



ESTUDIO TÉRMICO EXPERIMENTAL Y ALTERNATIVAS DE USOS DE DOS MODELOS DE COCINAS SOLARES EN ZONAS ÁRIDAS

ARTURO F. BUIGUES NOLLENS^{1,2}, MARCELO O. FARIELLO¹, ESTEBAN O. ROJOS¹

¹Universidad Nacional de San Juan

Instituto de Mecánica Aplicada - Facultad de Ingeniería

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - CONICET

Av. Libertador Gral. San Martín 1109, Oeste - C. P. 5400 - San Juan - Argentina

(Recibido 20 de mayo de 2012, para publicación 15 de octubre de 2012)

Resumen – Este trabajo tiene como objetivo presentar el estudio experimental del comportamiento térmico de dos modelos de cocinas solares, el concentrador solar parabólico lineal y el horno solar inclinado tipo caja, junto a alternativas de aplicación en forma combinada. Está dirigido a la provisión de agua libre de contaminación, preparación y cocción de alimentos, para la arquitectura regional de zonas áridas alejadas o aisladas. La metodología de investigación considera, procesos de transferencia de calor, estudios de comportamiento térmico solar a nivel experimental y de posibilidades de resolución de necesidades alimenticias. Los resultados demuestran convenientes tiempos de cocción, facilitando su utilización, según costumbres y localizaciones, en refugios y viviendas rurales. Las conclusiones obtenidas sobre los aspectos técnicos, ambientales y socioeconómicos vinculados a los sistemas solares analizados, permiten afirmar que sus aplicaciones en forma conjunta, contribuyen a mejorar a diario servicios domésticos e incrementar funciones y prestaciones.

Palabras clave – Estudio, térmico experimental, usos combinados, dos modelos, cocinas solares, aridez.

1. INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la cocción de alimentos con la utilización de combustibles orgánicos ocasiona un alto nivel de contaminantes en las viviendas y causa 1,5 millones de muertes prematuras cada año, principalmente a mujeres y niños, [1].

A la vez, el Programa Conjunto de la OMS y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), y de Monitoreo del Abastecimiento de Agua y del Saneamiento (PCM), ha informado que más de 1.100 millones de personas no tienen acceso a agua limpia y, 2.600 millones no tienen acceso a un saneamiento adecuado. Además, según el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), 1,8 millones de niños mueren todos los años de diarrea por falta de acceso a fuentes de agua potable y a servicios de saneamiento básico, lo que convierte a esta enfermedad en la segunda causa de muerte infantil del mundo, [2].

La gravedad de estos problemas se profundiza en la cuarta parte de la superficie de la tierra, vale decir, en las zonas áridas y semiáridas.

En lo que se refiere específicamente a la zona árida de la Provincia de San Juan, Argentina (Árido San Juan), es necesario brindarles soluciones a los pobladores de las zonas alejadas y aisladas donde el agua y el gas son recursos que escasean, faltan o resulta muy onerosa y difícil su obtención.

En zonas como estas habitan familias en hogares conformados por cónyuges, hijos y nietos, que para la preparación y cocción de sus alimentos utilizan como alternativa de combustible la leña del lugar. Estos pobladores llegan en numerosos casos a depredar a este recurso, eliminando especies forestales y extrayendo trabas de parrales del lugar. Así, las emanaciones de humo y gases que producen cocinas, fogones u hogares ubicados en interiores o los hornos de barro en exteriores, provocan severos problemas de salud.

Con esta situación, la calidad de vida de los pobladores del Árido San Juan, se ve afectada, pues tienen que convivir permanentemente con la contaminación ambiental de sus refugios o viviendas y las posibles y frecuentes contaminaciones del escaso caudal de agua del que disponen.

Hervir el agua para el consumo humano, es uno de los métodos de desinfección más efectivo, ya que luego de que dejamos el agua en ebullición por unos tres minutos, se eliminan todos los microorganismos que pudiera tener. Además, naturalmente el hombre al transpirar, pierde una cantidad de agua y sales que ha de ser reemplazada. Fisiológicamente, lo mejor es disponer de agua apta para beber en el momento que se transpira, esto es algo natural y deseable.

El uso de la energía solar, constituye una excelente alternativa de solución para evitar los problemas mencionados. En este trabajo se estudia el comportamiento térmico del concentrador solar parabólico lineal de dos dimensiones (CPL) y el del horno solar tipo caja (HS).

En la actualidad, las características del HS, la forma o rapidez para preparar alimentos, dominan el campo del diseño de la cocción u horno solar, [3] y [4]. También, los CPL, se hacen de diferentes medidas, y se realizan teniendo en cuenta solo la cantidad de energía que se debe coleccionar, [5].

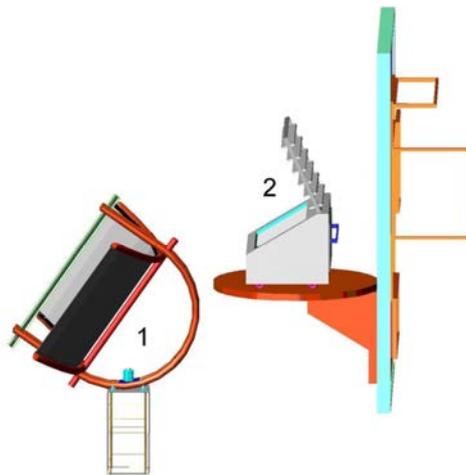
Existen investigaciones que se encuentran dirigidas a comparar y valorar el uso de las cocinas solares de acumulación u HS y las de concentración, que incluyen el CPL, con el objeto de demostrar cuál de estos dos sistemas ofrece mayores ventajas y desventajas o inconvenientes respecto al otro, considerando la mayor eficiencia de utilización general, [6] y [7].

1.1. Propuesta

En realidad en el Árido San Juan, los HS no solo deben ser utilizados teniendo en cuenta la energía y la forma de evitar las pérdidas de calor, sino también la necesidad de provisión de agua y las costumbres para preparar los alimentos del hombre.

Nuestro estudio se desarrolla considerando ambas cocinas solares en forma separada, y se analizan las posibilidades de uso conjunto, Fig. 1.

