

## COCINA SOLAR CHICA TIPO CAJA. EXPERIENCIAS Y SIMULACION DE SU COMPORTAMIENTO TERMICO

V. Gallipoliti, P. Martina, R. Aeberhard, j. Corace

Dpto. Termodinámica, Facultad de Ingeniería – Dto. Tecnología Facultad de Arquitectura y Urbanismo- Av. Las Heras N° 727 – Resistencia (3500) Chaco, Argentina Tel/Fax: +54 (03722) 420088/425573 – E-mail: [angelinag2@arnet.com.ar](mailto:angelinag2@arnet.com.ar) y [pablo@ing.unne.edu.ar](mailto:pablo@ing.unne.edu.ar)

**RESUMEN:** se presentan los resultados de experiencias en una cocina solar tipo caja de pequeñas dimensiones donde se calentó agua y se tomaron valores experimentales. También se realizó la comparación de estos valores con un modelo matemático brindado por el Programa Simusol, lo que permitió mostrar y analizar otras variables características del proceso de cocción. Se obtuvieron buenas aproximaciones entre valores medidos y simulados. Con la simulación se pudo visualizar comportamientos térmicos de los elementos que intervienen en esta cocina, completando valores de variables que no se pudieron medir en la práctica pero que sirven para un análisis más completo de la experiencia. Se comprueba un mayor valor de temperatura alcanzado por la cocina, en el mismo intervalo de tiempo, para la cocina sin el recipiente de agua. El tiempo de cocción corto permite suponer que las dimensiones reducidas de la caja, el buen aislamiento térmico conseguido con la madera como material constructivo de la misma y los espejos como concentradores, facilita esta operación.

**Palabras Clave:** horno solar - cocina solar chica - cocción solar – Simulación – Simusol – caja caliente

### INTRODUCCIÓN

Dentro del Proyecto de Extensión “Transferencia de Tecnologías simples para el uso de Energías no convencionales- Construcción de una cocina solar” Resol. N° 495/05, correspondiente al Programa Institucional: La Universidad en el Medio-Universidad Nacional del Nordeste se construyeron dos cocinas tipo horno solar dentro del Dpto. de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería de la UNNE. Una de ellas fue transferida a la comunidad, a la Escuela secundaria EGB 273, de Basail, provincia del Chaco. Por otra parte se construyó otra cocina tipo caja de dimensiones más reducidas, con fines experimentales. Se realizaron algunas experiencias como ser el calentamiento del agua dentro de un recipiente, lográndose buenos resultados en cuanto a tiempo de régimen y calentamiento del agua.

La red Iberoamericana de Cocción solar e Alimentos (RICSAs, 2000) sintetiza la función de una cocina solar de tipo caja estableciendo que se trata de una “caja aislada para la captación de la energía solar” que pueda ser utilizada para calentar por vía térmica un recipiente con el fin de lograr la cocción de alimentos. Los miembros de la red se han dispuesto, entre otras cosas a realizar experiencias de testeo y medición del funcionamiento de las cocinas con que cuentan o constituyen, con el fin de realizar el intercambio de información.

Para estandarizar las mediciones, se ha establecido el uso del agua como elemento a calentar en lugar de distintos preparados de alimentos (Mealla et al., 1999; Funk, 1989) aunque obviamente que el efecto calefactor de las cocinas también puede ser evaluado, primariamente, a través de su respuesta en vacío (Passamai, 1998<sup>a</sup>) En estudios anteriores (Mealla Sánchez, Tilca, Passamai, 1999) se demostró que, en ensayos con cocinas de barro, la potencia de cocción en invierno, para latitudes 26° sur y 1400mm no es conveniente, para los ensayos, recomendándose la cocina liviana tipo horno solar. También se demostró, en otros estudios de los mismos autores (Tilca, Mealla Sánchez y Passamai, 1999), que es conveniente utilizar chapa de hierro pintada de negro en el recinto de cocción, en lugar de chapa de aluminio sin pintar en las cocinas solares tipo caja. También, en el caso de utilizar ollas para la cocción, estas mejoran los resultados si están pintadas de negro en lugar de utilizar ollas de aluminio sin pintar. Respecto a los modelos matemáticos para la simulación del comportamiento térmico de un horno solar (Passamai, 1999), este evalúa el comportamiento dinámico de las temperaturas cuando es expuesto a una radiación constante proveniente de una lámpara.

