

LONGITUD NO ILUMINADA DE ABSORBEDOR EN UN REFLECTOR FRESNEL LINEAL EN SAN CARLOS, SALTA

Hongn M.⁽¹⁾, Flores Larsen S.⁽²⁾, Altamirano M., Gea M., Bárcena H.
INENCO – Universidad Nacional de Salta – CONICET - Avda. Bolivia 5150, 4400 Salta, Argentina
Tel. 0387-4255424 – Fax: 0387-4255389
Email: marcoshongn@gmail.com

Recibido 15/08/14, aceptado 24/09/14

RESUMEN: En el presente trabajo se llevó a cabo un análisis geométrico tridimensional que permite estimar el desplazamiento instantáneo de los haces reflejados de luz sobre el absorbedor de un concentrador solar del tipo Fresnel lineal. Las pérdidas debidas a este efecto deben ser tenidas en cuenta en la etapa de diseño y para cálculos de eficiencia. Es por ello que se define, además de la longitud no iluminada del absorbedor (m), un factor que representa la fracción de absorbedor que permanece iluminado, ambos en términos medios diarios. Se considera el caso particular del sistema LFC instalado en la localidad de San Carlos y se evalúa la variación de estos parámetros a lo largo del año, en función de la distancia espejo – absorbedor. Para los meses de invierno la longitud sin iluminar de absorbedor puede superar los 8 metros, provocando, en promedio diario, que el 30% de la longitud del absorbedor (24 metros) no intercepte haces reflejados por el campo de espejos. Se analiza una propuesta de mejora, como alternativa para atenuar las pérdidas ópticas que afectan de manera considerable a prototipos de pequeña escala.

Palabras clave: Concentrador Fresnel Lineal, Longitud no iluminada, pérdidas ópticas.

INTRODUCCIÓN

La tecnología Fresnel Lineal de Concentración (LFC) se encamina como un método prospectivo para la concentración de radiación solar y sus aplicaciones a la generación de potencia, calor para procesos industriales y enfriamiento solar, debido a su simplicidad en diseño estructural y su costo relativamente bajo en manufactura. Un LFC consiste de tres componentes principales: el campo reflector, el absorbedor y el sistema de seguimiento solar (tracking). El principio de funcionamiento es sencillo: la radiación solar directa es reflejada por un conjunto de espejos paralelos hacia un foco lineal fijo a varios metros sobre el nivel del suelo en el cual se encuentra montado el absorbedor (Gharbi et al., 2011).

Para lograr factores de concentración mayores, usualmente los LFC poseen ángulos de apertura y receptores más grandes que los empleados en los concentradores cilindro-parabólicos (PTC), por lo que un aspecto importante a tener en cuenta en un LFC es su performance óptica. La evaluación de la eficiencia desde el punto de vista óptico involucra dos aspectos: la caracterización óptica y mecánica del LFC - incluyendo la caracterización del material reflectante (reflectancia y especularidad) y la precisión en la geometría constructiva del colector -, y la influencia de la trayectoria solar - que depende tanto de la latitud del lugar como de la época del año -. Tradicionalmente, para evaluar el desempeño óptico del colector se recurre a métodos basados en traza de rayos (Zhu, 2013). Estos métodos están volcados en software o códigos de programación generalmente comerciales y su implementación no es sencilla.

Para los sistemas de pequeña escala, un factor muy influyente en la performance óptica es la radiación directa reflejada por los espejos que no es interceptada por el receptor (Figura 1). Esta fracción de absorbedor que no se encuentra iluminada, varía continuamente dependiendo del tiempo (hora y día del año), lugar geográfico (latitud) y geometría del sistema (largo y ancho del campo de espejos, geometría del absorbedor, altura entre el plano de espejos y el absorbedor, etc.). Estas pérdidas influyen directamente en la performance óptica del sistema (Shaoxuan y Chaofeng, 2011).

Las pérdidas ópticas se caracterizan mediante dos parámetros: la distancia no iluminada L_{end} y la fracción de absorbedor iluminado f_{end} . En un trabajo previo se desarrollaron las expresiones matemáticas para la determinación de L_{end} y f_{end} (valores instantáneos, promedio diario y anual) para cualquier sistema LFC rectangular con orientación Norte-Sur y se estudió el comportamiento de sistemas emplazados a diferentes latitudes y con diferentes geometrías (Hongn et al. 2014). Cada espejo, dependiendo de su distancia de separación con respecto al eje central del equipo (D_i), influye de manera diferente en la cantidad de radiación que refleja hacia el absorbedor. Las expresiones analíticas desarrolladas son generales y se encuentran adimensionadas con respecto a la posición del espejo. Se encontró una expresión sencilla del tipo polinómica

⁽¹⁾ Becario Doctoral CONICET

⁽²⁾ Investigador Adjunto CONICET

para la estimación de la longitud no iluminada promedio anual, en función de la latitud y de las características geométricas del equipo. Esta expresión reemplaza el complicado cálculo integral (o el uso de traza de rayos) por una expresión sencilla. También se realizaron algunas medidas experimentales del prototipo LFC instalado en el campus del INENCO para aportar un marco experimental a dicho trabajo.