El objetivo es demostrar de qué manera es posible combinar ambos sistemas para poder brindar respuestas permanentes y en el menor tiempo, a través de, a través de diferentes usos alternativos, para la cocción de alimentos con el HS, utilizando la rapidez que brinda el CPL para disponer de agua caliente o hervida, a la vez que se preserve el ambiente y proteja al hombre.



1- Concentrador Parabólico Lineal, 2- Horno Solar tipo caja

Fig. 1. Características físicas generales del conjunto en estudio.

2. CONCENTRADOR PARABÓLICO LINEAL CPL

2.1. Proceso de Transferencia de calor

La energía del Sol llega a la superficie de la Tierra en forma radiante. Al ponerse en contacto con una superficie, puede ser absorbida, reflejada ó transmitida.

El objetivo principal de este trabajo es capturar la mayor cantidad de energía radiante con buena eficiencia.

Se ha elegido como proceso de captación de la energía solar, un CPL cuya forma de concentrar la energía es por reflexión, Fig. 2.

Para lograr una buena concentración con este concentrador, debe existir una relación geométrica precisa entre la dirección de los rayos incidentes y la normal a la superficie de apertura del concentrador.

Los espejos que concentran la radiación en una línea, pueden lograr temperaturas en dicho foco, que favorecen una rápida transferencia del calor.

Se denomina concentración ideal (C_{id}), al máximo valor de concentración que puede ser alcanzado por un concentrador cualquiera, independientemente de la forma, del material con el cual se realice y de la fuente emisora de energía.

Para el caso de concentración en dos dimensiones ($C_{id\ 2d}$) siendo la fuente de energía el sol, se tiene (los rayos solares llegan a la Tierra con una inclinación θ_s), [8]:

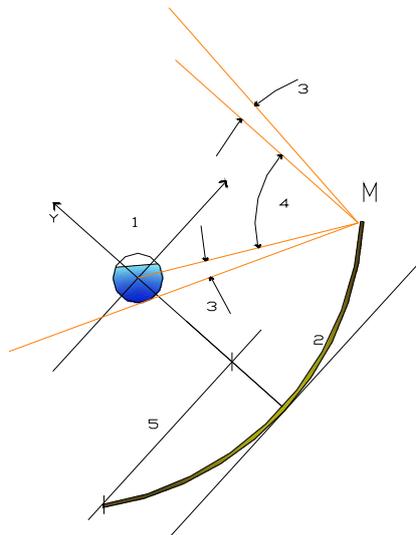
$$C_{id} \leq 1 / \text{sen } \theta_s$$

Para una concentración ideal, el campo mínimo es el diámetro aparente del Sol y $\theta_s = 16'$ (ángulo de inclinación, con el cual llegan los rayos solares a la Tierra), de donde se obtiene:

$$C_{id\ 2d} \leq 1 / \text{sen } \theta_s = 215$$

La concentración ideal, no es fácil de lograr, pues existen algunos problemas que lo impiden, tales como imperfecciones en la construcción de los sistemas de concentración-absorción y en los de seguimiento de la fuente emisora de energía.

Matemáticamente se puede encontrar el valor de concentración, para un espejo cilindro parabólico ideal, o sea sin imperfecciones.



1- Absorbedor, 2- CPL, 3- Ángulo de campo θ_s , 4- Ángulo de concentración geométrica ϕ , 5- Distancia focal x

Fig. 2. Parámetros del conjunto.

Los rayos del Sol no llegan a la Tierra sin inclinación. El diámetro del Sol mide 1,39 millones de km, y la distancia desde la Tierra al Sol es de 149,6 millones de km, por esta razón es que el disco solar se ve sobre la Tierra con un ángulo de 32'.

Considerando que el reflector es ideal (no tiene ninguna imperfección constructiva), para captar todos los rayos solares que llegan al punto M del espejo, el cilindro absorbedor deberá tener un radio mínimo que está dado por:

$$a = r \operatorname{sen} \theta_s \quad (1)$$

El cilindro absorbedor tiene una longitud unitaria, al igual que el espejo concentrador, por lo tanto, la concentración estará dada por:

$$C = \frac{2x1}{2\pi a1} = \frac{\text{Area de abertura concentrador}}{\text{Area lateral absorbedor}} \quad (2)$$

Pero de la figura anterior se ve:

$$x = r \operatorname{sen} \varphi_{\max} \quad (3)$$

Reemplazando las ecuaciones (1) y (3) en la (2), la concentración será:

$$C = \frac{r \operatorname{sen} \varphi_{\max}}{\pi r \operatorname{sen} \theta_s} = \frac{\operatorname{sen} \varphi_{\max}}{\pi \operatorname{sen} \theta_s}$$

de donde:

$$C = \frac{\operatorname{sen} \varphi_{\max}}{\pi} C_{\max} \quad (4)$$

El ángulo φ es el formado entre la recta normal al plano de abertura, en el borde del espejo, (donde asentaría el plano de abertura) y la recta que une este con la recta focal.

La concentración máxima se obtendrá cuando $\varphi_{\max} = \pi/2$ y esto es cuando la altura del concentrador sea igual a la distancia focal. Si ahora se considera que el concentrador está perfectamente enfocado al sol, la concentración será máxima y estará dada por:

$$C_{\max} = \frac{1}{\pi \operatorname{sen} \theta_s} = \frac{C_{id}}{\pi} \quad (5)$$

Considerando que la ecuación (5) indica que con los espejos cilíndricos parabólicos no se puede conseguir la concentración ideal y, teniendo en cuenta los costos de la superficie espejada, se ha determinado las características del CPL en función de la cantidad mínima de superficie.

Se elige este sistema teniendo en cuenta la velocidad de transferencia de calor y que el proceso será utilizado específicamente para calentar flujos de fluidos a través del absorbedor.

Cuando el coeficiente de concentración es alto, las pérdidas derivadas del tubo absorbedor disminuyen y, por lo tanto, la recolección de energía útil aumenta.

Para que esta energía no sea reflejada desde la superficie del absorbedor, fue pintada de color negro mate, Fig. 3. El material del absorbedor es de cobre, que tiene una gran capacidad de transferencia de calor por conducción.

