

CIENCIAS FÍSICO-MATEMÁTICAS E INFORMÁTICA

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE COCINA SOLAR CON CONCENTRADOR PARABÓLICO COMPUESTO ASIMÉTRICO PARA LA ZONA RURAL DE AYACUCHO

Kleber Janampa Quispe, Octavio Cerón Balboa, Oswaldo Morales Morales Julio Oré García

Unidad de Investigación e Innovación de Ingeniería de Minas Geología y Civil

Programa de Física Aplicada - Área de Energías Renovables

E-mail: kleber_jq@yahoo.es

RESUMEN

Se diseñó y se construyó una cocina solar con un concentrador parabólico compuesto asimétrico (CPC) que permite al usuario, utilizar bajo sombra; para lo cual se determinó el ángulo de apertura del concentrador tomando en cuenta el movimiento del sol en Ayacucho. Se ha logrado definir el ángulo de aceptación del concentrador parabólico en 45° que considera altitud solar entre las 9:30 a.m. y 12:00 m. de la radiación entre los meses de febrero y octubre donde el sol está declinado hacia el norte, el valor mínimo y máximo de dichos ángulos resulta $38,2^\circ$ y $86,4^\circ$. Esta cocina solar es un acumulador de tipo caja, cuyos factores de méritos son F_1 de $0,124 \text{ m}^2 \text{ kW}^{-1}$ para una temperatura de placa 161°C y el segundo factor de mérito F_2 resultó ser de 0,301 para una carga de 3,6 kg de agua, con una radiación solar media de 604 W/m^2 , medidos en base al protocolo de evaluación RICSА.

Palabras clave: Cocina solar, concentrador parabólico compuesto asimétrico.

DESIGN, CONSTRUCTION AND EVALUATION OF SOLAR KITCHEN WITH ASYMMETRIC COMPOSITE PARABOLIC CONCENTRATOR FOR THE RURAL AREA OF AYACUCHO

ABSTRACT

A solar cooker was designed and built with an asymmetric composite parabolic concentrator (CPC) that allows the user to use it under shade; for which the opening angle of the concentrator was determined taking into account the movement of the sun in Ayacucho. It has been possible to define the acceptance angle of the parabolic concentrator at 45° , which considers the solar altitude between 9:30 a.m. and 12:00 m. of the radiation between the months of February and October where the sun is declining towards the north, the minimum and maximum value of these angles is $38,2^\circ$ and $86,4^\circ$. This solar cooker is a box type accumulator, whose merit factors are F_1 of $0,124 \text{ m}^2 \text{ kW}^{-1}$ for a plate temperature of 161°C and the second merit factor F_2 was 0,301 for a load of 3,6 kg of water, with an average solar radiation of 604 W/m^2 , measured based on the RICSА evaluation protocol.

Keywords: Solar cooker, asymmetric composite parabolic concentrate.

INTRODUCCIÓN

El uso de cocinas solares se hace necesario en muchas regiones del mundo, dado que son económicas, ecológicas y de carácter social. Se han diseñado e investigado una diversidad de modelos de cocinas solares, entre ellas encontramos el diseño de una cocina solar de tipo caja equipada con un concentrador parabólico compuesto asimétrico (CPC) que le sirve de reflector hacia la cámara de cocción de la cocina solar, con el objetivo de que la cocción de alimentos sea realizado por el usuario bajo sombra.

Los modelos de cocinas solares difundidos en nuestra zona requieren ser usadas a la intemperie, donde el usuario está expuesto directamente a los rayos solares (Maldonado et al, 2001), siendo este uno de los factores que hace que el uso de las cocinas solares no sea sostenible para la población urbano y rural de nuestra región. Una propuesta, que pretende resolver el problema de la exposición al sol, es la planteada por Harmim, una cocina solar que incorpora un concentrador parabólico compuesto asimétrico (CPC) de Mallick (Harmim et al., 2012) que concentra en una caja térmicamente aislada (Harmim et al., 2014) la radiación solar que ingresa por una cara de la caja cubierta de doble

vidrio. Una cocina solar con CPC presenta un rendimiento térmico mayor sin necesidad de reorientarla al sol continuamente (Yettou et al, 2014), lo que permite su uso fijo en una pared. Por lo que, proponemos evaluar las condiciones óptimas de uso del CPC asimétrico para las condiciones locales, y diseñar el concentrador parabólico compuesto asimétrico (CPC) que se incorpore a un acumulador tipo caja, adosada a la pared de la cocina de una vivienda que permita al usuario manipular la cocción sin exponerse al sol. Para caracterizar la geometría del perfil parabólico de los concentradores determinamos en ángulo de apertura apropiada para las condiciones locales de nuestra región, considerando la altura solar máxima y mínima en los meses donde el Sol está declinado al norte, meses que corresponde de Febrero a Octubre. El ángulo de apertura dimensionado es de 45° para ángulos de altura solar máxima y mínima de 80° y 35° que optimiza el uso de la energía solar entre las 9:30 a.m y 2:30 p.m.

Por otro lado el presente proyecto se desarrolló dentro del marco de colaboración en el proyecto trianual 2015-2018 "LA ENERGÍA SOLAR, IRRADIA CALOR PARA ALIMENTARNOS" conjuntamente con EL COMITÉ

RÉGIONAL D'ÉDUCATION POUR LE DÉVELOPPEMENT INTERNATIONAL DE LANAUDIÈRE (CREDIL – JOLIETTE) CANADA y la RED ECOLOGICA INTERINSTITUCIONAL HATUN SACHA (REIHS). Asimismo este proyecto está en concordancia con los objetivos de la ASOCIACIÓN PERUANA DE ENERGÍA SOLAR Y DEL AMBIENTE (APES), del cual somos socios activos.

MATERIAL Y MÉTODO

Método

En base al movimiento del Sol en Ayacucho determinamos la ubicación de la cocina y la altura solar para los diferentes meses del año para caracterizar la variación del ángulo de incidencia solar respecto al zénit local.

El diseño y dimensionamiento de la morfología del concentrador parabólico compuesto asimétrico, considera dos concentradores parabólicos con focos diferentes para optimizar la concentración de los rayos solares que ingresan al colector dentro de su ángulo de apertura ($2\theta_a$) correspondiente a las diferentes alturas solares que varían en el día o mes; los rayos solares inciden directa o por múltiples reflexiones internas sobre la superficie absorbente ubicada dentro de una caja colectora (Harmim et al, 2012).

