

CONCENTRADOR CON DOBLE REFLEXION PARA COCINA SOLAR

L. R. Saravia¹

INENCO, Instituto de Investigación en Energía No Convencional. (UNSa-CONICET)
Universidad Nacional de Salta,
Calle Buenos Aires 177, 4400, Salta, Argentina
Fax: 54-387-4255489, E-mail: saravia@unsa.edu.ar

RESUMEN.- La cocción solar en escuelas albergue y centros comunales en zonas aisladas requiere el calentamiento de volúmenes grandes de comida, habitualmente en ollas entre 20 y 40 litros, habiéndose planteado en un trabajo anterior (Saravia y otros, 1998) el uso de una cocina solar formada por dos unidades separadas, por un lado un concentrador y por otro una caja aislada que contiene la olla de cocción. El concentrador utilizado originalmente ha sido de tipo fresnel con un diseño de bajo costo el que se ha ido cambiando para mejorarlo y disminuir los costos constructivos. En este artículo se propone la utilización de un diseño basado en la utilización de una doble reflexión con el fin de colocar el absorbedor por detrás del espejo. Ello tiene como ventajas la posibilidad de maniobrar en el absorbedor sin recibir radiación, el poder balancear el espejo sin necesidad de contrapesos y facilitar la colocación de absorbedores destinados a otras funciones como ser la de alimentar un destilador. Se discute el diseño del sistema, el cual se lleva a cabo utilizando un programa de dibujo en dos dimensiones con las operaciones geométricas necesarias para trazar la marcha de los rayos solares. Se analiza la colocación de los absorbedores necesarios y se evalúa el rendimiento energético global del sistema.

1. INTRODUCCION

El requerimiento de cocción en las zonas áridas andinas y subandinas de la Argentina constituye un problema de entidad tanto en lo que tiene que ver con la mejora del nivel de vida de los habitantes como en el mantenimiento del medio ambiente.

Uno de los requerimientos es la atención de comedores comunales en escuelas o centros para atención de personas donde usualmente es necesario alimentar a grupos de 30 a 100 personas.

El uso de combustibles no renovables provistos desde zonas más pobladas resulta difícil y oneroso debido a la situación de aislamiento de la mayoría de las comunidades. El nivel de radiación solar en estas regiones es muy bueno por lo que la cocción solar constituye una posible solución. Saravia y otros(1999) han propuesto utilizar cocinas con concentradores de unos 2 m² de área y llevar a cabo la cocción u horneado en una caja aislada, que se llamará "caja caliente" donde se coloca la olla, transportando el con barras de aluminio calentadas en el concentrador a 300 C. El espejo propuesto es del fresnel, formado por troncos de cono reflejantes que definen un foco con forma de segmento sobre el eje central. En el fresnel clásico los troncos están colocados sobre una superficie plana, lo que obliga a separarlos entre sí para evitar el corte del haz solar unos de ellos produce sobre el siguiente. A posteriori se propuso el uso de una alternativa consistente en utilizar brazos radiales curvos en vez planos, lo que va elevando la posición de cada tronco de cono sucesivo eliminando el corte de luz. forma de la curva es tal que los troncos se colocan pegados y se van apoyando directamente sobre el brazo. El absorbedor, que tiene un peso considerable, va colocado a cierta distancia por encima del espejo, lo que hace necesario el uso de

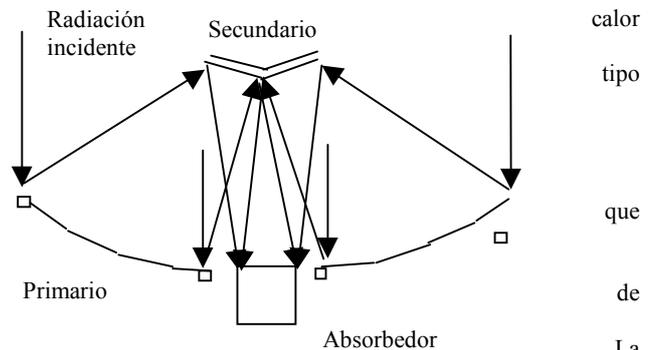


Fig. 1.- Muestra un esquema del concentrador con un doble espejo para desplazar la concentración de energía a una zona detrás del espejo.

