

## EXPERIENCIAS DE LABORATORIO Y DE CAMPO CON UN HORNO SOLAR

V. Passamai<sup>†</sup>  
INENCO – CIUNSa\* - CONICET  
Facultad de Ciencias Exactas  
Av. Bolivia 5150 – 4400 Salta. R. Argentina  
Tel.: 0054-87-255389 – Fax: 0054-87-255489 – Email: <passamai@unsa.edu.ar>

### RESUMEN

Se describen los resultados de distintas experiencias controladas realizadas en el Laboratorio de Secado y Cocción de Alimentos (LSCA), del Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional de la Universidad Nacional de Salta, así como de campo, usándose un horno solar de tipo caja. Diversas conclusiones pudieron ser alcanzadas, tanto para validar la metodología de trabajo, entender el funcionamiento de un horno solar, como para desarrollar estrategias de un mejor aprovechamiento de su uso y mejorar su construcción.

### INTRODUCCIÓN

En la Provincia de Salta existen pueblos de la Puna, como del Chaco Salteño, para los que es posible realizar esfuerzos tendientes a aportar tecnología apropiada para el aprovechamiento de la energía solar, como es el caso de los hornos solares de tipo caja. Igualmente, en la propia Ciudad de Salta, existen barrios pobres que hacen uso de garrafas de gas para la cocción, por no contar con red de gas natural; o bien leña, que es acarreada de los cerros vecinos, con la consecuente erosión que ello provoca, así como la dispersión de esfuerzos cada vez mayores por la escasez de nuevos árboles vecinos.

En el marco de esta situación, el CIUNSa ha aprobado un proyecto presentado en octubre de 1996, denominado “Aplicaciones Sencillas de la Energía Solar: Secado y Cocción de Alimentos”. El mismo tiene una duración de tres años, a contar de enero de 1998 y, entre sus objetivos, se persigue el obtener información acerca del comportamiento térmico de las cocinas solares de tipo caja (Passamai et. al, 1997). También, recientemente, se ha formado la Red Iberoamericana de Cocción Solar de Alimentos (RICSAs), cuya coordinación general la realiza L. Saravia del INENCO. Con tales motivos, se ha montado un dispositivo de laboratorio que cuenta con una lámpara de infrarrojo como fuente térmica, sensores de radiación, temperaturas y equipo para la captación automática de datos, para ser usado con distintos hornos solares y experimentar con ellos.

### DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

El LSCA del INENCO consta de un banco de pruebas para hornos solares, un sistema de captación de datos de temperatura de hasta 16 canales, una lámpara de tungsteno de 1000 W de potencia máxima – regulable –, solarímetro para medir la radiación total y balanzas para determinar, eventualmente, pérdida de peso de productos puestos a cocinar o agua para su evaporación. Este laboratorio está especialmente dedicado a la ejecución de experiencias térmicas de este tipo.

La fotografía a) de la Figura 1 muestra el horno solar utilizado para este trabajo, consistente en una caja de chapa negra, aislada mediante lana de vidrio por su exterior y cubierta ésta, a su vez, mediante placas de un producto plástico, similar al polícarbonato, consistente en un copolímero de polietileno y polipropileno (Lawand, 1997). El nombre comercial en Canadá de este plástico es “Coroplast”. Este horno solar fue construido por Robert de Massy (Passamai, 1997) del Brace Research Institute de Canadá, con el cual el INENCO ha realizado intercambio.

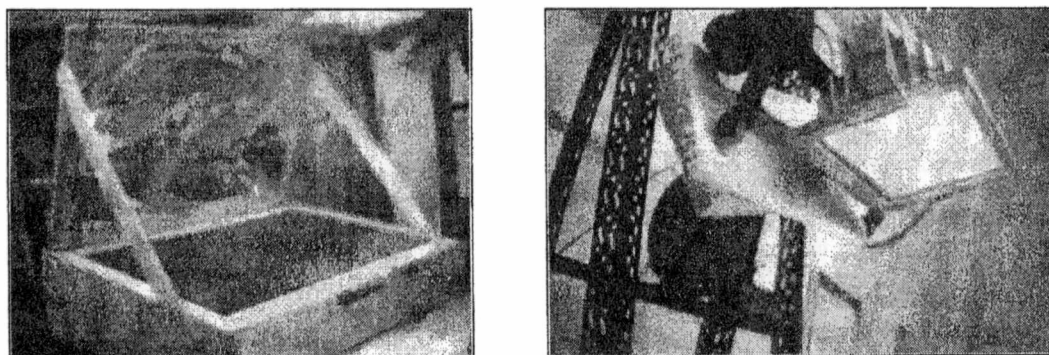


Figura 1: a) Horno solar. b) Lámpara de tungsteno.