Se evalúa los factores de mérito de la cocina en base al protocolo desarrollado por la Red Iberoamericana de Cocción Solar de Alimentos (RICSA), para optimizar su comportamiento térmico.

Materiales E Instrumentos

Para la construcción de la cocina se usó:

- Madera prensada
- Aluminio Anonizado
- Vidrio
- Estructura metálica
- Accesorios.

Para la evaluación térmica

- Radiómetro: UNI-100mV $1000\text{W}/\text{m}^2$. Lectura mínima multímetro: $10\text{W}/\text{m}^2$
- Anemómetro digital de copas giratorias. Lectura mínima 0.5m/s .
- Data Logger de temperatura EBRO EBI40, $0,1^\circ\text{C}$
- Multímetro Fluke 179; voltaje: $0,01\text{V}$, intensidad de corriente: $0,001\text{A}$
- Interface en torno a Arduino.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Diseño del CPC Asimétrico

En base a las investigaciones de Harmim (Harmin et al, 2012), para optimizar el diseño de la cocina solar de tipo caja equipada con un CPC asimétrico para la ciudad de Ayacucho (latitud $12^\circ 7' 7''\text{S}$, longitud entre meridianos $74^\circ 23' 5''\text{O}$ y $75^\circ 8' 16''\text{O}$); se ha tomado en cuenta la incidencia de la radiación solar desde las 9:30 am a 02:30 pm, para un periodo de 5h entre los meses de Marzo a Octubre, meses en los que el movimiento del Sol en Ayacucho está declinado hacia el norte. Durante estos meses se cuenta con días de mayor porcentaje de horas con brillo solar (70%) (Ambrosetti, 1979), lo que nos permite optimizar el uso de energía solar. Los meses de Diciembre a Febrero el Sol está declinado al sur, pero dichos meses corresponde a los meses más lluviosos en Ayacucho.

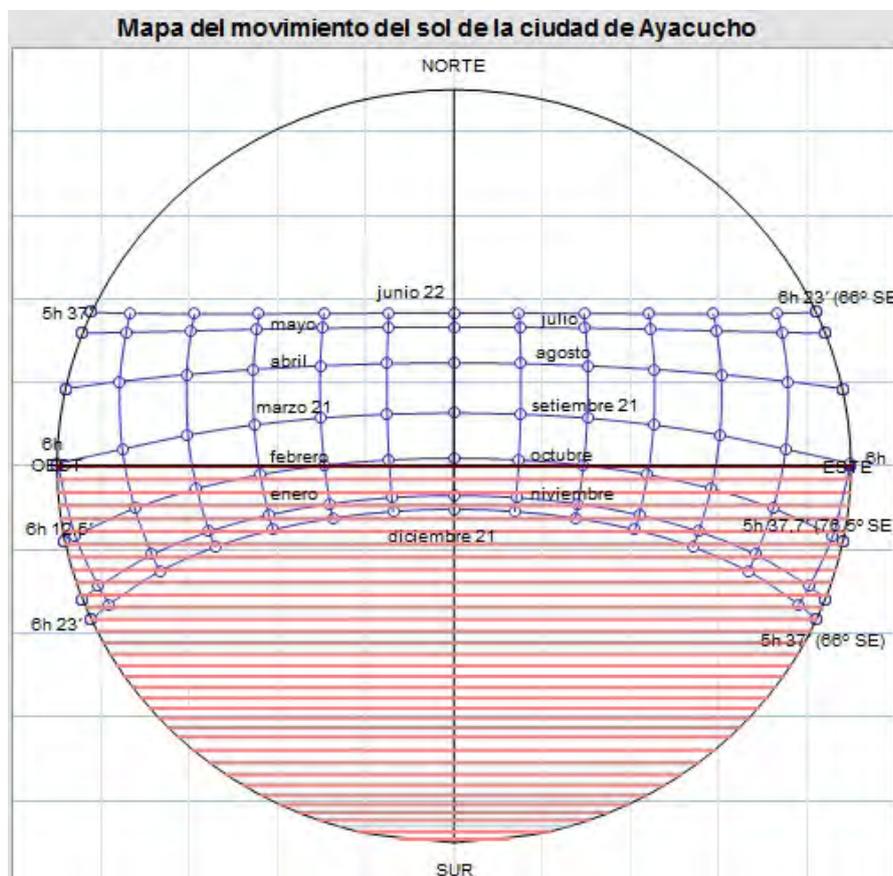


Figura 1. Movimiento del Sol en Ayacucho

La variación de la altura solar en Ayacucho, que es el ángulo de la radiación solar respecto del plano horizontal, se ilustra en la figura 2. De acuerdo a ello, al medio día solar, la altura solar más baja corresponde al 23 de Junio igual a 53°, y cuando la altura solar es de 90° corresponde al 15 de Febrero

y 15 de Octubre, debido a que las viviendas disponen de aleros, se considera un menor ángulo solar y se considera el correspondiente al 20 de Octubre como el valor máximo del ángulo que hace el Sol con la horizontal (86°).

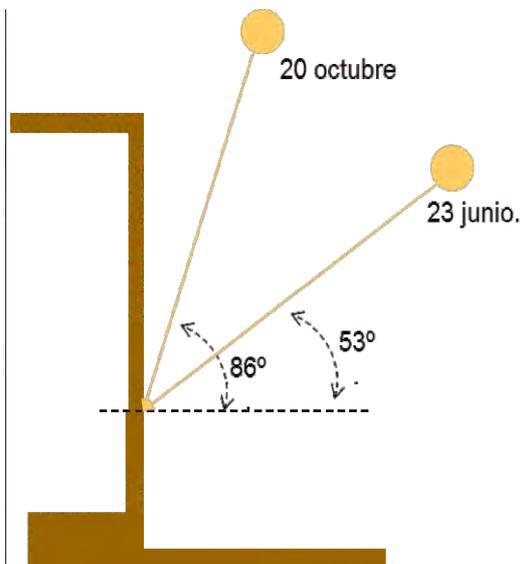
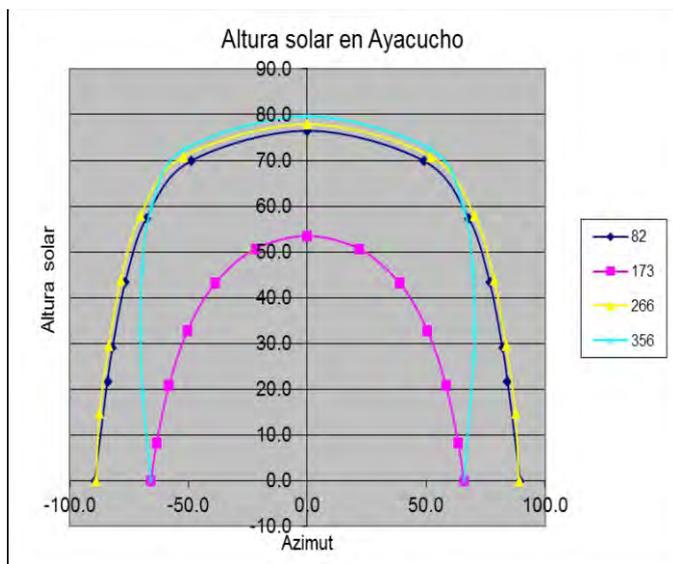


