

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONCENTRADOR LINEAL DE FRESNEL DE 24 M2 DE AREA.

L. Saravia¹, M. Gea, C. Fernández, R. Caso, D.I Hoyos, N.I Salvo y H. Suligoy
Instituto de Investigación en Energías No Convencionales (INENCO, UNSa - CONICET)
Universidad Nacional de Salta - Av. Bolivia 5150 C.P. 4400 - Salta
Tel - Fax 0387-4255489 e-mail: saravia@unsa.edu.ar

RESUMEN: Se construyó un prototipo de concentrador lineal Fresnel de 24 m² de área de espejos con el fin de ensayar sus elementos como paso previo para la construcción de una central de generación eléctrica. El sistema está formado por 8 espejos de eje horizontal de 0,5 m de ancho por 6 m de largo cada uno y un absorbedor con un espejo secundario a 4 m de altura. El absorbedor está formado por dos caños de acero inoxidable de 5 cm de diámetro cada uno rodeado por un espejo secundario que recoge los rayos solares reflejados en los 8 espejos. Los estudios geométricos para la determinación de la configuración del sistema, la curvatura de los espejos y el diseño del absorbedor se llevaron a cabo con programas ya utilizados en un prototipo previo de 8 m² (Gea y otros., 2007), los que han sido adaptados para este uso. El absorbedor ha sido colgado de un sistema de carriles que permite su traslado horizontal para recibir enteramente los rayos solares durante las distintas épocas del año. Se realizaron ensayos preliminares de producción de vapor a distintas presiones midiendo el volumen de vapor.

Palabras clave: energía solar térmica, concentrador lineal Fresnel, generación de vapor.

INTRODUCCION

El año pasado se presentó a la Reunión de Trabajo de la ASADES (Gea et al, 2007) un trabajo en el que se describía la construcción de un concentrador de Fresnel Lineal de 8 m² de área de espejo y los primeros ensayos del mismo. En el mes de noviembre del 2007 este concentrador fue destruido por una fuerte tormenta de granizo. Se decidió construir una nueva unidad en vez de recuperar la mencionada, donde se colocarían elementos de otro diseño, correspondiente al que se usaría en un sistema de mayor tamaño destinado a la producción de energía eléctrica. El nuevo concentrador ha sido construido en el primer semestre del 2008 y se han podido realizar con el mismo los primeros ensayos de funcionamiento y la medida de producción de vapor de agua.

En el trabajo anterior se han explicado los antecedentes relacionados con los Concentradores Lineales de Fresnel (CLF), así como sus posibles ventajas respecto a otros tipos de concentradores, por lo que no se repiten aquí.

La empresa ENARSA ha manifestado su interés por la construcción de un prototipo de características comerciales a una escala mayor, con capacidad para la generación eléctrica conectable a la red nacional, razón por la cual se ha decidido que el prototipo que aquí se presenta use elementos de tamaño similar a los que se instalaría en un equipo de área grande.

La figura 1 muestra una fotografía del equipo ya instalado. En las secciones que siguen se detallará el diseño del mismo, su construcción y los primeros ensayos que se han realizado con el mismo.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO.

La figura 2 muestra un esquema en planta del equipo construido.

Una primer diferencia con el anterior es el uso de espejos de 6 m de largo y 0,5 m de ancho, lo que constituye el elemento básico del concentrador a mayor escala. Se colocan 8 de ellos a igual que en el caso anterior.

En la figura 2 se muestra la colocación del absorbedor. La mancha luminosa producida por los espejos se corre a lo largo de las estaciones, de manera que en el verano se encuentra a la altura de los espejos, mientras que en pleno invierno llega a estar corrida unos 3 metros hacia el sur. En una central que usa líneas de 50 o mas metros de largo, el efecto del corrimiento es mínimo, pero en este prototipo de corta longitud tienen un efecto importante. En el equipo anterior ello obligaba a correr el absorbedor a lo largo del año para lo cual se movía toda la estructura. Aquí se decidió armar una estructura alargada hacia el sur y el absorbedor se ha montado sobre rieles que permiten su corrimiento, lo que se puede hacer en unos pocos minutos. Se aprecia en la fig 1 que se han construido unos arcos para colgar el absorbedor, utilizando poleas que permiten subir desde el suelo a la estructura y bajarla con facilidad cuando se necesitan realizar cambios.



