

ENSAYO EN ÉPOCA INVERNAL DE UN HORNO SOLAR CON REFLECTOR INFERIOR Y COMPARACIÓN CON UN MODELO CONVENCIONAL

Juan M. Lucchini, Jorge R. Barral y Javier H. Garnica

Universidad Nacional de Río Cuarto - Facultad de Ingeniería - Departamento de Mecánica

Ruta Nac. 36 Km. 601, 5800 Río Cuarto

Tel./Fax: (0358) 4676246 - e-mail: jbarral@ing.unrc.edu.ar

Recibido 11/08/16, aceptado 08/10/16

RESUMEN: Este trabajo presenta el estudio del comportamiento de una cocina tipo caja con un reflector inferior, realizándose una comparación con otra cocina muy similar pero sin dicho reflector. El objetivo principal de la investigación fue ver si era posible lograr condiciones adecuadas para cocción de alimentos en la época del año de menor altitud solar, cuando la incidencia de los rayos sobre el área de apertura disminuye. Se midieron ambas cocinas en paralelo, utilizándose el procedimiento propuesto por la Red Iberoamericana de Cocción Solar de Alimentos. Se describe el proceso de diseño y fabricación del prototipo. Los resultados muestran que el agregado del reflector inferior permite alcanzar temperatura de ebullición y mantenimiento de la misma por más de una hora y media para la carga de agua establecida por el procedimiento mencionado. Se muestran las mediciones de temperatura y radiación solar mediante gráficos y se resumen los resultados en tablas.

Palabras clave: Cocina solar tipo caja, reflector inferior, ensayo comparativo, potencia de cocción.

INTRODUCCIÓN

Las cocinas solares tipo caja (solar box cookers), u hornos solares, fueron las primeras en ser utilizadas, han experimentado un importante desarrollo tecnológico en el siglo pasado y se utilizan prácticamente en muchas regiones del mundo (Cuce y Cuce, 2013). Estas cocinas consisten básicamente en una caja aislada, con una superficie transparente y superficies reflectantes que se exponen directamente al sol (Saxena et al., 2011). En su evolución, se han empleado diversas variables geométricas y materiales para su construcción (Tilca et al., 1999) (Lema et al., 2006) y se han desarrollado modelos con un cierto nivel de complejidad en cuanto a su tecnología hasta modelos muy simples de autoconstrucción (Javi et al., 2005). Su desarrollo se ha dado mayormente en regiones con buena radiación solar y en poblaciones con bajos recursos económicos.

El principio de funcionamiento es muy simple y requiere mínimos conocimientos y precauciones para su utilización. Se pretende que a través de la superficie transparente pase la mayor cantidad de radiación solar posible, ya sea en forma directa o a través del reflejo de otras superficies, y gran parte de la energía absorbida por el interior de la cocina se conserve merced al efecto invernadero y las paredes aislantes de la caja. Dado el movimiento del sol en la esfera celeste, el operador debe cada tanto orientar la cocina y las superficies reflectantes, para lograr en cada momento la mayor incidencia posible de la radiación solar sobre dicha superficie transparente. Este manejo lo aprende un futuro usuario de la cocina en pocos minutos de entrenamiento práctico un día soleado.

Las aplicaciones son variadas y se ha logrado una difusión importante de su utilización en ciertas regiones de Argentina. Además de la cocción de alimentos se las suele utilizar para procesos de pasteurización, esterilización, y otras aplicaciones. El proceso de cocción lenta las hace aptas para elaboración de todo tipo de guisos y dulces (Cuce y Cuce, 2013). Su uso se ha extendido en regiones del Noroeste del país, provincias de Catamarca, La Rioja, San Juan y hasta el Norte y centro de Córdoba, teniendo en cuenta que hay muchos sectores de la población que no tienen acceso a la red de gas natural y que también les resulta difícil el acceso a leña y otros combustibles.

Para establecer parámetros que permitan realizar comparaciones acerca del funcionamiento de las cocinas solares tipo caja, u hornos solares, se han desarrollado procedimientos y normas. Desde las primeras propuestas (Mullick et al., 1987) (Funk y Larson, 1998), se han venido puliendo procedimientos que tienen en cuenta varios aspectos, entre los que sobresalen dos factores de mérito y la determinación de la potencia de cocción efectiva. Se adoptó para este trabajo la última versión propuesta por la Red Iberoamericana de Cocción Solar de Alimentos (RICSA) que tiene en cuenta tanto las condiciones de ergometría, seguridad, calidad de materiales y mantenimiento (de Castell et al., 1999a) como las condiciones térmicas (de Castell et al., 1999b).

Un problema para este tipo de cocinas, a medida que aumenta la latitud de su lugar de aplicación, es la disminución de la incidencia directa de la radiación solar sobre la superficie transparente. Esto hace que en los meses invernales sea muy difícil alcanzar condiciones de temperatura adecuadas para realizar la cocción de alimentos. En particular, en la región central de Argentina, a pesar de tener valores de radiación solar muy buenas para estos meses (Adaro et al., 2002) se ha comprobado que varios modelos convencionales de cocinas tipo caja no llegan a producir la ebullición de la cantidad de agua propuesta por los procedimientos de evaluación mencionados en el párrafo anterior.

Para sobrellevar este problema, basándose en la geometría de un modelo bien conocido, se construyó un prototipo al cual se le ha adicionado un reflector inferior para aumentar la captación de radiación solar. Además, a fin de aumentar la eficiencia de la reflexión, se usaron directamente espejos como superficies reflectantes. Para el montaje del reflector inferior se dotó al prototipo con patas que levantan la base de la cocina a unos 80 cm del piso.