Figura 2. (a) Carta cilíndrica de la altura solar en Ayacucho (b) La altura solar al medio día para el 20 de Octubre y 23 de Junio.

Para aprovechar la radiación solar se considera el intervalo de tiempo de 9:30 a.m. a 2:30 p.m.; los reflectores parabólicos interceptan todos los rayos solares que inciden con ángulo respecto al horizonte entre las 9:30 a.m. del 23 de

Junio, que es el valor mínimo igual a 38,2°, y el ángulo solar al mediodía el 20 de Octubre que es el valor máximo igual a 86,4°. Para valores prácticos, tomamos el intervalo de valores comprendido entre 35° y 80°.

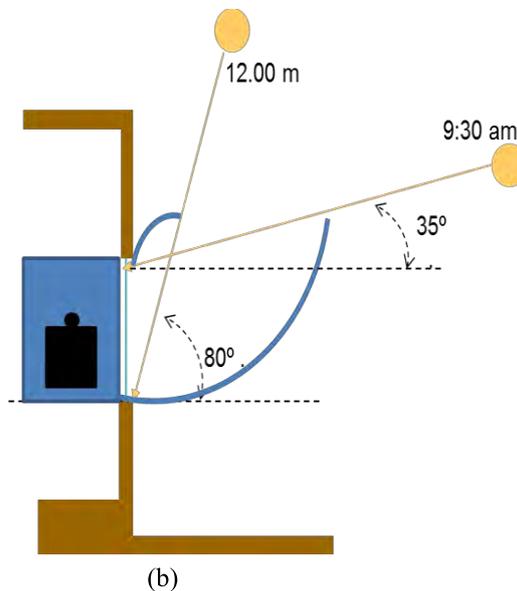
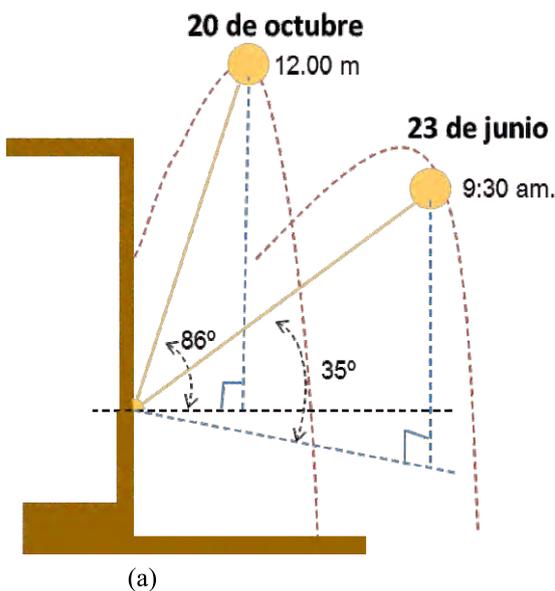


Figura 3. (a) Altura solar entre las 9:30 am y 12:00m (b) Ángulos tomados de referencia para el modelamiento de las parábolas.

De manera que el CPC diseñado debe interceptar los rayos solares entre los ángulos de $\theta_L = 35^\circ$ y $\theta_U = 80^\circ$. Donde $\theta_L = 35^\circ$ es el ángulo de la radiación solar que debe pasar por sobre el reflector parabólico inferior L incidiendo hacia el foco del mismo (F_U) ubicado en la parte superior de la placa colectora. De manera análoga el ángulo $\theta_U = 80^\circ$ corresponde

al ángulo de incidencia máxima del sol que debe pasar por el borde del reflecto superior U incidiendo en el foco del mismo (F_U) ubicado en la parte inferior del colector. De esta manera determinamos la altura de la ventana de entrada de los rayos solares que van a ser colectadas por la placa metálica colectora.