El fluido dentro del absorbedor se mueve con una velocidad baja, incluso, en algunos casos, el movimiento de dicho fluido se produce por termosifón, por lo tanto, el proceso de transferencia de calor por convección es bajo.

Teniendo en cuenta lo mencionado, se puede decir que la transferencia de calor desde el absorbedor al fluido, es por conducción y convección.

La energía solar concentrada llega al absorbedor, donde se alcanza una temperatura que permite obtener un importante salto térmico. Esta diferencia de temperaturas, es uno de los factores relevantes, que permite acelerar el proceso de transferencia de calor.

La temperatura del fluido debe alcanzar solamente temperaturas inferiores a la de ebullición del agua.



Fig. 3. Detalle del absorbedor pintado negro bajo aislación térmica.

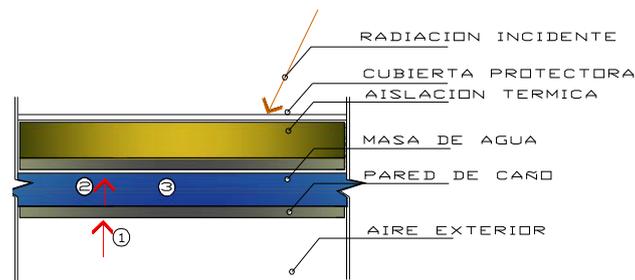


Fig. 4. Esquema de la transferencia de calor a través del absorbedor.

Teniendo en cuenta las cantidades de fluido y las temperaturas que se deben alcanzar, además de las pérdidas que puede tener el sistema, se ha determinado el área de energía radiante que será capturada del colector lineal, por lo cual el colector deberá ser de poca curvatura y una distancia focal grande.

El concentrador lineal alcanza una temperatura en el absorbedor de aproximadamente 200°C y teniendo en cuenta que la máxima temperatura que se necesita para la cocción de alimentos es de 100°C, la diferencia de temperatura que produce la transferencia de calor es de 100°C.

El concentrador deberá calentar el tubo absorbedor propiamente dicho (1), Fig. 4, y también el agua que circula dentro de éste (2), Fig. 4. Para ello, la radiación solar que afecta al tubo absorbedor generará un calor útil, que será el que permita que el agua llegue a calentarse (3), Fig. 4.

Dentro de tal proceso, existen pérdidas de calor por convección, conducción y radiación. Para calcular la transferencia de calor que se produce en el absorbedor utilizamos la ecuación característica del calor (6), llegándose a la siguiente expresión, [9]:

$$q_u = m_a c_p (T_2 - T_1) = \alpha \tau I A - Q_p \quad (6)$$

donde:

m_a = masa del agua

c_p = calor específico del agua.

α = absorbanza del tubo receptor

τ = transmitancia del tubo receptor

T_1 = temperatura de entrada del agua en el absorbedor (absorbedor abajo)

T_2 = temperatura de salida del agua en el absorbedor (absorbedor arriba)

I = radiación solar entrante

A = área de la abertura de la parábola

El calor perdido por convección, radiación y conducción está dado por las siguientes expresiones (7):

$$\begin{aligned} Q_p(h) &= h \cdot A_r \cdot (T_{receptor} - T_{ambiente}) \\ Q_p(\varepsilon) &= h \cdot \sigma \cdot A_r \cdot (T_{receptor} - T_{ambiente}) \\ Q_p(k) &= k \cdot \Delta x \cdot A_r \cdot (T_{receptor} - T_{ambiente}) \end{aligned} \quad (7)$$

donde:

h = coeficiente de transferencia de calor por convección

ε = emitancia del receptor

σ = constante de Boltzmann, cuyo valor es $5,6704 \times 10^{-8}$ h.

k = coeficiente de transferencia de calor por conducción desde la superficie exterior del tubo absorbedor a la superficie interior del mismo

Δx = espesor del absorbedor

$T_{receptor}$ = temperatura superficial del absorbedor

$T_{ambiente}$ = temperatura exterior

A_r = superficie exterior del absorbedor

Del estudio del rendimiento teórico del CPL [10], se determinó que a medida que aumenta la temperatura del fluido en la entrada, la temperatura del absorbedor también aumenta.

Como resultado, también aumentan las pérdidas debidas a la radiación y convección en los alrededores del tubo, lo que implica una disminución de la eficiencia del absorbedor.

3. HORNO SOLAR TIPO CAJA

En la construcción del horno solar tipo caja con cubierta inclinada, se han proyectado componentes fijos y móviles. Entre los componentes fijos y dentro del área colectora solar, se encuentra la superficie de cubierta transparente de 0.38 m^2 . El HS, tiene una proyección horizontal corregida según la altura solar, de $0,50 \text{ m}^2$, presenta una superficie de placa absorbedora de 0.33 m^2 y una caja constituida por paredes de chapa galvanizada, con 3" de lana de vidrio entremedio, como aislante térmico.

La propuesta de diseño también considera componentes móviles innovadores, tal como la tapa posterior vertical, unida a la placa negra horizontal a modo de bandeja. Esta unidad es removible en un 100%. Funciona como una caja corrediza mediante correderas telescópicas a rulemanes laterales, contribuye a un fácil mantenimiento, introducción y extracción de utensilios y alimentos.

Por otro lado, el diseño pivotante en bandas del área reflectora, de 0.53 m^2 , permite el control en forma visual desde atrás del HS, evitando dar sombras sobre la superficie de captación solar. De esta manera, se limitan reflexiones y deslumbramientos lumínicos innecesarios para el operario. Toda esta superficie espejada se gira en su conjunto, como una hoja única que cubre el vidrio, y se transforma en una tapa aislante del ambiente.

En general, el conjunto de componentes descriptos, fue proyectado bajo un punto de vista ergonómico y duradero, para realizar el seguimiento solar, sobre una mesa de reorientación [11], Fig. 5.

