

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y UTILIZACIÓN DE UN CONCENTRADOR SOLAR TIPO FRESNEL LINEAL PARA DESALINIZACIÓN

Erich Saettone O. – esaetton@correo.ulima.edu.pe

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería de Sistemas, Instituto de Investigación Científica (IDIC)

Resumen. Se presentan los cálculos teóricos que permitieron el diseño y la construcción de un concentrador solar tipo Fresnel lineal (CFL) orientado a lo largo de la dirección Este – Oeste. En base a estos cálculos geométricos se determina que la eficiencia del equipo depende de la altura del recipiente absorbedor de calor (evaporador) respecto al plano donde se encuentran los espejos.

El equipo consta de 32 espejos, cada uno con 2,5 m de largo por 0,07 m de ancho, cubriéndose un total de 5,6 m². El evaporador está suspendido a una altura de 2,5 m respecto al plano de los espejos, tiene 1m de longitud, es de aluminio anodizado negro con una cubierta térmica y vidrios laterales para disminuir las pérdidas de calor al ambiente. El vapor producido es enfriado en un intercambiador de calor (serpentín de cobre) de tamaño suficiente para condensar el vapor sin necesidad de ventilación forzada.

Las pruebas experimentales se realizaron en Cocayalta (Provincia de Canta, distrito de Santa Rosa de Quives, a 48 km de Lima), donde la radiación solar es medianamente intensa (entre 700 W/m² y 800 W/m² aproximadamente). Pruebas preliminares permitieron producir 3,15 x 10⁻³ m³ (3,15 litros) de agua destilada, a pesar de haber recibido una energía de solo 12 MJ/m² (3,33 kW-h/m²) durante 5 horas de operación.

Palabras-clave: Energía solar, Concentrador Fresnel lineal, Desalinización de agua marina.

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos 30 años se están investigando y desarrollando fuentes alternativas de generación de electricidad con energía solar. Además de los paneles solares fotovoltaicos, cuyo principio de funcionamiento está basado en la interacción de la radiación solar con material semiconductor, existen otros dispositivos que concentran el calor propagado a través de la radiación infrarroja proveniente del Sol, de tal forma que se logran alcanzar altas temperaturas en regiones geométricas reducidas. La concentración de esta radiación se consigue con superficies reflectoras, cuyas geometrías pueden ser variadas, entre ellas, el paraboloide de revolución, cilíndrico parabólico o simplemente planas. En todos los casos se aprovecha la alta temperatura obtenida para diversas aplicaciones, por ejemplo generar vapor de agua que permite accionar generadores eléctricos, o también la obtención de agua caliente, o desalinización de agua marina, entre otros.

Hasta hoy se han desarrollado prototipos para este fin, muchos de los cuales ya se utilizan en grandes plantas de generación de electricidad, tal es el caso de los campos solares cilíndrico parabólicos, las torres solares, las chimeneas solares, los campos solares de tipo Fresnel lineal, entre otros. De este conjunto, solo los CCP y los CFL permiten focalizar linealmente la radiación solar, con la ventaja que es posible prescindir de un sistema electromecánico de seguimiento solar si el equipo es alineado en la orientación Este – Oeste.

Mientras que el CCP tiene una mayor eficiencia óptica debido a que se alinea “observando” directamente al Sol, el CFL no tiene esta capacidad, sin embargo compensa esta deficiencia con su menor costo operativo y de mantenimiento. En efecto, se ha demostrado que para generar la misma potencia eléctrica, una planta con CFL costaría 55% menos que una con CCP, a pesar que un campo solar de CFL necesita cubrir un área 36% mayor que uno de CCP (Morin, 2012). La diferencia radica en la geometría de las superficies reflectoras: el CCP necesita grandes espejos curvos de perfil parabólico, tecnológicamente difícil y caro de construir y mantener, además de estar soportados por grandes estructuras mecánicas y móviles; sin embargo el CFL utiliza espejos pequeños y planos instalados sobre una superficie plana (Fig.1).

