

## **MÉTODO AUXILIAR PARA LA DETERMINACIÓN DE POTENCIA DE UNA COCINA SOLAR TIPO CAJA #**

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

INENCO, Catamarca. Facultad de Ciencias Agrarias - UNCa  
M. Quiroga 93 - 4700 Catamarca, Argentina. filippin18@hotmail.com

**RESUMEN:** La Red Iberoamericana de Cocción de Alimentos (RICSA) propone un procedimiento de ensayos de cocinas solares para el cálculo de la potencia de cocción mediante un método dinámico. La determinación del calor absorbido puede hacerse en estado estacionario mediante la circulación de un fluido en el interior de la cocina. En el presente trabajo se presenta un método para determinar la potencia en estado estacionario usando un dispositivo que tiene igual geometría y volumen que una olla convencional. Esta olla está construida con base y pared de caño por cuyo interior circula un fluido. La tapa es similar a las ollas tradicionales. La cocina caja que se utiliza para este ensayo es una “cocina tanque”. Los resultados obtenidos con la “olla virtual” muestran algunas diferencias de los valores obtenidos con el método del protocolo de la RICSA, pero de poca significación, excepto en las temperaturas mayores a 80 °C donde la evaporación del agua, en el protocolo de la RICSA, tiene una influencia importante.

**Palabras clave:** Cocina solar, Cocina caja, Potencia absorbida, Cocina tanque, Olla virtual

### **INTRODUCCION**

Existen numerosos modelos de cocinas solares de tipo caja para uso unifamiliar, con alta variedad de costos y eficiencia en su funcionamiento. Este tipo de cocinas utiliza la energía proveniente de la radiación solar, utilizando para su construcción diversos materiales que eviten la pérdida de calor y que no sean fácilmente alterables por la radiación o por los diversos factores climáticos. Las pérdidas térmicas en la cocción de un alimento ocurren por vapor que abandona al alimento, convección desde la superficie del recipiente, conducción a través de la parte inferior del recipiente a la placa absorbente y radiación. De todas estas, la mayor pérdida de calor se debe a la evaporación del agua. Es un dispositivo para cocción de alimentos a temperaturas relativamente bajas, de fácil construcción y gran simplicidad de manejo.

Para evaluar el comportamiento térmico de las cocinas solares 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.

Una figura interesante para evaluar cocinas solares es la potencia de cocción efectiva (Piñon, 1983), calculada como la potencia media entregada al calentar agua desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de ebullición.

En el protocolo de ensayos para la evaluación de cocinas solares elaborado por la Red Iberoamericana de Energía Solar, RICSA, se presentan las normas de ensayos para cocinas y hornos solares para su evaluación tanto térmica (Castell *et al.*, 1999a) como ergonómicos de seguridad, mantenimiento y calidad de materiales (Castell *et al.*, 1999b).

Castell *et al.*, (2000) presentan un método para la determinación de la energía solar incidente sobre un horno solar con el objeto de conocer la potencia efectiva entregada por el mismo. Funk (2000) propone una metodología para la determinación de la potencia de las cocinas solares, realizando una prueba de calentamiento de agua hasta la temperatura de ebullición.

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 le ha dado el nombre de “Cocina Tanque”.

Quiroga (2004), compara la curva de potencia medida y simulada de una cocina solar tipo caja en función de la diferencia de temperatura entre el agua y el ambiente, conforme lo indicado por RICSA. Se advierte en los resultados obtenidos un aumento de la potencia en la curva simulada respecto de los valores medidos al final del proceso cuando el agua está más caliente, en el que la evaporación del agua es mayor. La simulación no considera el calor de cambio de fase absorbido por el agua de modo tal que si se prolonga el tiempo de simulación la temperatura del agua simulada puede alcanzar niveles mayores a los de ebullición completa. Para resolver este problema se incorporó un flujo de masa en el programa de simulación correspondiente al cambio de fase, que comienza a producirse cuando el agua alcanza los 80 °C y el vapor producido se pierde hacia el exterior de la cocina.

---

# Parcialmente financiado ANPCyT, UNCa

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - UNCa

<sup>2</sup> Investigador del CONICET

<sup>3</sup> INENCO, UNSa

En el presente trabajo se describe un artefacto que simula una olla y que permite determinar la cantidad de calor absorbido. Se han realizado experiencias simultáneas del test de potencia para conocer las respuestas de la cocina tanque al realizarlo con y sin reorientación para uno y dos reflectores. Se presentan los ensayos realizados y los resultados de la determinación de potencia de la cocina tanque con ambas ollas, siguiendo las sugerencias del protocolo de ensayos de cocinas (RICSA, 2002).