3.1. Análisis del sistema de colección y placa absorbedora. Descripción analítica del comportamiento térmico.

Despreciando la inclinación de la cubierta transparente respecto de la horizontal, el HS puede considerarse como un colector solar plano que opera en condiciones no estacionarias, [12]. Su comportamiento térmico detallado, se puede resumir como sigue (Fig. 6):

- De toda la densidad de la radiación solar incidente por unidad de superficie sobre la cubierta transparente, que llega (1), Fig. 6, solo es aprovechada una fracción. La mencionada cubierta o vidrio superior refleja el 7,5% de la radiación incidente (2), Fig. 6. Esta superficie, en el HS, es

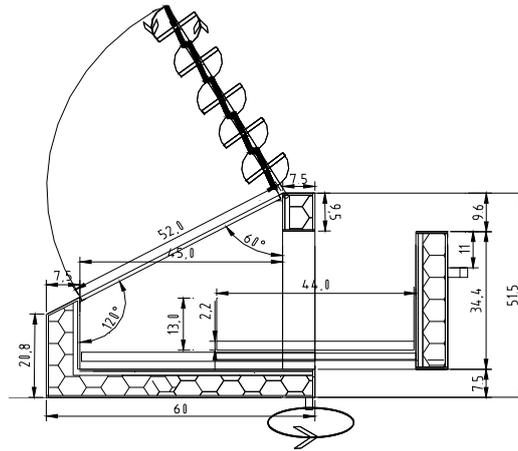


Fig. 5. Corte del horno solar tipo caja.

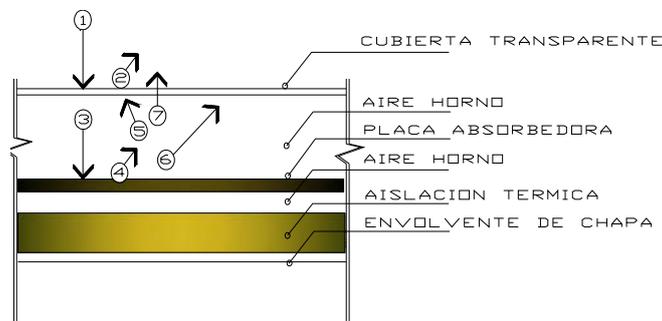


Fig. 6. Comportamiento térmico del sistema de colección y placa absorbedora.

un doble vidriado hermético (DVH), y no es completamente transparente. Por lo tanto, la radiación que lo atraviesa e incide en el absorbedor es solo una fracción (3), Fig. 6.

- La temperatura inicial de todo el sistema será la temperatura ambiente. A medida que recibe radiación, la placa pintada de negro (símil “cuerpo negro”) absorberá la fracción de la radiación solar, aumentando con el transcurso del tiempo su temperatura hasta los 120°C (4), Fig. 6. Esto lo hará, por convección del calor desde el aire a la cara interna transparente (5), Fig. 6 y por convección libre desde la placa del HS al aire (6), Fig. 6.
- También radiará en un rango de longitudes de onda distinto al correspondiente al sol. Si el Sol radia entre 0,25 y 2,5 micras, la superficie absorbente emitirá entre 4 y 70 micras, es decir en el infrarrojo. La radiación emitida por la placa absorbedora intenta salir del colector y para ello incide sobre el lado interno de la cubierta de DVH (7), Fig. 6.

Mientras que el DVH es transparente para la radiación solar (longitudes de ondas cortas), es opaco para la radiación infrarroja.

- Por su parte, la cubierta transparente o DVH, adquiere en la cara interna una temperatura $T(i)$, mayor que la temperatura de la cara externa $T(e)$ debido a que al absorber radiación, existe un flujo de calor por conducción a través de la cubierta, produciendo una pérdida global de calor desde la cubierta hacia el aire ambiente (7), Fig. 6. Su temperatura dependerá de la temperatura de la placa absorbente, comportándose como un cuerpo negro para el infrarrojo y toda su superficie radiará por sus dos caras.

- El HS presenta una doble envolvente con aislación térmica entre medio que permite mantener el calor acumulado e impide perder el calor hacia el espacio de cocina de la vivienda, en horas en que no se encuentra presente el sol.

3.2. Comportamiento Térmico. Estudio de las variables que intervienen en los procesos de transferencia de calor

Existen estudios y análisis previos en los que se han obtenido experimentalmente coeficientes de pérdidas de calor a través de todo el perímetro del horno tipo caja como el que es objeto de este estudio.

Ahora bien en relación a la olla, esta pérdida de calor está compuesta por el coeficiente de transferencia de calor desde la superficie del recipiente al exterior a través de la cubierta vidriada U_t , y por el coeficiente de transferencia de calor desde la superficie del recipiente a través la pared opaca U_b .

Luego, la ecuación que gobierna la transferencia de calor en el HS, en relación a la olla [14], Ecuación (8), es:

$$S - (U_t A_t + U_b A_b) \cdot (T_p - T_a) = [\rho_l V_l C_{p_l} + m_r C_{p_r}] \frac{dT}{dt} \quad (8)$$

donde:

S = radiación incidente absorbida por el recipiente [W]

U_t = coeficiente de transferencia de calor desde la superficie del recipiente al exterior por la cubierta vidriada [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

U_b = coeficiente de transferencia de calor desde la superficie del recipiente por la pared opaca [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

A_t = superficie de cubierta vidriada [m^2]

A_b = superficie de pared opaca [m^2]

T_p = temperatura de la superficie del recipiente que contiene el líquido, que consideramos que es la misma del líquido [$^\circ C$]

T_a = temperatura del aire [$^\circ C$]

ρ_l = densidad del líquido utilizado [Kg/m^3]

V_l = volumen del líquido [m^3]

C_{p_l} = calor específico del líquido [$J / Kg \cdot ^\circ C$]

m_r = masa del recipiente utilizado [Kg / m^3]

C_{p_r} = calor específico del material del recipiente [$J / Kg \cdot ^\circ C$]

dT/dt = variación incremental, derivada de la temperatura respecto del tiempo [C/s]

4. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN

El comportamiento térmico de los HS, puede ser representado por dos figuras de mérito, los resultados de estas, permiten la ejecución de comparaciones entre diferentes tipos de hornos. Las mencionadas figuras de mérito, que son obtenidas a través de la realización de ensayos experimentales, permitirán mejorar el diseño de las cocinas solares y brindar una mayor utilidad.

A nivel experimental y bajo condiciones de estado estacionario, se llegó a determinar que la energía externa suministrada al HS iguala a la pérdida de calor total del HS, [13].

