

## **ESTUDIO COMPARATIVO DE OLLAS EN UNA COCINA SOLAR TIPO CAJA #**

F. Filippin<sup>1</sup>, A. Iriarte<sup>2,4</sup> y L. Saravia<sup>3,4</sup>

Facultad de Cs. Exactas y Naturales Universidad Nacional de Catamarca,  
Avda. Belgrano 300 C.P. 4700, filippin18@hotmail.com

**RESUMEN:** El objetivo del presente trabajo es comparar los resultados experimentales de distintos tipos de ollas utilizadas para cocinas solares tipo caja. La cocina solar tipo caja que se utilizó en este ensayo fue una "Cocina Tanque" y las ollas fueron recipientes de tamaño y geometrías diferentes. Se comprobó que durante el proceso de cocción de una determinada masa hay un tiempo crítico que divide el período de calentamiento con el de cocción. Para la caracterización de cada tipo de olla se determinó un "factor de olla" que relaciona el flujo absorbido en el momento que empieza la cocción con el máximo flujo absorbido por la misma. Los resultados obtenidos muestran que las ollas bajas y con tapa transparente mejoran el rendimiento de la cocción.

**Palabras clave:** Cocina solar, Cocina caja, Tiempo crítico, Factor de olla, Cocina Tanque

### **INTRODUCCIÓN**

Hay diversos modelos de cocinas solares tipo caja para uso unifamiliar, de fácil construcción y gran simplicidad de manejo. En este tipo de cocinas, la función es coleccionar y contener la energía proveniente de la radiación solar y transferir el calor a la olla para cocinar tan eficientemente como sea posible. Las pérdidas térmicas en la cocción de un alimento ocurren por vapor que abandona el alimento, convección desde la superficie del recipiente, conducción a través de la parte inferior del recipiente a la placa absorbente y radiación.

Para evaluar el comportamiento térmico de las cocinas solares habitualmente se realizan distintas pruebas, como ser la temperatura alcanzada por la placa absorbente sin carga en la cocina, el tiempo que demora en calentar una determinada carga y el cálculo de la potencia absorbida al calentar una masa de agua. En este sentido, Funk (1998), presenta un modelo de predicción de la potencia en las cocinas solares. Esta metodología se aplica a cocinas solares tipo caja y resulta con suficiente precisión para la prueba de cocción. En trabajos anteriores, realizados por Mullick *et al.* (1987), mencionan algunos parámetros que identifican la calidad del sistema de cocción solar tipo caja. Estos parámetros han sido denominados factores de mérito  $F_1$  y  $F_2$ . Donde  $F_1$  tiene en cuenta la relación entre la eficiencia óptica de la cocina y las pérdidas de calor al exterior desde la placa y  $F_2$  tiene en cuenta la eficiencia en la transferencia de calor hacia el recipiente. Castell *et al.* (2000), presentan las correcciones al protocolo de ensayos para la determinación del rendimiento térmico de cocinas solares tipo caja, basándose en distintos ensayos realizados.

En una olla que es calentada sobre fuego u hornalla en un sistema de cocina convencional, la transferencia de calor se da principalmente a través de la base del recipiente. En diversas aplicaciones de cocción solar, Pejack (2003), la tapa de la olla, el espesor y la conductividad del material gobierna la transferencia de calor. Los rayos solares pueden estar calentando la tapa, absorbiéndolos y así el calor se dirige a los costados o los lados de la olla para luego ingresar al interior de ésta donde se encuentra el alimento. Durante el calentamiento de una determinada cantidad de masa en una olla, Pejack (2003) define un tiempo y una temperatura donde la masa alcanza un 95% de su temperatura final, tiempo que establece el período de calentamiento del período de cocción.

Saravia *et al.* (2003), han presentado el diseño, construcción y ensayo de una cocina solar tipo caja con una buena combinación de bajo costo y robusta construcción, que la hace interesante para su uso en zonas como la puna y prepuna. La misma utiliza la mitad de un tanque de 200 litros para fabricar la caja y se la ha dado el nombre de "Cocina Tanque".