El objetivo del presente trabajo es estimar L_{end} y f_{end} para un prototipo LFC rectangular en la localidad de San Carlos, Salta. Una vez determinados los parámetros de pérdida por los extremos del absorbedor en términos diarios, medios mensuales y promedio anual, se propone una mejora el diseño mediante la implementación de un segmento adicional de absorbedor acoplado en el extremo “sur” del receptor. Esto implica que el sistema mejorado ya no es rectangular, por lo que las ecuaciones debieron ser reformuladas para estudiar la mejora en el factor de captación de energía debido a la nueva longitud del absorbedor. Esta propuesta fue implementada en el prototipo mencionado.

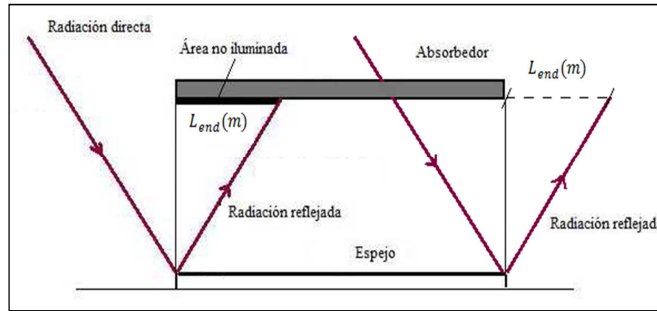


Figura 1: Esquema de la longitud no iluminada del absorbedor del LFC.

DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD NO ILUMINADA DEL ABSORBEDOR

Para la determinación de la longitud de absorbedor que no recibe radiación reflejada por el campo de espejos, en Hongn et al. (2014) se recurrió a un análisis geométrico espacial que considera la posición del sol sobre la bóveda celeste (definido en coordenadas esféricas) y la geometría constructiva del Concentrador Fresnel Lineal. Las hipótesis fueron:

- Los rayos solares incidentes son considerados paralelos.
- La reflexión sobre los espejos es de carácter especular y se estudia solamente lo ocurrido en el eje central.
- El absorbedor y el campo reflector son de la misma longitud.
- El sistema concentrador tiene orientación Norte – Sur.

Se calculó así la longitud de absorbedor no iluminada instantánea $L_{end,i}$ causada por el i -ésimo espejo, dada por la siguiente expresión (ver detalles en el trabajo mencionado):

$$L_{end,i} = \frac{(\sin \theta_z \cos \gamma_s \cos \beta_i) D_i + (\sin \theta_z \cos \gamma_s \sin \beta_i \sin \gamma_i) H}{\sin \theta_z \sin \gamma_s \cos \beta_i - \sin \beta_i \cos \theta_z \sin \gamma_i} \quad (1)$$

donde θ_z y γ_s son la altitud y azimut solar, respectivamente; β_i y γ_i son la pendiente y azimut de los espejos (calculados mediante las expresiones desarrolladas en Gea et al., 2010); D_i y H son las distancias horizontal y vertical entre el espejo y el absorbedor (ver Fig. 2). Valores de L_{end} negativos significa que los haces de luz reflejados se desplazan en dirección sur sobre el absorbedor y sobre su proyección. Por el contrario, valores positivos hacen referencia a un desplazamiento en dirección norte. La dirección en la que se desplazan los haces reflejados está definida a partir del azimut solar γ_s , donde $L_{end} < 0$ m cuando $0^\circ < |\gamma_s| < 90^\circ$ y $L_{end} > 0$ m cuando $90^\circ < |\gamma_s| < 180^\circ$. Esto para hemisferio sur, para el hemisferio norte el comportamiento es análogo pero con el signo opuesto.

También se calculó el promedio diario mensual y la fracción iluminada de absorbedor mediante la integración de la Eq. (1). Los días medios de cada mes son obtenidos de Duffie y Beckman (2006). De aquí también se siguió la convención de signos para los ángulos solares. Los valores calculados para los días mencionados representaron correctamente el comportamiento diario medio mensual para los diferentes meses.

A partir de L_{end} se definió un factor que represente el porcentaje de energía interceptada por el absorbedor f_{end} . Éste puede ser interpretado también como la fracción de absorbedor que permanece iluminada, por lo que toma valores entre 0 y 1. Estos conceptos son indistintos siempre y cuando el sistema LFC que se analiza este constituido por un absorbedor de igual longitud que el campo de espejos y ambos alineados, como ocurre generalmente.