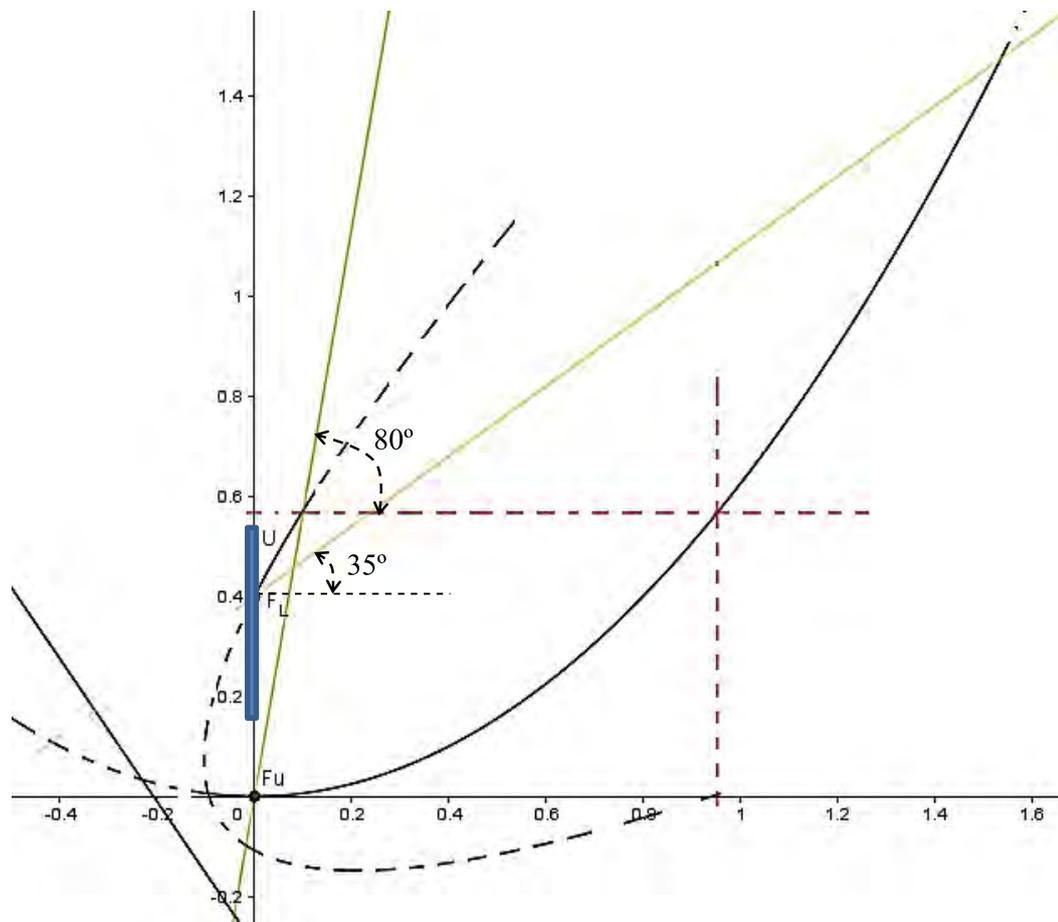


Figura 4. Angulo máximo y mínimo de captación de la radiación solar para Ayacucho entre los meses de Febrero y Octubre para las 9:30 h y 12 h.

La geometría de los reflectores se optimiza para permitir que la cocina funcione en una posición fija sin reorientación y considerando la cara principal de la cocina orientada hacia el norte, de manera que detrás de la entrada de los rayos del sol se dispone la puerta de donde el usuario manipula la cocina, sin exponerse a los rayos solares.

El ángulo de aceptación del CPC asimétrico será entonces (Rabl, 1976)

$$2\theta_a = \theta_U - \theta_L = 45^\circ$$

La relación de concentración geométrica será (Rabl, 1976):

$$C = \frac{1}{\text{sen}\theta_a} = 2,61$$

Tomando de referencia las expresiones planteadas por Harmim (Harmin et al, 2012), determinamos el ancho de apertura CPC (L_0), la proporción de concentración geométrica efectiva (con truncamiento) C' , y los parámetros geométricos del CPC que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Propiedades geométricas del CPC asimétrico

Angulo de aceptación	$2\theta_a$ (°)	45,0
Altitud mínima	θ_L (°)	35,0
Altitud máxima	θ_U (°)	80,0
Ancho de la placa absorbente	W (m)	0,400
Distancia focal del reflector superior	Fu (m)	0,085
Distancia Focal del reflector inferior	FL(m)	0,400
Angulo de aceptación	$2\theta_a$ (°)	45,0
Ancho de apertura CPC	L_0 (m)	0,858
Concentración geométrica	C	2,146
Longitud	I (m)	0,958
Altura	h (m)	0,574
Largo del CPC	E (m)	0,794
Área de apertura del CPC	A_{cpc} (m ²)	0,682

La ecuación del reflector parabólico superior (U), de foco 8,6 cm y directriz

$y + 1,43x = -0,3$ es:

$$x^2 - 2,86xy + 2,04y^2 - 0,85x - 0,59y - 0,09 = 0$$

Y la del reflector inferior (L), de foco 40 cm es:

$$x^2 - 1,6y = 0$$

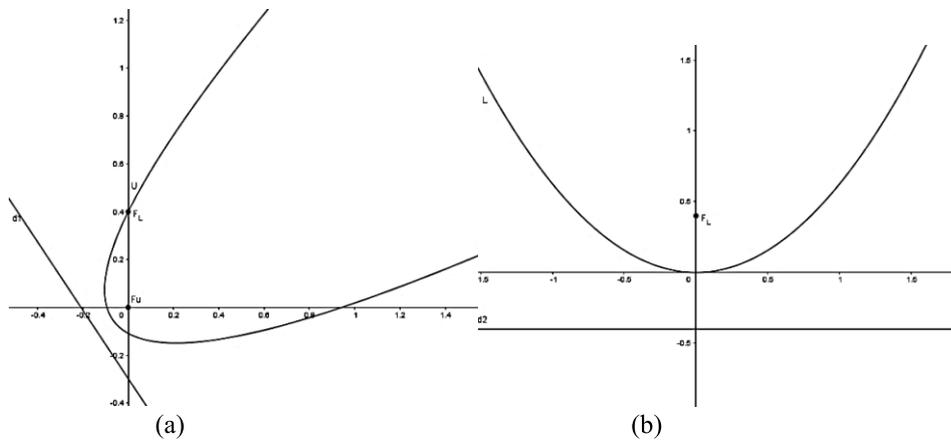


Figura 5. Reflector parabólico superior U (a) y L (b)

Se ha modelado la incidencia de los rayos solares tomando en cuenta diferentes ángulos de altitud solar, para determinar las dimensiones externas apropiadas de los reflectores

parabólicos. El dimensionamiento ha considerado la posición del CPC orientado hacia la ubicación del Sol.