Fig. 1.- Vista general del concentrador Fresnel Lineal de 24 m2

El absorbedor anterior estaba constituido por 3 caños de acero inoxidable de 2,5 cm de diametro cada uno, por lo que se disponía de una superficie de 7,5 cm para la absorción directa de los haces solares que llegan. El resto de la radiación debe reflejarse en el espejo secundario y volver a los caños del absorbedor. Esto redunda en una baja de eficiencia ya que se pierde energía en la reflexión adicional. En el nuevo absorbedor, que se ve en la fig. 3, se colocaron dos caños de 5 cm cada uno, por lo que la superficie directamente expuesta tiene un ancho algo mayor, de 10 cm.

El espejo secundario debe ser dimensionado para que refleje hacia los caños todos los haces solares que llegan dentro de un ángulo de alrededor de 45 grados determinado por la altura de 4 metros y el ancho que ocupan los espejos. Es fácil apreciar si el espejo funciona correctamente ya que se deben ver los caños negros desde cualquier posición debajo del absorbedor en el ángulo mencionado. En el equipo anterior se notaban algunas zonas en que se veía el espejo, lo que indica que la superficie del espejo tenía algunos defectos. Se ha cuidado más el diseño del nuevo espejo, el que no muestra ningún problema, asegurando la absorción total en el absorbedor. Ese diseño se realiza gráficamente utilizando el programa Cabri II plus y trazando los rayos que llegan desde los diversos ángulos. La superficie del espejo se va dibujando en pequeños segmentos desde la posición más alejada hacia el interior. Este es un proceso laborioso pero se obtienen buenos resultados. Los perfiles obtenidos se cortan en madera y se va colocando cada 50 cm sostenidos por la estructura metálica del absorbedor. Esta estructura deja lugar para la colocación del aislante térmico de alta temperatura que se coloca por fuera del espejo para evitar la pérdida del calor desde los caños del absorbedor hacia arriba. Toda la estructura se cubre con chapa galvanizada como se muestra en la figura 3.

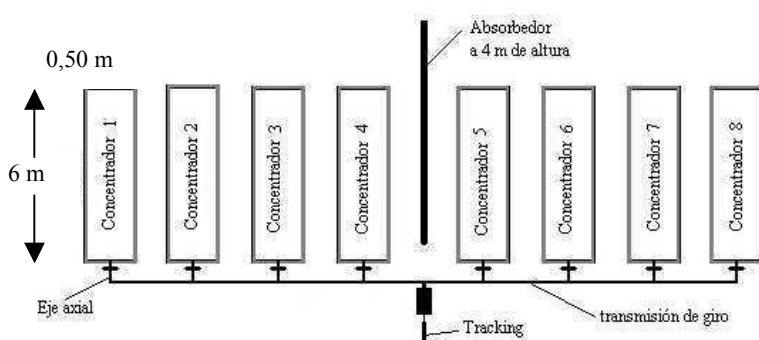


Fig. 2.- Esquema de la planta del concentrador con 8 espejos

La figura 4 muestra la estructura utilizada en los espejos para evitar deformaciones de los mismos cuando van girando a lo largo del día, evitando que los rayos reflejados dejen de llegar al absorbedor.

Las figuras 5 y 6 muestran el funcionamiento del espejo secundario del absorbedor para los rayos solares que llegan desde distintos ángulos. Allí se ven en azul los dos caños que forman el absorbedor propiamente dicho, en verde la mitad del espejo secundario, en rojo los rayos solares que llegan al espejo secundario y en azul los rayos reflejados una o dos veces para que que incidan sobre los caños y sean absorbidos. Se aprecia que para distintos ángulos el conjunto absorbedor-espejo secundario trabaja eficazmente permitiendo la absorción de todos los rayos reflejados en los espejos primarios.

Se espera que el sistema pueda generar vapor sobrecalentado de hasta unos 300 C, produciendo en una primer etapa vapor saturado a unos 250 C para luego llevar ese vapor hasta los 300 C en estado sobrecalentado. Para eso será necesario generar vapor a presiones en el orden de los 30 a 40 kg/cm². Ello implica en primer lugar el uso de cañerías de acero que soporten esas presiones, similares a las usadas en las calderas tradicionales calentadas con combustibles tradicionales. Por otro lado será necesario inyectar el agua líquida fría a esas presiones para que luego pase por los caños del absorbedor levantando temperatura. Con ese fin se utiliza una bomba de alta presión con émbolos de bajo flujo y alta presión.