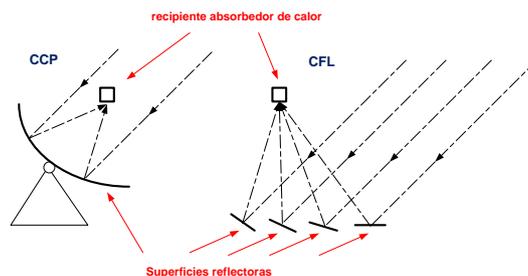


Figura 1 – A la izquierda se muestra en el esquema de un CCP. A la derecha el correspondiente a un CFL. Las líneas discontinuas indican la dirección de la radiación solar incidente y la reflejada sobre el recipiente absorbedor de calor.

Otro aspecto importante es la eficiencia óptica y térmica anual promedio. Para un CCP, la eficiencia óptica está alrededor del 58% y la térmica en un 85%. Ya para un CFL estas eficiencias son de 43% y 76%, respectivamente. La eficiencia global anual de una planta generadora de electricidad con CCP está en 15%, mientras que una con CFL solo alcanza el 9,3% (Morin, 2012).

Actualmente el concentrador tipo Fresnel lineal (CFL) es menos popular que el de tipo cilíndrico parabólico (CCP) para aplicaciones como la generación de electricidad, debido principalmente a que este último ha sido desarrollado en las décadas de los 80's y 90's, teniendo como resultado el exitoso proyecto de generación eléctrica en el desierto de Mojave (California) con más de 350MW, donde actualmente ya se encuentran aprobados proyectos que generarán más de 4200MW, y aún en espera proyectos que sumarán 1500MW adicionales, mientras que los CFL recién están siendo desarrollados desde la década de los 90's (Mathur, 1991).

Sin embargo, los CFL presentan importantes ventajas frente a los CCP, debido principalmente al diseño y la geometría, ya que el absorbedor de calor (evaporador) no gira junto con los concentradores, evitando así el uso de uniones móviles por donde circule el líquido caliente, lo que lo hace más atractivo para la construcción de plantas generadoras de electricidad (Velázquez, 2010). Además, también es importante mencionar que el mantenimiento y limpieza de las superficies reflectoras es más sencillo y económico. A pesar, de estas ventajas, la principal desventaja es su menor eficiencia en la concentración de la radiación solar, ya que la intensidad de la radiación reflejada es disminuida por un factor llamado "área efectiva", que depende del coseno del ángulo de incidencia sobre la superficie, hecho que no ocurre en los CCP (Najla, 2011).

Por este motivo, algunas modificaciones a la geometría original de los CFL se han incorporado para mejorar su eficiencia óptica, como por ejemplo la forma del espejo, la separación que deben tener, la orientación, entre otros. Por ejemplo se demuestra que la eficiencia óptica mejora fuertemente si se utilizan espejos de superficie reflectora curva, sea esférica o parabólica (Abbas, 2012).

Actualmente existen empresas europeas y estadounidenses que han desarrollado sistemas CFL para generación de electricidad, aún en estado experimental, en España y Australia, las que están sirviendo para demostrar que estos sistemas serán más económicos que las actuales instalaciones de CCP utilizadas en las plantas generadoras de electricidad, las cuales ya cumplen 25 años de experiencia comercial. La tecnología con campos solares de CFL aún no son comerciales, sin embargo ya demostraron tener las siguientes ventajas:

1. El campo solar de un CFL es más fácil de limpiar, e inclusive de reemplazar en caso de fallas.
2. Al no requerirse de uniones móviles para el transporte del vapor a alta temperatura, existen menor pérdida de presión de la misma.
3. Menor cantidad de personal para el mantenimiento y limpieza del campo solar del CFL.
4. Estructuras más ligeras y cimientos de dimensiones menores.

Una desventaja de alinear Norte – Sur un CFL es la pérdida de eficiencia óptica entre espejos adyacentes para ángulos acimutales grandes, lo que ocurre en las primeras y últimas horas del día.

Por otro lado, un equipo para desalinización requiere, como mínimo, de tres partes principales: (i) superficie reflectora, (ii) recipiente absorbedor de calor y, (iii) sistema hidráulico e intercambiador de calor.