1.- Investigador del CONICET

contrapeso considerable. Este diseño se detalla en la publicación de Saravia y otros (2001).

En este trabajo se estudia una alternativa diferente, que contempla el uso de una segunda superficie de reflexión más pequeña, colocada aproximadamente donde estaba el absorbedor, que invierte el curso de los rayos solares y produce un foco detrás del espejo, cerca del vértice del mismo. El absorbedor pasa a estar colocado por detrás del espejo, como se esquematiza en la figura 1.

Este diseño es similar al de un telescopio catadióptrico donde un espejo secundario devuelve el haz hacia el espejo primario y se perfora un orificio central en éste para que el foco forme una imagen detrás de este espejo. La diferencia radica en las dimensiones utilizadas ya que la relación focal de un telescopio de este tipo suele valer alrededor de 10 mientras que el colector solar tendrá una relación en el orden de 1.

La disposición tiene varias ventajas potenciales, a saber:

- a) el absorbedor pasa a ocupar una posición donde se puede llegar con total comodidad y el usuario está a la sombra del espejo, no recibiendo posibles rayos reflejados;
- b) en el diseño anterior el eje de giro está en la base del espejo y tanto éste como el absorbedor están del mismo lado, lo que requiere el uso de un contrapeso considerable para lograr que el centro de gravedad del sistema coincida con el eje haciendo posible un movimiento suave. Ahora el espejo y el absorbedor están en lados opuestos respecto al eje, por lo que el centro de gravedad se coloca naturalmente cerca del eje y se precisa muy poco o ningún contrapeso;
- c) los rayos solares se concentran sobre una superficie plana normal al eje y colocada cerca del vértice, por lo que el absorbedor tiene una boca de captación que puede ser cubierta con un vidrio plano en vez de uno cilíndrico como sucedía antes. Esto simplifica la construcción y hace posible el uso de un doble vidrio para disminuir las pérdidas térmicas de la superficie de absorción. También es más sencillo cubrir con aislante la parte del absorbedor donde no llegan los rayos solares;
- d) El lugar donde se coloca el absorbedor es amplio, por lo que se pueden proyectar otros usos para el colector, como ser, por ejemplo, la colocación de un destilador solar de múltiple efecto.

Por otro lado, surgen algunas complicaciones, como ser:

- a) La disponibilidad de energía disminuye en un 14% a igual área, dada la pérdida de reflexión en el segundo espejo. Esto puede ser compensado por las mejoras mencionadas en el absorbedor de boca plana,
- b) el absorbedor queda colocado muy cerca del eje de giro ecuatorial, lo que dificulta la colocación del mismo.

En las secciones que siguen se discutirán los detalles de diseño que buscan aprovechar las ventajas mencionadas y neutralizar las posibles desventajas. El mismo se basará en el trazado de rayos solares debido a que los espejos a usar no formarán una imagen sino que la radiación se distribuirá en forma aproximadamente homogénea sobre la boca del absorbedor. Con ese fin se utilizará un programa de dibujo con las operaciones geométricas necesarias para el trazado de rayos, que recibe el nombre de CABRI II y es distribuido por la compañía Texas Instruments.

2.EL DISEÑO GEOMETRICO DEL ESPEJO

El espejo usado en el diseño con brazos curvos utiliza un aro con un diámetro en el orden de los 50 cm y que se llamará central, al que se sueldan los brazos radiales con la forma curva necesaria para sujetar adecuadamente los troncos de cono espejados. El absorbedor, colocado unos 50 cm por encima del espejo, proyecta su sombra sobre este aro, por lo que no tiene sentido cubrir al mismo con chapa reflectora. Al mismo se sueldan el par de ejes ecuatoriales, uno de ellos paralelo al eje de la tierra y el otro normal al anterior.

Un segundo aro, con un diámetro en el orden de 1.70 m y al que se llamará periférico, se suelda al extremo exterior de los brazos, rigidizando la estructura. El diámetro es elegido de manera que el área de colección se encuentre en el orden de los 2 m².

