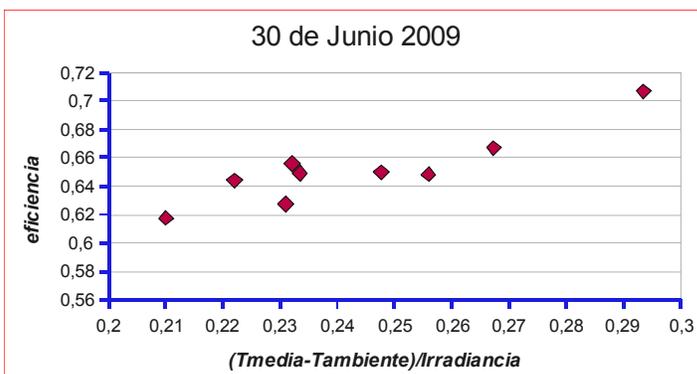
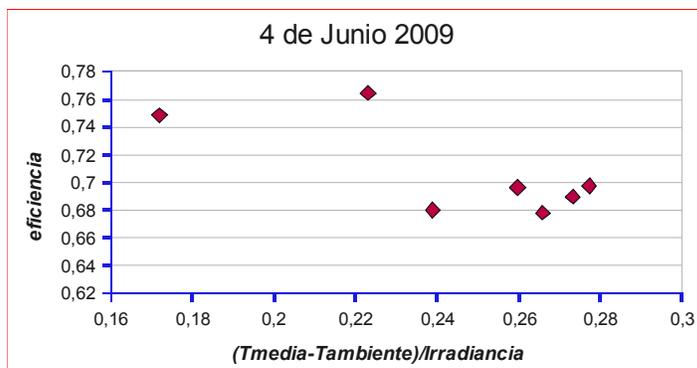


Figura 4: Valores de eficiencia para un concentrador Fresnel para cuatro días representativos de medidas.

Con respecto a la figura 4, los valores de eficiencia se calcularon teniendo en cuenta la radiación directa que llega al absorbedor. Se presentan en función de la temperatura media entre entrada y salida, temperatura ambiente e irradiancia global sobre plano horizontal, de acuerdo a como se indica en cada una de las gráficas. En la figura 6 se muestran los valores obtenidos de radiación en algunos espejos y radiación global sobre superficie horizontal.

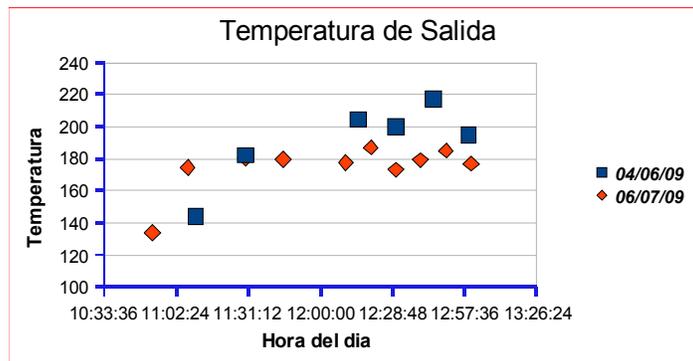


Figura 5: Temperatura de salida para dos ensayos diferentes

Con respecto a los valores de caudal este fue del orden 4×10^{-3} kg/s. Como se mencionó este valor se determinó observando que todo el líquido que ingresa al equipo se evapora. Una bomba conectada al circuito hidráulico, en la entrada, del sistema permitía regular el flujo directamente. Esto permitió evitar el uso de llaves de paso en la regulación y por lo tanto asegurar un valor constante durante todos los ensayos.