#### *Objetivos*

Evaluar el comportamiento térmico de una cocina solar de pequeñas dimensiones con valores experimentales y simulación numérica.

### MATERIALES Y METODOS

Esta cocina se construyó en forma rectangular. Dos de sus caras anteriores vidriados (doble) que constituyen las superficies captadoras. Además se incorporaron dos espejos como reflectores que constituyen los lados de la caja (20 x30) cm. cuando esta se cierra y guarda. La cocina esta hecha en madera de pino de la región con un espesor de aproximadamente 3

cm. Está aislada térmicamente en su base con poliestireno expandido de 2 cm. y los costados con madera de la misma especie arbórea, en un espesor de 3 cm. aprox. Su base interna, donde se coloca el recipiente con agua, lleva una chapa pintada de negro mate, constituyendo una superficie negra absorbidora de (16 x 30) cm. El resto de las superficies internas fueron revestidas con papel metalizado reflectante. El volumen de cocción es de (16 x 30 x 11, 5) cm<sup>3</sup>, se accede a su interior por atrás de la caja, con una de sus caras posteriores extraíbles. La foto de la figura N° 1 muestra sus dos caras anteriores selladas con doble vidrio.

Los instrumentos de medición fueron dos tester utilizados como termocuplas para la medición de las temperaturas del agua y del interior de la cocina. Termómetro de mercurio para la temperatura ambiente y reloj para el tiempo. Los valores de radiación solar, utilizados en el Programa Simusol, fueron extraídos de una base de datos que posee el Departamento de energías apropiadas, de la Facultad de Ingeniería de la UNNE.



Figura N° 1: Imagen de la cocina solar con el recipiente de agua e instrumentos de medición

#### Valores Experimentales Obtenidos

Esta experiencia se llevo a cabo en la ciudad de Resistencia, Chaco, Argentina donde el clima es subtropical con estación seca en el centro y en el oeste de la provincia, el promedio anual de temperatura es de 21 °C, con temperaturas medias máxima de 27,1°C y media mínima de 15,2 °C. La humedad decrece de Este a Oeste, precipitaciones promedio anual 1328mm

La cocina se coloco al sol (orientación Nort-Este) una hora antes de empezar a realizar las mediciones (9:22:00 hs.) del día 28 de Marzo de 2007, en la ciudad de Resistencia (27 ° latitud sur y 50 m sobre el nivel del mar) Se tomaron valores de temperatura del agua, temperatura ambiente y de la cocina cada 20 minutos aproximadamente, registrando los valores que se muestran en la Figura N°2. El recipiente que contenía el agua fue un tacho de lata de 500 cm<sup>3</sup> pintado de negro mate. No se midió radiación solar.

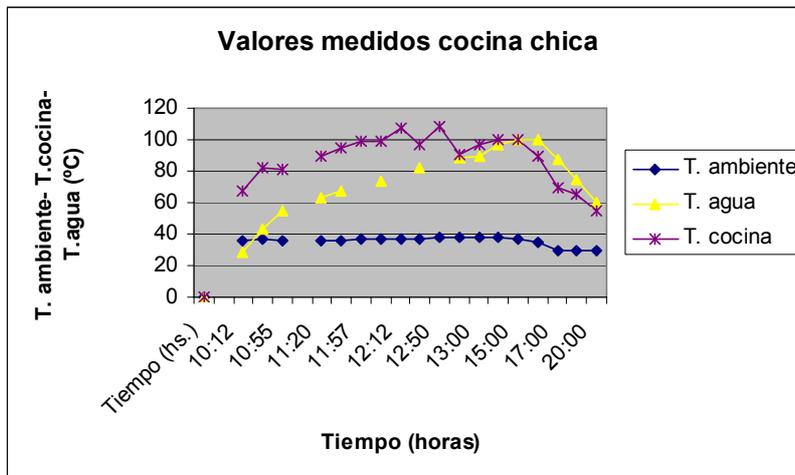


Figura N°2: Gráficos de valores obtenidos en las mediciones de la cocina chica.