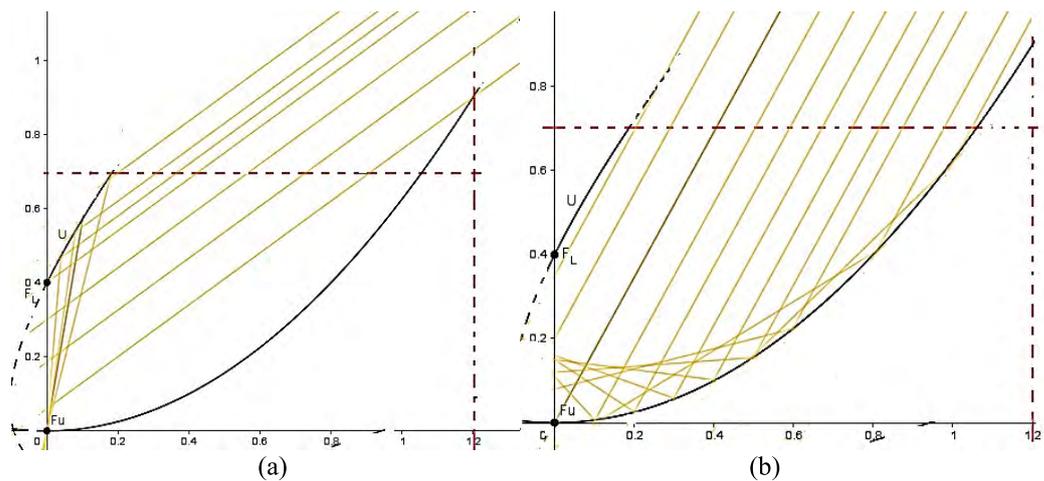


Figura 6. Incidencia de rayos con altitud solar de (a) 35° y (b) 60° sobre el CPC asimétrico

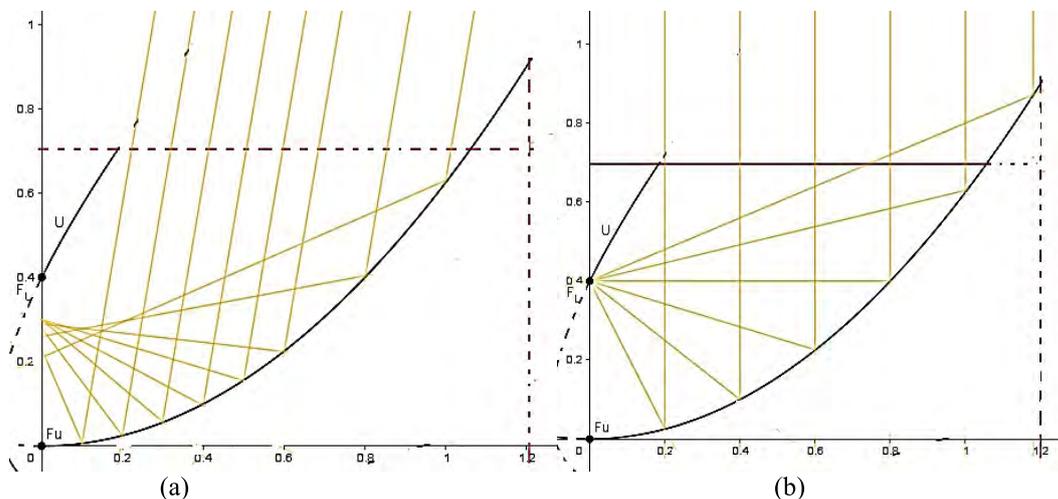


Figura 7. Incidencia de rayos con pendiente de (a) 80° y (b) 90° sobre el CPC.

Para 60° de incidencia de la radiación solar. Obsérvese que hay rayos solares que realizan reflexiones múltiples antes de incidir sobre el colector metálico que estará ubicado entre los focos de los reflectores parabólicos (F_1 y F_0). Tomando en cuenta los gráficos de simulación, se ha determinado las dimensiones externas de los reflectores parabólicos, buscando la mayor colección de los rayos solares entre 35° y 80° de altitud solar, que corresponde a los meses de febrero a octubre. La parábola superior U tiene una altura de 30 cm y 19 cm de largo, en tanto que la parábola inferior tiene altura de 90 cm y

longitud de 120 cm.

Diseño Final de la Cocina Solar con CPC Asimétrico

La cámara de cocción, dispone de una entrada de los rayos solares de 40 x 60 cm cubierta con doble capa de vidrio separada 0,5 cm entre ellos; cubriendo internamente la ventada de entrada se coloca una placa metálica colectora en forma de “ele” que optimice la conducción térmica a la olla de cocción, pintada de negro mate para generar el efecto invernadero.

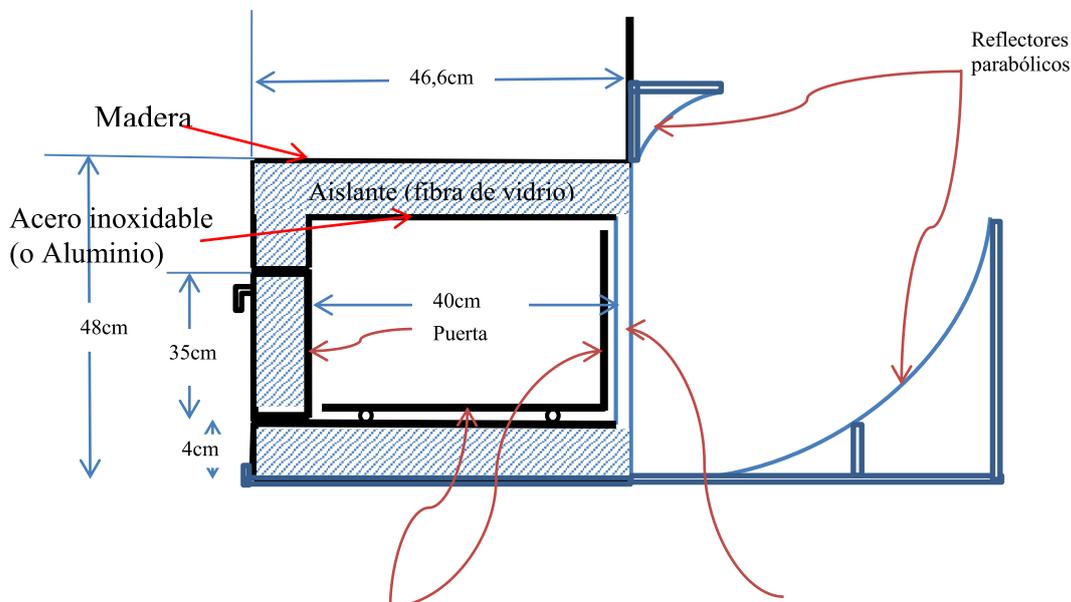


Figura 8. Cocina solar con concentrador parabólico compuesto asimétrico en corte transversal