El diseño de un CFL debe tener en cuenta varios aspectos que permitan reducir las pérdidas por la eficiencia óptica, para lo cual se deben minimizar los siguientes efectos:

- (i) La incidencia de la radiación solar no es perpendicular a los espejos (efecto del área efectiva).
- (ii) El tamaño de los espejos debe ser tal que la radiación solar reflejada no exceda el tamaño del recipiente absorbedor de calor (efecto de dispersión).
- (iii) La distancia de separación entre espejos adyacentes debe ser la mínima para que no obstruyan la radiación reflejada. Si la separación es mayor, el área por cubrir con espejos aumentaría y, como se demuestra más adelante, el tamaño del espejo debería disminuir, aumentando su número considerablemente (efecto de traslape).

Teniendo en cuenta estos tres efectos, se puede tener un criterio claro de las dimensiones que debe tener el CFL para la etapa de su diseño. Para estudiarlos, antes es necesario encontrar las relaciones angulares entre las radiaciones incidente y reflejada, con los aspectos de la geometría del equipo, en función del ángulo de incidencia solar.

2. GEOMETRÍA DEL CFL

El CFL está formado por un conjunto de espejos que se encuentran orientados paralelos a la dirección Este – Oeste, con lo cual se tiene que un ángulo de incidencia de la radiación solar constante a lo largo del día, por lo tanto es necesario orientar cada espejo solo una vez diariamente. Para poder dimensionar el equipo, es necesario calcular algunas relaciones angulares, a partir de las cuales serán posibles obtener criterios que permitan diseñar el equipo.

En la Fig. 2 se pueden observar los ángulos formados entre AC y DC (reflejado) y, BC y DC (incidente), donde se ha utilizado la siguiente nomenclatura:

- α : ángulo de incidencia solar, se mantiene constante a lo largo del día.
- β : ángulo que depende de la altura y distancia del evaporador respecto al espejo.
- γ : ángulo de inclinación del espejo respecto a la horizontal.
- $\beta+2\gamma$: ángulo de elevación solar.
- θ : ángulo de reflexión.

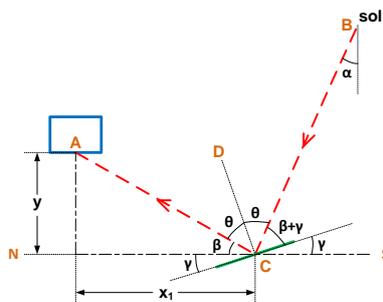


Figura 2 – Esquema que representa el trayecto de la radiación solar (línea roja) cuando es reflejada sobre un espejo plano (línea verde) en el lado sur del evaporador, para acabar incidiendo sobre la base del mismo (rectángulo celeste).

De esta figura, se cumple:

$$\gamma = \frac{90^\circ - \beta + \alpha}{2} \tag{1}$$

Un valor positivo de γ significa que el espejo ha sido girado en sentido anti horario respecto a la horizontal, y negativo indica giro horario. Además, el ángulo de incidencia solar (α) es con el que incide la radiación solar respecto a la dirección vertical, el cual es constante durante todo el día. Este ángulo depende del ángulo de inclinación de la Tierra respecto al plano de su órbita (δ), y de latitud de la localidad (φ), y se calcula a partir de $\alpha = \delta + \varphi$. Siendo la latitud de Lima $\varphi \approx -12^\circ$, se tiene que α varía entre $-35,45^\circ$ y $11,45^\circ$. En este caso α negativo significa una trayectoria solar inclinada hacia el norte respecto a Lima, y α positivo inclinada hacia el sur (Fig. 3).

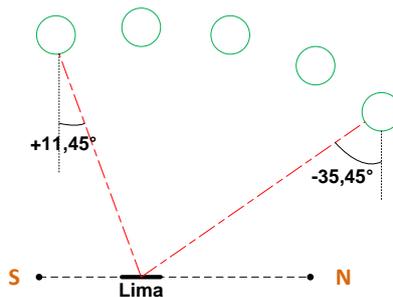


Figura 3 – Representación esquemática de la posición del Sol a lo largo del año desde el punto de vista de un observador en Lima. La dirección del Este hacia el Oeste es perpendicular al papel. La inclinación máxima hacia el norte ($-35,45^\circ$) sucederá este año el 20 de junio, y la máxima hacia el sur ($+11,45^\circ$) el 21 de diciembre.