En el presente trabajo se evalúa en la Cocina Tanque la incorporación de diferentes tipos de ollas que se pueden localizar en el mercado para la cocción de alimentos. Se han realizado experiencias de un test de calentamiento de agua en ollas diferentes y con la misma carga para conocer las respuestas de la Cocina Tanque. Se presentan los ensayos realizados y los resultados de la determinación de un "factor de olla" que define el flujo absorbido por cada una de las ollas, siguiendo las sugerencias del protocolo de ensayos de cocinas (RICSA 2002).

---

# Parcialmente financiada por UNCa, PFIP, PDL

<sup>1</sup> Becario UNCa

<sup>2</sup> INENCO, FCA - UNCa

<sup>3</sup> INENCO, UNSa

<sup>4</sup> Investigador del CONICET

## MATERIALES Y MÉTODO

### *Descripción de la Cocina Tanque y ollas utilizadas*

La cocina solar tipo caja ensayada está construida utilizando un tambor de 200 litros cortado por la mitad a lo largo de su eje. A la misma se le coloca una tapa con un marco de madera y un doble vidrio; y reflectores de aluminio de buena reflectividad. El reflector gira para acomodarse al ángulo del sol y el semicilindro se apoya sobre una base para facilitar el movimiento de la cocina (Saravia 2003), figura 1a.

El interior de la cocina está formado por una chapa ondulada pintada de color negro mate, esta sirve para apoyar en forma firme una chapa gruesa, sobre la cual se coloca la olla para favorecer su calentamiento. Las dimensiones de la “Cocina Tanque” son de 0,58m de diámetro y su longitud es de 0,88m. La profundidad útil de la cocina es de 0,20m. El reflector tiene el ancho del tanque y como altura el diámetro del mismo.



Figura 1a. Vista de la Cocina Tanque con olla de referencia

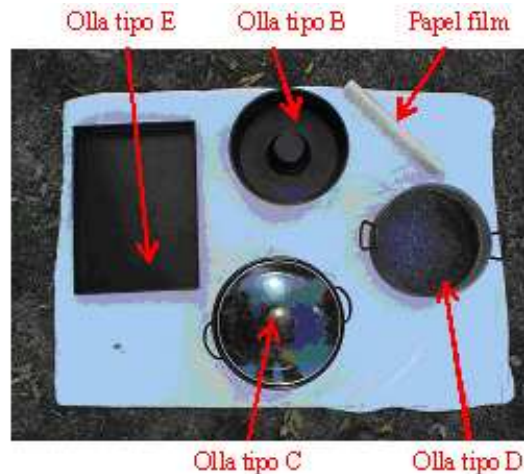


Figura 1b. Tipos de ollas utilizadas

Para realizar los ensayos de calentamiento y con el propósito de transferir con éxito la Cocina Tanque se proponen incorporar cinco ollas en base a diferentes tamaños, formas geométricas, y de fácil acceso en el mercado local. Un factor importante a tener en cuenta en la elección de las ollas es la supervisión de los alimentos durante la cocción de estos, por ello se utiliza film o tapas de vidrio en los recipientes. Estas ollas utilizadas, ver figura 1b, han sido catalogadas con los siguientes nombres para su identificación:

1. **Olla tipo A:** es una olla recta de aluminio con tapa pintada de negro mate de 24cm de diámetro y 11cm de fondo. Es el tipo de olla usual en la cocción de alimentos y es tomada como el recipiente de referencia para este estudio. Capacidad 4,2 litros.
2. **Olla tipo B:** olla severin (tipo budinera) de color negro de 26cm de diámetro y 8cm de fondo. Se utiliza como tapa el papel film. Capacidad 2,4 litros.
3. **Olla tipo C:** olla de chapa, espesor algo grueso, de color marrón oscuro vitrificado con tapa de vidrio 26cm de diámetro y 11cm de fondo. Capacidad 4,9 litros.
4. **Olla tipo D:** tiene la misma característica que la de referencia, olla tipo A, pero sin tapa. En este tipo de olla se coloca un papel film como tapa del recipiente, permitiendo la supervisión de los alimentos durante el periodo de cocción.
5. **Olla tipo E:** asadera rectangular de chapa fina color negro de 38 x 28 x 5cm. Se utiliza como tapa el papel film. Capacidad 3,5 litros.