La primera figura de mérito F_1 [14], tiene en cuenta la relación de eficiencia óptica del horno y las pérdidas de calor al exterior desde la placa absorbidora de energía solar, y el segundo factor de mérito F_2 , tiene en cuenta la eficiencia de la transferencia de calor hacia el recipiente con agua.

De la ecuación de balance para el sistema agua, se pudo cuantificar el porcentaje de distribución de la energía [15], resultando que de todos los aportes que llegan a dicho sistema, solo el 0,5 corresponde al aporte conductivo debido al espesor de la placa negra y caliente utilizada.

Se han realizado mediciones para obtener ambas figuras de mérito en un horno de cubierta inclinada y con los componentes propuestos [16], en las que los valores registrados permitieron alcanzar un valor para $F_1 = 0.12^\circ C m^2 / W$, y para $F_2 = 0.246^\circ C m^2 / W$, [17].

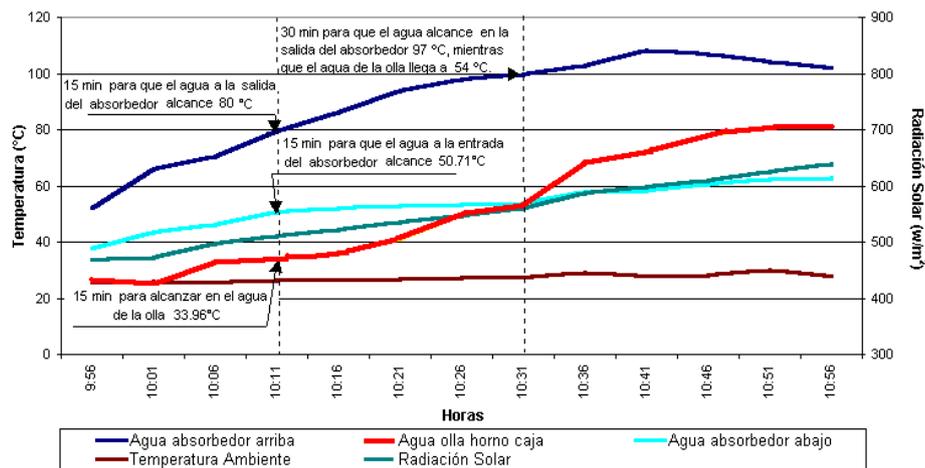


Fig. 7. Evolución del calentamiento del agua en el HS y el CPL en conjunto.

Los estudios experimentales desarrollados en este trabajo han sido realizados para poder conocer en forma detallada la evolución del calentamiento de agua, Fig. 7 y para obtener F_2 , Fig. 8; en el HS y el CPL en conjunto, [19], [20] y [21].

Estos registros fueron obtenidos del interior del HS, y la temperatura ambiente, con una radiación global sobre plano horizontal del orden de los 800 W/m^2 .

Los valores típicos de radiación solar incidente en la provincia de San Juan, van desde los 600 W/m^2 en invierno a unos 980 W/m^2 en verano, ambos a medio día y con cielo totalmente despejado.

En la ciudad de San Juan, donde la altura sobre el nivel del mar en que se ha realizado el ensayo corresponde 650 m , la ebullición, ocurre a partir de los 95°C , [22].

4.1. Análisis e interpretación de resultados

Estabilidad frente al viento, necesidad de vigilancia y reorientación: La experiencia fue realizada a mediados del mes de marzo, dando comienzo a las 10 hs, [23]. La presencia del viento sur empezó a las 10.30 hs. con ligeras brisas de aire y luego con ráfagas moderadas, mezcladas con brisas permanentes, se fue incrementado hasta las 13.30 hs., momento en que alcanzó mayor permanencia con una velocidad de $0,55 \text{ m/s}$.

A partir de las 10:30 h, el sistema de mediciones reflejó para el CPL una moderada inestabilidad, lo que originó una permanente vigilancia y reorientación con control de enfocamientos precisos. El absorbedor del CPL fue protegido por arriba y el HS en toda la caja, con aislación térmica de 3" de lana de vidrio.

En la medida que las ráfagas del viento se hacían más intensas, se observaron mayores perturbaciones en la curva de mediciones del absorbedor. Si bien los registros térmicos del HS presentaron mayor estabilidad a lo largo de todo el ensayo, se observó que con el incremento de la velocidad del viento se prolongaba el tiempo para obtener la ebullición.

Facilidad de manejo, y temperaturas alcanzables: La facilidad de manejo del HS permitió reorientarlo cada 15 min, alcanzando a los 60 min 80°C y a los 100 min 97°C , con una radiación solar de 766 W/m^2 .

El CPL tuvo un seguimiento solar permanente cada 5 minutos, lo que facilitó que a los 15 minutos el agua alcanzara en la salida del absorbedor, 80°C , a los 30 min 97°C con una radiación solar 561 W/m^2 , y a los 40 min $108,5^\circ\text{C}$, (Fig. 8).

Se pudo comprobar que conservó durante 180 min una temperatura por encima de 100°C .

Este comportamiento se mantuvo hasta que finalizó la etapa de calentamiento del HS.

Velocidad de cocción y riesgos de incendio: El agua contenida en el absorbedor del CPL llegó a la temperatura de ebullición a los 30 min, mientras que en el HS el agua de la olla lo hizo a los 100 min, (Fig. 8).

El agua en el absorbedor, necesitó un 27% menos de radiación solar para hervir y en 1/3 del tiempo que el que se necesitó en la olla. No presentó ninguno de estos sistemas riesgos de incendio.