A partir de las relaciones angulares encontradas, es posible estudiar los efectos de área efectiva, dispersión y traslape para diseñar el equipo CFL.

3. EFECTO DEL ÁREA EFECTIVA

El área efectiva es un efecto que se traduce en una disminución de la intensidad de la radiación solar cuando ésta no incide perpendicularmente sobre una superficie. Este efecto se esquematiza en la Fig. 4.

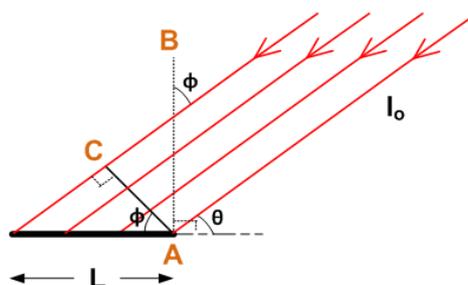


Figura 4 – Esquema que muestra el efecto del “área efectiva”.

La intensidad de radiación solar que incide sobre la superficie cuando el ángulo de elevación es θ , disminuye en $I = I_0 \text{Sen } \theta$. En el caso de un CFL, es importante tener en cuenta este efecto pues durante casi todo el año, la incidencia solar sobre los espejos no es perpendicular.

4. EFECTO DE DISPERSIÓN

Debido a la reflexión, la radiación solar reflejada por el espejo plano cubrirá un área mayor que la incidente proveniente del Sol. En el esquema mostrado en la Fig. 5, se puede entender este efecto. Nótese que si el ancho del espejo es L , que está inclinado un ángulo γ respecto al piso, el haz reflejado proveniente del Sol, cubrirá la base del evaporador con un ancho mayor x' , como si la radiación se hubiese dispersado por la reflexión. Por este motivo, es necesario calcular el ancho del espejo L para todo ángulo de incidencia solar, considerando que su reflejo (x') no exceda los 0,08 m de ancho que tiene la base del evaporador que se utilizará en el equipo.

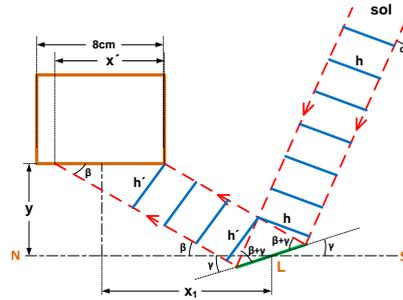


Figura 5 – Esquema de la reflexión solar considerando un espejo de longitud “L”, para mostrar el efecto que causa la dispersión de la radiación solar sobre la base del evaporador de 0,08 m de ancho (rectángulo anaranjado). Los “frentes de onda” (líneas azules) son siempre perpendiculares a la radiación solar (limitado por las líneas rojas).

De esta figura se pueden deducir relaciones geométricas que permiten obtener la expresión para calcular la distancia x' de la radiación dispersada:

$$x' = L \frac{\text{Sen} \left[45^\circ + \left(\frac{\beta - \alpha}{2} \right) \right]}{\text{Sen}(\beta)} \quad (2)$$

cuya expresión depende únicamente de los ángulos de incidencia solar α y de las distancias de cada espejo respecto al evaporador (nótese que β solo depende de la altura del evaporador y la distancia del espejo). Con esta expresión es posible estimar el valor máximo que puede tener el ancho de cada espejo (durante todo el año en Lima) para diferentes distancias del espejo respecto al evaporador. Para una altura del evaporador de 2,5 m, el valor calculado es de 0,07 m. La ventaja de este análisis es que permite minimizar el número de espejos que deben ser instalados, lo que implica también disminuir la cantidad de material y reducir costos.