En la nueva propuesta se siguen utilizando los dos aros y los brazos curvos, pero a la altura donde antes estaba el absorbedor se coloca un espejo que invierte la marcha de los rayos, los que pasan por el aro central hacia la parte posterior del espejo concentrando los mismos sobre un círculo en un plano paralelo al aro algunos centímetros por detrás del mismo. Esta será la llamada boca del absorbedor. Los brazos tendrán una forma tal que los rayos que llegan al espejo primario se reflejan hacia el secundario y terminan pasando por la boca.

La figura 2 muestra un corte de esta disposición donde se ha efectuado el diseño geométrico con el programa Cabri II. En este dibujo se muestran tanto los rayos que resultan de la construcción geométrica como las rectas auxiliares necesarias para obtener el esquema. Estas últimas figuran en un trazo de color gris claro mientras que los rayos se muestran en distintos colores grises más oscuros.

A continuación se detalla el proceso de diseño. Se empieza por seleccionar las dimensiones base para definir la forma del espejo. Si el dibujo final no resulta satisfactorio se puede alterar el mismo de manera iterativa hasta obtener un resultado satisfactorio. Al respecto el Cabri tiene la ventaja de que los pasos sucesivos en la construcción geométrica permanecen encadenados de manera que si al terminar el proceso se cambia una de las dimensiones base, todos los puntos y rectas del