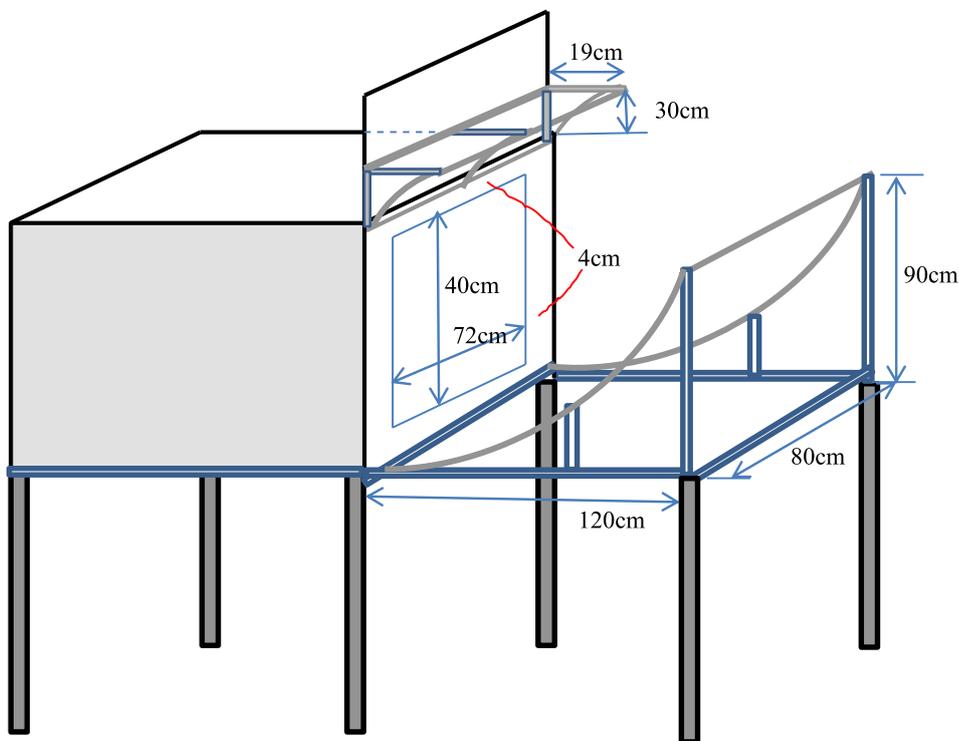


Figura 9. Dimensiones de concentrador parabólico compuesto asimétrico

La caja de la cámara de cocción está debidamente aislada con fibra de vidrio de 4cm de espesor, dispone por la parte opuesta a la entrada de los rayos solares una puerta que

permita al usuario el uso seguro de la cocina, sin exponerse a la incidencia directa de los rayos solares ni externa e internamente.



Figura 10. Cámara de cocción: acumulador solar tipo caja revestido con aislante de fibra de vidrio y estructura de los reflectores parabólicos cilíndricos asimétricos



Figura 11. Acabado final de la cocina solar tipo caja con concentrador parabólico compuesto asimétrico.



Figura 11. Concentración de los rayos solares sobre el foco lineal en el colector metálico vertical de la cocina solar tipo caja con CPC asimétrico.

EVALUACIÓN TÉRMICA

Se determina los factores de mérito F_1 y F_2 , en base al Protocolo de evaluación de cocinas solares de la Red Iberoamericana de Cocción Solar de Alimentos Programa CYTED, (RICSА-CYTED).

Medición de la temperatura máxima sin carga y obtención de primer factor de mérito (F_1).

El primer factor de mérito establece la relación entre la eficiencia óptica de la cocina y las pérdidas al exterior desde la placa. Se toma como referencia las cocinas acumuladoras de tipo caja. El día anterior se determina la posición óptima del reflector para las 12 horas solar, para lo cual se mide el Área de la superficie proyectada sobre el plano horizontal (A_{ph}) considerando el área de apertura del CPC proyectada ortogonalmente a la radiación solar a las 12 h.

El primer factor de mérito se determina mediante (Frias, 2003):

$$F_1 = \frac{\eta_o}{U_L} = \frac{A_p (T_p - T_a)}{A_{ph} I_h}$$

Dónde:

η_o : eficiencia óptica

U_L : coeficiente de pérdidas ($W/m^2\text{°C}$)

A_p : Área de la placa absorbente

A_{ph} : Área de la superficie proyectada sobre el plano horizontal

I_h : Radiación solar global sobre la superficie horizontal (W/m^2)

T_p : Temperatura de placa

T_a : Temperatura ambiente

La temperatura de estancamiento de la placa colector vertical colocada a la entrada de la caja acumuladora resulta $161,5^\circ\text{C}$ medido en la parte central de la placa, para una intensidad de radiación solar media de 596 W/m^2 . La figura 12 muestra la variación de la temperatura de la placa en el proceso de calentamiento hasta alcanzar la temperatura de estancamiento y el proceso de enfriamiento cuando se retira el reflector inferior.

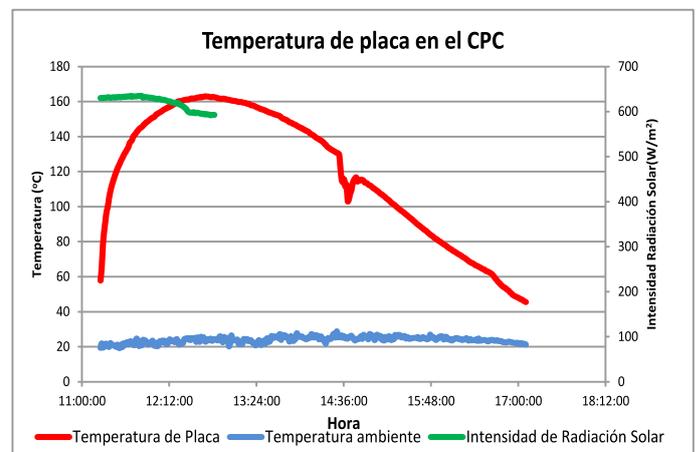


Figura 12. Variación de la temperatura de la palca colector de la cocina solar con CPC asimétrico (25 Junio de

Tabla 2. Primer Factor de mérito

Fecha	25/06/2018
Cocina	CPC
A_{ph} (m ²)	0,536
A_p (m ²)	0,288
T_p (°C)	161,0
T_a (°C)	23,9
I_h (w/m ²)	596
F_1 (m ² °C/W)	0,124
Error	0,0014

Segundo factor de mérito F_2

Tiene en cuenta la eficiencia de la transferencia de calor hacia el recipiente.