## MATERIALES Y MÉTODO

### *Descripción cocina tanque y "olla virtual"*

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 0,58 m de diámetro y su longitud es de 0,88 m. La profundidad útil de la cocina es de 0,18 m. Uno de los reflectores tiene el ancho del tanque y como altura el diámetro del mismo, mientras que el otro reflector (el de la cara este), cuando se usa, es un cuadrado de lado igual al diámetro del tambor.

La "olla virtual" está construida con un caño de aluminio de 2 mm de diámetro. La construcción de la "olla", se inicia desde la base haciendo una espiral hasta lograr el diámetro de la olla convencional, a partir de allí se continúa con la espiral. De esta manera queda un caño de entrada en el centro de la espiral de la base y el otro extremo, la salida, al final de la espiral de la camisa que simula la olla, figura 1b.



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



Figura 1b. Olla convencional y virtual

### *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. Todos los termopares utilizados se protegieron de las temperaturas elevadas mediante una manga 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.

### *Determinación de la Potencia de acuerdo al Protocolo con reorientación*

Este ensayo ha sido realizado siguiendo las normas que indica el protocolo de RICSA

- El ensayo comienza a las 10 horas.
- Se coloca la olla en la cocina con una carga de 2,200 kg 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.
- Se reorienta la cocina cada 20 minutos.
- Se registran la temperatura dentro de la olla con agua ( $T_w$ ), la temperatura ambiente ( $T_{a,ex}$ ) y la radiación normal a la cubierta de la cocina en intervalos de 15 minutos.
- Se calcula la diferencia de temperatura entre la olla y el ambiente para cada intervalo.
- El ensayo concluye al llegar la temperatura del agua al punto de ebullición.

Cálculo de la Potencia de Cocción: Se calcula como la diferencia de temperatura entre medidas sucesivas multiplicado por el calor específico del agua ( $C_{p,w}$ ) y la masa de agua colocada ( $m$ ), dividida por los 900 segundos contenidos en los 15 minutos

de intervalos:

$$q = m C_{p,w} (T_{w,f} - T_{w,i}) \quad [W] \quad [1]$$

**Graficación:** Se grafican las curvas de potencias encontradas, por la olla convencional en función de la diferencia de temperatura interior ( $T_{a,in}$ ) y exterior ( $T_{a,ex}$ ) para cada intervalo. Se utiliza la diferencia de temperatura en razón de que las pérdidas de calor se incrementan con la diferencia entre la temperatura interior de la cocina y su medioambiente inmediato.

#### **Determinación de la potencia con “Olla Virtual” en sistema estacionario con reorientación**

Un esquema del sistema diseñado para determinar la potencia de cocción con la “olla virtual” se lo puede observar en la figura 2a. En la figura 2b se muestra una vista del equipo que consta de una cuba que contiene aceite, una bomba, un motor de 12 V y la olla virtual colocada en el interior de la cocina. El aceite usado es aceite liviano para máquinas que trabajan a temperaturas mayores que 120 °C.

En el interior de la cuba se coloca una resistencia calefactora conectada a 220 V y un termostato conectado a la resistencia calefactora con una sonda de control sumergida en el aceite. La bomba produce la circulación del fluido contenido en la cuba a través de la cañería de “olla virtual” que está en el interior de la cocina, accionado por un motor de 12 V a través de una correa. El aceite ingresa a la cocina a distintas temperaturas, lo cual es controlado por el termostato digital y vuelve a la cuba con un flujo constante en todo el ensayo.