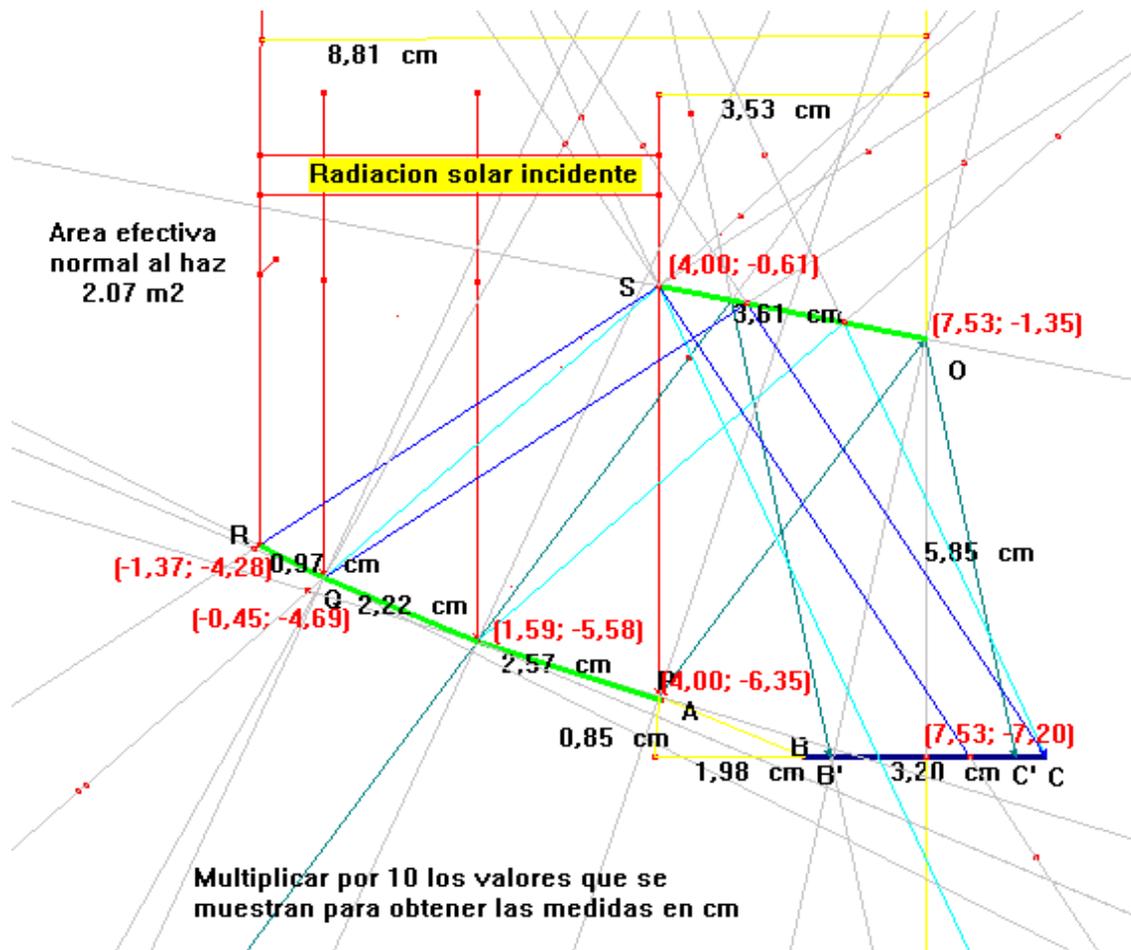


Fig. 2. Muestra el diseño del concentrador utilizando una construcción geométrica basada en el uso del programa Cabri II

dibujo se cambian automáticamente sin necesidad de trazarlas nuevamente. En forma instantánea se dispone del nuevo modelo.

Las dimensiones base son:

- 1) el diámetro de la boca del absorbedor, que en el dibujo se eligió igual a 32 cm. La boca está representada en el dibujo por el segmento BC. Este valor se seleccionó teniendo en cuenta el colector ya fabricado, cuyo absorbedor está cubierto por un vaso de vidrio pirex de 12., 5 cm de diámetro y 17 cm de altura, definiendo un área de vidrio a través de la cual el absorbedor pierde calor hacia el exterior. Los 32 cm aseguran que el área de vidrio que cubre al absorbedor sigue siendo la misma y por tanto las pérdidas térmicas en el nuevo diseño serían siendo muy similares al sistema inicial. En tal caso el comportamiento térmico será casi el mismo si conseguimos que llegue al absorbedor una cantidad similar de energía solar. En principio, este valor es definitivo y no sufrirá variaciones en el proceso de iteración.
- 2) El diámetro del aro interior, que se ha seleccionado como igual a 70.6 cm y que está representado en el dibujo con el punto A. Este ha sido seleccionado por iteración hasta obtener un diseño con el área buscada cercana a los 2 m² de área de colección efectiva.
- 3) La distancia entre el plano del aro central y el plano de la boca del absorbedor, que es igual a 9 cm. Esta distancia no es crítica como se puede observar en la figura 2. La trayectoria de los rayos muestran que la boca puede subirse o bajarse y los rayos entran en la misma sin problema. De hecho, si se sube hasta el plano del aro central el diámetro podría disminuirse ligeramente.
- 4) La altura del punto donde comienza el espejo secundario en el eje del sistema, medida respecto a la boca del absorbedor. Ella vale 58.5 cm. A este punto le daremos el nombre de ‘origen del espejo secundario’ y lo identificamos en el dibujo con una O. Al cambiar este valor varía el área de colección lentamente, como se discutirá más tarde. Se la ha terminado de seleccionar como la menor posible antes de que el área comience a disminuir mucho.

Una vez seleccionados estos valores se dibuja el segmento que representa a la boca, BC y los puntos que definen el aro central, punto A, y el origen del secundario, punto O. El haz de rayos solares se supondrá vertical, de arriba abajo. A partir de este momento el dibujo del espejo queda determinado completamente a través de la construcción geométrica con el Cabri, cuyos pasos son los siguientes:

- 1) El rayo solar que llega al aro central A debería reflejarse sobre el origen O y luego de reflejarse en el secundario llegar cerca del extremo C de la boca, como se ha dibujado. Eventualmente podría llegar exactamente al punto C, pero al ponerlo algo corrido, en C', permite disponer de un juego que admite que el sistema funcione bien aunque esté un poco descentrado.
- 2) Espejo secundario, que será un cono con origen en O y eje coincidente con el del sistema, estará representado en el dibujo por un segmento normal a la bisectriz del haz reflejado AOC, que acaba de quedar definida por lo que se puede trazar geoméricamente con el Cabri. La longitud del segmento se determina después.
- 3) El espejo primario se construirá con una serie de troncos de cono sucesivos a determinar mediante esta construcción. El segmento AP que define el primer tronco de cono será normal a la bisectriz del haz solar incidente en A y el haz reflejado en A, lo que se dibuja con el Cabri. La longitud del segmento aún no está definida.
- 4) El espejo secundario sombrea al espejo primario, por lo que su diámetro será tal que la sombra que arroja llegue al aro central. Eso define el otro extremo del segmento que define el secundario, el punto S.
- 5) El extremo P del primer tronco de cono reflejará el haz solar incidente para que llegue al secundario y allí se reflejará nuevamente en el secundario hasta terminar sobre la boca BC en un punto B' simétrico de C' respecto al eje del espejo. Para lograr esto se refleja el punto B' en el espejo secundario y el punto obtenido se une con P definiendo el haz reflejado en el primer tronco de cono que termina en P.
- 6) En P comienza el segundo tronco de cono definido por un segmento que al reflejar el haz incidente llega al secundario y desde ahí vuelve al punto C sobre la boca. Para dibujar estos rayos se repite la construcción anterior: se refleja el punto C en el espejo secundario y el nuevo punto se une con el P.
- 7) El segmento que define el segundo tronco de cono termina en Q. Este punto queda determinado por el extremo S del secundario, ya que el haz reflejado por Q llega a S. Por tanto, basta trazar por S la paralela al haz que pasa por P y estaba reflejado en el segundo tronco de cono.
- 8) El tercer tronco de cono generará un haz solar reflejado que llegará al secundario y reflejándose allí volverá a llegar al punto C sobre la boca, a igual que en el caso del tronco de cono anterior. Para eso se vuelve a utilizar el reflejo del punto C en el secundario.
- 9) Por último, el tercer tronco de cono termina en R, que vuelve a ser determinado por el hecho de que el haz reflejado pasará por S y luego llegará a la boca. SE vuelve a trazar por S la paralela al haz que salía de Q.

En este momento el diseño queda terminado ya que se ha llegado a un diámetro del aro periférico de 1,77 m, lo que da un área efectiva de colección solar de 2.07 m². Ella se calcula como el área del aro periférico menos el área del aro central, lo que constituye el área iluminada por el sol.

INFLUENCIA DE LA POSICIÓN DEL SECUNDARIO

AL variar la posición del origen del espejo a lo largo del eje vertical, el programa geométrico cambia automáticamente el dibujo respetando la construcción realizada, por lo cual es inmediato estudiar la influencia de dicho parámetro. La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos para los principales parámetros constructivos, a saber, el área efectiva de colección solar, el radio del espejo y el diámetro del espejo secundario, que es también el diámetro del aro central.

Se decidió utilizar la menor distancia secundario-absorbedor que diera lugar a un área de colección solar mayor que 2 m², lo que asegura una cierta cantidad de energía colectada. Por tanto se usará un valor de 58,5 cm.

Es de esperar que los problemas de caída de la cantidad de energía recogida cuando el espejo no se alinea correctamente con el haz solar sean menores a medida que la distancia mencionada disminuya.

LOS ABSORBEDORES A UTILIZAR.

La experiencia recogida con el uso de las cocinas solares comunales en los últimos dos años ha mostrado que su uso es más efectivo si se dispone de tres tipos de absorbedores:

- 1) barras de aluminio para acumular la energía recogida y llevarla a la caja caliente donde se cocina la comida. Se han utilizado 10 barras de 660 gr cada una con una longitud de 32 cm y una sección triangular que permitía formar un cilindro en el absorbedor.
- 2) Una pequeña caldera de 2 litros de capacidad donde se coloca agua para vaporizarla. El vapor se lleva con una manguera hasta la olla dentro de la caja caliente donde burbujea en el líquido de la olla para calentarlo.
- 3) Una olla de 10 litros que recibe directamente la energía y calienta la comida, usándose hasta unos 8 kg de comida.

En el caso de las barras se puede instalar un recinto aislado cuya boca es un círculo de 32 cm de diámetro, donde las barras pueden distribuirse en forma radial y algo inclinadas respecto al eje, de manera que la radiación entra al absorbedor y en lo posible incide directamente sobre las barras. Esta caja tendrá una puerta lateral para introducir y

retirar las barras. La boca está cerrada con un vidrio plano, pudiéndose ensayar si es efectivo colocar un doble vidrio. El vidrio adicional disminuye las pérdidas hacia el ambiente pero tiene el inconveniente de que

Tabla 1.- Influencia de la posición del secundario.