F_2 se puede calcular midiendo el tiempo que el agua alcanza un intervalo de temperatura, de 40°C a 80°C, según: (Frías, 2003)

$$F_2 = F'\eta_o Cr = \frac{F_1(Mc)_w}{\tau A_{hp}} \ln \frac{I_h - (A_p / A_{hp} F_1)(T_{w2} - T_a)}{I_h - (A_p / A_{hp} F_1)(T_{w1} - T_a)}$$

Dónde:

- η_o : eficiencia óptica
- U_L : coeficiente de pérdidas (W/m²°C)
- A_p : Área de la placa absorbente
- A_{ph} : Área de la superficie proyectada sobre el plano horizontal
- I_h : Radiación solar global sobre la superficie horizontal (W/m²)
- T_{w1} : Temperatura del agua (40° C)
- T_{w2} : Temperatura del agua (80° C)
- T_a : Temperatura ambiente
- $(Mc)_w$: Capacidad calorífica del agua y olla
- τ : Tiempo que alcanza la temperatura de 40 a 80° C.

Se colocaron 3,5 lit. de agua en una olla metálica al interior de la cocina solar, se encuentra que se demora 92 minutos en alcanzar la temperatura de 40° C a 70° C. Los sensores se ubicaron a 3 cm, 5 cm y 7 cm de la superficie superior del agua para evaluar el segundo factor de mérito y potencia se utilizó la temperatura media

Tabla 3. Segundo factor de mérito (F_2) de la cocina solar con CPC asimétrico

F_2	(31/07/18)
F_1 (m ² °C/W)	0,124
$(Mc)_w$	15069,6
τ (s)	5520
T_{w1} (°C)	40,4
T_{w2} (°C)	70,1
T_a (°C)	24,2
A_p (m ²)	0,288
A_{ph} (m ²)	0,569
I_h (w/m ²)	602,7
F_2	0,301
Error	0,007

La potencia de cocción de la cocina establece la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de 3,6 lit. de agua, que se evalúa para cada cinco minutos para la intensidad de radiación solar correspondiente, que luego se estandariza para una radiación de 700 W/m².

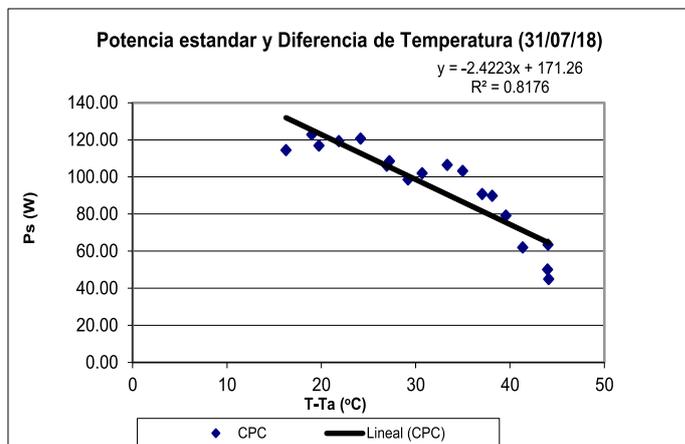


Figura 14. Potencia de cocción estándar de la cocina solar con CPC en función a la diferencia de temperatura del agua y la del medio ambiente.

DISCUSIÓN

El objetivo del diseño de ésta cocina solar es que la cocción sea utilizada por el usuario bajo sombra, sin exponerse a la radiación solar. Para lograrlo, la caja acumuladora debe instalarse en el interior de la cocina sobre la pared que mira hacia el norte, la cocina colecta la radiación solar concentrada por dos reflectores parabólicos asimétricos de diferentes focos que permanecerán fijos. Las dimensiones o parámetros geométricos de los concentradores parabólicos cilíndricos se determinan optimizando la captación de la radiación solar durante los meses que el sol está declinado al norte entre las 9:30 a.m. alrededor del mediodía por un periodo diario de 5 h; lo que corresponde a los meses de Febrero a Octubre. Como consecuencia se determinó que el concentrador parabólico asimétrico, compuesto de dos reflectores, está formado por un concentrador parabólico cilíndrico superior de foco 8.6 cm y el del concentrador inferior 40 cm. El ángulo de aceptación o apertura del CPC asimétrico es de $2\theta_a = 45^\circ$ para ángulos de altura solar entre 35° y 80° , valores que son equivalentes al CPC instalado en Adrar (Sahara argelino) con ángulo de aceptación de 45° para ángulos de altitud solar entre 30° y 75° (Harmim et al., 2012).

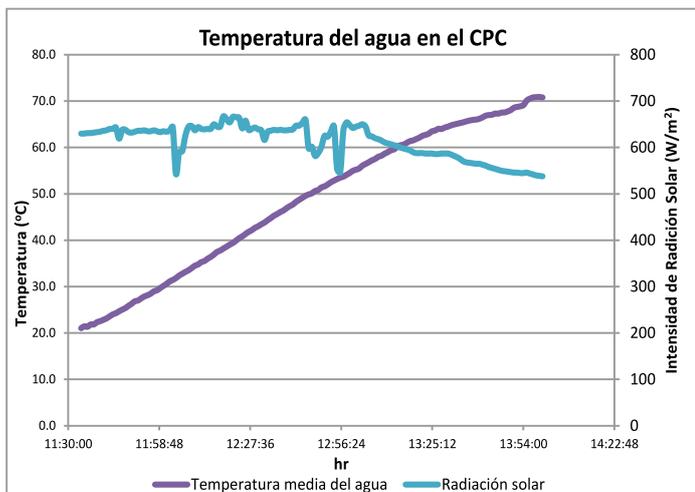


Figura 13. Variación de la temperatura de calentamiento del agua de 3,5 lit. en la cámara de cocción de la cocina solar con CPC asimétrico (31/07/18)

El estudio experimental realizado en este trabajo, muestra que la cocina propuesta presenta un desempeño térmico adecuado sin necesidad de reorientación hacia el sol. De acuerdo a la figura 12, la temperatura de estancamiento de la placa del colector de la cocina solar con CPC asimétrico ha alcanzado el valor de 161 °C, para una intensidad de radiación solar de 596 W/m² lográndose un primer factor de mérito de 0,124 m² kW⁻¹ valor que muestra la eficiencia óptica en relación al coeficiente global de pérdidas de la cocina, este resultado es menor que el obtenido por Harmim (Harmim et al., 2012) de 0,168m² kW⁻¹ con valores de temperatura de placa 140,5 °C, temperatura ambiente, 16,5 °C y para una intensidad de radiación solar 737,5 W / m².