Resulta útil definir $\bar{L}_{end,i}$ y $\bar{f}_{end,i}$ mediante una integral diaria para obtener un valor medio diario mensual (considerando los días medios), para el espejo i -ésimo. Por lo que:

$$\bar{L}_{end,i} = \frac{1}{(\omega_{max} - \omega_{min})} \int_{\omega_{min}}^{\omega_{max}} L_{end,i} d\omega \quad (2)$$

(1) Becario Doctoral CONICET

(2) Investigador Adjunto CONICET

$$\bar{f}_{\text{end},i} = 1 - \frac{1}{(\omega_{\text{max}} - \omega_{\text{min}})} \int_{\omega_{\text{min}}}^{\omega_{\text{max}}} \frac{|L_{\text{end},i}|}{L_{\text{abs}}} d\omega \quad (3)$$

Donde $(\omega_{\text{max}}, \omega_{\text{min}})$ es el intervalo de horas en el cual se quiere realizar el cálculo. Se puede considerar el intervalo desde las 8hs ($\omega = -60^\circ$) a las 16hs ($\omega = 60^\circ$) solar como un período de integración aceptable para estimar un comportamiento diario. El factor \bar{f}_{end} influye directamente en la eficiencia óptica diaria del sistema, por lo que requiere ser considerado a la hora del diseño de un LFC o cuando se evalúa el funcionamiento del mismo mediante cálculos de eficiencia.

Este factor requiere una cota en el valor 0 cuando el absorbedor no recibe radiación reflejada debido a que los haces se desplazan una distancia mayor a la longitud propia del receptor ($\bar{L}_{\text{end},i} > \bar{L}_{\text{abs}}$). Para equipos largos, aproximadamente desde 20 m de longitud, esta cota no es alcanzada por lo que no sería necesaria la definición un condicional dentro de la integral.

ANÁLISIS Y RESULTADOS PARA UN LFC INSTALADO EN LA LOCALIDAD DE SAN CARLOS – SALTA

En la localidad de San Carlos, Salta ($\phi = -25.89^\circ$), está finalizando la segunda etapa de la construcción de un LFC, con 173 m² de área de espejos. Se analizarán, por lo tanto, el factor $\bar{f}_{\text{end},i}$ y los valores de $\bar{L}_{\text{end},i}$ para este equipo en particular.

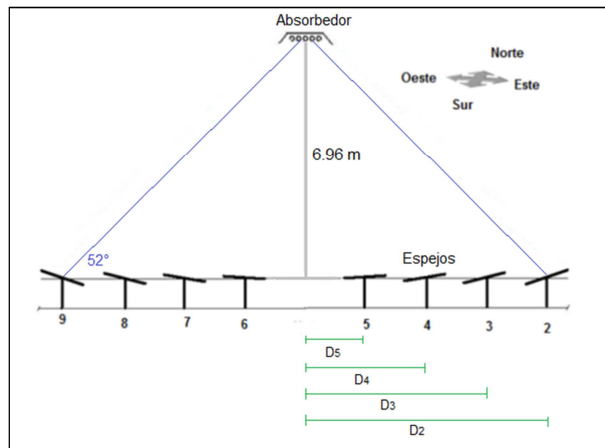


Figura 2: Esquema prototipo LFC instalado en San Carlos

Las características geométricas – constructivas se especifican a continuación:

- Altura del absorbedor sobre nivel de espejos: 6.96 m
- Tipo de cavidad del receptor: Trapezoidal
- N° de filas de espejos: 8
- Área individual de espejos: 0.9 m x 24 m
- Altura de espejos sobre el nivel del suelo: 1 m
- Distancia entre eje central y espejos: variable
- Orientación eje principal: Norte – Sur

Cálculo de la longitud no iluminada instantánea

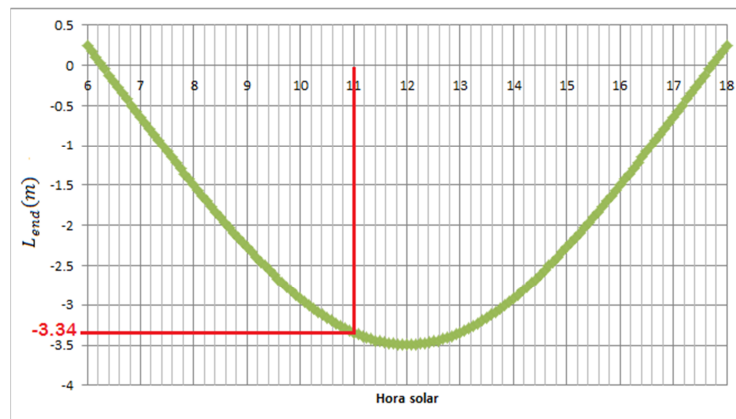


Figura 3: L_{end} vs hora solar para el espejo 3 calculada analíticamente mediante la Eq. (1). Día 15 de Abril, San Carlos, Salta

Considerando un sistema LFC con las características mencionadas arriba e instalado a una latitud de $\phi = -25.89^\circ$, se calcula la evolución temporal de L_{end} mediante la Eq. (1), para el espejo 3 ($D_i = 3.75\text{m}$) del día 15 de abril (día medio del mes). Los resultados (Figura 3) muestran que la longitud no iluminada, en el horario de operación del sistema (8 a 16hs), varía entre -1.5m (a primera hora de la mañana y última de la tarde) y -3.5m (al mediodía solar). El signo negativo indica que el desplazamiento de los haces es hacia el sur. A modo de ejemplo, se muestra en la Figura 4 la posición del haz incidente, reflejado y longitud no iluminada para las 11 de la mañana solar del 15 de abril.