A fin de investigar acerca de la influencia de esta modificación, se estudió su comportamiento en forma comparativa con el modelo original durante varios días invernales. Las mediciones se hicieron en paralelo para ambos hornos solares, de acuerdo a los procedimientos previstos en el protocolo de ensayos propuesto por RICSA. Se verificó así una importante mejora, lográndose tiempos de ebullición de agua que hacen apta a la cocina para operar satisfactoriamente en los días de menor altitud solar del año.

Se presentan en este trabajo una descripción del diseño y construcción del prototipo mencionado, las mediciones realizadas, y los resultados obtenidos. Se concluye en que la variante de un reflector inferior mejora notablemente la performance de la cocina tipo caja en lo que respecta a su Potencia de Cocción.

DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO DE COCINA CAJA CON REFLECTOR INFERIOR

El prototipo diseñado se basó en la forma geométrica original de un horno solar descrito y analizado por Esteves et al. (2008), denominado tipo Ñancuñán2-HS3, que se muestra en la Fig. 1. El mismo fue adquirido por el Laboratorio de Energía Solar de la UNRC en el año 2009 y desde entonces ha sido utilizado alternativamente para cocción de alimentos y varios estudios experimentales. Este horno se compone en su parte externa de una caja de madera de álamo y placas de MDF (Medium Density Fiberboard). En su parte interna está recubierto de una chapa de aluminio plegada y provista de una aislación térmica de lana de vidrio. Posee en su parte superior una cubierta doblemente vidriada, con una cámara de aire estanca en su interior de 10 mm de espesor, formando un ángulo de 15° sobre la horizontal. Para aumentar la ganancia solar poseen un reflector adyacente a la superficie vidriada, compuesto de una placa de MDF y recubierta con un material reflectante autoadhesivo. Los alimentos se introducen por una puerta que se encuentra en la parte posterior (la más alejada del ecuador) realizada con madera de álamo y placa de MDF en el exterior, y con una chapa de aluminio en el interior y lana de vidrio como aislación térmica. La puerta pivota sobre un eje vertical, como se puede observar en la Fig. 1 (b). Sobre el piso se encuentra una placa de chapa de acero al carbono, calibre 18, con plegados en forma de v a fin de separarla del piso. El horno se ubica sobre un soporte con cuatro ruedas de 100 mm de diámetro adosadas a su base y posee dos manijas a los lados.



(a)



(b)

Figura 1: Horno tipo Ñancuñán2-HS3.

El prototipo diseñado y construido en el Laboratorio de Energía Solar de la UNRC, tiene su cuerpo principal de las mismas dimensiones que el Ñancuñán2-HS3, y para la inclusión del reflector inferior, se le han adicionado cuatro patas de caño cuadrado. En la Fig. 2 se pueden observar dos vistas de dicho prototipo. A fin de alivianar el cuerpo principal del horno, se han utilizado algunos materiales distintos al modelo original. Los laterales y el frente de la caja, tanto del interior como del exterior, son de chapa galvanizada calibre 22 debidamente plegada y con poliuretano expandido como material aislante entre ellas. El poliuretano cumple también una función estructural de modo de evitar los puentes térmicos entre las chapas del interior y exterior. Se unen estas chapas y aislante a un marco de madera que viene a ser la parte trasera del horno, como se ve en la Fig. 3 (a), el cual permite también el montaje de la tapa del horno, cuya apertura se da respecto a un eje horizontal inferior (como el horno de una cocina común). Esta puerta está hecha con madera de álamo y placa de MDF en el exterior, una chapa galvanizada calibre 22 en el interior y lana de vidrio como aislación térmica.

En la parte superior como inferior posee una cubierta doblemente vidriada con una cámara de aire estanca de 10 mm de espesor. Al igual que el modelo original, la cubierta superior tiene 15° de inclinación. Para aumentar la ganancia solar posee dos reflectores, uno adyacente a la superficie vidriada superior y otro debajo del horno, los dos construidos con una placa de MDF que soporta sendos espejos de 4 mm de espesor. A 15 mm sobre la superficie vidriada inferior se encuentran tres caños estructurales de 10 x10 mm de sección y 1,6mm de espesor que hacen de piso para asentar la placa absorbente de radiación, que ocupa toda la parte inferior del interior del horno; ésta es de aluminio con bordes de 20 mm de espesor y pintada de negro mate. Las patas tienen 800 mm de altura, contando dos de adelante con ruedas de 200 mm y las dos posteriores con manijas horizontales en su parte superior para facilitar el traslado (como si fuera una carretilla). A su vez, sobre esas manijas horizontales, se apoya la puerta cuando se abre, para formar una base horizontal que facilita la introducción de los alimentos con el deslizamiento de ollas o asaderas, como se muestra en la Fig. 2 (b). Las patas soportan cerca del piso un bloque plano de cemento en forma horizontal, el cual sirve para bajar el centro de gravedad de todo el equipo y así brindar estabilidad al horno para los días con ráfagas de viento, que suelen ser frecuentes en ciertas épocas del año en la región de Río Cuarto.

En la Fig. 3 se observan etapas de fabricación del prototipo. Allí se puede apreciar el marco de madera posterior que da soporte a la puerta y cierra el conjunto de chapa de laterales y frente, Fig. 3 (a), y también los caños cuadrados que soportan el piso. Se observa también la ubicación del aislante, que es

poliuretano expandido, obtenido mediante una reacción química de dos componentes aplicados entre las paredes de chapa galvanizada. Se puede ver asimismo el vidrio doble de la parte inferior.



(a)



(b)

Figura 2: Horno con reflector inferior diseñado en el Laboratorio de Energía Solar de la UNRC.