En este ensayo se realizó con valores de velocidad de viento pequeñas (menores a 1 m/seg.), a pesar de no contar con un piranómetro, se estimó que la radiación solar incidente para el mes de marzo en estas latitudes fuera mayor de 700 w/m<sup>2</sup> en el plano del colector. Esto fue corroborado con la base de datos de Radiación solar medidas en los años 2001 al 2003. Siempre se reorientó la cocina hacia la posición del sol (cada 20 minutos)

Tiempo de calentamiento del agua:

Rango de temperaturas exteriores durante el ensayo: 29°C -36,3 °C. Temperatura de comienzo: 36,3 °C

Tiempo en alcanzar los 80 °C con reorientación: 150 minutos

Tiempo en alcanzar los 90 °C = 210 minutos

Tiempo que mantiene la temperatura de ebullición: 120 minutos

### Simulación del funcionamiento con Simusol

La propuesta apunta a la modelización y simulación computacional como apoyo al trabajo científico en el Proyecto. Simusol es un programa que facilita la descripción de circuitos y su simulación numérica. Fue creado inicialmente para el estudio de sistemas solares a parámetros concentrados, desde el punto de vista térmico. Pero en la actualidad es utilizado para el estudio de otros sistemas como los eléctricos y/o mezcla de sistemas diferentes. (Alía de Saravia y Saravia, 2001) Utiliza varios programas de uso libre: Dia, Sceptre y Gnuplot.

Para el balance energético de cada elemento Simusol planteará un conjunto de  $n$  ecuaciones cuya solución permitirá determinar la temperatura en cada elemento. La ecuación para el elemento  $i$  tendrá en cuenta: la masa del elemento  $i$ , la que acumula calor; el flujo de energía conductivo desde el elemento  $i-1$  al  $i$ , y el flujo de energía conductivo que va desde el elemento  $i$  al  $i+1$ . La suma de los tres únicos aportes debe ser cero:

$$k.A.(T_{i-1} - T_i)/e + k.A.(T_{i+1} - T_i)/e = cp.A.e. \rho.\Delta T_i$$

La variación  $\Delta T_i$  se refiere al cambio de  $T_i$  en el tiempo. Esta ecuación permite calcular el valor de  $T_i$  en el instante siguiente a partir de los valores en el instante previo. Este cálculo puede plantearse directamente en el Simusol, en cuyo caso el programa planteará las ecuaciones necesarias y las resolverá para el período de tiempo que interese.

Para la utilización del Programa Simusol cada sistema a analizar, deberá quedar definido por un cierto número finito de temperaturas y los elementos que lo forman estarán en contacto con pares de temperatura y serán capaces de transmitir energía entre ellas. El sistema estará representado por una *red* de elementos que une nodos de temperatura. Esta red recibe el nombre de "*modelo del sistema*". En la cocina solar se produce una distribución continua de temperaturas, por lo tanto se divide en múltiples partes de manera que cada una de ellas sea lo suficientemente pequeña para que sea considerada como un elemento concentrado.