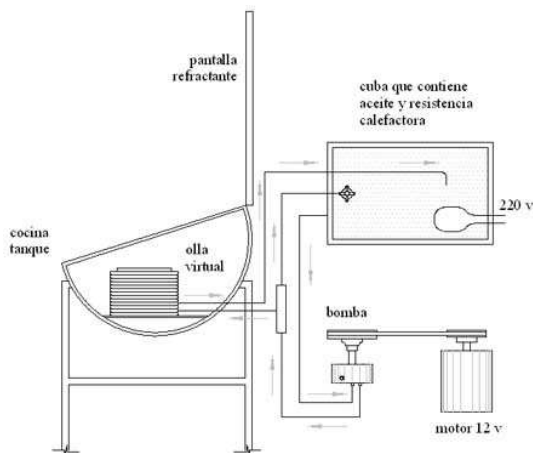


Figura 2a. Esquema del sistema de calentamiento



Figura 2b. Vista de la cocina y el calentador de aceite

Los pasos que se utilizaron para el ensayo se detallan a continuación:

- El ensayo comienza a las 10 horas.
- Se coloca la olla virtual en el interior de la cocina conectada al sistema antes descrito y se orienta la cocina tanque al sol cada 20 minutos.
- Se acciona el equipo, una hora antes del mediodía solar, con el aceite en el interior de la cuba a temperatura ambiente y este circula por la olla virtual con flujo constante.
- Se registran la temperatura de entrada del fluido ( $T_{e,f}$ ) y la temperatura de salida ( $T_{s,f}$ ) de la “olla virtual” en el exterior de la cocina tanque, la temperatura del horno, temperatura ambiente, la radiación normal a la cubierta y el flujo del aceite.
- La velocidad del flujo debe ser tal que la diferencia de temperatura sea alta comparada con el error de la determinación de la misma.
- Se aumenta la temperatura del aceite en la cuba a una temperatura determinada (unos 10 °C por encima de la temperatura ambiente). Alcanzada esa temperatura, corta el termostato digital, y continúa la circulación del aceite por la olla en el interior de la cocina hasta que se obtienen una diferencia de temperatura constante entre la entrada y salida, para un flujo fijo. Se registran nuevamente los valores descritos en d). Luego se aumenta unos grados más la temperatura del aceite y cuando se estabiliza, se registran nuevamente las temperaturas correspondientes y así sucesivamente.
- Se mide la temperatura interior y exterior para cada intervalo. La temperatura interior ( $T_{a,in}$ ) de la “olla virtual” se toma como  $(T_{e,f} + T_{s,f})/2$ .
- El ensayo concluye cuando la temperatura de salida del fluido es aproximadamente igual a la temperatura de entrada. En este punto coincide que la temperatura de salida es cercana a la temperatura del horno.

**Cálculo de la Potencia de Cocción:** Se calcula multiplicando la diferencia de temperatura ( $T_{s,f} - T_{e,f}$ ) a la cocina tanque por el calor específico del fluido y el flujo que atraviesa la olla virtual, esto es:

$$q = \dot{m} C_p (T_{s,f} - T_{e,f}) \quad [W] \quad [2]$$

**Graficación:** Se grafican las curvas de potencias encontradas, por la olla virtual en función de la diferencia de temperatura interior y exterior para cada intervalo.

### Determinación de la Potencia sin reorientación

Con ambos métodos para determinar la potencia y siguiendo los pasos antes descritos, se realiza una prueba con la cocina orientada al mediodía solar y sin reorientar durante el ensayo. La prueba termina cuando la temperatura del agua alcanza la ebullición para el caso de RICSA y para la olla virtual finaliza cuando la temperatura de entrada y salida del fluido son iguales.

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Todos los ensayos se realizaron en los meses de Junio y Julio, con días soleados y velocidades del viento menores a  $1\text{ m s}^{-1}$ , utilizando dos cocinas cajas del tipo “tanque” iguales, con uno y dos reflectores, con y sin reorientación (seguimiento solar) cada 20 minutos. En el interior de una de las cocinas se puso una olla convencional (OC) y en la otra una “olla virtual” (OV), según lo descrito precedentemente.

Cada ensayo consistió en comparar simultáneamente, en dos cocinas tanques con un reflector, la potencia de cocción efectiva siguiendo el procedimiento que indica el protocolo de RICSA y el nuevo sistema de la olla virtual. Se realizaron además ensayos para obtener la curva de potencia de cocción sin reorientar la cocina, con dos reflectores. El segundo reflector fue colocado en la cara este de la cocina.

#### ▪ Cocina con un reflector - reorientada

El ensayo se inició a las 10 a.m. con las dos cocinas orientadas de manera que los rayos solares sean normales al plano de la cubierta de vidrio. Cada 20 minutos se reorientan las dos cocinas simultáneamente.