Como se muestra en la Fig. 4, el reflector inferior está colgado de las patas delanteras, pudiendo bascular sobre un eje horizontal, a fin de lograr los ángulos necesarios para que los rayos reflejados penetren por la parte inferior de la caja. La geometría del trazado de rayos se realizó mediante un programa de diseño gráfico y modelado en tres dimensiones (3D) basado en caras, para entornos de arquitectura, denominado SketchUp, y que está disponible en forma libre en Internet. Pensando en una utilización de la cocina solar para todo el año, la basculación del reflector inferior permite su utilización tanto en los días de invierno con menor altitud solar, como en los días de verano en el sol tiene un recorrido muy alto en la esfera celeste. En la Fig. 4 se muestran los distintos casos.



(a)



(b)

Figura 3: Etapas de fabricación de la cocina solar de la UNRC.

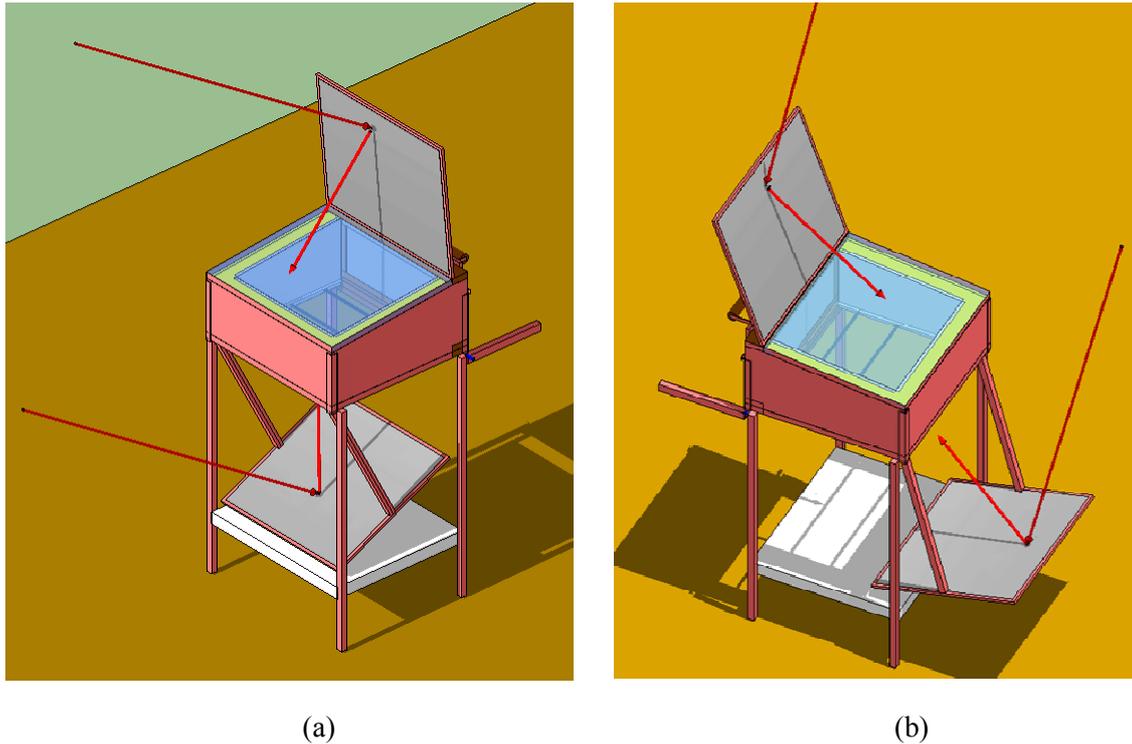


Figura 4: Posiciones del reflector inferior: (a) un día de julio; (b) un día de enero

CUADRO COMPARATIVO DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y GEOMÉTRICAS

El procedimiento técnico propuesto por RICSA para la realización de los ensayos de las cocinas tipo caja incluye las siguientes etapas: (a) Descripción física de la cocina; (b) Verificación de aspectos ergonómicos y de seguridad; (c) Calidad de materiales y evaluación del mantenimiento; y (d) Ensayos para evaluar el comportamiento térmico. Por razones de extensión del presente artículo, este trabajo se enfocó fundamentalmente en la evaluación del comportamiento térmico del prototipo y su comparación con el modelo original. De todas maneras, se han descrito ambas cocinas y sus materiales para proveer una idea general de las características de estos equipos. Siendo la única diferencia el agregado del reflector inferior, es de esperar que el nuevo horno, de ahora en más denominado UNRC-RI1, no presentará grandes diferencias en cuanto a la calidad de los materiales, mantenimiento y seguridad. En la Tabla 1 se muestran las principales características geométricas y algunos detalles importantes de ambos equipos.

Por supuesto, el agregado de las patas implica un grado de complejidad mayor en el procedimiento de construcción y armado y alguna dificultad en cuanto a la transportabilidad de la cocina. Respecto a los aspectos ergonómicos, la elevación del piso del horno, facilita la manipulación de los alimentos, y la existencia de manijas horizontales, que evitan que el operador deba agacharse, hacen más simples los movimientos de reorientación en búsqueda del mejor aprovechamiento de los rayos solares.