Por otro lado, se puede definir como “rendimiento óptico” a la pérdida de energía debido al efecto de la dispersión que produce cada espejo del CFL, expresado en %, el cual puede calcularse por:

$$\eta = \frac{h'}{x'} (100\%) \quad (3)$$

Utilizando las relaciones geométricas de la Fig. 5, se obtiene la siguiente expresión para el rendimiento óptico:

$$\eta = 100 \text{ Sen}(\beta) \quad (4)$$

Esta expresión depende únicamente de la posición de los espejos respecto al recipiente absorbedor de calor. Por ejemplo, si éste se encuentra a 2,5 m de altura, el rendimiento correspondiente se muestra en la Fig. 6.

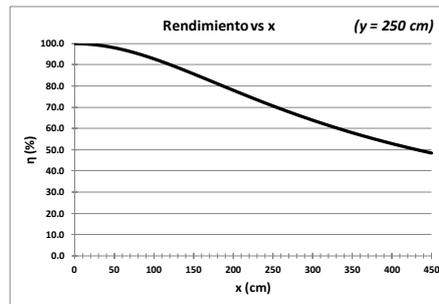


Figura 6 – Gráfica de rendimiento versus x_j (ver Fig. 5) para $y = 2,5$ m.

De la Ec. (4) es posible concluir que a mayor altura del evaporador, la pérdida por dispersión disminuye, lo cual refuerza el criterio que se debe diseñar el equipo con un evaporador que se encuentre a la mayor altura posible y los espejos colocados a la menor distancia posible. Por ejemplo, si no es posible colocar el evaporador a una altura mayor de 2,5 m, la eficiencia de cada espejo estaría entre el 100% y 85% aproximadamente, para distancias entre 0 y 1,5 m, respectivamente (distancia 0 significa que el espejo está colocado exactamente debajo del evaporador). Esta es una diferencia notable frente a un evaporador colocado a una altura de 1 m, cuyas eficiencias estarían entre 100% para una distancia de 0, y 55% a la distancia de 1,5 m.

5 EFECTO DE TRASLAPE

Otro factor importante para proyectar el diseño del CFL es la distancia mínima entre los espejos, de forma que la radiación reflejada incida sobre la base del evaporador, pero a la vez no se traslapen entre ellos, es decir no obstruyan el paso de la radiación reflejada por el espejo adyacente. Este efecto se muestra en la Fig. 7.

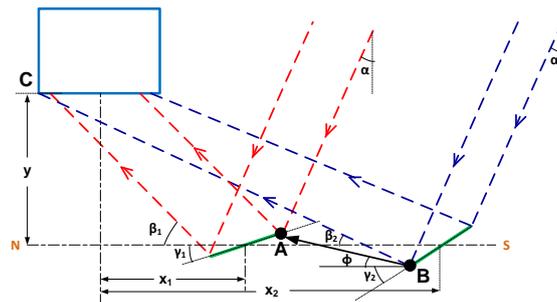


Figura 7 – Esquema que muestra la radiación reflejada por dos espejos contiguos, inclinados con ángulos γ_1 y γ_2 positivos. El vector r_{AB} es el que une los extremos más próximos entre los espejos, y ϕ es el ángulo que forma este vector respecto a la dirección horizontal.

Para cualquier ángulo de incidencia solar α en Lima, se debe verificar que ϕ siempre sea menor que β_2 , que coincide con el ángulo del haz reflejado por el espejo ubicado a una distancia x_2 . De esta forma es posible determinar la distancia de separación mínima $d = x_2 - x_1$ entre espejos contiguos a partir de la relación:

$$\phi = \arctg \left[\frac{L \overrightarrow{\text{Sen}} \gamma_1 + \overrightarrow{\text{Sen}} \gamma_2}{L \overrightarrow{\text{Cos}} \gamma_1 + \overrightarrow{\text{Cos}} \gamma_2 - 2d} \right] \quad (5)$$

Finalmente, el valor obtenido para la separación mínima, considerando $L = 0,07$ m y la altura $y = 2,5$ m, es de 0,08 m entre cada espejo.

6. CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL CFL

Se ha escogido que cada espejo debe tener una longitud de 2,5 m y un ancho de 0,07 m; por lo tanto cada espejo cubre un área de $2,5 \times 0,07 = 0,175 \text{ m}^2$, de modo que 32 de éstos cubren un área total de $5,6 \text{ m}^2$, 16 de ellos para el lado norte y 16 para el lado sur del evaporador. Además se consideró que la altura del evaporador será de 2,5m. Cada espejo se encuentra apoyado sobre las bisagras hechas de madera y tubo de PVC, colocadas a su vez sobre una estructura de madera, como se muestra en la Fig. 8.



Figura 8 – Fotografías de la estructura de madera con las bisagras que soportan los espejos (izquierda), con los 32 espejos instalados (derecha).

El evaporador es el recipiente donde se calienta el agua marina hasta lograr su ebullición. Para el evaporador se utiliza un tubo de sección rectangular de aluminio anodizado negro, de 0,08 m de ancho x 0,04 m de altura y 1 m de longitud, con dos tapas de acrílico de 0,1 m x 0,1 m x 0,025 m de espesor, uno para cada extremo, con entrada de agua en uno y salida de vapor en el otro. Las tapas de acrílico (transparente) permiten comprobar visualmente el nivel de agua dentro del evaporador. Adicionalmente, la parte superior del evaporador está aislado térmicamente con lana mineral de roca (conductividad térmica de 0,035 W/m.k a 70°C), ver Fig.9. Este recipiente se coloca a 2,5 m de altura respecto a la superficie de los espejos, suspendido por cables de acero y poleas.



Figura 9 – A la izquierda se muestra una fotografía del evaporador. A la derecha se muestra el evaporador y los espejos instalados.

El sistema hidráulico está formado por los recipientes que almacenan y controlan el nivel de agua de mar en el evaporador, así como los ductos de paso del vapor de agua obtenida. En la Fig. 10 se muestran los recipientes utilizados. El superior es el depósito principal donde se coloca el agua de mar, y el inferior es el que controla el nivel del agua en el evaporador. Además, el nivel de agua en el recipiente inferior se controla con un flotador, y debe quedar exactamente a la altura de la base del evaporador. El vapor obtenido en el evaporador circula por tubos de cobre a la intemperie, de longitud suficiente para que se enfríe hasta condensarse y obtener el agua destilada (ver Fig. 10).



Figura 10 – A la izquierda se muestra una fotografía de los recipientes utilizados, la línea punteada muestra que el nivel del agua debe coincidir con la base del evaporador. A la derecha se muestra el enfriador utilizado.

Para el correcto funcionamiento del equipo, que no cuenta con un sistema de seguimiento solar, tanto los espejos como el evaporador deben ser alineados paralelos a la trayectoria solar de Este a Oeste. Esta dirección se halla marcando las sombras a las 8:00am y a las 4:00pm (en la Fig. 11, s_1 y s_2 , respectivamente) a partir de un punto de referencia “1”. Sobre la proyección de s_1 , se prolonga una línea desde “1” hasta “2” de longitud “ L_1 ”. Sobre la

proyección de s_2 , se prolonga una línea desde “1” hasta “3” de longitud “ L_2 ”, donde se debe cumplir que $L_1 = L_2$. La línea punteada que une los puntos “2” y “3” corresponde a la dirección buscada.

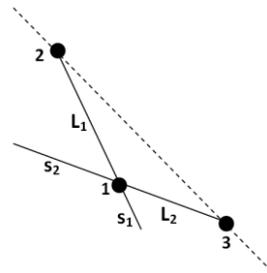


Figura 11 – La línea punteada indica la dirección Este – Oeste en que debe orientarse el CFL.

7. TRABAJO EXPERIMENTAL

Las pruebas experimentales se realizaron en la localidad de Cocayalta (Provincia de Canta, distrito de Santa Rosa de Quives, a 48 km de Lima en la carretera a Canta, 930 m.s.n.m., latitud $11^{\circ}33'44.1''$, longitud $76^{\circ}43'21.3''$, valle del río Chillón) donde hay brillo solar casi todo el año.