En la figura 3 se muestra la variación de la potencia absorbida en función de la diferencia de temperatura del agua en el interior del horno o del promedio del aceite entre la entrada y salida de la OV y la del ambiente exterior, para la OV y para la OC, evaluada esta última según el protocolo RICSA. La máxima potencia absorbida por las ollas fue de  $113,2\text{ W}$  para la OC y  $130,9\text{ W}$  para la OV, advirtiéndose que este último método permite medir un nivel de potencia superior al del protocolo por la diferencia en el tipo de fluido que se utiliza en cada caso. El proceso de evaporación del agua, con pérdida de masa, empieza a influir en el caso del protocolo, mientras que no sucede lo mismo para el aceite.

La potencia estándar, definida por la RICSA, a  $50\text{ °C}$  de diferencia de temperatura interna y externa, muestra que la OC fue de  $61\text{ W}$  y la OV de  $51\text{ W}$ , un  $17\%$  menor. Ambos métodos tienen el mismo valor de potencia cuando la diferencia de temperatura entre el agua o el promedio de la entrada y salida del aceite, respecto al ambiente exterior, es de  $31,9\text{ °C}$ . Se destaca que para igualdad de potencia, para este ensayo, la temperatura exterior fue de  $22\text{ °C}$  y la del agua y del aceite en el interior de la cocina fue del orden de los  $56\text{ °C}$ .

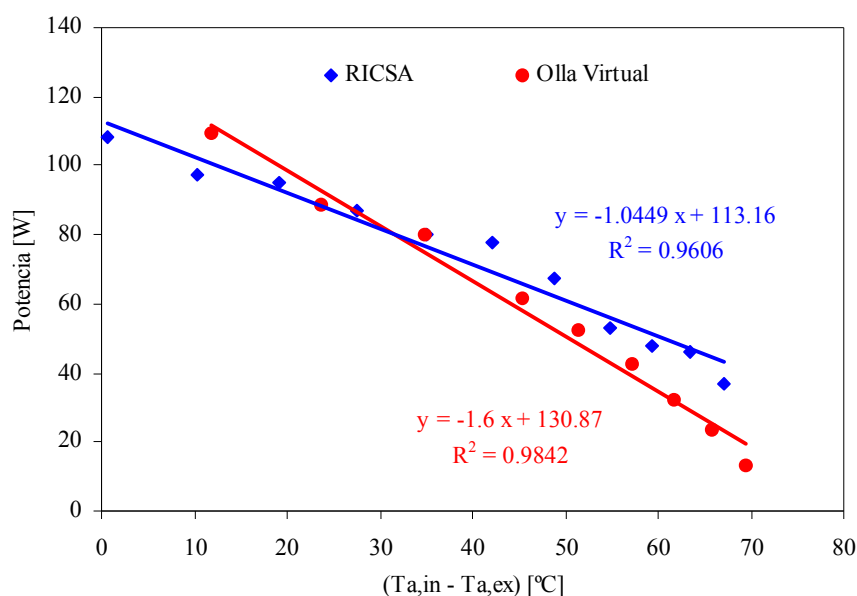


Figura 3. Ensayo de potencia calculada RICSA - Olla Virtual. Con reorientación y un reflector.

#### ▪ Cocina con un reflector - sin reorientación

El ensayo se inició a las 10 horas a.m. con las dos cocinas tanques orientadas al Norte de manera que al medio día solar los rayos solares sean normales al plano de la cubierta. En la figura 4 se muestra la potencia absorbida con ambos sistemas en función de la diferencia de temperatura entre el interior y exterior. La evaluación se realiza de la misma forma que las situaciones anteriores.

En todos los casos la potencia de la cocina tanque va disminuyendo conforme aumenta la diferencia de temperatura entre el interior de la cocina y el ambiente exterior, tanto para el protocolo de RICSA como la Olla Virtual. En particular, en este caso, para la potencia estándar a 50 °C se advierte solo una diferencia del 4 % entre ambos métodos, con la RICSA la OC fue de 52,7 W y en la OV de 50,5 W.