<sup>†</sup> Investigador Adjunto del CONICET

\* Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta, organismo financiador.

El sistema de captación de datos consiste en una plaqueta de la firma Keithley instalada en una PC 386 con 4 MB de RAM, con capacidad para la captura de señales de temperatura, mediante termocuplas. Mediante un orificio practicado en un costado de la cocina solar, se introdujeron las termocuplas para medir temperaturas de las superficies internas, el aire del horno, el aire ambiente y superficies externas del horno, en función del tiempo, cuando se enciende la lámpara. La Figura 2 muestra una fotografía con este detalle, junto a un esquema del horno solar donde se han indicado las partes cuyas temperaturas fueron medidas para este trabajo.

Se hizo uso de un termógrafo (Hoyos et al., 1997) para obtener imágenes complementarias de los datos de temperatura, con el objeto de visualizar las zonas del horno que son más sensibles a las pérdidas térmicas.

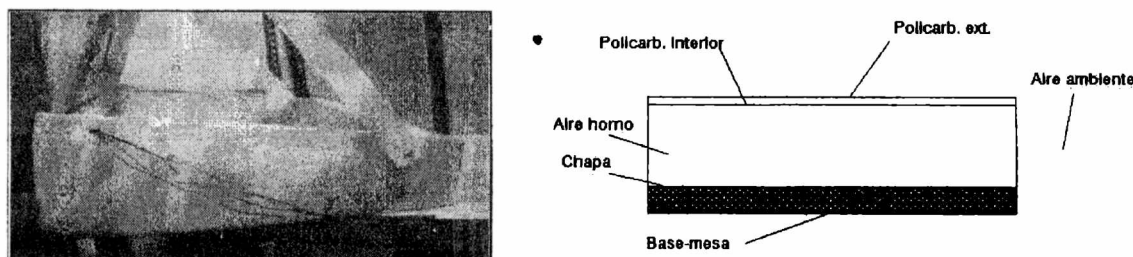


Figura 2: a) Orificio practicado en la cocina solar para insertar las termocuplas. b) Esquema del horno.

### PLAN DE EXPERIENCIAS

Las experiencias realizadas se efectuaron con el objeto de poder contar con datos comparables reiterados que permitan concluir acerca de: a) la validez del banco de pruebas de cocinas del LSCA, b) comportamiento dinámico térmico de un horno vacío ante incidencia de radiación constante, c) estrategias para un mayor aprovechamiento de la energía incidente a los fines de la cocción, d) pautas a tener en cuenta en la construcción de hornos solares más eficientes y e) efecto térmico que se logra con el movimiento periódico de la cocina para seguir el sol.

a) La validez del banco de pruebas se determinó mediante la obtención de datos de temperatura para tres experiencias consecutivas, observándose la repetición de datos para las dos primeras –realizadas con el horno vacío en idénticas condiciones- y la respuesta de la tercera por la absorción del calor por parte de agua puesta en su interior. La Figura 3 ilustra los resultados obtenidos para la temperatura de la placa colectora del horno. Se observa la igualdad de las temperaturas del ambiente para las tres experiencias.

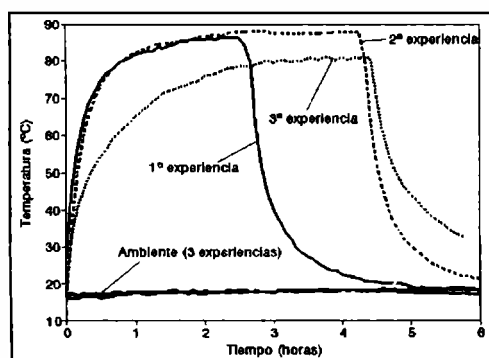


Figura 3: Validación del banco de prueba de cocinas.