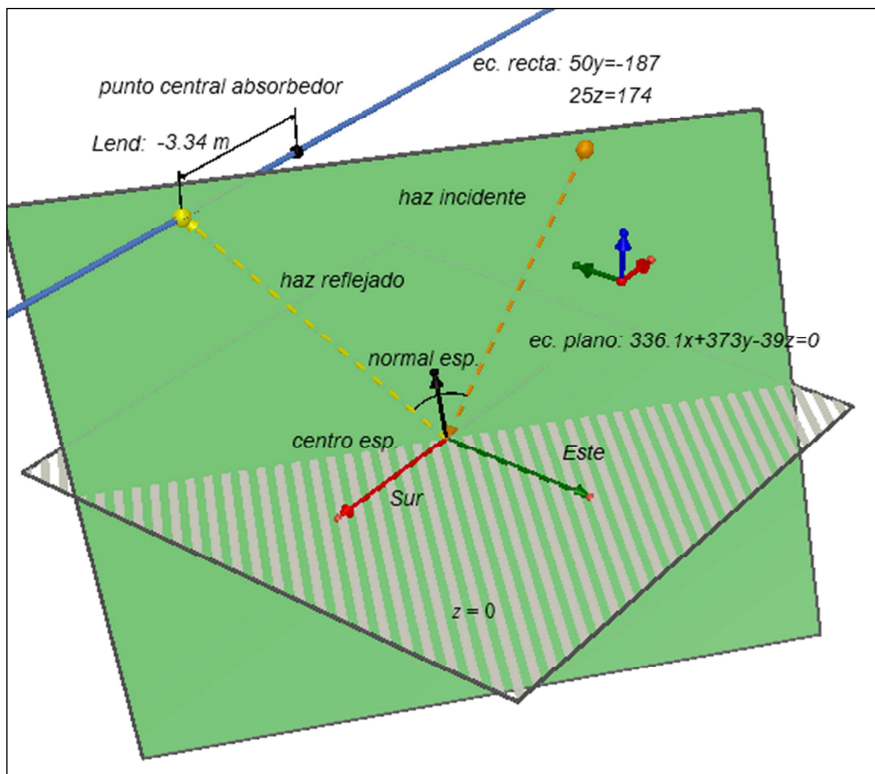


Figura 4: Estimación de L_{end} para el espejo 3 del LFC a las 11hs solar, mediante la utilización de Cabri3D. El día corresponde al 15 de Abril.

De la figura 4 se observa el desplazamiento de un haz que incide en el centro del espejo 3, ubicado a 3.75m hacia el Este del eje principal del sistema. El valor de 3.34 m en dirección Sur es instantáneo ya que cambia con la trayectoria solar. En este caso el esquema se realizó a partir de la posición aparente del sol definida por $\theta_z = 27.88^\circ$, $\gamma_s = -146.42^\circ$ que corresponde a las horas 11 (solar) del día 15 de Abril ($n = 75$). En ese momento la inclinación del espejo 3 corresponde a $\beta_3 = 5.9^\circ$ y $\gamma_3 = 90^\circ$.

Cálculo de la longitud no iluminada media diaria

El valor promedio diario $\bar{f}_{end,i}$ se calculó para los doce días medios mensuales del año aplicando las ecuaciones (2) y (3), para los ocho espejos del sistema (espejos a distancias simétricas del eje del absorbedor tienen los mismos valores de $\bar{f}_{end,i}$). Las ecuaciones fueron resueltas mediante el software EES (Engineering Equation Solver) que permite ejecutar rutinas de cálculo para tablas paramétricas (para distintos D_i) admitiendo resolución de integrales con condicionantes del tipo "if" en la definición del argumento. Este condicional permite respetar la cota en 0 como se nombró en el apartado anterior. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1.

Di	Ene(17)	Feb(16)	Mar(16)	Abr(15)	May(15)	Jun(11)	Jul(17)	Ago(16)	Sep(15)	Oct(15)	Nov(14)	Dic(10)
5.35	0.979	0.944	0.874	0.785	0.697	0.650	0.672	0.749	0.841	0.923	0.974	0.981
3.75	0.981	0.950	0.886	0.806	0.727	0.684	0.703	0.773	0.857	0.930	0.977	0.983
2.2	0.983	0.954	0.895	0.821	0.748	0.709	0.727	0.791	0.868	0.936	0.979	0.984
0.71	0.983	0.956	0.900	0.829	0.759	0.721	0.738	0.800	0.874	0.938	0.979	0.985

Tabla 1: \bar{f}_{end} para días medios mensuales y para cada espejo del sistema LFC.