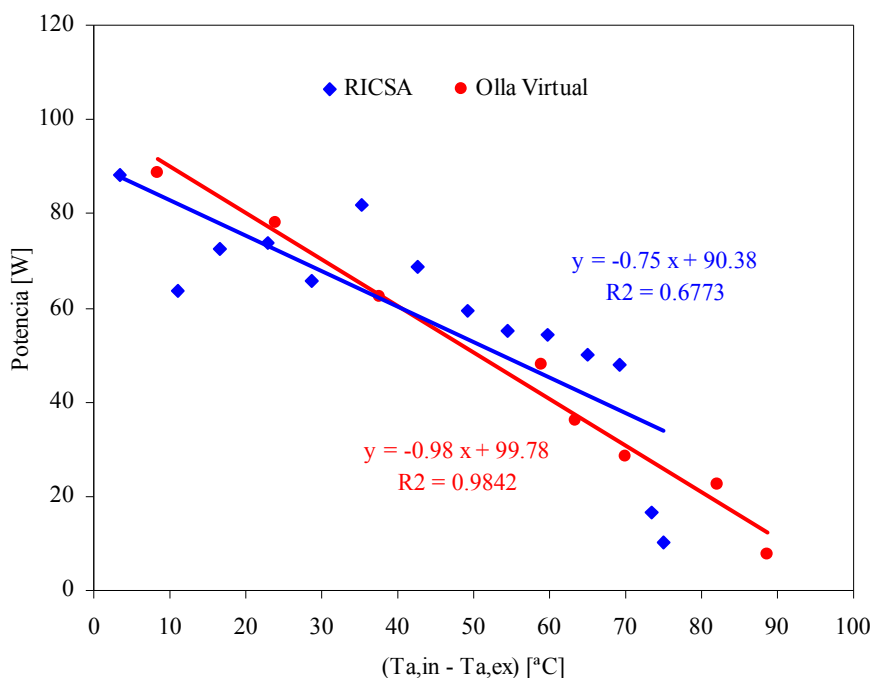


Figura 4. Ensayo de potencia calculada RICSA - Olla Virtual. Sin reorientación y un reflector.

▪ **Cocina con dos reflectores - sin reorientación**

También en este caso, figura 5, la potencia va disminuyendo conforme aumenta la diferencia de temperatura entre el interior de la cocina y el ambiente exterior, tanto para el protocolo de RICSA como la Olla Virtual, pero el cruce entre ambas curvas se produce cerca del máximo valor. En particular para la potencia estándar a 50 °C la diferencia fue de un 18 %, con el protocolo RICSA fue de 66,7 W y con la olla virtual de 54,3 W.

Cuando se comparan las curvas de potencia en las figuras 4 y 5 se observa que para el ensayo realizado con doble reflector, la ordenada al origen es mayor que para el ensayo con un reflector. Esto se debe al área de apertura incrementada por el segundo reflector ubicado en la cara este de la cocina.

**CONCLUSIONES**

Las medidas realizadas muestran que el nuevo método de ensayo es factible de ser llevado a cabo sin problemas. Las curvas obtenidas no muestran una dispersión excesiva. De hecho la dispersión en general ha sido menor que la del método tradicional. La metodología utilizada ha mostrado ser de uso sencillo.

La realización de un ensayo por el método RICSA es extenso, el proceso de calentamiento de la olla lleva un tiempo prolongado durante el cual las condiciones meteorológicas deben permanecer estables. La propuesta del método alternativo busca el desarrollo de una metodología rápida, que en un tiempo corto permita determinar las características de la cocina ensayada.

Con estos ensayos se ha mostrado que la determinación de un punto del ensayo mediante la nueva metodología lleva un tiempo corto una vez que el aceite en el depósito se ha calentado a la temperatura de medida. Se coloca la olla virtual y se comienza a pasar el aceite caliente por la cañería y en unos pocos minutos el sistema alcanza el equilibrio pudiéndose medir la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida y el flujo de aceite, lo que determina la potencia buscada. Si, por ejemplo, se busca determinar la potencia estándar cuando la diferencia de temperatura entre la olla y el exterior es de 50 °C, basta tener la temperatura del aceite al valor necesario para obtener la potencia en unos minutos. Ello permite medir varias cocinas en un corto período, disminuyendo sustancialmente los problemas derivados de la necesidad de disponer de estabilidad durante un tiempo prolongado. Si, por otro lado, se busca determinar toda la curva de potencia, es suficiente medir dos o tres puntos a distintas temperaturas para tener una buena idea del comportamiento de la cocina.

Las curvas obtenidas por los dos métodos no coinciden enteramente, aunque su aproximación, salvo en el último caso, es bastante buena. Es de esperar la existencia de algunas diferencias entre una olla real y una virtual, ya que los procesos físicos de intercambios no son exactamente los mismos en ambos casos. En especial, para diferencias de temperaturas altas la olla real comienza a producir problemas de pérdida evaporativa. De cualquier manera, esta situación no debe preocupar ya que lo

que se busca es tener un procedimiento comparativo de distintas cocinas ensayadas en las mismas condiciones. Si la olla de comparación es la misma olla virtual los resultados obtenidos serán válidos para comparar el comportamiento térmico de las distintas cocinas.