Además de conocer la *red*, se deberán dar un conjunto de valores que determinan las propiedades de los elementos y también un conjunto de parámetros relacionados con los aspectos generales del modelo y su cálculo como ser, por ejemplo, el tiempo de cálculo, valores iniciales, etc. Todos estos valores se introducen mediante un conjunto de "*cuadros*" cada uno con su nombre identificatorio. La *red* y los *cuadros* se introducen en el programa con una interfase gráfica mediante el programa Dia. Un segundo programa, escrito en Perl, traducirá esta información generando un archivo de texto que alimentará al tercer programa, que realizará el cálculo de la evolución transitoria del sistema, llamado Sceptre. Finalmente, una vez terminado el cálculo, el cuarto programa entregará gráficos de la variación de las variables de interés y almacenará los resultados en archivos de texto usables para su análisis posterior.

Se creó un modelo que represente como sistema térmico a la cocina solar. Para la elaboración del diagrama representativo con el que trabaja Simusol, se tomó el esquema de la cocina y se ubicaron tantos puntos en su interior como *nodos de temperaturas* fueran necesarios para un mejor análisis. La transmisión del calor se simula con *resistencias conductivas*, en el interior de los elementos sólidos como las paredes de la cocina y con *resistencias convectivas* en las superficies en contacto con el aire (exterior e interior), conectadas a los nodos de temperaturas. Se prefirió colocar por lo menos un nodo en cada tipo de material que componía el sistema, de modo de poder visualizar la contribución de todos y cada uno de ellos.

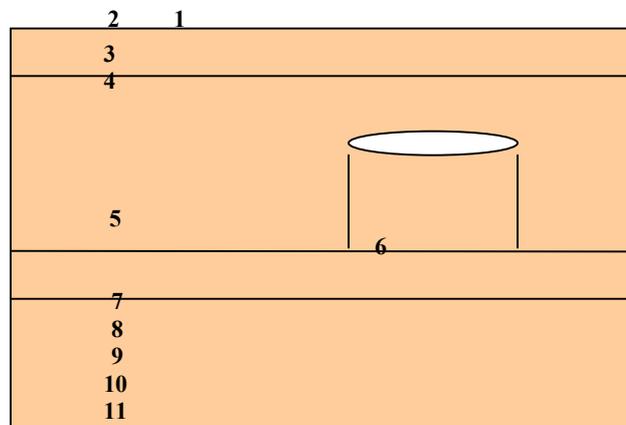


Figura N° 3: Esquema conceptual de la cocina chica con los puntos o nodos de temperatura para Simusol

Para realizar la simulación del sistema de cocina solar tipo caja se asignaron los siguientes nodos de Temperatura en el Croquis con el recipiente de agua en su interior.

1: Nodo de Temperatura ambiente, 2: Nodo en la cara externa del primer vidrio transparente, 3: Nodo en la cámara de aire entre los dos vidrios, 4: Nodo en la cara del segundo vidrio transparente, 5: Nodo de temperatura en el interior de la cocina, 6: Nodo de temperatura en el interior del recipiente con agua (500 cm<sup>3</sup>), 7: Nodo sobre la chapa pintada de negro, 8: Nodo dentro del aislante térmico (2cm), 9: Nodo en el límite del aislante térmico y la base de madera de la cocina  
10: Nodo dentro de la base de la cocina (madera pino Cp= 2.700 J/Kg. °C), 11: Nodo en el límite de la base de cocina. Se incluyeron valores variables tanto de Temperatura ambiente y Radiación, respetando valores propios de la región (Resistencia) para el mes de Marzo (datos obtenidos de mediciones experimentales en el Dpto. de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería de la UNNE).