Fig. 3.- Muestra el espejo secundario y el absorbedor, que aún no está colocado en su posición final.



Fig. 4.- Muestra aspectos constructivos de los espejos..

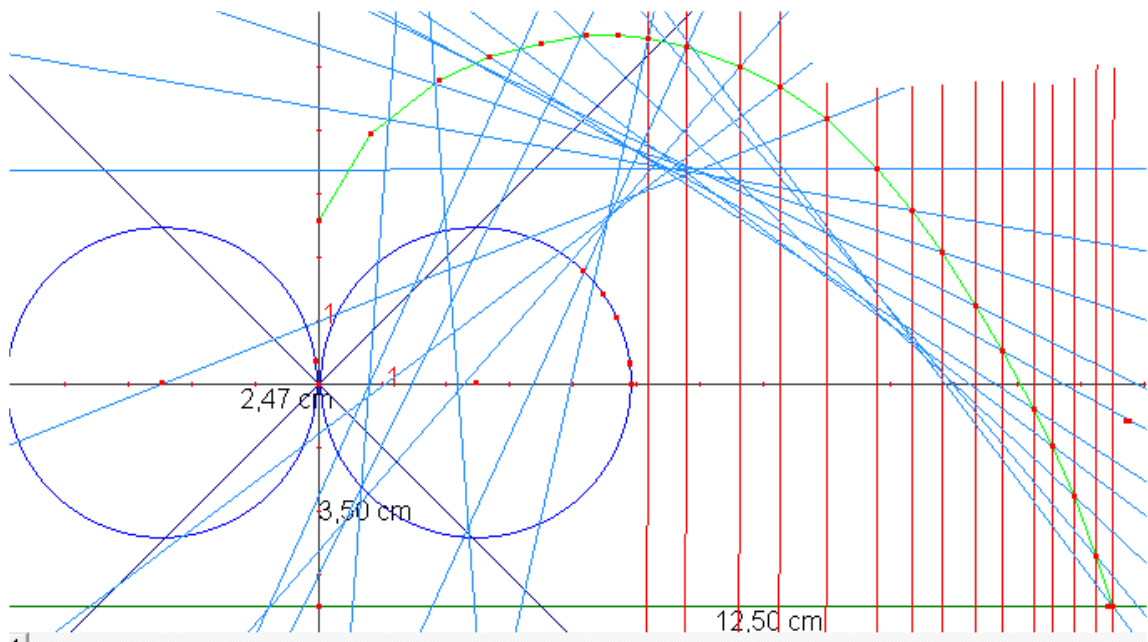


Fig. 5.- Muestra los dos caños del absorbedor, el espejo secundario y los rayos solares que llegan verticalmente y se reflejan en el espejo secundario incidiendo sobre los dos caños.