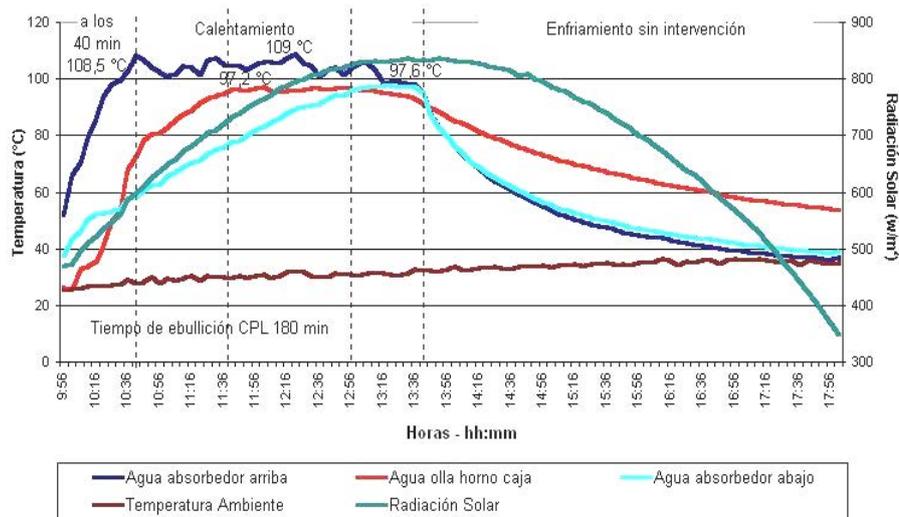


Fig. 8. Mediciones obtenidas para obtener F2 del HS y del CPL en conjunto.

Almacenaje y tiempos de conservación: Posteriormente y debido a las condiciones impuestas en el ensayo experimental, luego de alcanzar el agua la temperatura de ebullición, se tapó el HS y se aisló el CPL de la energía solar incidente.

Luego, se dio comienzo a la etapa de enfriamiento sin intervención, (Fig. 9). Obteniendo como resultado, que a las cuatro horas de iniciada esta etapa del ensayo, el agua contenida en la olla se mantuvo 20°C por encima de la del absorbedor y en el orden de los 55°C.

4.2. Valoración de aspectos fundamentales

Según las observaciones realizadas, se deduce que el tiempo de ebullición de ambos sistemas estudiados, depende de variables no controlables, tal como la situación climática en general y de las variaciones de sus diferentes parámetros en particular.

Debido a que:

1. Las pérdidas de calor en forma radiante y convectiva aumentaron en la medida que la velocidad del viento se incrementaba, retrasando el tiempo de ebullición. Por el contrario, la recolección de energía útil aumentaba cuando la velocidad de las ráfagas de viento disminuía.
2. A medida que el nivel de radiación se incrementaba, el tiempo para alcanzar la ebullición del agua en el absorbedor CPL fue más corto, al aumentar rápidamente su calor útil y tener una carga menor, además, en el HS fue más largo al aumentar su calor útil lentamente por tener una carga mayor.
3. Cuando el agua de salida del absorbedor llega a alcanzar la temperatura de ebullición, el agua contenida en la olla está recién por comenzar la etapa de calentamiento sensible. Por otro lado, el agua contenida en el absorbedor del CPL, pierde calor más rápidamente que en el HS.

Por lo tanto, la discusión se encuentra centrada en la utilización combinada de ambos sistemas solares, destinada al:

- a) Aprovechamiento de la influencia positiva de los parámetros climáticos para alcanzar la ebullición durante el tiempo de calentamiento sensible.
- b) Incremento de prestaciones durante la preparación o cocción de alimentos y mediante la utilización de aporte de calor del CPL al HS.



Fig. 9. Situación del CPL y el HS en la etapa de enfriamiento sin intervención.

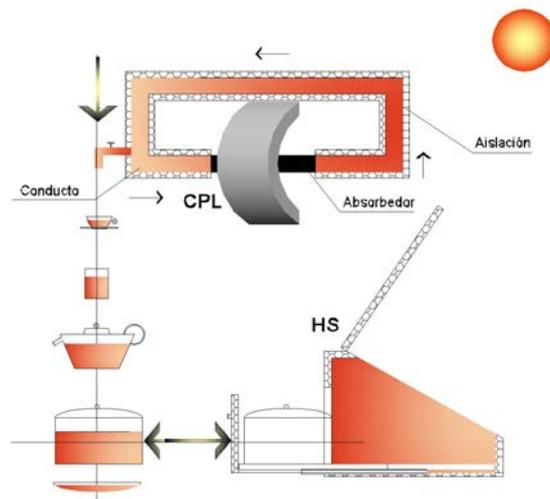


Fig. 10. Uso combinado del CPL y el HS durante la preparación de alimentos para la merienda y el almuerzo.

4.3. Alternativas de usos

Las alternativas diarias de usos, para las diferentes funciones y prestaciones, según las necesidades de refugios y viviendas rurales en esta zona árida son:

- En forma independiente

Precalentar, Calentar líquidos y Cocinar alimentos durante el día.

Conservar y Mantener la temperatura de líquidos y alimentos durante la cena y a lo largo de toda la noche, con la utilización de un tanque térmico (TT), y del HS cerrado y aislado para limitar pérdidas de calor, (Fig. 10).

Y en forma dependiente:

En el HS es posible mejorar la proporción del aporte conductivo de la placa negra caliente, utilizando el incremento de calor que provee el fluido de los tubos vinculados al CPL, para así, poder realizar las siguientes funciones y prestaciones según la ubicación del HS:

- Precalentar y calentar el HS y utensilios a distancia.

Por convección natural cuando es posible localizar el CPL debajo de la caja del HS, (Fig. 11 y Fig. 12).

- Proveer y mantener de calor al HS y utensilios

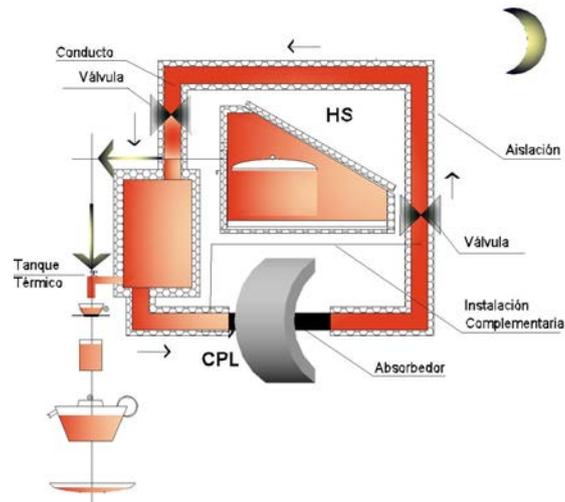


Fig. 11. Uso combinado del CPL y el HS durante la preparación de alimentos nocturnos.