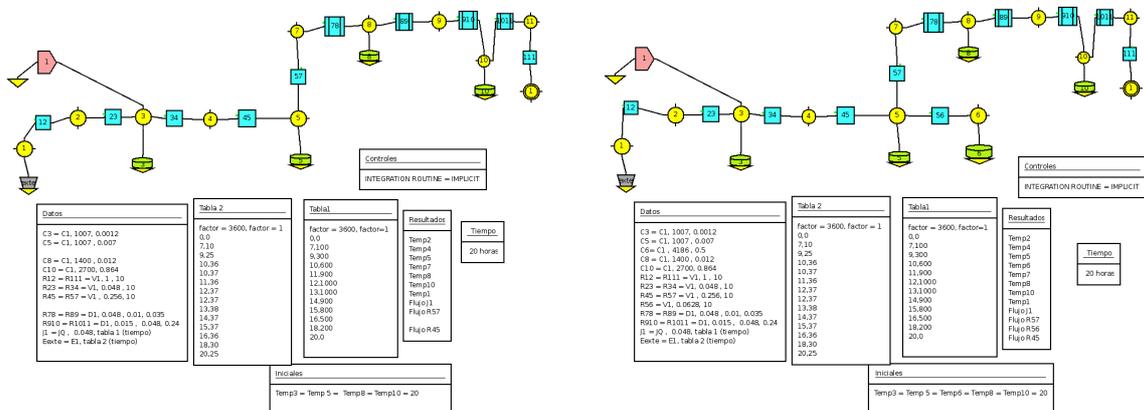


Figura N° 4: Esquemas de circuitos térmicos para Simulol que representan a la cocina chica sin y con el recipiente de agua.

## RESULTADOS

La simulación se realizó primeramente para la cocina en condiciones de régimen, sin el recipiente cargado de agua. Después, se simuló el comportamiento térmico de la cocina con el agua. Con los datos de la cocina, como valores de superficies, coeficientes convectivos, conductivos, calores específicos, etc. especificado en los diferentes elementos de los cuadros y redes del Programa Simulol se obtuvieron las gráficas siguientes.

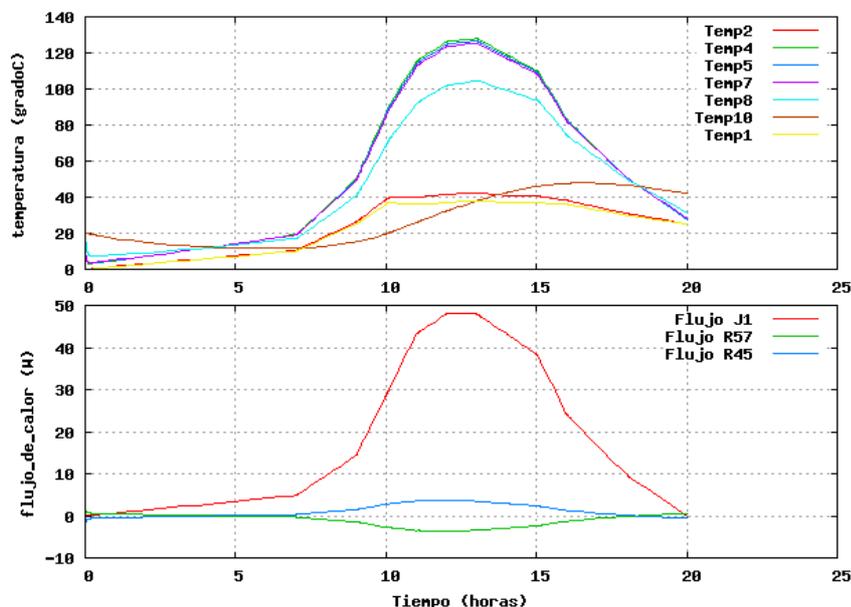


Figura 5: Gráficas resultantes de simulación térmica que representa la cocina solar sin el tacho de agua

En principio, los gráficos que arrojo el simulador tanto para la cocina sin el recipiente con agua como con él, representan las variaciones de las temperaturas en diferentes elementos dentro y fuera de la cocina solar chica. También se obtuvieron gráficos de flujos calóricos dentro del recinto de la caja caliente (Watt), entre el aire caliente interno y el recipiente de agua y las cubiertas de vidrio y recinto caliente (J1, JR57 y JR45 respectivamente). De las gráficas de la Figura 5 se destacan los valores de temperatura dentro de la cocina (Temp5) y sobre la placa negra (Temp7) que alcanzan valores cercanos a los 120°C, llegando a un máximo a las 13:00 hs. aproximadamente, tres horas después de haberse colocado la cocina al sol. La

Curva que representa la temperatura ambiente (Temp1) coincide con los valores experimentales tomados. Mientras que la temperatura en la primer superficie vidriada que encuentra la radiación (Temp 2) toma valores máximos de hasta 35 °C, en la segunda (del doble vidriado de la tapa) registra valores mucho mas grandes, esto debido a que en la primer superficie se producen las perdidas de calor por convección con el exterior.