En la Figura 5 se representan los valores de \bar{f}_{end} y \bar{L}_{end} para los solsticios de verano e invierno ($\delta = \pm 23.45^\circ$) y para el equinoccio otoño/primavera ($\delta = 0^\circ$), correspondientes aproximadamente a los días 21 de Diciembre, 21 de Junio y 21 Marzo/Septiembre respectivamente. Los factores de captación diarios se representan con rombos y líneas llenas (eje principal), mientras que la longitud no iluminada se representa con círculos y líneas punteadas (eje secundario).

Se observa que en verano (21-Dic) el factor \bar{f}_{end} asociado a cualquier espejo es siempre mayor a 0.9, por lo que las pérdidas ópticas por desplazamiento de los haces reflejados son menores que en el resto del año. Se observa también que, tanto $\bar{f}_{end,i}$ como $\bar{L}_{end,i}$, presentan valores prácticamente constantes con respecto a la distancia reflector – absorbedor. A partir de Febrero se comienza a producir una pendiente en la variación de estos parámetros con respecto a D_i . En invierno (21-Jun) la energía interceptada disminuye considerablemente debido a que L_{end} se incrementa notablemente en magnitud (entre 7 y 8.5m). En este caso, la energía promedio diaria reflejada por los espejos alcanzada por el absorbedor oscila entre 65% (último espejo, ubicado a 5.35m del eje) y 71% (primer espejo, a 0.71m).

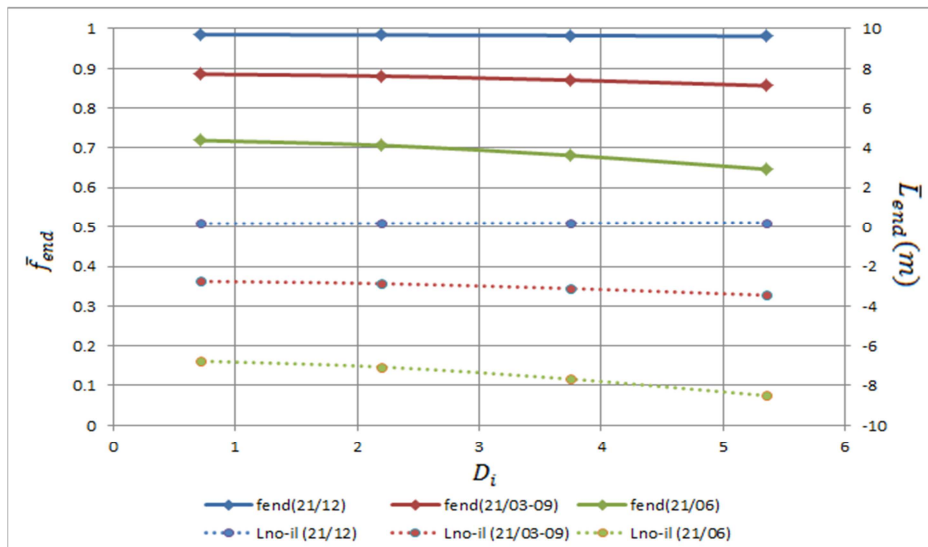


Figura 5: Valores de $\bar{f}_{end,i}$ y $\bar{L}_{end,i}$ asociados a los diferentes espejos del LFC de San Carlos para los solsticios y equinoccios.

MEJORA APLICADA AL PROTOTIPO Y NUEVOS RESULTADOS

Debido a la experiencia con prototipos anteriores instalados en el campus del INENCO, el efecto de pérdidas ópticas por *no* iluminación del absorbedor ya era un problema bien conocido. A partir de los estudios realizados para un prototipo previo de 43m² instalado en el campus (Gea et al., 2010), pudo determinarse analítica y experimentalmente la variación en la longitud L_{end} . El prototipo contaba con un absorbedor móvil montado sobre rieles, lo que permitía el desplazamiento de hasta cuatro metros del mismo en dirección sur, resultando ésta una solución eficaz.

En el presente proyecto en San Carlos, el absorbedor es cuatro veces más largo y a mayor altura. El montaje sobre rieles y posterior movimiento de este absorbedor es, en los aspectos prácticos, imposible de llevar a cabo. Existen otras alternativas para disminuir L_{end} y mejorar las pérdidas ópticas, entre las que se cuentan:

- Ampliar la longitud de las filas de espejos (Shaoxuan y Chaofeng, 2011),
- Un campo reflector cuyos ejes longitudinales tengan la libertad de inclinarse, logrando una pendiente variable según la época del año (Xiao, 2012),
- Espejos de distancia focal variable, ajustando periódicamente la curvatura de los mismos (Xiao, 2012).
- Redireccionamiento de los haces reflejados que no interceptan el absorbedor mediante el uso de reflectores secundarios.