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO

Se realizó el ensayo correspondiente de acuerdo al protocolo de RICSA para determinar la potencia de cocción, los factores de mérito $F1$ y $F2$, y el tiempo en alcanzar los 80°C , la temperatura de ebullición, cuanto está en ebullición y cuanto demora en enfriarse hasta los 80°C . El ensayo se realizó en el mes de julio de 2016, en la Ciudad de Rio Cuarto (Latitud: $31^{\circ} 21' \text{S}$, Longitud: $64^{\circ} 58' \text{W}$), en la República Argentina. Las mediciones se realizaron en paralelo con las dos cocinas, tomándose los datos en los mismos intervalos de tiempo, como así realizándose las reorientaciones simultáneamente.

| Nombre de la cocina solar | UNRC-R11 | Ñancuñán-HSR3 |
|---|---|--|
| Tipo de cocina. | Horno | Horno |
| Angulo de Altitud solar para el día del ensayo (12 h). * [°] | 36° | 36° |
| Área vidriada superior. [m ²] | 0,36 x 0,41 = 0,1476 | 0,40 x 0,44 = 0,176 |
| Área vidriada inferior. [m ²] | 0,36 x 0,41 = 0,1476 | No posee |
| Área reflectora superior. [m ²] | 0,45 x 0,50 = 0,225 | 0,50 x 0,65 = 0,28 |
| Área reflectora inferior. [m ²] | 0,45 x 0,50 = 0,225 | No posee |
| Área proyectada horizontal. [m ²] | 0,5699 | 0,4725 |
| Área corregida por coseno de la altitud solar [m ²] | 0,4584 | 0,3801 |
| Área de placa absorbadora. [m ²] | 0,37 x 0,41 = 0,1517 | 0,41 x 0,42 = 0,164 |
| Área de puerta. [m ²] | 0,42 x 0,21 = 0,0882 | 0,41 x 0,17 = 0,0697 |
| Volumen interior. (útil para hornear) [m ³] | (0,16+0,2)/2 x 0,42 x 0,38 = 0,029 | (0,16+0,2)/2 x 0,42 x 0,41 = 0,030 |
| Peso de la cocina [kg] | 50,300 (incluye contrapeso de cemento 19,900) | 19,500 |
| Dimensiones en posición de operación. (x,y,z) [m] | 0,55x 0,60 x 1,50 | 0,55 x 0,60 x 0,80 |
| Dimensiones en posición de traslado. (x,y,z) [m] | 0,55 x 0,60 x 0,40 más 0,10 x 0,10 x 1,00 | 0,55 x 0,60 x 0,40 |
| Número de ollas y volumen [lt] | 1 cacerola de 2 lts más 1 cacerola de 5 lts. | 1 cacerola de 2 lts más 1 cacerola de 5 lts. |
| Tipo de ollas (fija o removible) | Removible | Removible |
| Las ollas se proveen con la cocina. | No | No |
| Calentamiento auxiliar. (tipo y potencia) | No | No |
| Control de potencia del elemento calefactor. | No | No |
| Otros usos: secadero, esterilización de agua, etc. | No | No |

(*) La proyección deberá hacerse sobre la superficie horizontal cuando el sol se encuentra a las 12:00 hs, es decir, cuando atraviesa el meridiano del lugar.

Tabla 1: Características geométricas y otros detalles de las cocinas solares comparadas

Se describen a continuación cómo se realizaron las mediciones para concretar la evaluación térmica:

Calentamiento de los hornos sin carga:

Este ensayo determina el primer factor de mérito *FI*, el cual tiene en cuenta la relación entre la eficiencia óptica de la cocina y las pérdidas de calor al exterior desde la placa. Se comienza a las 10 hs (horario solar) y se reorienta la cocina cada 15 minutos. Los datos se tomaron cada 5 minutos registrando la temperatura de placa, la temperatura del aire y la radiación horizontal. Mediante la ecuación (1) se calculó dicho factor.

$$F1 = Ap \cdot \frac{Tp - Ta}{Aph \cdot Ih} \quad (1)$$

donde: Ap = área de la placa absorbente (m^2). Aph = área de la superficie proyectada sobre el plano horizontal (ver paso 1); Ih = radiación solar global sobre la superficie horizontal (W/m^2); Tp = temperatura de la placa ($^{\circ}C$); y Ta = temperatura ambiente ($^{\circ}C$).

Calentamiento de agua con reorientación:

En este ensayo se determina el tiempo requerido para alcanzar los $80^{\circ}C$, el tiempo en alcanzar la temperatura de ebullición menos $3^{\circ}C$, la potencia absorbida, el segundo factor de mérito $F2$, el tiempo que mantiene la temperatura de ebullición sin intervención del operador y el tiempo que mantiene temperaturas por encima de $80^{\circ}C$ sin intervención del operador con la tapa cerrada.

El ensayo comienza a las 10 hs (horario solar) poniendo en las ollas la cantidad de agua requerida: siete (7) kilogramos por metro cuadrado de superficie perpendicular a los rayos solares. El agua debe estar precalentada a $40^{\circ}C$. Se coloca la olla en la cocina y ésta se orienta hacia el sol. Se reorienta la cocina cada 15 minutos anotando la hora en que se realiza la reorientación y los registros de las variables se realizan cada 5 minutos. Una vez alcanzada la temperatura de ebullición, se gira el horno hacia una posición óptima para una hora posterior y se deja sin intervenir en lo sucesivo. Se determina el tiempo máximo que mantiene la temperatura de ebullición. Cuando la temperatura alcanza la temperatura de ebullición menos $3^{\circ}C$, se tapa el horno y se determina el tiempo que mantiene la temperatura del agua por encima de $80^{\circ}C$.