A continuación se presentan los resultados obtenidos el 01 de Setiembre del 2012. La temperatura ambiental se midió bajo la sombra con un termómetro de mercurio marca BOECO (graduado desde -20°C hasta $+250^{\circ}\text{C}$); la temperatura de la base del evaporador (donde se concentra la radiación solar) se midió con un pirómetro RAYTEK Minitemp; la potencia de irradiación solar se midió con un radiómetro artesanal de fotodiodo, construido y calibrado en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería; y el volumen de agua se midió con un recipiente graduado en ml.

Las gráficas mostradas en la Fig. 12 muestran las medidas experimentales tomadas el 01 de Setiembre de 2012, en la localidad de Cocayalta, durante un día con brillo solar poco intenso, viento moderado y solo 5 horas de operación, desde las 10 am hasta las 3 pm.

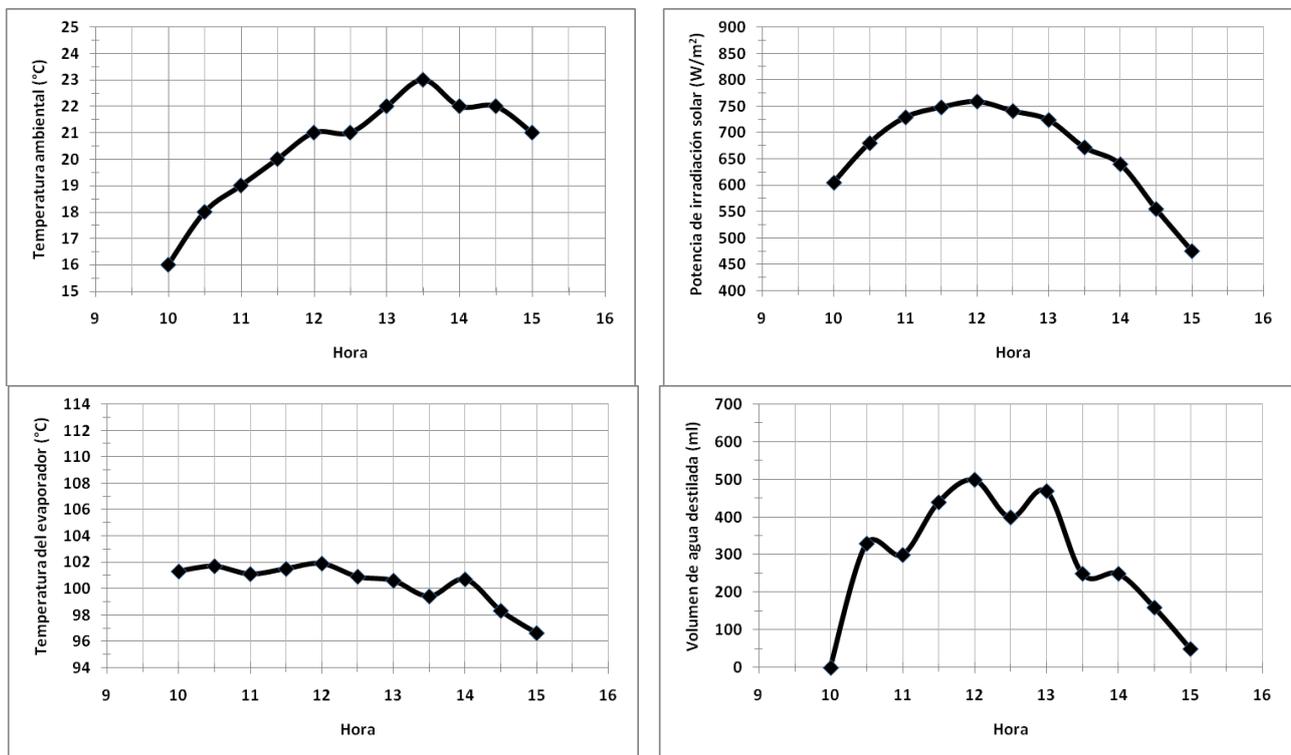


Figura 12 – Gráficas de temperatura ambiental, potencia de radiación solar, temperatura del evaporador y volumen de agua destilada obtenida, el 01 de Setiembre de 2012, en la localidad de Cocayalta.