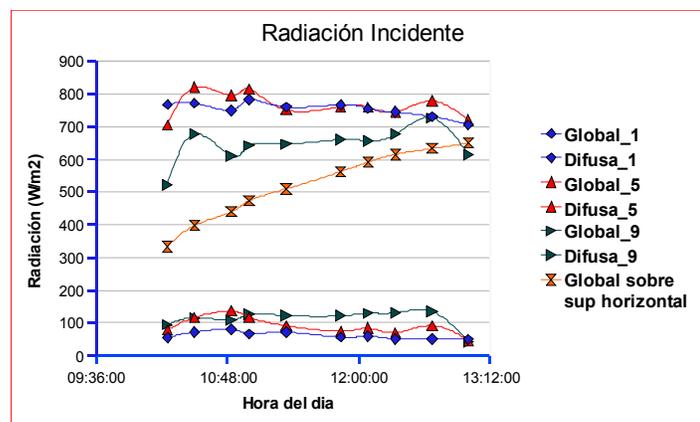


Figura 6: Radiación incidente en los espejos 1, 5 y 9 de diferente inclinación y radiación sobre superficie horizontal.

La presión de funcionamiento del equipo se controló con un manómetro analógico en la salida del mismo, de acuerdo al esquema mostrado en la figura 3. La regulación se realizó con una llave de paso, de esta forma se pudieron lograr saltos de presión entre entrada y salida de hasta 4 atm.

CONCLUSIONES

De acuerdo a las medidas realizadas, el equipo ensayado funcionó muy bien en lo que se refiere a la producción de vapor. Los valores de eficiencias están en el orden de magnitud de lo que se esperaba de acuerdo a la bibliografía consultada (Mills y Morrison, 2000) y a ensayos previos a los días de medida. Como se deduce de las gráficas mostradas, son porcentajes importantes por lo tanto es de esperar que este tipo de equipos sean una alternativa en aplicaciones donde el vapor sea el fluido de trabajo, como por ejemplo turbinas para la generación de electricidad.

Las experiencias realizadas no solo permitieron calcular valores de eficiencia, además sirvieron para determinar otros factores importantes que influyen sustancialmente en la producción de vapor. Por ejemplo la orientación de cada uno de los espejos, el seguimiento continuo, etc. son variables importantes en el control y automatización para lograr una generación continua de vapor. Estos aspectos deben tenerse en cuenta en el caso de considerar una construcción de mayor envergadura.

Para tener una estimación global del sistema se debe ensayar al prototipo durante periodos de tiempo mayores de forma tal de abarcar diferentes épocas del año. Esto es importante porque se obtendría una descripción global del comportamiento del prototipo, pero para esto habrá que lograr automatizar la forma de mover los espejos de forma continua. Además mejorando

el tipo de pintura en el absorbedor, por ejemplo incorporando superficies selectivas, los valores de eficiencia podrían ser superiores aún.

REFERENCIAS

- Marcelo Gea, Luis Saravia, Carlos Fernández, Ricardo Caso y Ricardo Echazú. (2007). Concentrador lineal Fresnel para la generación directa de vapor de agua. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol 11, 3.83-3.89.
- Mills D., Morrison G., (2000). Compact Linear Fresnel Reflector Solar Thermal Power Plants. *Solar Energy* Vol. 68, No.3, pp. 263 - 283.
- L. Saravia 1, M. Gea, C. Fernández, R. Caso, D.1 Hoyos, N.1 Salvo y H. Suligoy. (2008). Diseño y construcción de un concentrador lineal de Fresnel de 24 m² de área. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 12, 3.119-3.124.

ABSTRACT

A prototype of a Fresnel lineal absorber of 42m² of mirrors area was tested. The principal aim of the realized experience was to estimate different variables of functioning of the equipment to calculate its efficiency. The realized tests served also to visualize how the different elements of the equipment influence in the generation of steam as previous step for the construction of a head plant of electrical generation. The measures were taken with different steam pressures in the exit of the system. The Fresnel equipment is formed by 9 mirrors of horizontal axis of 0,8 m of width by 6 m of length each one and a linear inverted absorber who is to 6 m of height. The absorber is formed by five tubes of steel of 1 inch of diameter put in a trapezoidal mirror-like cavity that gathers the beams reflected by the mirrors. The geometric studies for the determination of the configuration of the system and the design of the absorber were carried out by programs already used in the construction of the previous prototypes of 24 m² (Saravia et al., 2008) and of 8 m² (Gea et al., 2007), which have been adapted for this use.

Keyword: Fresnel concenter, steam production, efficiency