El segundo factor de mérito $F2$, tiene en cuenta la eficiencia en la transferencia de calor hacia el recipiente y se calcula por medio de la ecuación (2).

$$F2 = \frac{F1 \cdot (Mc)w}{Aph \cdot \tau} \cdot \ln \left[\frac{Ih - \frac{Ap}{Aph} \cdot F1 \cdot (Tw1 - Ta)}{Ih - \frac{Ap}{Aph} \cdot F1 \cdot (Tw2 - Ta)} \right] \quad (2)$$

donde: $F1$ = primer factor de mérito; $(Mc)w$ = Capacidad calorífica del agua; τ = intervalo de tiempo entre $Tw1$ y $Tw2$; Ih = radiación solar sobre la superficie horizontal; Aph = área de la superficie horizontal proyectada; Ap = área de la placa absorbente; $Tw1$ = temperatura inicial del agua; $Tw2$ = temperatura final del agua; y Ta = temperatura ambiente. Para determinarlo, se considera a $Tw1$ como $65^{\circ}C$, $Tw2$ como $90^{\circ}C$ (Mullick, 1996), la radiación solar sobre la superficie horizontal Ih y la temperatura ambiente, se toman promediando los valores en el intervalo de tiempo τ .

La potencia de cocción instantánea se calcula por medio de la ecuación (3), la cual indica que se deben calcular los promedios de la radiación, temperatura ambiente, y temperatura del contenido del alimento para cada intervalo, para luego estandarizar la potencia de cocción a $700 W$ por medio de la ecuación (4). Se grafican la relación entre la potencia de cocción estandarizada (desde 0 a $200 W$) contra la diferencia de temperatura entre el agua y el ambiente (de 0 a $70^{\circ}C$). En este gráfico también se realiza una regresión lineal de los puntos representados para encontrar la relación entre la potencia de la cocina y la diferencia de temperatura y se calcula el coeficiente de correlación (R^2) que debería ser mayor que $0,85$ (si es más bajo, deberá indicarse). Una simple medida de rendimiento para el valor para la cocción estándar corresponde a una diferencia de temperatura de $50^{\circ}C$, esto puede ser tomado como una medida simple de la performance.

$$Pot = \frac{\Delta Twa2 - Twa1 \cdot (Mc)w}{300} \quad (3)$$

$$Pot\ est = \frac{Pot \cdot 700}{I_h} \quad (4)$$

donde: Pot = Potencia absorbida por el agua calculada cada 5 minutos (Watt); $Pot\ est$ = Potencia absorbida por el agua estandarizada a 700 W; ΔT_{w2} = diferencia de temperatura del agua con el ambiente en el intervalo superior; ΔT_{w1} = diferencia de temperatura del agua con el ambiente en el intervalo inferior; $(MC)_w$ = masa por el calor específico del agua; 300= Intervalo de tiempo en segundos; 700 = Radiación estándar (W/m^2); y I_h = Radiación sobre la superficie horizontal, en W/m^2 .

RESULTADOS OBTENIDOS

Las mediciones se llevaron a cabo utilizando termómetros registradores marca TESS, con termocuplas tipo K como sensores. La radiación solar global horizontal se midió con un piranómetro marca LI-Cor.

La Fig. 5 muestra los datos medidos de radiación solar y temperaturas de placas absorbedoras de las dos cocinas y temperatura ambiente para la obtención del factor de mérito $F1$.

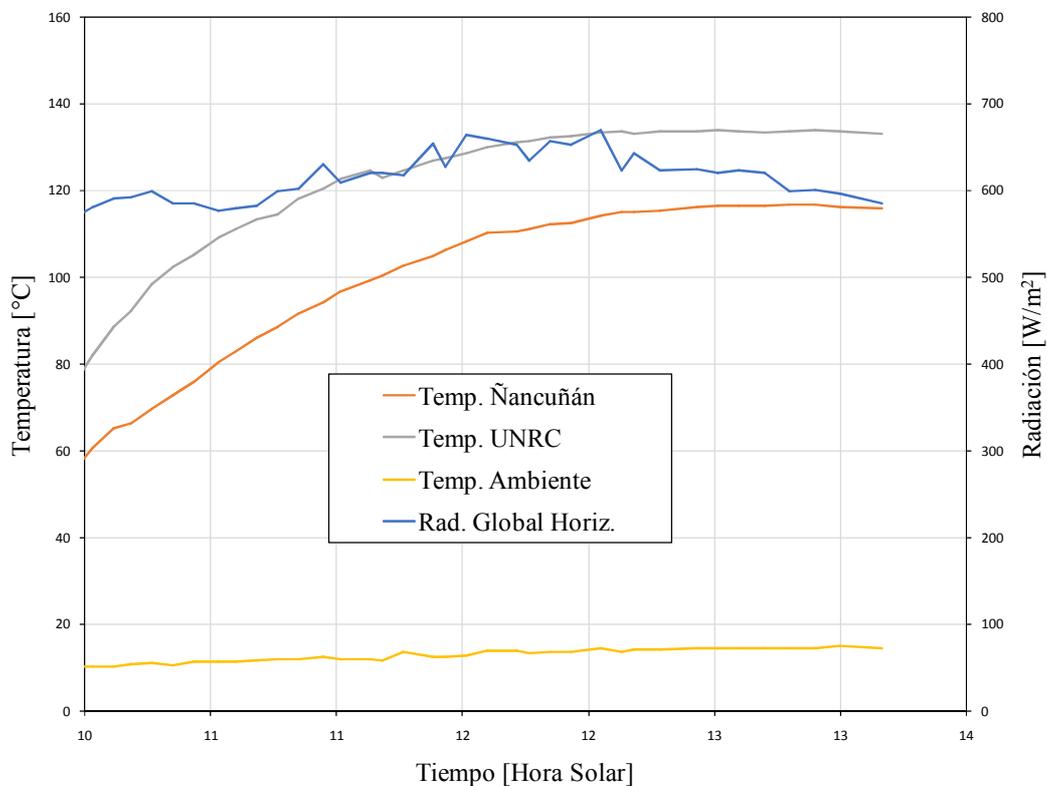


Figura 5: Temperatura de las chapas absorbedoras de ambas cocinas, Temperatura ambiente y Radiación Global Horizontal, medidas uno de los días de ensayo.