### *Sistemas de medición y control*

Las mediciones de temperatura se realizaron mediante termopares de chromel - alumel, dada sus características de rápida respuesta, exactitud y bajo costo, conectados a un termómetro digital APPA  $55 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Todos los termopares utilizados se protegieron de altas temperaturas mediante un forro de fibra de vidrio. La radiación se registró mediante un piranómetro tipo KIPP & ZONEN, donde se registró una radiación superior a  $700 \text{ W m}^{-2}$  en el plano que contiene la superficie de apertura de la Cocina Tanque. La velocidad del viento se midió con un anemómetro de cazoleta a la altura de la Cocina Tanque, de medición continua.

### *Determinación del tiempo crítico en el proceso de calentamiento*

Este ensayo ha sido realizado siguiendo las normas que indica el protocolo de RICSA para cada una de las ollas utilizadas, siguiendo los siguientes pasos:

- a- Todos los ensayos comienzan a las 10:30 horas.
- b- Se coloca la olla en la cocina con una carga de 2,200kg de agua ( $C_{p,w} = 4.186 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ) y se orienta la misma hacia el sol, colocando el reflector en la posición óptima para el mediodía solar.
- c- Se reorienta la cocina cada 20 minutos.
- d- Se registran la temperatura dentro de la olla con agua ( $T_{in}$ ), la temperatura ambiente ( $T_{ex}$ ) y la radiación normal a la cubierta de la cocina en intervalos de 15 minutos.
- e- Se calcula la diferencia de temperatura entre la olla y el ambiente para cada intervalo.
- f- El ensayo concluye al llegar la temperatura del agua al punto de ebullición.

Se grafica la curva del flujo absorbido por la olla en función de la diferencia de temperatura interior ( $T_{in}$ ) y exterior ( $T_{ex}$ ) para cada intervalo. Se utiliza la diferencia de temperatura en razón de que las pérdidas de calor aumentan con la diferencia entre la temperatura interior de la cocina y su medioambiente cercano. El flujo absorbido por la olla ( $\phi$ ), se calcula como la diferencia de temperatura del agua entre medidas sucesivas dividida por el tiempo entre las mismas. La diferencia entre la energía que ingresa a la olla y las pérdidas de ésta al exterior, produce una elevación de la temperatura, que si la graficamos en función del tiempo se obtiene la curva de calentamiento de agua. Si a esta curva le hacemos un ajuste polinómico de 4º grado y derivamos esta expresión, obtenemos el flujo de calor absorbido por la olla en un determinado punto de la curva.

Se determina el flujo absorbido crítico ( $\phi_c$ ) correspondiente a una diferencia de temperatura de 50°C interior-exterior, que representa una temperatura de olla a partir de la cual la cocción comienza a ocurrir. Con este flujo calculado y la derivada de la expresión de la curva de calentamiento se obtiene el tiempo crítico.

Para la RICSA el valor para la potencia de cocción (W) correspondiente a una diferencia de temperatura de 50°C, muestra una simple medida de rendimiento, medida que muestra si la cocina solar funciona bien o falla.

En la figura 2, se muestra la curva de calentamiento en función del tiempo. Se observa el período de calentamiento y el de cocción a partir del tiempo crítico  $t_c$  para una masa  $m$  cualquiera. Al derivar un punto cualquiera de la curva (Q), obtenemos el flujo de calor absorbido  $\Delta T/\Delta t$  [ $^\circ\text{C}/\text{h}$ ] por la olla que contiene la masa  $m$  en ese instante, siendo R el flujo de máximo calor que absorbe la olla en el instante  $t=0$ .