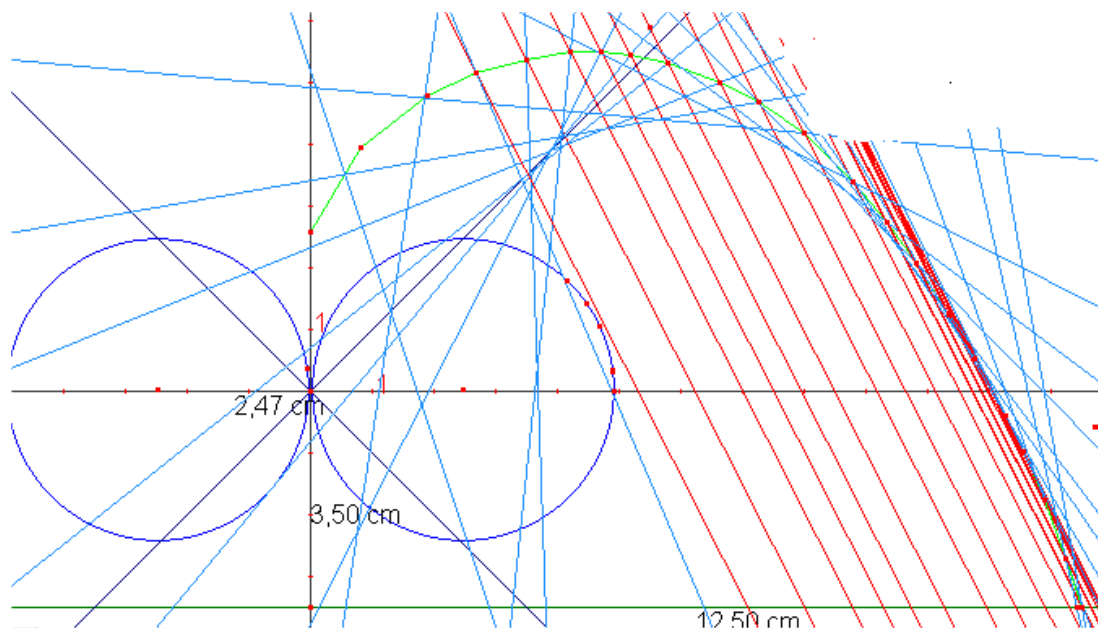


Fig. 6.- Muestra los dos caños del absorbedor, el espejo secundario y los rayos solares que llegan inclinados y se reflejan en el espejo secundario incidiendo sobre los dos caños.

El flujo de agua que circula debe ser regulado, pudiéndose obtener vapor seco a la salida si el agua es totalmente evaporada y recalentada o conseguir una mezcla de agua líquida y vapor saturado. Se coloca en la salida de vapor un tanque separador de agua líquida y vapor similar al usado en el trabajo anterior. Se muestra en la figura 7.

El movimiento de seguimiento solar por parte de los espejos se realiza mediante un motor de continua con una caja de engranajes que lleva la velocidad de giro a 7,5 grados por hora, la mitad de la velocidad de rotación del sol. Un sensor que detecta la llegada de la radiación a la altura del absorbedor regula el funcionamiento para lograr que los espejos iluminen constantemente al absorbedor. Los espejos están unidos mediante un conjunto de varilla y brazos para que todos sean regulados por un único seguidor.

LA INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA.

Con el fin de ensayar el concentrador se están instalando la instrumentación que se detalla a continuación. La figura 8 muestra un esquema de la ubicación de los sensores en el equipo.

- 1) Un sistema de adquisición de datos de 12 canales marca Digi-sense que funciona en formas autónoma almacenando los datos en una memoria interna a la que se tiene acceso mediante una entrada serial para enviar los datos a una computadora. Se instalan termocuplas de cromel-alumel para medir las temperaturas del agua a lo largo del absorbedor.
- 2) Un medidor de presión digital con salida de voltaje para medir la presión en el absorbedor. Se coloca entre la bomba de agua y la entrada del absorbedor para que trabaje a baja temperatura.
- 3) Un flotámetro marca Schillig para medir el flujo de agua colocado antes de la bomba para que no sea sometido a alta presión
- 4) Un medidor de radiación solar incidente marca Kipp y Zonen.
- 5) Un condensador de flujo de vapor generado que permite recoger el mismo y medir su producción por pesada directa.

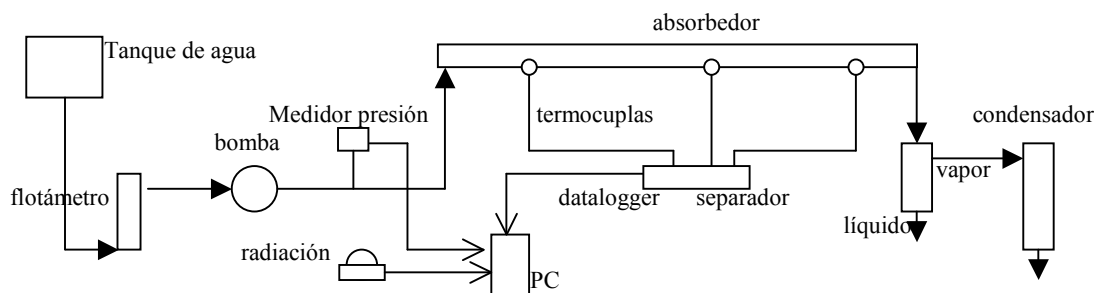


Fig. 8.- Esquema del circuito de agua y colocación de instrumentación.