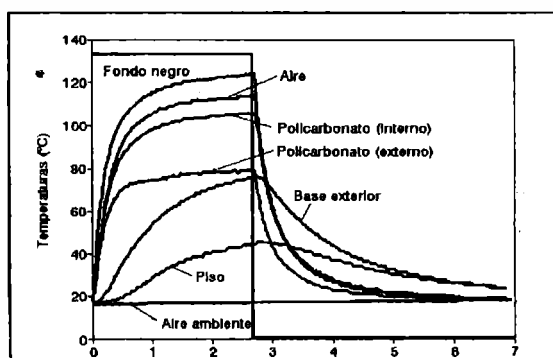


Figura 4: “Carga y descarga” térmica del horno solar.

La línea gruesa con el rótulo “1ª experiencia” corresponde a la evolución de la temperatura de la chapa metálica negra mientras la cocina recibió radiación proveniente de la lámpara durante poco menos de 3 horas y luego se apagó, midiéndose su enfriamiento. La línea delgada con la leyenda “2ª experiencia” es la correspondiente a la repetición de este experimento, al día siguiente del anterior, habiéndose mantenido en este caso la lámpara encendida durante casi 5 horas. Se observa la coincidencia de las curvas de calentamiento durante el período de solapamiento, así como la similitud de las curvas de enfriamiento. La tercera experiencia denota la disminución de la temperatura de la chapa debido a que parte de la energía fue tomada para el calentamiento del agua dentro del horno.

b) El comportamiento de la dinámica térmica del horno vacío, ante radiación constante, se observa en la Figura 4. Luego de varios intentos previos, realizados para adquirir experiencia con la respuesta térmica del horno solar, se obtuvo esta gráfica que se considera representativa de todos esos experimentos. Se observa que, por encima de la temperatura del ambiente, mantenida aproximadamente constante gracias a la inercia térmica del LSCA, las distintas temperaturas medidas, tanto en el interior del horno como en las superficies de la envolvente exterior, tienen un comportamiento capacitivo de “carga” hacia un

máximo valor de equilibrio y, al apagarse la lámpara, se “descargan”, de manera exponencial decreciente, hacia la temperatura ambiente. Se muestra también el escalón que representa la acción constante de la radiación, dividida en dos etapas, la primera en un nivel de  $700 \text{ W/m}^2$  (medida sobre la placa colectora) y la segunda  $0 \text{ W/m}^2$ . El rótulo “Fondo negro” hace referencia a la placa colectora de la radiación, consistente en una chapa pintada de ese color, la cual según se observa llegó a superar los  $120 \text{ }^\circ\text{C}$  de temperatura luego de casi tres horas de recibir radiación constante incidente. La temperatura de esta superficie es la mayor de todas para esta experiencia, debido a que el horno solar no contenía ningún producto alimenticio, o agua, puesto a calentar. La denominación “Aire” en la Figura 4 se refiere a la temperatura del aire dentro del horno, determinada por medio de una termocupla protegida de la radiación directa, ubicada a media distancia entre la chapa colectora negra y la cara interna de la cubierta transparente. Esta es la segunda temperatura más alta registrada para esta experiencia. La curva de temperatura correspondiente a la denominación “Policarbonato (interno)”, se refiere a la cara interna de la cubierta transparente de policarbonato, de doble lámina y nervios paralelos intermedios, de tipo acanalado. Fue obtenida mediante la colocación de otra termocupla en contacto con ese lugar, en la misma línea de la correspondiente a la del fondo negro y el aire, antes mencionadas. Al igual que las otras, la punta de prueba de esta termocupla estuvo protegida de la radiación directa, mediante sombreado. En forma semejante, se colocó una termocupla en la superficie exterior de la cubierta transparente para determinar la temperatura denominada “Policarbonato (externo)”. En el punto d) se hace referencia a la “base exterior” y “piso”.

c) El estudio de estrategias para un mayor aprovechamiento de la energía incidente se realizó mediante la experimentación con distintos alimentos. Las experiencias con el horno vacío permitieron obtener una conclusión ya conocida por los usuarios de los hornos de cocinas a gas: es preferible precalentar el horno, sin el producto cuya cocción se desea realizar, a fin de lograr un aumento previo de la temperatura de la chapa colectora. Ello se aplica a carne congelada, como en el caso siguiente.