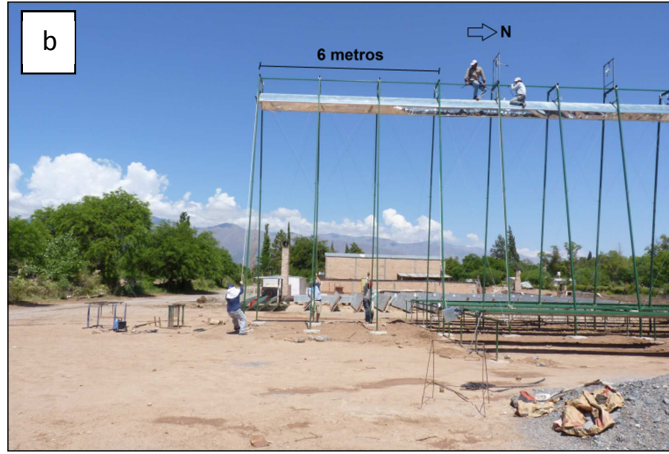


Figura 6: a) Estado actual del LFC en estudio, en b) puede observarse los 6 metros extras del absorbedor con respecto a la longitud del campo de espejos.

Algunas de estas alternativas han sido planteadas y estudiadas en la literatura y son aún objeto de discusión. En nuestro caso, se optó por incrementar el largo del absorbedor una longitud adicional de 6 metros en dirección sur. Esta longitud se seleccionó por dos razones: es cercana a la longitud no iluminada en invierno y es el largo máximo de los caños comerciales. Así, el equipo de San Carlos cuenta con un absorbedor de 30 metros de largo y un campo reflector con una longitud de 24 metros, como puede apreciarse en la Figura 6b.

Para estimar la fracción iluminada en este caso, las ecuaciones (1) a (3) que corresponden a sistemas rectangulares (es decir, el absorbedor del mismo largo que el campo de espejos, $L_{abs} = L_{campo,esp}$) deben ser modificadas. Así, la Eq. (3) se redefine para calcular la fracción de energía que, reflejada por el campo de espejos de longitud $L_{campo,esp}$, es interceptada por el absorbedor $\bar{f}_{end,i}$ de longitud L_{abs} (con $L_{abs} > L_{campo,esp}$). Para tener en cuenta los 6 metros extras de absorbedor en la dirección sur (L_{extra}), se incluye en la Eq. (3) una sentencia condicional if. La expresión modificada de la Eq. (3) y la manera de calcular este factor puede observarse en la parte inferior de la Figura 7. Los resultados para los días medios de los doce meses del año se incluyen en la Tabla 2. Dicha tabla muestra qué fracción de la energía reflejada por los espejos es interceptada por el absorbedor. Sin embargo, no muestra qué fracción de absorbedor está iluminada. Por ejemplo, si bien en la Tabla 2 para el mes de febrero se observa que toda la radiación que se refleja en campo de espejos alcanza el absorbedor, pero esto no significa que toda la longitud del absorbedor esté iluminada. Por esta razón, se calculó además la fracción de absorbedor no iluminada, que se muestra en la Tabla 3. Allí aparece claramente la situación de febrero: el 80% del absorbedor se encuentra iluminada.

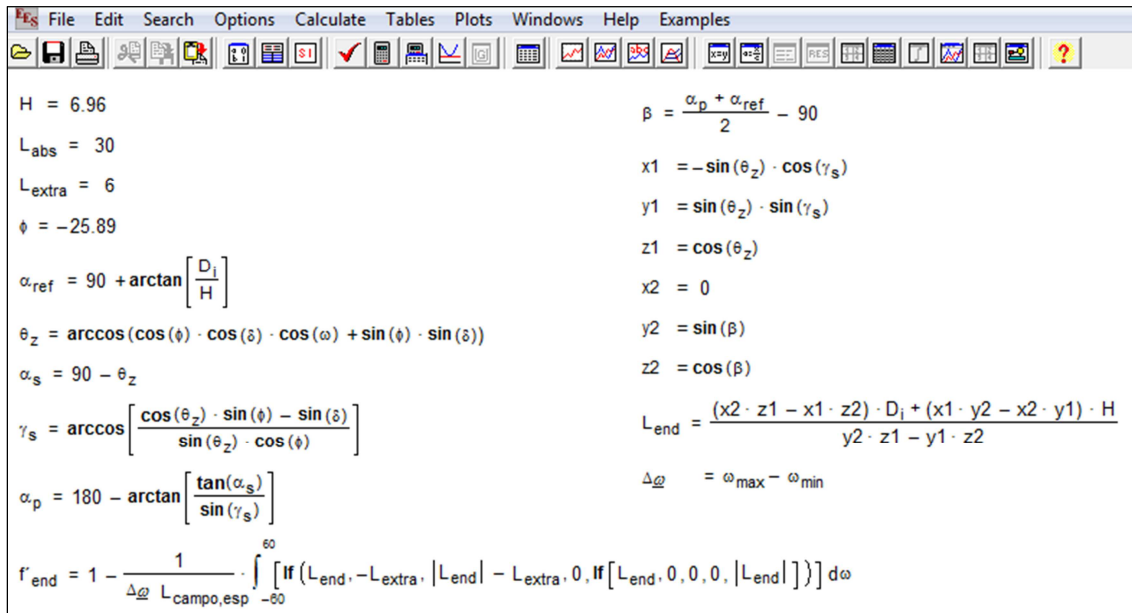


Figura 7: Ventana de ecuaciones introducidas en EES para la determinación del factor \bar{f}_{end} .