Por otra parte, la grafica muestra un comportamiento de la curva de temperatura de la madera en la base de la caja, propio del comportamiento de materiales aislantes. En ella se produce un “retraso” térmico respecto de la curva de temperatura del recinto caliente (Temp 5). Su máximo llega a las 4 hs. luego de la Temperatura 5. Comparada con la temperatura en el aislante del poliestireno expandido (Temp 8), registra 20 °C menos que la temperatura en el interior de la cocina. Esto permite observar que la madera funciona, en este caso, mejor como aislante térmico que el poliestireno, dado su espesor y ubicación en el diseño de la cocina. Los flujos calóricos observados en esta simulación, son leves, apenas alcanzan los 5 W de potencia acalórica entre el segundo vidrio y el recinto caliente.

#### Análisis de la cocina con el recipiente con agua

A diferencia de las graficas anteriores, estas presentan un retardo térmico de unas 2 horas en los valores picos de temperaturas, debido a que en el interior de la caja caliente se encuentra una masa liquida representada por el tacho que absorbe calor generado en la cocina.

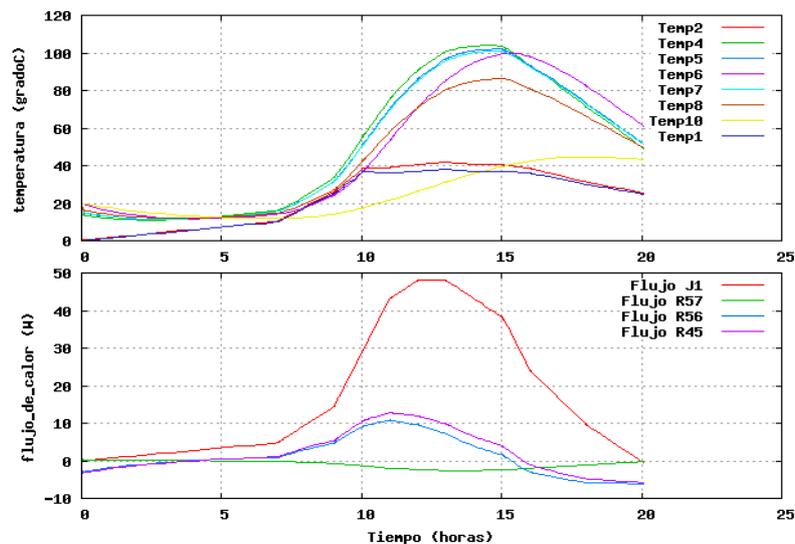


Figura 6: Grafias resultantes de simulación que representa la cecina solar con el tacho de agua

La curva de temperatura del agua (Temp6) tiene un corrimiento mayor respecto de las demás debido al calentamiento paulatino que va sufriendo la masa de agua. Así es como a la hora de registrarse el pico máximo de temperatura del aire en la cocina, el agua adquiere su temperatura máxima de 100 °C. La temperatura de la chapa negra, al igual que la del aire del recinto alcanza sus valores máximos de 120 °C a las 14 hs. Aproximadamente. Por otra parte la temperatura en el primer vidrio (Temp2) es apenas un poco mayor que la temperatura ambiente (Temp1). También se registran flujos de transmisión calórico mas elevados entre el vidrio y el aire del recinto y entre este y el tacho con el agua. Este ultimo, con un valor de 10 Watt entre las 10 y las 13 hs. Podría considerarse la Potencia de cocción, según Protocolo de ensayos de cocinas solares (Castell M. et al 2000) pues considera la masa del agua, su calor específico, el tiempo y el intervalo de temperatura.