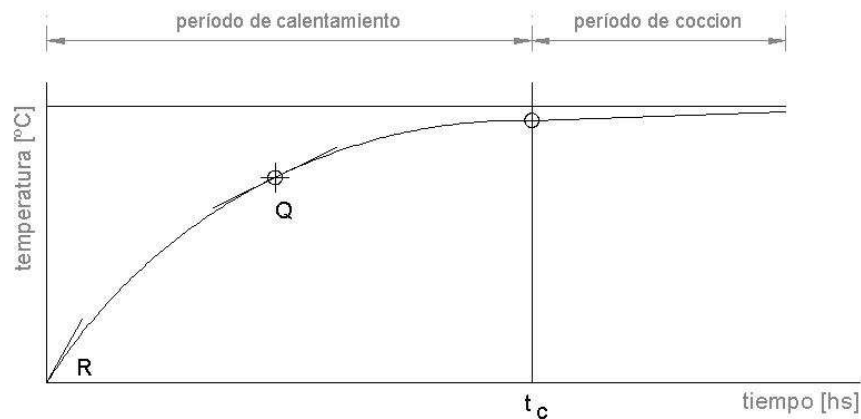


Figura 2: curva de calentamiento para una masa  $m$

#### Determinación del factor de olla ( $F_o$ )

El factor de olla definido como la relación entre flujo máximo de calor absorbido ( $\phi_{max}$ ) en el instante  $t=0$  y el flujo de calor ( $\phi_c$ ) para un tiempo crítico se determina como:

$$F_o = \frac{(\phi_{max} - \phi_c)}{\phi_{max}} \times 100 \quad (1)$$

Donde el  $\phi_{max}$  se obtiene en el instante  $t=0$  donde la curva de calentamiento del agua tiene su máxima pendiente y  $\phi_c$  es el flujo correspondiente al tiempo crítico.

#### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Todos los ensayos se realizaron en el mes de marzo, con días soleados y velocidades del viento menores a  $1\text{ms}^{-1}$ , utilizando la Cocina Tanque, con un reflector y con reorientación cada 20 minutos. Cada ensayo consistió en obtener la curva de calentamiento y la curva del flujo absorbido por la olla en función de la diferencia de temperatura interior ( $T_{in}$ )

y exterior (Tex) para cada intervalo siguiendo el procedimiento que indica el protocolo de RICSA y lo descrito precedentemente, colocando en el interior de la Cocina Tanque cada una de las ollas seleccionadas, calculando el factor de olla, el tiempo crítico y el flujo crítico para cada una de ellas. En las experiencias, la temperatura inicial del agua no es la misma en todos los recipientes por las condiciones climáticas previa a cada ensayo realizado. A continuación se analiza la olla tipo A, tomada como referencia y la olla tipo E que corresponde a la olla que posee un mayor factor de olla, luego en una tabla se comparan el comportamiento de todas las ollas seleccionadas.

### Cocina Tanque con olla tipo A

El ensayo se inició a las 10:30 a.m. con la Cocina Tanque orientada de manera que los rayos solares sean normales al plano de la cubierta de vidrio, reorientando la cocina cada 20 minutos.

En la figura 3a, se muestra la curva de calentamiento para la olla tipo A. En el punto de inicio del ensayo la temperatura de masa de agua en el interior de la olla es prácticamente igual a la temperatura ambiente y las pérdidas de calor son nulas. La curva presenta una zona de mayor pendiente al inicio del ensayo donde se produce el máximo calentamiento de la carga en la olla. Luego la temperatura progresa rápidamente hasta llegar al tiempo crítico (12,4 hora local), tiempo en el cual comienza el periodo de cocción. La pendiente de la curva disminuye y se anula al alcanzar el punto de ebullición. En este periodo la masa de la olla alcanza una temperatura generalmente estable y la radiación solar que llega solo mantiene la pérdida de calor y no calienta la masa en la olla.

De acuerdo a los datos registrados, se determina el flujo absorbido por la olla en función de la diferencia de temperatura del agua en el interior de la cocina con el ambiente exterior, figura 3b. El máxima flujo experimental absorbido por la olla de referencia es 41,6 °C/hs y el flujo absorbido a una diferencia de temperatura interior-exterior de 50°C fue de 22,2 °C/hs, obteniéndose así el flujo crítico ( $\phi_c$ )

A la curva de calentamiento se efectuó un ajuste polinómico de 4º orden que toma la forma  $y = ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e$ . Derivando esta expresión e igualando con el flujo crítico absorbido por la olla se obtiene la ecuación  $\phi_c = a'x^3 + b'x^2 + c'x + d'$ , donde  $x$  es el tiempo crítico con el cual comienza el periodo de cocción.

