

## **EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA VARIACIÓN DEL TAMAÑO DE UNA COCINA SOLAR DE TIPO CAJA, MEDIANTE UN PROGRAMA DE SIMULACIÓN**

M. A. Quiroga, L. R. Saravia  
INENCO, Instituto de Investigación en Energía No Convencional. (UNSa-CONICET)  
Universidad Nacional de Salta,  
Calle Buenos Aires 177, 4400, Salta, Argentina  
Fax: 54-387-4255489, E-mail: quirogam@unsa.edu.ar

**RESUMEN:** El presente trabajo analiza la posibilidad de usar las cocinas solares tipo caja para la preparación de alimentos en volúmenes mayores a los usuales, suficientes para alimentar varias familias o comedores escolares con requerimientos de hasta 25 litros de alimentos diarios. Para el análisis se emplea una simulación de una cocina solar de tipo caja en el programa SIMUSOL bajo entorno GNU/ Linux realizada y ajustada anteriormente. Se aumenta progresivamente el tamaño del área de captación de energía en la cocina y en la misma proporción el volumen de agua contenido en ella, hasta alcanzar los 25 litros requeridos. Se comprueba que el proceso de calentamiento es muy sensible a la relación entre el área de transferencia de calor al agua (perímetro de la olla) y el volumen de agua contenido; al aumentar el volumen del agua con la tercera potencia y el área de la olla con el cuadrado, esta relación se hace cada vez menor, obteniéndose temperaturas paulatinamente menores sin alcanzar las necesarias para cocción de alimentos. Dividir un mismo volumen de agua en varios recipientes mejora el funcionamiento del sistema.

**Palabras Claves:** Cocinas solares, Cocina tipo caja, Simulación.

### **INTRODUCCIÓN**

Las cocinas solares tipo caja, son equipos sencillos y económicos, empleados para la cocción de alimentos a nivel familiar, usando como fuente de energía la radiación solar. Su sencillo diseño posibilita su construcción con baja tecnología, esto sumado a la gran simplicidad en su manejo las proyecta potencialmente como un elemento valioso en lugares con abundante radiación solar y donde los recursos energéticos son escasos o costosos. Las cocinas solares tipo caja se usan a nivel familiar con cantidades de alimentos que en general no superan volúmenes de 3 a 5 L de comida.

En trabajos anteriores se presentó al primer planteo de la simulación de una cocina solar tipo caja (Quiroga, Saravia 2001), elaborada con el programa Simuterm. (Saravia, Alía 2001), actual SIMUSOL. Se continuaron los trabajos para lograr un mayor ajuste de la simulación, entre los cuales se realizaron mediciones de la radiación incidente en la cocina y su distribución interior (Quiroga 2002).

Posteriores trabajos, llevaron al ajuste de la simulación en base a tres parámetros: a baja temperatura las pérdidas se ajustan con las renovaciones de aire por hora y pérdidas por el vidrio. Mientras que a temperaturas mayores que 80 °C, se incorporaron las pérdidas por calor latente de vaporización del agua. Este modelo final ajustado fenomenológicamente logra una concordancia casi perfecta entre el comportamiento de la cocina simulado y medido experimentalmente con el equipo en funcionamiento cargado con 2,5 L de agua.

La simulación así lograda permite modificar algunos parámetros en el programa, manteniendo todos los demás constantes. De manera tal que es posible encarar estudios del efecto introducido por variaciones en diferentes características tanto constructivas como funcionales de la cocina y comparar sus resultados con los de la cocina original, con la certeza de que los resultados obtenidos son válidos y representativos del comportamiento real de la cocina modificada.

Ensayos comparativos de este tipo, son muy difíciles de realizar experimentalmente en condiciones reales, donde es prácticamente imposible lograr que condiciones ambientales e internas sean idénticas aún en ensayos llevados en paralelo. (Horn et al 2003) evaluaron simultáneo dos cocinas de diferente altura (14 y 17 cm de altura respectivamente), sin poder encontrar diferencias sustanciales en las dos cocinas.