## CONCLUSIONES

Por sus reducidas dimensiones esta cocina es fácilmente transportable y de rápida limpieza. También, esta particularidad, sumado al material de construcción (madera de la región con un buen espesor), y sus dos caras de captación, permitió tiempos cortos de cocción y en alcanzar el régimen térmico. Pero esta condición, la de ser pequeña, es la que limita fuertemente sus aplicaciones. No es conveniente su uso para alimentos que contengan más de 1,5 litros de agua en su preparación. Se prevé construir la misma en mayores dimensiones. Se observo buenas aproximaciones entre valores medidos y simulados. El programa Simusol permitió comprobar otras variables en el balance térmico de esta cocina como ser las temperaturas en las superficies de los vidrios y en el espacio entre ellos. Temperatura de la cubierta negra mate, en la base interna de la cocina y flujos de calor incidente, dentro de la cocina y desde los vidrios al interior de la misma.

Estos últimos valores permitieron mostrar la curva coincidente con la Potencia de cocción efectiva de esta cocina, calculo que debe realizarse manualmente (Castell, M y et al, 1999) Estos autores calculan la Potencia de cocción efectiva como la diferencia de temperatura del agua en cada intervalo de tiempo se multiplica por la masa y el calor específico del agua contenido en el recipiente para determinar la energía absorbida en ese intervalo. Luego se divide el producto obtenido por el tiempo de cada intervalo en segundos para obtener la potencia de cocción en Vatios (W). Todos estos valores son introducidos en el programa Simusol para la graficación del Flujo calórico en los diversos lugares de la cocina que se desee, por lo que el programa calcula automáticamente estos valores.

## BIBLIOGRAFIA

- Mealla Sánchez L., Tilca F y Passamai V. (1999). Evaluación de dos cocinas solares tipo caja con la Propuesta estándar de la Red Iberoamericana de cocción solar de alimentos (RICSA). Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 3, Nº 2, 1999. ISSN 0329- 5184.
- Passamai, V. (1999). Simulación del comportamiento térmico de una cocina solar (parte II). Avances en energías renovables y Medio Ambiente. Vol 3, Nº2 1999. ISSN 0329- 5184
- Alía D y Saravia L. (2005) Manual de Simusol Facultad de Ciencias Exactas, U.N.Sa – Inenco- Consejo de Investigación, U.N.Sa
- Alía D. y Saravia L. (2004) Programa Simusol. Simulación de Sistemas solares. Inédito.
- Castel M.E de, et al 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, Nº1 2000. ISSN 0329-5184
- Castel M.E de, et al 2000. Correcciones al Protocolo de Ensayos de cocinas solares para la determinación del Rendimiento Térmico. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 4, Nº1 2000.. ISSN 0329-5184
- Passamai V. (1998) Experiencias de Laboratorio y de campo con un horno solar. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol 2, Nº1, pp.2.29- 2.32.
- Duffie J A y Beckman W. A. (1991) Solar Engineering of Termal Process, 2ª edición, pp. 106-144 Wiley Interscience, New Cork

## ABSTRACT

Presents the results of solar cooking experiences in a small box where water is warmed and experimental values were measured. A mathematical model was performed wit program SIMUSOL, comparing the results with the experimental values. A good agreement between measured and simulated values was obtained. A good visualization of the thermal behaviour of the cooker was obtained using the simulation, allowing a more complete analysis of the experiment. A cooker higher temperature in the same time interval is reached when no water is used. The short cooking time suggests that the small size of the box, good thermal insulation achieved with the wood materials in the same constructive and mirrors as hubs, facilitates this operation.

**Keyword:** solar oven - solar cooking - Simulation - SIMUSOL - oven box – ho