Fig. 7.-Muestra el separador de vapor junto con el condensador de vapor

ENSAYO PRELIMINAR DEL EQUIPO

Durante el mes de agosto del 2008, disponiendo ya de la bomba de alimentación de agua a presión, se realizaron algunos ensayos preliminares en días despejados con buena radiación. El equipo está instalado en el campo de ensayo del INENCO, ubicado en la ciudad Salta Capital.

La medida más importante es la producción horaria de vapor, ya que ella determina el grado de aprovechamiento de la radiación solar incidente sobre los espejos. Para ellos se instaló un condensador de vapor de vidrio con una hélice de tubo de vidrio por donde pasa el vapor. La hélice está sumergida en un baño de agua fría en circulación, la que enfría al vapor condensándolo, según se muestra en la figura 7.

Una estimación de la cantidad esperada de vapor se puede hacer estimado los parámetros ópticos y térmicos del sistema. Si se supone:

Flujo de radiación solar incidente en los espejos: 600 W/m²,

Reflexión del espejo primario: 85% ,

Reflexión del espejo secundario: 86%,

Absorción del absorbedor: 95%,

Pérdidas térmicas del absorbedor: 30 %,

Se tiene una eficiencia total de obtención de calor disponible para el agua

que recorre el absorbedor de 48 %.

Si se supone que se genera vapor de agua a una presión absoluta de 1.2 bars, a la cual corresponde una temperatura de saturación de 120 C. Se necesitan 2400 kJ/kg de calor para producir la evaporación y 340 kJ/kg para levantar la temperatura del agua líquida hasta la ebullición, dando un total de 2770 kJ/kg.

Se ha estimado el flujo de radiación de 600 W/m² teniendo en cuenta que la radiación útil es la directa y que en agosto el sol está inclinado respecto a la ubicación cuasi horizontal de los espejos al mediodía solar. Si el equipo tiene 24 m² y recibe 600 W/m² la llegada horaria de radiación es de 29030 kJ. Dividiendo por los 2770 KJ/kg se obtiene el flujo horario de vapor, lo que da 8.8 kg/hora.

Se realizaron medidas de producción de vapor a mediodía con una presión y temperatura medidas de 1.2 bars y 120 C, dando un valor de 7.5 kg/hora, lo que puede considerarse como razonable teniendo en cuenta el carácter estimado de los valores considerados para el cálculo teórico. La puesta en marcha del equipo es rápida una vez que se conoce bien el flujo de agua a inyectar por parte de la bomba. En unos pocos minutos el sistema está produciendo vapor.

Como una prueba demostrativa se ha ensayado la generación de energía mecánica a una presión relativamente baja utilizando un pequeño motor de aire de paletas que se ha importado, utilizado en los circuitos de aire a presión para generar energía mecánica para distintos usos industriales. El motor tiene una producción indicada en catálogo de 0.4 HP con una presión máxima de 8 bars. Este motor está diseñado para funcionar sin aceite y soporta una temperatura de 120 C.

Disponiendo de la bomba para obtener agua a presión se pudo levantar la presión de producción de vapor. Algunas de las cañerías utilizadas por el momento tienen indicadas un valor límite de uso de 7 bars, por lo que se levantó la presión de trabajo a 6 bars, lo que correspondió a una temperatura medida de 140 C.

Al inyectar el vapor en la entrada de aire del motor este arrancó sin problemas y funcionó correctamente a una buena velocidad con una potencia aparente razonable. No se dispone aún de un banco para la medida de potencia mecánica por lo que no se puede dar un valor cuantitativo. Esta es la primera vez que se genera energía mecánica por vía solar térmica en nuestro laboratorio.

Como un ensayo cualitativo se puede ensayar el almacenamiento de agua líquida encerrada y saturada en un recipiente a alta temperatura. Si se abre una llave se produce un flash por la caída de presión dando un abundante flujo de vapor a una presión algo menor que la de almacenamiento.