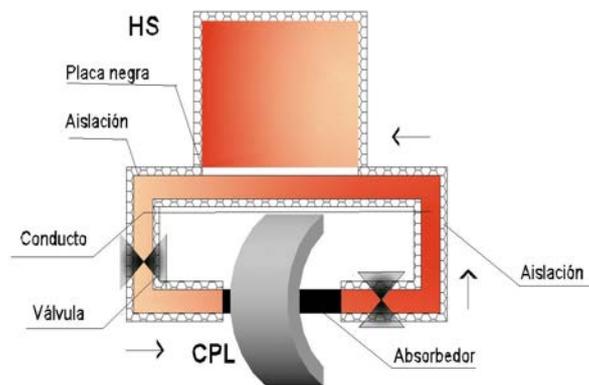


Fig. 12. Aporte de calor del CPL a la placa negra del HS por convección natural.

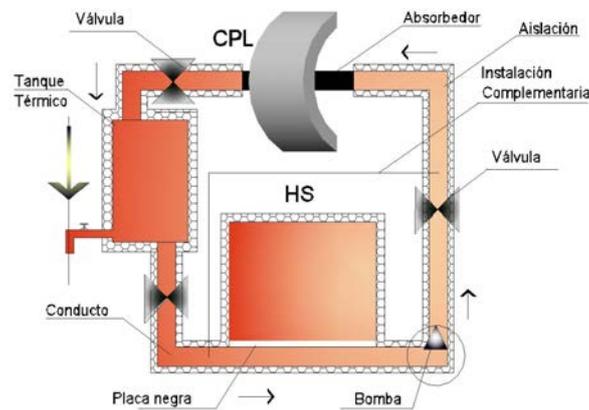


Fig. 13. Aporte de calor del CPL a la placa negra del HS por convección forzada.

Por convección forzada cuando el CPL se localiza por encima de la caja del HS. En este caso se hace necesario utilizar un equipo auxiliar permanente para bombeo del agua (B), que facilite precalentar, mantener alimentos calientes y proveer calor al HS para cuando el Sol no está presente, (Fig. 13).

Tabla 1. Evaluación de alternativas de uso.

Función	Necesidad Alimenticia Diaria	Prestaciones			
		Independiente		Dependiente	
		CPL	HS	CPL y HS s / TT	CPL y HS c / TT y B.
Precalentar	Líquido				
	Sólido				
	Diurna				
	Nocturna				
Calentar	Líquido				
	Sólidos				
	Diurna				
	Nocturna				
Conservar y Mantener	Líquido				
	Sólido				
	Diurna				
	Nocturna				
Hervir y Cocinar	Líquido				
	Sólido				
	Diurna				
	Nocturna				
Ponderación		6	9	12	16

Para evaluar en forma ponderada las alternativas de uso propuestas, se ha realizado una matriz en la que participan funciones, necesidades alimenticias diarias y posibilidad de prestaciones de los modelos estudiados, Tabla 1.

Los resultados de la evaluación de las alternativas de uso demuestran que una mayor cantidad de necesidades alimenticias pueden ser satisfechas en la medida que aumentan las posibilidades de prestaciones dependientes entre ambos sistemas.

Cabe aclarar, que en la búsqueda de presentar en forma completa el estudio realizado, los datos experimentales del trabajo han sido limitados a una muestra representativa del clima estival en el Árido San Juan. En este sentido, la evaluación de las alternativas de uso, también han sido circunscriptas a un número acotado de posibilidades respecto del conjunto de prestaciones dependientes.

5. CONCLUSIONES

No demuestra ser una desventaja, de una cocina respecto de la otra, la diferente situación térmica que se presenta cuando la cocina de acumulación u HS no alcanza las altas temperaturas logradas en las de concentración tipo CPL. Y tampoco es una ventaja que en la cocina con CPL se alcancen temperaturas mayores y con mayor rapidez respecto a las cocinas de acumulación.

Por el contrario, considerando las necesidades de los usuarios de zonas áridas, nos demuestran, a nivel doméstico, amplias posibilidades de uso en forma conjunta y complementaria, especialmente en viviendas y escuelas de zonas frías y templadas frías o cálidas.

Así, a las posibilidades de obtención de una cocción suave, con un elevado aprovechamiento térmico en la olla donde se concentra la energía solar y no presentar peligro de que se quemen los alimentos, ahora, con el uso combinado propuesto, se logra acelerar e incrementar la producción de alimentos durante el mismo horario de uso del HS.

Cabe destacar que a diferencia del horno de barro, que al perder temperatura, requiere repetir la operación de calentamiento, utilizando más leña; el HS, al conservar la energía, puede seguir cocinando. Así, el HS puede ser utilizado diariamente, sin que se necesite que sea de gran tamaño, como el tradicional horno

de barro, en el cual se hornea para toda la semana, y tampoco es necesario calentar su masa, dado que toda la energía se encuentra dirigida a realizar directamente la cocción de los alimentos. Por lo tanto, la cantidad de alimentos a hornear puede ser notablemente menor. Lo cual, también impide perder alimentos por descomposición, especialmente en verano. Es decir, se puede preparar sólo la cantidad necesaria para consumo diario.

Dado que el CPL brinda rapidez y el HS permite conservar la temperatura de los alimentos hasta la merienda o cena, está claro que es posible complementarlos. Esta situación permite ganar tiempo en la cocción de alimentos en el orden de la hora diaria, que facilitará una mayor cantidad de preparaciones.

En definitiva, considerando que la cocción solar presenta facilidades para el cocinero, con esta beneficiosa situación térmica, es posible aumentar prestaciones a lo largo de todo el proceso de preparación de comidas, dirigidas a brindar soluciones a las necesidades alimenticias diarias.