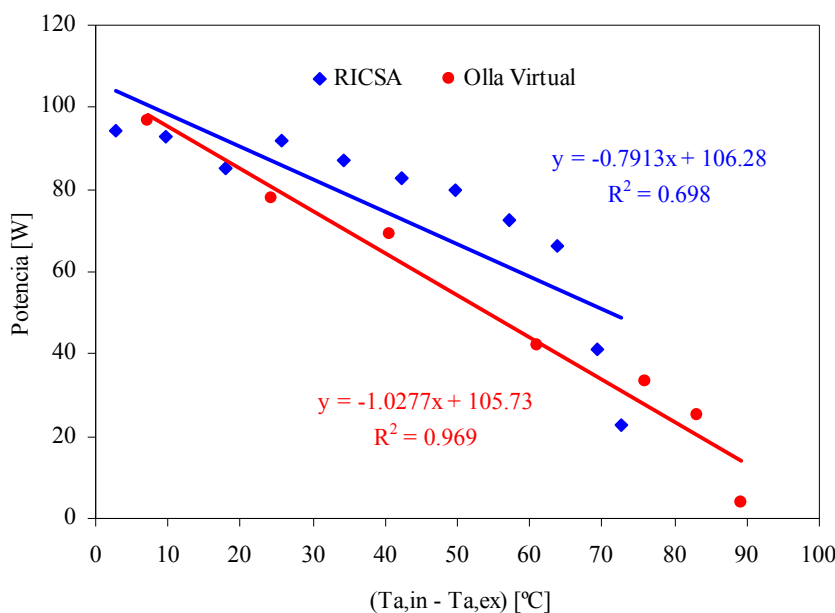


Figura 5. Ensayo de potencia calculada RICSA - Olla Virtual. Sin orientación con doble reflector.

Se espera proseguir con las pruebas del nuevo método para poner a punto su repetibilidad. Luego se tratarán de medir diversas cocinas con el fin de ganar experiencia en cuanto a la utilidad del método para predecir la bondad de una cocina dada.

## REFERENCIAS

- Piñon Richard. 1983. About Solar Cookers. Passive Solar Journal. Vol. 2, N°3.
- Castel M.E., Finck Pastrana A., Collares Pereira M., Vasquez L., Esteves A. (1999a). Propuestas de procedimiento para la evaluación del comportamiento térmico de cocinas y hornos solares. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 3, N° 2, pp.08-129-132.
- Castel M.E., Finck Pastrana A., Collares Pereira M., Vasquez L., Esteves A. (1999b). Propuestas de procedimiento para la evaluación de las características físicas, ergonómicas, 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.08-133-136.
- Castel M.E., Finck Pastrana A., Collares Pereira M., Fonseca S., Esteves A. (2000). Protocolo de cocción solar de RICSA. Apreciaciones respecto de la determinación de la energía y la carga para determinar la potencia efectiva de cocción. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 4, N° 1, pp.03-77-80.
- Funk Paul A. (2000). Evaluating the internacional Standard procedure for testing solar cookers and reporting performance. Solar Energy Vol. 68, N° 1, pp. 1-7.
- 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)
- Mirra Quiroga (2004). Simulación de Cocina Solar Tipo Caja. Tesis Maestría en Energías Renovables. Universidad Nacional de Salta.

## ABSTRACTS

The Latin American meal cooking network presents a solar cooker method test to estimate the cooking power through a dynamic method. The resolution heat absorption can be established in an stationary state through fluids, running in the inner part of the cooker. The present work presents a method to establish the power in stationary state by using a device similar to the current pots, as much in shape and volume. This pot consists of a base and a wall containing pipes for which interior fluids run. The cap of it is the same of the current ones. The box-type solar cooker used on this test is a "tank-type" cooker. The results released by the "virtual pot" established some differences on the obtained values using The Latin American meal cooking protocol, but such differences were few important, except on the temperatures higher than 80°C where water evaporation is quite important in the protocol here referred to.

**Key words:** Solar cooker, Box-type solar cooker, Absorption power, Tank-type cooker, Virtual pot