En el generador se encuentran unos 20 kg de agua almacenados en los dos tubos absorbedores. Si se cierra la válvula de salida y se ilumina el absorbedor, funcionando la bomba de presión, se inicia un aumento de temperatura con el correspondiente aumento de presión. Luego de unos minutos la presión llega a los 6 bars programados. Cuando se abre la válvula se produce una muy abundante salida de vapor. Esta prueba muestra las posibilidades reales del almacenamiento de calor utilizando agua líquida caliente a presión y temperaturas cercanas a las del cambio de fase .

CONCLUSIONES

Las medias preliminares muestran que el equipo está funcionando en forma satisfactoria. La concentración solar obtenida con los espejos ligeramente deformados da lugar a una mancha de luz sobre el absorbedor que es tomada bien por el mismo, sin pérdidas mayores. El espejo secundario funciona correctamente, pudiéndose constatar por observación directa viendo que la boca del mismo se ve negra para los ángulos cubiertos por los espejos, lo que implica que los rayos que entran llegan al absorbedor negro.

La puesta en marcha es rápida aunque es necesario regular correctamente el flujo de agua para que funcione en el punto correcto. El flotámetro es importante para lograr el punto de funcionamiento adecuado. Este control es bastante celoso. Si el flujo es un poco alto el absorbedor se inunda y produce poco vapor. Si el flujo es bajo se pasa a la producción de vapor sobrecalentado. Para el funcionamiento automático del equipo será necesario colocar un regulador automático que vaya variando la entrada de agua a medida que varíe la radiación a lo largo del día.

Por el momento las cañerías del absorbedor no van a soportar presiones muy altas, por lo que será necesario instalar caños de alta presión para probar el funcionamiento con mayores presiones.

La disponibilidad de cantidades mayores de vapor que en el caso del primer prototipo permite encarar otros ensayos. Se está construyendo un acumulador de calor en hormigón que permitiría el abastecimiento nocturno. También se realizarán ensayo de producción de agua destilada con un sistema de evaporación múltiple que mejora sensiblemente la producción de agua destilada. El mismo trabajará con temperaturas de entrada mayores que lo que era posible con anterioridad.

Se comenzará a corto plazo a construir una etapa adicional con otros 24 m² de colección donde se utilizarán espejos y absorbedores con algunas variaciones de diseño que procuran bajar costos y mejorar algunos aspectos del diseño de acuerdo a los resultados de los ensayos.

Cabe indicar que además del potencial de este equipo para la generación de electricidad, puede ser de mucha utilidad en la producción industrial, estando en discusión su uso en algunos requerimientos de interés para la región.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con fondos del CONICET y de un Proyecto Especial de la SECYT.

REFERENCIAS

- Cabri II Plus PC, version 1.2.5. Copyright Cabrilog, 2002, 2003.
- Gea M., Saravia L., Fernández C., Caso R., y Echazú R., (2007), *Concentrador Lineal de Fresnel para la Generación de Vapor de Agua, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, ASADES, ISSN 0329-5184, Vol 11, pag. 03-83.
- Häberle A., Zahler C., de Lalaing J., Ven J., Sureda J., Graf W., Lerchenmüller H., Wittwer V. (2001) *The Solarmundo Project. Advanced Technology for Solar Thermal Power Generation*. Solar World Congress, International Solar Energy Society Conference, Adelaide, Australia.
- Mills D., Morrison G., (2000). *Compact Linear Fresnel Reflector Solar Thermal Power Plants*. Solar Energy Vol. 68, No.3, pp. 263 - 283.
- Mills D. (2004). *Advances in Solar Thermal Electricity Technology*. Solar Energy Vol. 76, pp. 19-31.
- Welford W. T. & Winston R. (1989), *High Collection Nonimaging Optics*. Academic Press Inc., USA.

ABSTRACT

A linear Fresnel reflector prototype of 24 m² for direct steam generation was built. The system has 8 mirrors of horizontal axis 6m long and 0.5 m wide and an absorber with a secondary concentrator that is 4 m high above floor level. The absorber uses 2 stainless steel pipes with a 0.05 m diameter each. Geometric studies for the configuration of the system, the mirrors curvature and the absorber design were made. A method of mirror subsection that allows to generate the curvature adapted for each reflector was developed. Preliminary tests for the determination of the produced thermal energy were made. An important experience was acquired for the development of a larger system.

Keywords: thermal solar energy, linear Fresnel reflector, steam generation