En este sentido, el uso combinado del CPL y el HS, se adapta a las costumbres tradicionales de pobladores de zonas alejadas y aisladas, quienes a diario utilizan para la preparación de sus alimentos agua hervida, permitiéndoles ahorrar energía, tiempo y preservar trabas de parrales, árboles o arbustos, tan necesarios en el ambiente árido.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo, desean agradecer por el apoyo económico recibido, al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - CONICET y a la Secretaría de Ciencia y Técnica, a través del proyecto de investigación: Horno Solar Mixto para Escuelas Alejadas de Zonas Áridas - Resolución N° 034/08 – Consejo Superior – Rectorado, Universidad Nacional de San Juan - Director responsable Dr. Arq. Arturo F. Buigues Nollens.

REFERENCIAS

- [1] Rehfuss, E., “El asesino en la cocina - Energía Doméstica y Salud. Combustibles para una vida mejor”, Organización Mundial de la Salud - Organización Panamericana de la salud. Ediciones de la OMS (2007)
- [2] PNUMA, Perspectivas del Medio Ambiente Mundial Medio Ambiente para el Desarrollo. Parte A Visión de Conjunto – GEO 4 - Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2007)
- [3] Passamai, V., “Nuevas Experiencias de Campo con Cocinas Solares”, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente*, **4**(3), 9-15 (2000)
- [4] Ibrahim, A., El-Sebaï, A.A., “Experimental testing of a box-type solar cooker using the standard procedure of cooking power”, *Renewable Energy*, **30**(12), 1861- 1871 (2005)
- [5] Mullick, S.C., Kandpal, T.C., Kumar, S., “Thermal test Procedure for a Paraboloid Concentrador Solar Cooker”, *Solar Energy*, **46**(3), 139-144 (1991)
- [6] García, J., “La cocina solar. Un sistema de aprovechamiento directo de la energía solar para cocer los alimentos y para otras aplicaciones”, *Biblio 3W, Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, Universidad de Barcelona, Vol. VII, N° 376 (2002)
- [7] Kimambo, C.Z.M., “Development and performance testing of solar cookers Department of Energy”, University of Dar es Salaam, *Journal of Energy in Southern Africa*, **18**(3) (2007)
- [8] Chassériaux, J.M., *Conversión Térmica de la radiación solar*, Librería Agropecuaria S.A., Editorial Biblioteca Mosaico S. A., Buenos Aires (1990)
- [9] Pinedo Araujo, A., Asmat Campos, D., “Análisis teórico-experimental del colector solar cilíndrico parabólico automatizado con espejos reflectantes”, *Revista ECI Perú*, **7**(2), 40-47 (2010)
- [10] Senthil Manikandan, K., Kumaresan, G., Velraj, R., Iniyan, S., “Parametric Study of Solar Parabolic Trough Collector System”, *Asian Journal of Applied Sciences*, **5**, 384-393 (2012)
- [11] Aalfs, M., “Principles of Solar Box Cooker Design” – Solar Box Cooker Northwest –Seattle - USA. Solar Cookers International. Internatura. Energía Renovable. Seattle USA. Consulta electrónica realizada 8/10/2011: <http://www.internatura.org/estudios/energias/ccsolar.html>

- [12] Esteves, A., “Horno solar de cubierta vidriada horizontal para altas latitudes”, Laboratorio de ambiente Humano y Vivienda (LAHV) - INCIHUSA CRICYT - 2.121- 02.124
- [13] Channiwala, S.A., Doshi, N., “Heat Loss Coefficients for Box Type Solar Cookers”, *Solar Energy*, **42**(6), 495-501 (1989)
- [14] Mullick, S.C., Kandpal, T.C., Saxena, A.K., “Thermal Test Procedure for Box Type Solar Cookers”, *Solar Energy*, **39**(4), 353-360 (1987)
- [15] Passamai, V., “Simulación del Comportamiento Térmico de una Cocina Solar (Parte II)”, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente*, **2**(1), 29–32 (1998)
- [16] Castell, M.E. de, Pastrana, A.F., Collares Pereira, M., Vázquez, L., Esteves, A., “Propuestas de Procedimiento para la Evaluación del Comportamiento Térmico de Cocinas Solares y Hornos Solares”, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente*, **3**, 33-137 (1999)
- [17] Buigues Nollens, A., Rojos, E., Fariello, M., “Comportamiento Térmico Experimental de un Horno Solar Híbrido”, *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente*, **8**, 85-91 (2008)
- [18] Castell, M.E., Pastrana, A.F., Collares Pereira, M., Fonseca Fonseca, S., Esteves, A., “Correcciones al Protocolo de Ensayos de Cocinas Solares para la Determinación del Rendimiento Térmico”, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente*, **4**(1) (2000)
- [19] Jacquot, R., *Modern Digital Control Systems*, 2ª edición. Editorial Marcel Dekker (1994)
- [20] Pallas Areny, R., *Sensores y acondicionadores de señal*, Editorial Marcombo (1994)
- [21] Szklanny, S., Behrends, C., *Sistemas digitales de control de procesos*, 2ª edición. Editorial Control (1995)
- [22] Buigues Nollens, A.F., Rojos, E., “Desarrollo y Construcción de Sistemas Alternativos de Cocción”, *Proceedings of the Second World Conference on Solar Cookers, Use and Technology*, Universidad Nacional de Heredia, Costa Rica (1994)
- [23] Esteves, A., “Ensayo de Potencia para Medir el Comportamiento Térmico de Hornos Solares, su Validez en Función de la Época del Año”, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente*, **5**(2), 49-54 (2001)

EXPERIMENTAL THERMAL STUDY AND ALTERNATIVE USES OF TWO MODELS OF SOLAR COOKERS IN THE ARID AREAS

Abstract – The aim of this work is to present the experimental study of the thermal behavior of two solar cookers, the linear parabolic solar concentrator and the tilted box solar oven and alternatives of combined applications. It is oriented to the supply of non-polluted water and the preparation and cooking of meals for the regional architecture of isolated or remote arid areas. The research methodology considers heat transfer processes, thermal behavior studies on an experimental basis and possibilities of solving food needs. The results indicate adequate convenient cooking times, facilitating their utilization according to uses, needs and locations in rural shelters and houses. The conclusions obtained from the socio-economical, technical and environmental aspects, related to the solar systems analyzed, allow us to state that their joint applications contribute to increase uses and operational modes and improve domestic services.

Keywords – Thermal experimental study, Mixed-uses, Two models, Solar ovens, Aridness.