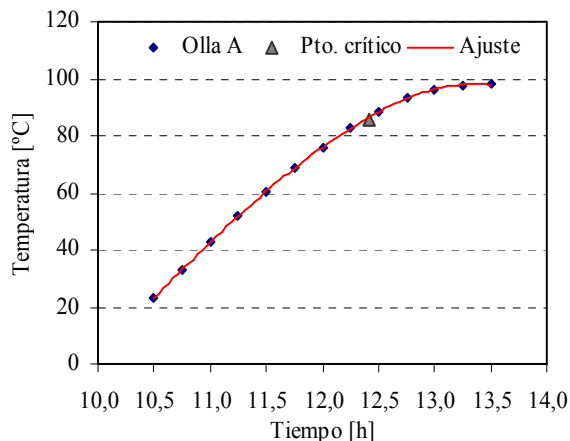


Figura 3a. Curva de calentamiento de la olla tipo A

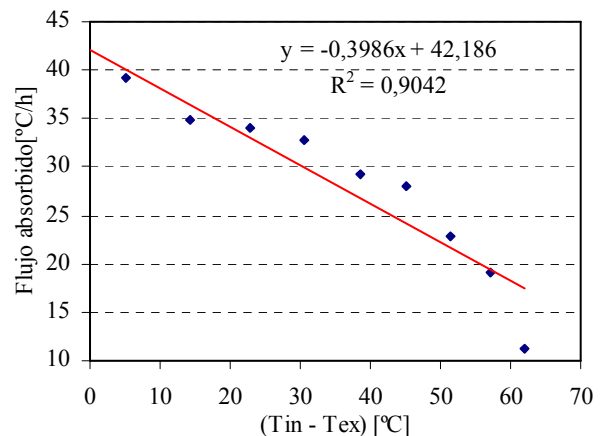


Figura 3b. Flujo absorbido por la olla tipo A

De acuerdo con la ecuación (1), con el flujo de calor máximo absorbido por la olla al inicio del ensayo y el flujo de calor absorbido para un tiempo crítico determinado, el factor de olla  $F_o$  es 46,6 %. Un valor elevado de  $F_o$  indica que tan rápido se llega a una temperatura por encima de la cual comienza el periodo de cocción.

### Cocina Tanque con Olla tipo E

El ensayo se inició a las 10:30 a.m. con la Cocina Tanque orientada de manera tal, que los rayos solares sean normales al plano de la cubierta de vidrio y con la olla tipo E en su interior, reorientando la cocina cada 20 minutos.

En la figura 4a, muestra la curva de calentamiento para la olla tipo E. El máximo calentamiento se produce al inicio del ensayo, en este punto la temperatura de la masa de agua es aproximadamente igual a la temperatura ambiente. A partir de la hora local 12,50, la pendiente de la curva es prácticamente nula alcanzando el punto de ebullición donde la temperatura de la masa de agua se estabiliza.

Conforme a los datos obtenidos, la figura 4b muestra la variación del flujo absorbido en función de la diferencia de temperatura del agua en el interior de la cocina con el ambiente exterior. El máximo flujo experimental absorbido por la olla tipo E es 92,8 °C/hs y el flujo para una diferencia de temperatura interior-exterior de 50°C fue de 29,6 °C/hs, obteniéndose un tiempo crítico de 11,5 hora local, tiempo en el cual comienza el periodo de cocción.