Como resultado, al final del día se obtuvieron $3,15 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ (3,15 litros) de agua destilada, a pesar que la energía total alcanzó los 12 MJ/m^2 ($3,33 \text{ kWh/m}^2$) en solo 5 horas de operación, cantidad considerada mucho menor que la recibida en otros lugares del Perú.

8. CONCLUSIONES

Con este equipo se demuestra que también se puede desalinizar agua marina con energía solar, sin dependencia de la red eléctrica, utilizando espejos planos.

La producción alcanzada es de $3,15 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ (3,15 litros) de agua destilada diariamente, bajo una energía de 12 MJ/m^2 ($3,33 \text{ kWh/m}^2$) en 5 horas de operación, utilizando un evaporador de solo 1m de longitud.

El CFL presenta la ventaja de que solo debe ser alineado una vez al día en la dirección Este – Oeste, sin necesidad de un sistema electromecánico de seguimiento solar. Además, es muy fácil acoplar en serie varios CFL para incrementar la producción de agua destilada.

Agradecimientos

Agradezco el apoyo logístico y económico recibido del Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima, así como de los docentes y técnicos de los laboratorios de Máquinas e Instrumentos, de Manufactura Integrada por Computadora (C.I.M.), de Docimasia, y de Operaciones Unitarias, todos de la Facultad de Ingeniería Industrial, para concretar este trabajo de investigación y desarrollo tecnológico.

REFERENCIAS

- R. Abbas, M.J. Montes, M. Piera, J.M. Martínez-Val. 2012. Solar radiation concentration features in Linear Fresnel Reflector arrays, *Energy Conversion and Management*, vol. 54, pp. 133-144.
- S.S. Mathur, T.C. Kandpal, B.S. Negi. 1991. Optical design and concentration characteristics of linear Fresnel reflector solar concentrators—I. Mirror elements of varying width, *Energy Conversion and Management*, vol. 31, n. 3, pp. 205-219.
- Gabriel Morin, Jurgen Dersch, Werner Platzer, Markus Eck, Andreas Haberle. 2012. Comparison of Linear Fresnel and Parabolic Trough Collector power plants, *Solar Energy*, vol. 86, pp. 1-12.
- Najla El Gharbi, Halima Derbal, Sofiane Bouaichaoui, Noureddine Said. 2011. A comparative study between parabolic trough collector and linear Fresnel reflector technologies, *Energy Procedia*, vol. 6, pp. 565-572.
- N. Velázquez, O. García-Valladares, D. Saucedo, R. Beltrán. 2010. Numerical simulation of a Linear Fresnel Reflector Concentrator used as direct generator in a Solar-GAX cycle, *Energy Conversion and Management*, vol. 51, pp. 434-445.

DESIGN, CONSTRUCTION AND UTILIZATION A LINEAR FRESNEL CONCENTRATOR FOR DESALINATION

Abstract. *It is presented the theoretical calculation used to design and construct a linear Fresnel concentrator aligned in the West – East direction. These results also demonstrate that the optical efficiency depends on the height of the heat absorber cavity respect to the mirror plane.*

The device has 32 mirrors, each one are 2.5 m long and 0.07 m width, covering a total area of 5.6 m^2 . The cavity is made of a black aluminum rectangular tube ($0.08 \text{ m} \times 0.04 \text{ m}$), 1m long and it is sustained at 2.5 m over the mirror plane that has with a thermal insulator and wind glass protector to reduce heat loss. The vapor produced is cooled in a long copper tube as a heat exchanger without the use of any additional system.

The experimental test was performed in Cocayalta (48 km northeastern from Lima) where solar radiation was moderately intense (between 700 W/m^2 and 800 W/m^2 approximately). Preliminary results showed a production of $3.15 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ (3.15 liter) of fresh water, with only 12 MJ/m^2 (3.33 kWh/m^2) during 5 hours of operation.

Key words: *Solar energy, linear Fresnel concentrator, water sea desalination.*