En la Fig. 6 se representan las temperaturas del agua en las ollas depositadas en los distintos hornos, como así también las temperaturas de placa, ambiente y radiación solar global horizontal (esta última, con su escala en el eje de ordenadas de la derecha). Estos datos posibilitan el cálculo del factor de mérito $F2$ y de la potencia de cocción solar.

Los cálculos de la potencia determinada experimentalmente y estandarizada a 700 W se muestran en la Fig. 7 para una medición realizada sobre la cocina UNRC-RI1 el día 3 de agosto de 2016. Se representa también allí la regresión lineal, donde se pueden observar los datos de la pendiente, la ordenada al origen y el Coeficiente de Determinación R^2 . Curvas similares se realizaron para otros días y para la otra cocina en estudio.

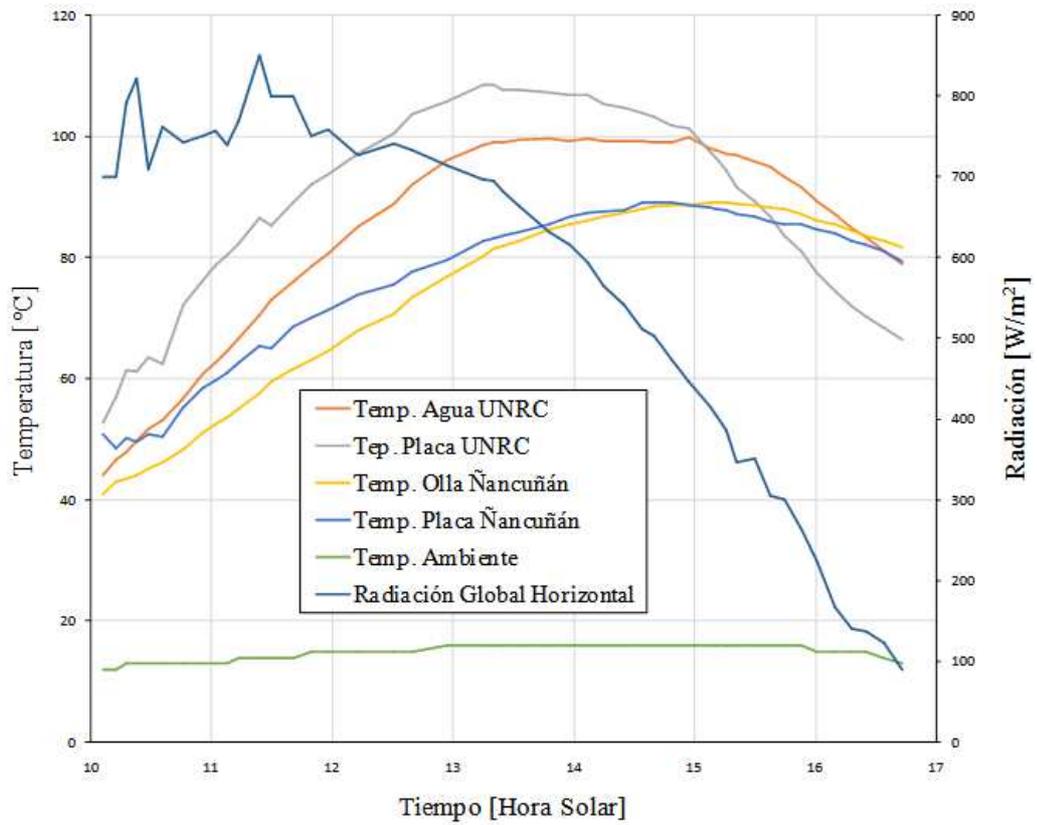


Figura 6: Temperatura del agua en las distintas ollas de las cocinas, Temperaturas de chapa absorbidora y datos climáticos.