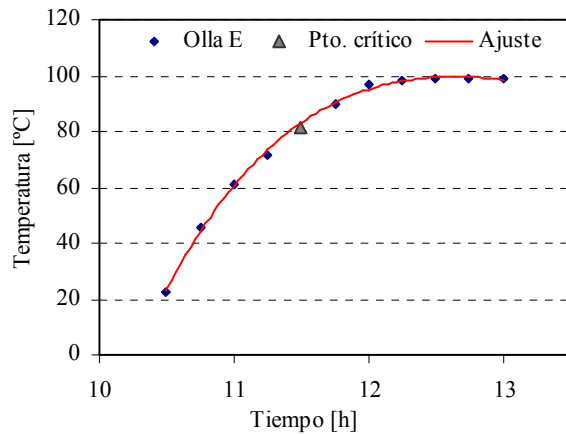


Figura 4a. Curva de calentamiento de la olla tipo E

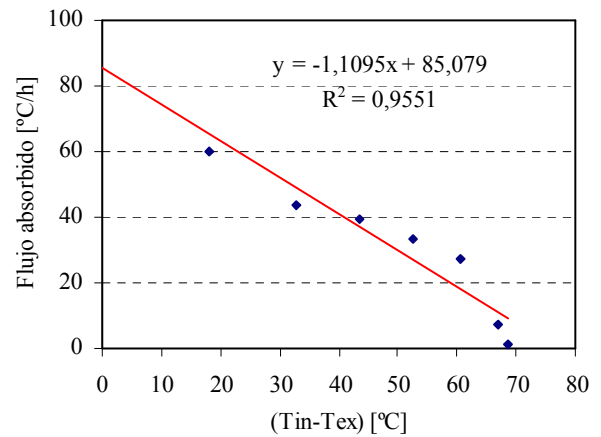


Figura 4b. Flujo absorbido por la olla tipo E

De esta manera la olla tipo E tiene un factor de olla  $Fo$  de 68,1 %, superior al de la olla de referencia, indicando un mejor rendimiento para la cocción de alimentos.

En la figura 5a se muestran las curvas de calentamiento para la olla tipo A (olla de referencia) y la olla tipo E (olla tipo asadera), donde se puede apreciar la diferencia de la velocidad de absorción de calor, así como del factor  $Fo$ . En la figura 5b muestra la comparación entre las curvas de calentamiento de los diferentes tipos de ollas en función del tiempo. Se aprecia como la temperatura del agua resulta muy sensible al cambio de ollas, observándose que la olla del tipo E muestra una mayor pendiente que el resto, marcando una importante diferencia en su uso respecto de los otros recipientes para la cocción de alimentos.

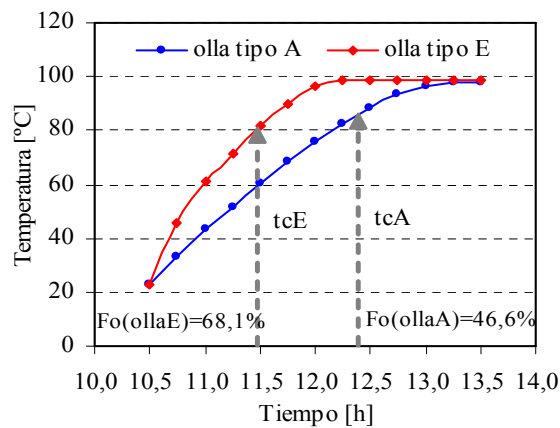


Figura 5a. Comparación curvas de calentamiento olla tipo A y olla tipo E

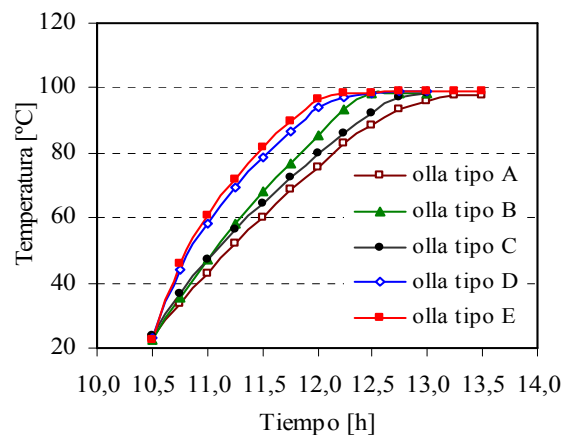


Figura 5b. Curvas de calentamiento de agua para diferentes ollas

En la Tabla 1 se detallan el tiempo crítico, el máximo flujo experimental de calor absorbido, el flujo crítico y el factor de olla  $Fo$  característicos para cada tipo de olla utilizada en la Cocina Tanque. Se agrega un parámetro  $Fo,r$  que muestra la variación relativa respecto del tiempo crítico de la olla tipo E (asadera), considerada como el recipiente de mejor rendimiento, para cada una de las ollas utilizadas.

Tipo de olla	$t_c$ [horas]	$\phi_{max}$ [°C/hs]	$\phi_c$ [°C/hs]	$Fo$ [%]	$Fo, r$ [%]
Olla tipo A	12,41	41,6	22,2	46,6	20,21
Olla tipo B	12,2	51,6	25,4	50,7	25,5
Olla tipo C	12,2	52,4	25,6	51,1	41,2
Olla tipo D	11,7	82,8	26,9	67,5	61,9
Olla tipo E	11,5	92,8	29,6	68,1	68,1

Tabla 1: Comparación de distintas ollas

Como puede observarse las ollas con tapas transparentes, film en estos casos, mejoran el rendimiento del calentamiento de agua con respecto a las ollas con tapas cerradas (habituales). La olla que resulta con mayor ventaja es la olla tipo E, la

misma ha logrado alcanzar temperaturas de ebullición en menor tiempo y un flujo de calor máximo al inicio del ensayo superior que el resto de las ollas.