D	Ene(17)	Feb(16)	Mar(16)	Abr(15)	May(15)	Jun(11)	Jul(17)	Ago(16)	Sep(15)	Oct(15)	Nov(14)	Dic(10)
5.35	0.993	1.000	1.000	0.999	0.943	0.899	0.920	0.982	1.000	1.000	0.996	0.987
3.79	0.993	1.000	1.000	1.000	0.967	0.931	0.949	0.995	1.000	1.000	0.997	0.988
2.2	0.994	1.000	1.000	1.000	0.982	0.953	0.967	1.000	1.000	1.000	0.997	0.989
0.71	0.994	1.000	1.000	1.000	0.988	0.962	0.975	1.000	1.000	1.000	0.997	0.990

Tabla 2: Factor de intercepción de energía \bar{f}'_{end} para la nueva geometría del LFC con un absorbedor 6 metros más largo la longitud del campo.

D	Ene(17)	Feb(16)	Mar(16)	Abr(15)	May(15)	Jun(11)	Jul(17)	Ago(16)	Sep(15)	Oct(15)	Nov(14)	Dic(10)
5.35	0.7941	0.8	0.8	0.7989	0.7547	0.7196	0.7363	0.7855	0.8	0.8	0.7971	0.7896
3.79	0.7947	0.8	0.8	0.8	0.7736	0.7452	0.7588	0.7959	0.8	0.8	0.7973	0.7907
2.2	0.7951	0.8	0.8	0.8	0.7854	0.7623	0.7736	0.8	0.8	0.8	0.7976	0.7914
0.71	0.7953	0.8	0.8	0.8	0.7903	0.7699	0.78	0.8	0.8	0.8	0.7977	0.7918

Tabla 3: Fracción diaria de absorbedor iluminado.

DISCUSIÓN

En el análisis realizado en los apartados anteriores para un campo rectangular, resultaba indistinto hablar de un factor de captación de energía y de un factor que represente la fracción de absorbedor que permanece iluminado, ya que los metros que se desplazaban los haces de luz sobre el absorbedor estaban relacionados directamente con la cantidad de energía radiante perdida. En el caso mejorado, la longitud no iluminada del absorbedor (en metros) se incrementa en 6m con respecto al caso anterior. Como desventaja, ahora existen por lo menos 6 metros de absorbedor sin iluminar ya que el campo de espejos tiene una longitud de 24 m y no de 30 m como el absorbedor. Sin embargo, la captación de la radiación reflejada es casi total.

De la tabla 2 se observa que la mayor parte de la energía reflejada es interceptada por el absorbedor, durante varios meses es el 100%. Para los meses de invierno se pierde parte de esta energía ya que los haces se desplazan, en ciertos momentos del día, más de 6 metros en dirección sur. Para los meses de verano desde Noviembre a Enero, la situación es similar al caso base ya que los extremos de las filas de espejos y el extremo "Norte" del absorbedor están sobre el mismo plano vertical Este-Oeste. Sin embargo, para estos meses, los factores \bar{f}'_{end} para el nuevo caso son ínfimamente superiores a los observados en la Tabla 1. Esto se debe a que si bien los haces desplazados en dirección norte se pierden por igual, la diferencia radica en que, al mediodía solar, los haces se desplazan varios centímetros en dirección sur siendo aprovechados solamente por el absorbedor más largo y no en el otro caso.

A expensas de receptor mayor cantidad de radiación reflejada, se produce un aumento en cuanto a las pérdidas térmicas ya que el fluido caloportador (agua) debe atravesar por un trayecto más largo sin ganancia de radiación. Esta es una consecuencia esperada frente a la variante tomada. En la Tabla 3 puede observarse que el factor relacionado con la fracción de absorbedor que se encuentra iluminado disminuye con relación al caso propuesto con anterioridad. Los valores máximos alcanzados son de 0.8, por lo que en el mejor de los casos el 80% del área del absorbedor permanece iluminada en un promedio diario. El 20% restante representa los 6 metros extra de absorbedor que no tendrá ganancia directa de radiación.