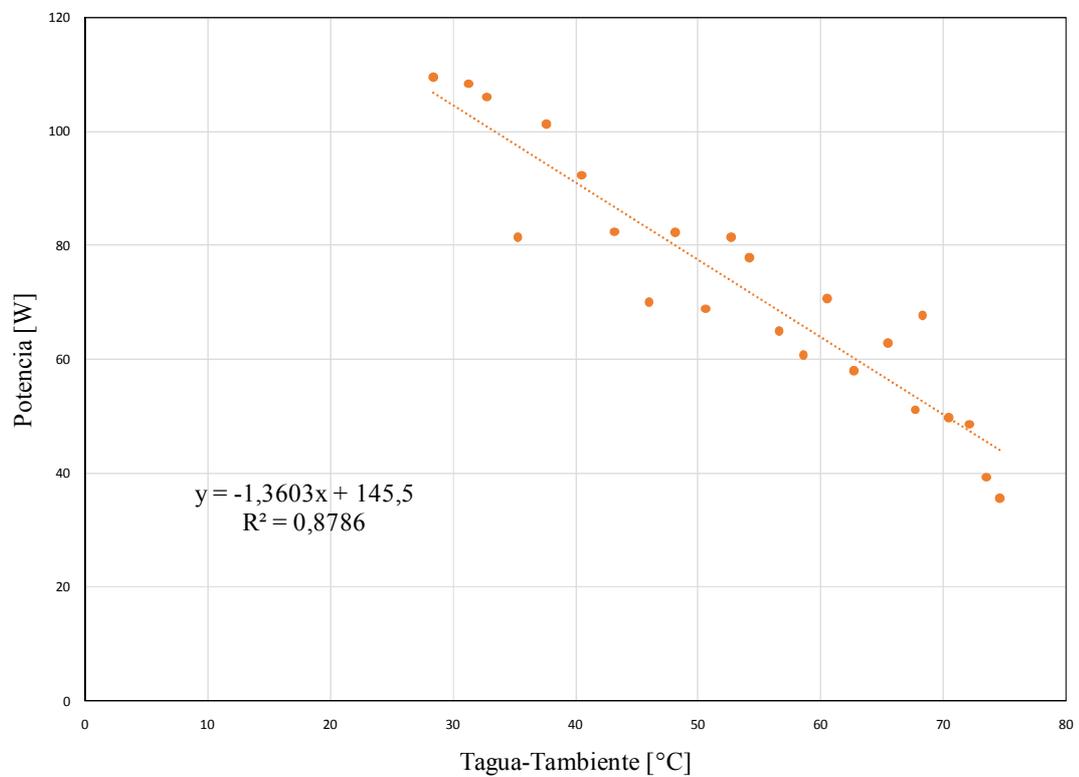


Figura 7: Potencia de Cocción estandarizada para un día de medición de la cocina UNRC.

Las Tablas 2 y 3 presentan un resumen de los resultados más importantes que son requeridos por el protocolo de medición de RICSA, obtenidos para ambas cocinas en tres días consecutivos de mediciones de las mismas.

| UNRC-RI1 | 1 de agosto | 2 de agosto | 3 de agosto |
|---|---|---|--|
| Tiempo en alcanzar los 80°C: (desde 40°C, con reorientación) [minutos] | 112 | 118 | 115 |
| Tiempo en alcanzar los 90°C: (desde 40°C, con reorientación) [minutos] | 145 | 163 | 159 |
| Tiempo que mantiene la temperatura de ebullición (sin intervención del operador) [minutos] | 216 | 163 | 102 |
| Tiempo que mantiene los 80°C: (desde la ebullición, sin intervención) [minutos] | 92 | 118 | 210 |
| Potencia para 50°C (con reorientación) [W] | 66,7 | 71,69 | 77,45 |
| Datos recta de regresión lineal | a= -0,6402 b= 98,732 R ² = 0,519 | a= -0,9304 b= 118,21 R ² = 0,825 | a= -1,3603 b= 145,5 R ² = 0,879 |
| <i>F1</i> | 0,1926 | 0,1926 | 0,1926 |
| <i>F11</i> | 0,04332 | 0,04332 | 0,04332 |
| <i>F2</i> | 7,43 | 7,4 | 8,46 |
| <i>F22</i> | 0,65 | 1,99 | 2,48 |

Tabla 2: Resumen de los resultados de los ensayos térmicos de la cocina UNRC.

| Ñancuñán2-HS3 | 1 de agosto | 2 de agosto | 3 de agosto |
|--|---|---|---|
| Tiempo en alcanzar los 80°C: (desde 40°C, con reorientación) [minutos] | 189 | 213 | 206 |
| Tiempo en alcanzar los 90°C: (desde 40°C, con reorientación) [minutos] | ---- | ---- | ---- |
| Tiempo que mantiene la temperatura de ebullición: (sin intervención del operador) [minutos] | ---- | ---- | ---- |
| Tiempo que mantiene los 80°C: (desde la ebullición, sin intervención) [minutos] | ---- | ---- | ---- |
| Potencia para 50°C: (con reorientación) [W] | 31,06 | 31,76 | 37,63 |
| Datos recta de regresión lineal | a= -0,4741 b= 54,767 R ² = 0,432 | a= -0,7705 b= 70,287 R ² = 0,818 | a= -1,074 b= 91,33 R ² = 0,803 |
| <i>F1</i> | 0,1627 | 0,1627 | 0,1627 |
| <i>F11</i> | 0,05931 | 0,05931 | 0,05931 |
| <i>F2</i> | 11,81 | 8,26 | 14,00 |
| <i>F22</i> | 3,71 | 2,59 | 4,39 |

Tabla 3: Resumen de los resultados de los ensayos térmicos de la cocina Ñancuñán.

Dada la época del año en que se realizaron las mediciones, y aunque las condiciones mínimas para el desarrollo del ensayo eran adecuadas, no fue posible para la cocina Ñancuñán2-HS3 llegar a producir la ebullición del agua, por lo cual parte del ensayo quedó incompleto. Sí fue posible realizar una comparación en cuanto a los valores de Potencia de ambas cocinas. Por otro lado, en todos los días medidos, la cocina UNRC-RI1 alcanzó la temperatura de ebullición y la mantuvo durante un tiempo considerable. Esto último indica en términos prácticos que es posible con esta cocina realizar una buena cocción de alimentos en las condiciones más desfavorables de altitud solar.

CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados de los ensayos y de la operación en general de las cocinas, se pueden inferir las siguientes conclusiones:

a) Es notable la influencia del reflector inferior, que hace que la pendiente de crecimiento de la temperatura tanto de placa como de agua en las ollas sea muy superior para el horno que posee dicho reflector, tal como se puede observar en la Fig. 6.

b) Si bien no es posible concretar el ensayo con la cocina Ñancuñán2-HS3, sí es posible realizar una comparación en los valores de Potencia de Cocción Estandarizada, donde de las Tablas 2 y 3 se puede ver que la cocina con reflector inferior arroja valores muy superiores a la otra.

c) Por el contrario, en lo que respecta a mantenimiento de la temperatura, la cocina con reflector inferior evidencia una caída mucho más rápida que la otra. Esto se debe a que al disminuir la radiación solar y haber posicionado el horno sin realizar más reorientaciones (como lo indica el procedimiento RICSA), la chapa absorbadora se convierte ahora mayormente en emisora, y si bien el vidrio inferior es en gran medida opaco a la radiación de onda larga, la ausencia de aislante en el piso hace que las pérdidas de calor sean mayores.

d) Desde el punto de vista práctico, para la cocina UNRC-RII que ha sido cargada con 3,2 litros de agua y fue capaz de mantener el hervor del agua en el peor de los casos durante más de una hora y media, lo cual implica que podría con facilidad realizar la cocción de una comida para una familia de 4 ó 5 personas, sin problemas, en la peor época del año. Por supuesto, que se debe contar con radiación directa, pero es justamente para esta época del año que en la región central del país se producen la mayor cantidad de días claros.

e) Si bien el agregado de las patas y los reflectores espejados implica un costo adicional, el mismo no es tan elevado y la larga vida útil de estos equipos (Esteves et al., 2008) más la prestación que proveen con este aditamento, justifica plenamente el pequeño gasto adicional.

f) Una desventaja que podría apuntarse a la cocina con reflector inferior tiene que ver con su tamaño y transportabilidad. Sin embargo, a lo que hace al tamaño, ocupan la misma superficie que el modelo original (que normalmente no es apilable), y respecto a la transportabilidad, la experiencia indica que las cocinas no se están llevando permanentemente de un lugar a otro, sino que en la gran mayoría de los casos permanecen en el mismo hogar durante toda su vida útil.

g) El bloque de hormigón inferior que le brinda estabilidad, hace que este nuevo modelo de cocina tenga un peso total importante, sin embargo, la movilidad tipo carretilla simplifica mucho el traslado y los procesos de reorientación de la misma.

h) Al estar elevado respecto al piso el compartimento donde se produce la cocción, resultan más cómodos los procesos de carga y descarga de alimentos, como así también se simplifican los ajustes de los reflectores de radiación.

REFERENCIAS

- Adaro J. A., Fasulo A. J. , Lema A. I., Marchesi J. O. (2002) Cartas de radiación global media mensuales para la región centro-oeste de la República Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol 6, Nro 2, pág. 11.01-11.06.
- Castell M.E. de, Finck Pastrana A., Collares Pereira M., Vázquez L. y Esteves A. (1999) Propuestas de procedimiento para la Evaluación de las Características física, ergométricas, de seguridad, de calidad de materiales y de mantenimiento de cocinas y hornos solares. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol.3, N° 2, pp. 08.136-08-139.
- Castell M.E. de, Finck Pastrana A., Collares Pereira M., Vázquez L. y Esteves A. (1999) Propuestas de procedimientos para la evaluación del comportamiento térmico de cocinas y hornos solares. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol.3, N° 2, pp. 08.133-08-136.
- Cuce E. y Cuce P. M. (2013) A comprehensive review on solar cookers. *Applied Energy*, Vol. 102 pág. 1399–1421.

- Esteves A., Buenanueva F., Orduna D. y Cuitiño G. (2008) Estudio del comportamiento de hornos solares tipo caja en el tiempo y con la frecuencia de uso, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 12, pág. 3.71-3.78.
- Funk P.A. y Larson D.L. (1998). Parametric Model of Solar Cooker Performance. *Solar Energy*, Vol. 61, Nro 1, pp.63-68. Pergamon N.Y.
- Javi V., Caso R., Fernández C. y. Montero Larocca M. T. (2005) Dos talleres sobre cocinas solares unifamiliares: contextos diferenciados para transferencias de disímiles alcance. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 9, pág. 10.01-10.06.
- Lema A., Pontin M., Ghirardotto M. y Sanmartino A. (2006) Estudio de diferentes materiales de cubierta para cocinas solares tipo caja. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 10, pág. 3.83-3.88.
- Mullick S. C., Kandpal T. C. and Saxena A. K. (1987) Thermal test procedure for box-type solar cookers. *Solar Energy*, Vol. 39, Nro 4, pág. 353-360.
- Mullick S.C., Kandpal T.C., Subodh Kumar (1996). Testing of Box-Type solar cooker: second figure of merit F2 and its variation with load and number of pots. *Solar Energy*, Vol. 57, Nro 5, pág. 409-413.
- Saxena A., Varun, Pandey S.P., Srivastav G. (2011) A thermodynamic review on solar box type cookers.
- Tilca F., Mealla Sánchez L. y Passamai V. (1999). Conclusiones finales sobre la conveniencia del uso de algunos materiales en cocinas solares tipo caja. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 3, Nro 1, pág. 03.25-03.27.

TESTING IN WINTER TIME OF A SOLAR COOKER WITH LOWER REFLECTOR AND A COMPARISON WITH A CONVENTIONAL COOKER

ABSTRACT: This work shows the performance study of a solar box cooker to which a lower reflector has been added, making a comparison with a similar normal cooker. The main goal of the research was to analyze if it is possible to achieve adequate conditions for food cooking in winter time, when the solar altitude is low, which causes that the incidence of sun rays diminish over the cooker aperture area. Both cookers were measured in parallel, by using the procedure proposed by the Solar Food Cooking Ibero-American Network. The design and fabrication process of the prototype is described. The results showed that the addition of a lower reflector allow the cooker to reach and maintain the boiling of a indicated water mass for more than 90 minutes. The performed measurements of temperature and solar radiation are shown by means of plots and the results are summarized in tables.

Keywords: Box solar cooker, lower reflector, comparative test, cooking power.