Distancia secundario-Absorbedor cm	Area de colección solar m ²	Diámetro del Secundario cm	Diámetro del espejo Cm
87,8	2.09	67,0	176,4
58,5	2.07	70,6	177,0
48,4	2.0	73,2	176,8
38,4	1.94	77,6	175,4

absorbe parte de la radiación, por lo que es necesario realizar un ensayo para determinar si el balance final es favorable o no. El recinto estará sujeto al aro central de manera que gire con el espejo manteniendo la posición de la boca respecto del haz.

El mismo recinto puede ser utilizado para colocar la caldera, que tendrá una forma adecuada al tamaño de la boca, de manera que incida sobre ella la mayor parte de la radiación.

En el caso de la olla, que tiene una forma volumétrica similar a una esfera, es probable que sea más efectivo apoyarla directamente sobre un soporte anclado en el suelo. Como la misma estará colocada próxima al eje de giro del espejo, se mantendrá iluminada por la radiación a lo largo del día.

CALCULO DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO.

A efectos de evaluar el rendimiento energético de la cocina, se adopta un modelo del absorbedor muy sencillo, el que se analizará utilizando el programa de simulación térmica de sistemas solares llamado SIMUSOL (Saravia y Alia, 2001). Se planteó el análisis del caso en que el absorbedor es el que utiliza barras de aluminio con una masa total de 6.6 kg colocadas dentro del recinto ya mencionado, cuya boca tiene un diámetro de 32 cm y cuya longitud es de 30 cm. Se usa una aislación en las paredes de 7 cm de lana de vidrio.. Si se coloca un vidrio el valor medido de la transmisión de radiación es de 82% mientras que para el coeficiente de pérdida térmica se adopta el valor medido en experiencias con las cocinas anteriores, que es de 30 w/m²C. Este valor es bastante alto debido a la temperatura de las barras, que llega a 300 C.

Se asumirá que la radiación directa incidente es constante durante toda la experiencia. Esta hipótesis es realista dado que el espejo gira enfrentando continuamente al sol. Se adoptará un valor igual al medido en la ciudad de Salta, que es de 1050 vatios. El área de colección es de 2.0 m² y se asume una reflexión en el aluminio de 86% para cada espejo. Teniendo en cuenta la transmitancia del 82% en el vidrio de entrada, la radiación útil que llega a las barras es de 1260 vatios.

Dada la forma de colocar las barras resulta razonable admitir que la radiación se distribuye uniformemente sobre su superficie, por lo que las mismas tendrán aproximadamente una temperatura constante. Esta situación es diferente de