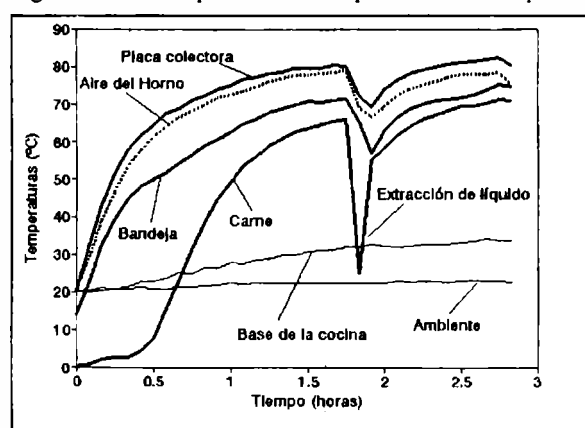


Figura 5: Cocción de carne vacuna mediante lámpara.

Dado que al abrir el horno, por su baja inercia, la temperatura desciende bruscamente (como se observa en la Figura 5) es conveniente aumentar la capacidad térmica, o inercia, mediante la introducción de una placa metálica de espesor apreciable. La extracción de los líquidos provenientes de la cocción de carne produce un descenso de la temperatura, recuperándose ésta rápidamente al cabo de poco tiempo. La eliminación del líquido de cocción sirve para mejorar el sabor de la carne, de lo contrario resultará hervida. Este procedimiento se evita usándose una parrilla para soportar la carne, en lugar de hacerlo sobre la asadera directamente. Como contrapartida se pierde la posibilidad de aprovechar el flujo de calor por conducción desde la base de la bandeja. Ambos efectos, extracción de líquido y cocción por conducción, se logran con la colocación de un tubo de drenaje de líquidos. La dificultad de realizar esto se encuentra en que se elimina el enlozado de las bandejas usadas como asaderas.

d) Algunas pautas, a tener en cuenta en la construcción de hornos solares más eficientes, se pueden extraer de la observación de termografías obtenidas sobre el horno cuando se pone a enfriar luego de calentarlo durante dos horas bajo radiación. Las fotografías de la Figura 6 ilustran de manera elocuente la necesidad de mejorar la aislación en la base, evitando los puentes térmicos que se observan. Esto mismo resulta de la gráfica de temperaturas de base exterior y piso, correspondiente a la Figura 4. La base exterior de la cocina, para el caso, estaba apoyada sobre placas de cartón y éstas sobre el piso del laboratorio, cuya temperatura también fue medida y, como se observa, aumentó por encima de la correspondiente al ambiente debido a las pérdidas térmicas no evitadas por la aislación. También es significativa la pérdida por la cubierta.



Figura 6: Fotografías termográficas de la cocina solar: a) Vista superior, b) vista lateral y c) base (se observa la estructura de madera). Estas fotografías fueron tomadas gracias a la colaboración de D. Hoyos, F. Tilca y L. Mealla.

e) El efecto térmico que se logra con la rotación periódica de la cocina para seguir el sol, aunque evidente cualitativamente,

se pone de manifiesto si se analizan las temperaturas mostradas en la Figura 7, correspondientes a días consecutivos de cielo despejado, del mes de julio, tanto en el caso en que se corrigió la dirección de la cocina como en los que se mantuvo fija, ya sea apuntando al NE, N o NO.

En el primer caso, Figura 7 a), se observa la respuesta positiva de las superficies de chapa colectora y policarbonato, lado interno, así como la del aire del horno. El lado externo de la cubierta de policarbonato responde aleatoriamente, en consonancia con el movimiento del aire. Por su parte, la temperatura de la base se comporta de manera independiente de la orientación debido a la inercia que representa la masa de la propia cocina solar.

En caso de apuntar de manera permanente la orientación de la cocina, Figura 7 b), el desarrollo de la curva de temperatura desplaza su máximo, desde más temprano en la mañana, como cuando apunta al NE; cerca del mediodía solar, apuntando al N; y hacia el atardecer, si mira al NO. Se observa el efecto del viento cuando finaliza el proceso.