Los resultados muestran que las ollas tipo D y E presentan soluciones óptimas, la radiación pasa directamente hacia la superficie del agua eliminando la resistencia térmica desde la tapa. La altura de la tapa a la comida en la olla D es mayor que la de tipo E por lo tanto la conducción desde el exterior de la tapa hacia la superficie del agua es mayor, sin embargo ofrece más área en sus laterales para tener mayor absorción al interior de esta. Esta es la razón del  $F_o$  aproximadamente iguales en ambas ollas.

La olla tipo C no muestra buenos resultados como las ollas anteriores a pesar de tener tapa transparente (vidrio), dado que sus paredes son de mayor espesor que las antes mencionada.

Se observan que ollas con un elevado  $F_o$  indican un mayor flujo de calor absorbido al inicio y con un tiempo crítico satisfactorio logrando una temperatura apropiada para la cocción de alimentos. Este tipo de ollas es la que se recomienda para uso culinario en las cocinas solares de tipo caja. Estos resultados de comparación justifican la factibilidad de uso de ollas bajas, tapas transparentes y paredes finas en cocinas solares tipo caja.

## CONCLUSIONES

Se ha trabajado en el ensayo de calentamiento de agua en una cocina solar tipo caja con cinco ollas de diferentes tamaños y geometría, obteniéndose distintos resultados que permiten la comparación entre ellas, a través de un factor de olla ( $F_o$ ) y un tiempo crítico que divide el período de calentamiento con el de cocción.

La curva del flujo absorbido de la olla tipo E en función de la temperatura interior-exterior, resulta con mayor pendiente que el resto de las ollas probadas, lo que nos indica la viabilidad del ensayo al instante de efectuar una comparación entre los distintos tipos de ollas.

Para los ensayos de calentamiento de agua, siguiendo las normas que indica la RICSA, será importante determinar el factor de olla que tiene el conjunto, olla y cocina, y debería estar en el orden del 47 %. Las ollas B, C, D y E estarían indicando mayor potencia que la medida por el protocolo.

Este trabajo constituye una metodología que debe continuar para establecer si se mantiene la relación  $F_o, r$  cuando el contenido de la olla es de una capacidad calorífica diferente del agua.

## REFERENCIAS

- Paul Funk (1998). Evaluating the International Standard Procedure Testing Solar Cookers and Reporting Performances, Solar Energy. Vol.68, N°1, páginas 1-7
- S.C. Mullick, T.C. Kandal, A.K. Saxena (1987). Thermal Test Procedure for Box-Type Solar Cookers, Solar Energy vol. 39, N°4, páginas 353-360.
- Castell M.E., Finck Pastrana A., Collares Pereira M., Fonseca S., Esteves A. (2000). Correcciones al Protocolo de Ensayos de Cocinas Solares para la Determinación del Rendimiento Térmico. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 4, N° 1, pp.03-81-86.
- Ed Pejack (2003). Technology of Solar Cooking. The solar cooking archive
- Saravia L., Caso R., Fernández C. (2003). Cocina solar de construcción sencilla. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 7, N° 1, pp.03-13-17.
- Hobbs, D. (2003), Solar drum oven, [www.barefootengineering.com](http://www.barefootengineering.com)

## ABSTRACT

The objective of the present work is to compare the experimental results of different types from pots used for solar cooker type box. The box type solar cooking used here was a "tank cooking" and the pots were recipient of different size and shape. It was proved that during the cooking process a critic time exists that divides the heating and cooking period. To characterize each pot type, a "pot factor" was determined. This factor relates the absorbed flux just at the time cooking begins with the maximum absorbed flux. The results show that the short pot and with transparent cover, improves the cooking performance.

**Key words:** Solar cooker, Box-type solar cooker, Tank-type cooker.