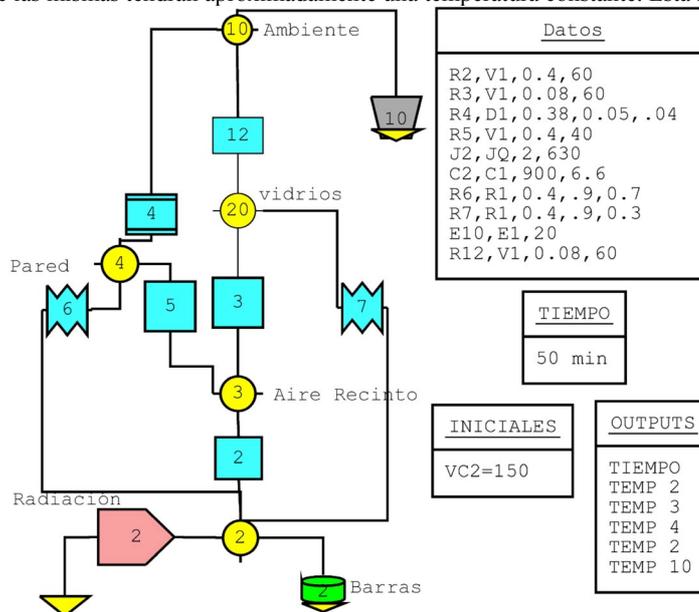


Fig.4.- Modelo preparado con SIMUSOL para simular el absorbedor del concentrador

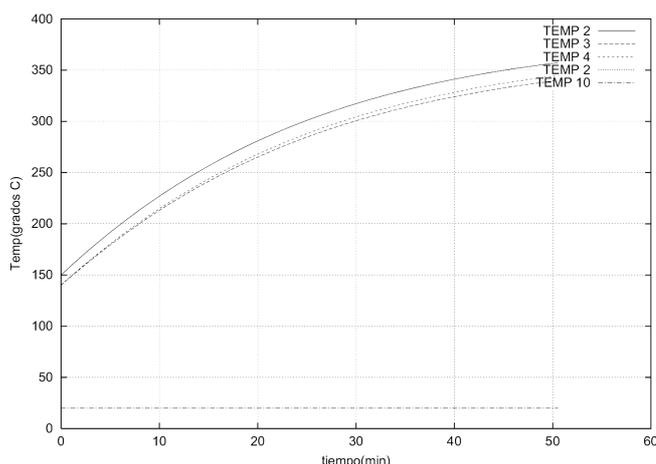


Fig. 4.- Resultados del modelo: TEMP2 = Temp. Barras; TEMP3 = Temp. Aire absorbedor ;
TEMP4 = Temp pared ; TEMP10 = Temp. Ambiente.

la que ocurría con el modelo de concentrador usado anteriormente cuando se tenía un solo espejo. Allí la barra estaba iluminada hasta la mitad de su longitud y el resto estaba bajo sombra. En ese caso se producía un salto de temperatura fuerte entre ambos extremos de cada barra, que llegaba a valer unos 100 C.

El modelo usado en el programa SIMUSOL se muestra en la figura 3 y los resultados en la figura 4, donde se aprecia la variación de la temperatura de las barras y del aire dentro del recinto del absorbedor. Se obtienen temperaturas por encima de los 300 C en 30 minutos, lo que son valores similares a los obtenidos con un solo reflector.

CONCLUSIONES

En este trabajo se han introducido dos conceptos que son de interés. Por un lado se ha presentado un diseño de una cocina de doble reflexión que presenta varias ventajas de funcionamiento derivadas de la nueva posición del absorbedor respecto de los concentradores con una sola superficie de reflexión. Se ha mostrado a través de un cálculo numérico que es de esperar que el agregado de una superficie, con las consiguientes pérdidas de reflexión, es compensado con otros detalles del diseño de manera que la disminución de su rendimiento es mínima. En este momento se ha entrado en la etapa de construcción de un primer prototipo que permitirá verificar experimentalmente estos resultados. Por otro lado, se ha introducido una nueva metodología de diseño de los concentradores de tipo fresnel basada en el uso de un programa de trazado geométrico, el Cabri II. Esta metodología resulta atractiva ya que da un panorama global de la marcha de los rayos y permite optimizar mejor el diseño. Búsquedas posteriores en Internet han mostrado que existe otro programa con características parecidas en el entorno de Linux, que recibe el nombre de Kgeo. Este programa es de libre acceso bajo licencia GPL. Si bien aún está en desarrollo en fase beta, se lo puede usar con bastante confianza. Aún le falta alguna función geométrica de utilidad para este diseño, por ej. La bisectriz de un ángulo, pero se puede reemplazar por una construcción alternativa ligeramente más complicada.

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo fue realizado como parte de las actividades planteadas en el proyecto de “Nuevas Tecnologías de Cocción Solar” que se desarrolla en el subprograma VI del CYTED.

El proyecto fue apoyado financieramente por el CONICET y por el Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta.

REFERENCIAS

Saravia, L. R., Cadena, C., Caso, R., y Fernández, C.,(1999) Cocinas solares comunales con concentrador y acumulador sólido. *Energías renovables y Medio Ambiente*, ASADES, 6, pp. 7-16.

Saravia, L. R., Cadena, C., Caso, R., y Fernández, C.,(2001).

El diseño de concentradores reflectores de tipo fresnel destinados a cocinas solares., *Energías Renovables y Medio Ambiente*, ASADES, 9, pp. 57-65.

SOLAR COOKER WITH A DOUBLE REFLECTION CONCENTRATOR

ABSTRACT.- Saravia et al., 1998, have proposed the use of a solar cooker with two concentrators and a separated insulated box containing the pot. In this work the use of a concentrator with a double reflection and an absorber behind the concentrator is studied. The system design is performed using a geometrical computer program and the expected efficiency is discussed using a thermal simulation with the SIMUSOL program.