CONCLUSIONES

Las pérdidas ópticas en un Concentrador Fresnel Lineal están presentes debido a la propia geometría del sistema. Además de las pérdidas relacionadas con el material reflectante y con el ángulo de incidencia de la radiación, debe considerarse un factor muy influyente en la eficiencia óptica del sistema que es la pérdida de parte de la energía reflejada por los espejos debido a la longitud del absorbedor. En el presente trabajo se lo relaciona a la longitud no iluminada de absorbedor, parámetro que varía de manera instantánea y con cada espejo del campo.

Considerando el caso base a un LFC instalado en la localidad de San Carlos donde el absorbedor y el campo de espejos poseen la misma longitud y se encuentran alineados, como sería una configuración normal, se estimaron analíticamente la longitud no iluminada del absorbedor $\bar{L}_{end,i}$ media diaria mensual y el factor asociado a dicho parámetro que es el factor de proporción de absorbedor iluminado $\bar{f}'_{end,i}$, ambos definidos en función de la distancia del espejo – eje principal. En términos anuales f_{end} varía de 0.88 a 0.84 para los espejos de menor distancia focal a los de mayor distancia focal. Buena parte de la energía reflejada es aprovechada en los días de verano, por lo que de Octubre a Febrero se obtienen valores de $\bar{f}'_{end,i} > 0.9$. Por la ubicación geográfica del equipo, las pérdidas aumentan considerablemente para los meses de invierno. Para los días invernales, se pierde en términos medios diarios entre 25% y 30% de la energía reflejada (Junio). Para aquellos días invernales cuando la declinación δ ronda el máximo (23.4°), los haces de luz se desplazan entre 5.5 y 10 metros en dirección Sur a la altura del absorbedor (6.96 m), donde el máximo se produce al mediodía solar (cuando θ_z es mayor).

Debido a la experiencia con equipos anteriores de menor escala, se construyó el prototipo de 173m² con un absorbedor 6 metros más largo (como puede observarse en la figura 6b) que el campo de espejos, cuya longitud es de 24 metros. Para este caso el factor de captación de energía aumenta considerablemente, obteniendo valores medios anuales entre 0.98 y 0.99 para todo el campo de espejos. Como consecuencia a la prolongación del absorbedor por encima de la longitud del campo se aumentan las pérdidas térmicas debido al paso del fluido por una sección de absorbedor mayor que no está sometido a la llegada de radiación directa reflejada.

El balance entre la disminución de pérdidas ópticas debido al mayor aprovechamiento de la energía reflejada y el incremento de las pérdidas térmicas asociadas a la prolongación del absorbedor no se contemplan en este trabajo. Para el análisis hidrotérmico del fluido se está avanzando con los códigos de programación correspondientes a los balances energéticos, de masa y momento para estimar caídas de presión y transferencia de calor en donde la programación no es sencilla debido a que el estudio se extiende al análisis del fluido para una y dos fases.

Como trabajo futuro se realizará un análisis cualitativo desde el punto de vista térmico para tener indicadores de la ganancia y las ventajas obtenidas con la modificación del absorbedor.

REFERENCIAS

- J. A. Duffie and W. A. Beckman, 2006. *Solar Engineering of Thermal Processes* (3rd ed). John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Gea M., Saravia L., Altamirano M., Placco C., Bárcena H., Hongn M., (2010). Aspectos óptico geométricos de un Concentrador Solar Fresnel Lineal para aplicaciones térmicas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 14. ISSN 0329-5184.
- Gharbi N.E., Derbal H., 2011. A comparative study between parabolic trough collector and linear Fresnel reflector technologies, *Energy Procedia* Vol. 6 pp. 565 a 572.
- Hongn M., Flores Larsen S., Gea M., Altamirano M., 2014. Analytical estimation of the optical end loss of a north-south Linear Fresnel Concentrator. *Solar Energy*. En evaluación.
- Pu Shaoxuan and Xia Chaofeng (2011), End-effect of Linear Fresnel Collectors. *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), Asia-Pacific*. ISSN: 2157-4839.
- Gang Xiao, 2012. Tilting mirror strips in a Linear Fresnel Reflector. <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00675222>.
- Gang Xiao, 2012. Mirrors of dynamic curvature for linear solar Concentrators. <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00675220>.
- Guangdong Zhu, 2013. Development of an analytical optical method for linear Fresnel collectors. *Solar Energy* 94, pp. 240-252.

ABSTRACT

The present work shows a tridimensional geometric analysis that allows estimate instantaneous non-illuminated length of absorber in Linear Fresnel Concentrator systems. These optic losses must be considered during development stage and efficiency calculus. Also a factor that represents the illuminated fraction of absorber is defined, through mean daily values. The specific case of a LFC located in San Carlos was studied, evaluating the annual variation of these parameters as a function of the mirror-receptor distance. For winter months the non-illuminated length can exceed 8 meters, this effect causes that 30% of absorber length (24 meters) remains non illuminated during the day. Finally, a constructive improvement was analyzed with the aim of mitigating the optical losses produces by the 'end-effect'.

Key words: Fresnel Linear Concentrator, non-iluminated length, optical losses.