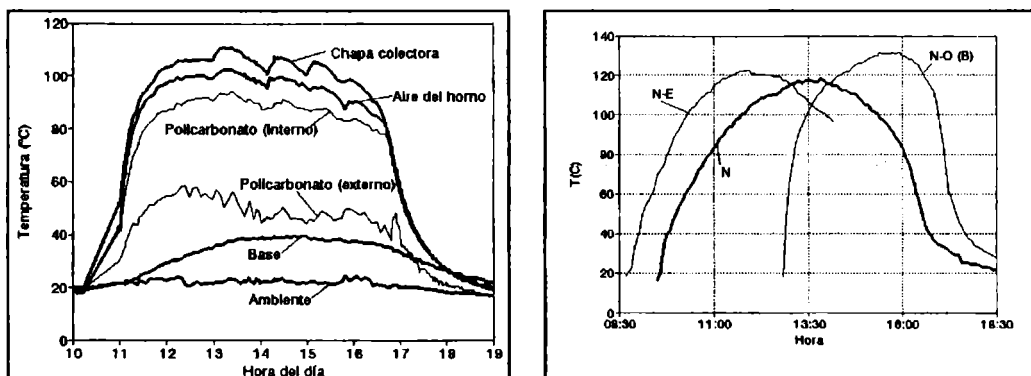


Figura 7: Efecto del seguimiento del sol. a) Cuando la cocina se reorienta hacia el sol cada hora y b) cuando se coloca mirando hacia una orientación fija (condiciones atmosféricas buenas, con cielo despejado).

## CONCLUSIONES

1. La validez de la metodología de realizar pruebas sucesivas, frente a la posibilidad de construir hornos fijos para que funcionen en paralelo (Nandwani et al., 1997 y Tilca et al., 1998), se demuestra a través de la repetibilidad de experiencias similares. Su ventaja radica en la posibilidad de probar una gran variedad de modelos de cocinas solares, sin necesidad de su construcción múltiple o la realización de pruebas en paralelo. Una desventaja es el mayor tiempo que es necesario dedicar para su atención, pues es preciso efectuar series de experiencias en momentos diferentes y consecutivos, para tratar de mantener la igualdad de condiciones ambientales.
2. La observación de curvas de calentamiento de las distintas superficies del horno vacío permite concluir que existe semejanza entre este dispositivo y un circuito RC con fem constante: la lámpara hace las veces de aquella, respondiendo la masa térmica de manera cuantitativamente diferencial según su capacidad térmica para la absorción del calor (chapa colectora, aire, lado interno de la cubierta transparente, etc.).
3. Las pérdidas al exterior, que revelan deficiente aislación, son tanto mayores cuanto mayor es el apartamiento de las curvas de temperatura con respecto al medio ambiente (caso de temperaturas de la base o laterales exteriores del horno).
4. El aire ambiente es el sumidero cuya temperatura es de referencia y hacia ella tienden todas las demás al cesar la incidencia de radiación. Esta consideración permite el análisis cuantitativo simplificado de la cocina solar (Passamai, 1998), determinándose el mecanismo conductivo de cubiertas transparentes, como las de policarbonato, en razón de la marcada diferencia de temperaturas entre lados interno y externo.
5. Es posible orientar la cocina solar de manera permanente hacia el NE para producir la cocción del almuerzo temprano, hacia el N para uno más tardío o hacia el NO para la merienda o cena, salvo enfriamiento por disminución de la radiación y/o vientos frescos.

## REFERENCIAS

- Lawand T. (1997). Brace Research Institute, McGill University, Montreal, Canadá. Comunicación personal.
- Nandwani S., Steinhart J., Henning H., Rommel M. and Wittwer V. (1997). Experimental study of multipurpose solar hot box at Freiburg, Germany. *Ren. Energy*, 12, 1, 1-20.
- Passamai V., Robert C. y Tilca F. (1997). Cocinas Solares de Tipo Caja. Artículo inédito.
- Passamai V. (1998). Modelo de simulación del comportamiento térmico de una cocina solar. Presentado en la Revista de ASADES, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*
- Tilca F., Mealla L. y Passamai V. (1998). Resultados de primeros ensayos en un equipo de tres cocinas solares semejantes. Presentado en la Revista de ASADES, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*.