De acuerdo a la tabla 3 y figura 13, para determinar el segundo factor de mérito F₂, se ha tomado 3,6 kg de agua, para el cual se ha caracterizado el comportamiento térmico de la cocina para calentar el agua entre los 40° C y 70° C, resultando el valor de F₂ 0,301 para una intensidad de radiación solar media de 604 W/m². Harmim evaluó el segundo factor de mérito F₂, para el calentamiento de 1 kg de agua, resultando 0,329, con valores de temperatura del agua de 60 °C a 90 °C a temperatura ambiente media de 17,20 °C para una radiación solar media de 725,54 W/m². (Harmim et al., 2012). El valor obtenido del F₂ en la cocina propuesta está en el orden del 91% del obtenido por Harmim para una menor radiación solar y mayor cantidad de agua. Resulta que hay una mayor eficiencia de transferencia de calor al recipiente de cocción lo que permite ser utilizada como un sistema fijo sin necesidad de reorientarla. La potencia media conforme a la figura 14, para una diferencia de temperatura del agua y el ambiente de 50 °C es de 50,1 W.

El reflector parabólico inferior L, no colecta los rayos solares declinados hasta 15° al sur, los que corresponden a los meses de noviembre, diciembre, enero y parte de febrero por lo que hace necesario que el reflector L tenga la posibilidad de girar a lo sumo 15° sobre la superficie horizontal y optimizar la colección de los rayos del sol, lo que dependerá de la presencia de sombras.

Por otro lado, dado que el sol no sólo modifica cada hora su altitud solar sino su ángulo azimutal, los reflectores parabólicos sólo optimizan su colección en las horas próximas al medio día solar, por lo que es necesario que el CPC asimétrico disponga reflectores laterales parabólicos. Los modelos desarrollados por Harmin (Harmin et al, 2012, 2014) y los planteados en Maldonado (Maldonado et al, 2001), sólo contemplan un CPC asimétrico cilíndrico fijo, de manera que si queremos optimizar la radiación solar en nuestra zona es necesario los reflectores laterales, que estarán adosados en la caja de cocción. El reflector parabólico L y U serán móviles correspondientemente a los meses de uso.

Las conclusiones del trabajo son:

- Se ha diseñado y construido un concentrador parabólico compuesto asimétrico (CPC), formado por dos paraboloides cilíndricos con foco del concentrador superior en 8,6 cm y del concentrador inferior en 40 cm. El ángulo de aceptación del CPC asimétrico es 45° que colectan los rayos solares cuya altitud solar varía entre 38,2° y 86,4° (tomado para modelar 35° y 80°), que corresponden a los valores mínimo y máximo de la altitud solar entre los meses de Febrero y Octubre, meses para los cuales el movimiento del sol en Ayacucho está orientado

al norte en dónde hay mayor disponibilidad de horas de sol.

- El diseño de la cocina solar es de un acumulador de tipo caja de 46,6x48x80 cm, aislada con fibra de vidrio con entrada de los rayos solares por una ventana vertical cubierta de doble vidrio y dispone de una placa colectora metálica en forma de ele. La caja está diseñada para ser ubicada a la pared de una casa orientada al norte, de manera que el usuario realiza la cocción de alimentos en un ambiente de sombra.
- La evaluación de los parámetros térmicos de la cocina solar con CPC asimétrico, muestran un primer factor de mérito F1 de 0,124 m² kW⁻¹ para una temperatura de placa 161 oC, temperatura ambiente, 30,8 °C con una intensidad de radiación solar 596 W / m². El valor correspondiente para el segundo factor de mérito F2, para el calentamiento de 3,6 kg de agua resultó 0,301, para el calentamiento del agua de 40 oC a 70°C a temperatura ambiente media de 24,1 °C para una radiación solar media de 604 W / m².

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ambrosetti Bertazzi, P. La energía solar en la región de Ayacucho. UNSCH.1979

Echevarría L, C.A. 2011. Diseño de un Colector Cilindro Parabólico Compuesto con aplicación para el calentamiento de agua. Universidad de Piura. Tesis.

Flores L, V.; Mora S, C.A.; Bedolla H, J.; Bedolla H, M. 2013. Estudio de la geometría PCRA con aplicación en estufas solares. Memorias del XIX. Congreso internacional anual de la SOMIM. Pachuca, Hidalgo, México

Frías Reyes, Rodrigo A. (2003). Metodologías de análisis térmico de sistemas de cocción solar tipo horno. Tesis. Universidad de Chile.

Harmim, A; Merzouk, M; Boukar, M; Amar M. 2012. Mathematical modeling of a box-type solar cooker employing an asymmetric compound parabolic concentrator. Elsevier Ltd.

Harmim, A; Merzouk, M; Boukar, M; Amar, M. 2014. Solar cooking development in Algerian Sahara: Towards a socially suitable solar cooker. Elsevier Ltd.

Hosein Zamani, Mohammad Moghiman*, Ali Kianifar (2015). Optimization of the parabolic mirror position in a solar cooker using the response surface method (RSM). ELSEVIER. ScienceDirect.

Maldonado C, W; Collares-Pereira, M; Farinha M, J. Primeros Ensayos de 2 Cocinas Solares con Colector CPC-Tubo de Calor. ASADES. Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 9, pp. 7 - 14, 2001.

Yettou, F; Azoui,B; Malek, A;Gama, A; Panwar, N.L. 2014. Solar cooker realizations in actual use: An overview. Elsevier Ltd. Renewable and Sustainable Energy Reviews

Serrano, G. (2012). Obtención y caracterización de mezclas de polipropileno y cera parafina para su aplicación en materiales de cambio de fase. Universidad Carlos III de Madrid (tesis) España Schwarzer C, Vieira da Silva M.E.

(2007) Characterisation and design methods of solar cookers. ELSEVIER. Science Direct.

XIX Simposio Peruano de Energía Solar:
<http://www.perusolar.org/ponencias-3/>)
28/03/2017