Actualmente en INENCO, se llevan adelante experiencias con cocinas solares comunales, para ser usadas en comedores escolares o comunitarios pequeños donde se requieren cantidades de 20 o 25 litros de alimentos por día. Una alternativa a examinar es adaptar las cocinas tipo caja para trabajar con mayores volúmenes de alimentos. Esta sería una excelente alternativa ya que su

relativamente fácil construcción, las convierte en equipos que podrían construir directamente los usuarios y su manejo sencillo facilitan también su apropiación por parte de los mismos.

La forma más directa es cargar la cocina con volúmenes mayores de alimentos, aunque, es predecible que al aumentar el volumen de la carga en una cocina el rendimiento será inferior. La otra alternativa posible es aumentar el tamaño de la cocina hasta llevarla al necesario para preparar los volúmenes de alimentos requeridos.

En el presente trabajo, se evalúa a través de la simulación de la cocina tipo caja, el efecto causado por la variación en el tamaño del gabinete de la cocina. Complementariamente se representan además las curvas de calentamiento de la cocina sin modificar su tamaño pero aumentando progresivamente el volumen de agua calentado. Se presentan y analizan los resultados obtenidos en la simulación.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La simulación se realizó con un paquete de programas en entorno GNU/Linux, llamado Simusol, creado para resolución de circuitos térmicos por analogía con circuitos eléctricos. El paquete SIMUSOL se basa en el trabajo coordinado de cinco programas, SCEPTRE es el programa principal que calcula la evolución temporal del sistema. DIA es un programa gráfico en el cual se plantea el circuito térmico, mediante un conjunto de símbolos gráficos. OCTAVE o SCILAB, realizan los cálculos necesarios. SIMUA y SIMUD que actúan como interfases para la coordinación del trabajo de los programas. SIMUSOL genera archivos de resultados gráficos y numéricos. La simulación se planteó y ajustó para un tiempo total de 300 minutos.

La simulación original y los correspondientes resultados experimentales para su convalidación se basaron en una cocina construida en INENCO, con cubierta transparente de doble vidrio inclinada. El gabinete consta de una doble caja; la exterior de chapa de aluminio de 0,6 x 0,6 m y la interna de acero inoxidable de 0,5 x 0,5 m. En el espacio comprendido entre las dos cajas se dispone aislación de lana de vidrio, con 0,05 m de espesor en paredes y 0,1 m en el piso, donde complementa la aislación una capa de aire hermética.

La cocina tiene una cubierta de vidrio común doble con 18,7 ° de inclinación, montados sobre un marco de madera, los vidrios se encuentran separados por una capa de aire de 3 cm. La cubierta de vidrio es fija y la cocina se abre por la parte posterior (pared sur). Hacia arriba de la pared posterior, por fuera, se dispone un reflector – concentrador plano de 0,52 x 0,52 m, de chapa de aluminio de alta reflectividad. En el planteo inicial de la simulación considera que la encuentra cargada con una olla negra de chapa enlozada, conteniendo de 2,5 L de agua .

La simulación inicial fue realizada para la localidad de Cachi – Prov. De Salta, entre el 5 y el 15 de enero de 2002, a 2280 msnm. El día de las experiencias originales se realizaron en un día claro con alguna nubosidad a las 13,30 hs, la localidad se caracteriza por su alta radiación que alcanzó los 1180 w/m<sup>2</sup> con un mínimo durante la experiencia de 1007 w/m<sup>2</sup>. La temperatura ambiente osciló entre 23.9 y 30.9 °C, la temperatura inicial del agua fue de 23 °C. Para la realización del presente trabajo no se efectuaron medidas experimentales en las diferentes situaciones, sino que simplemente se simularon y la validez de los resultados se basa en el ajuste de la simulación original con los resultados experimentales. Las condiciones experimentales de temperatura y radiación iniciales se mantuvieron constantes para todos los casos que se presentan, para de esta manera lograr resultados comparables, que reflejen únicamente las modificaciones introducidas en las dimensiones de cocina, olla y volumen.

La cantidad de alimentos que es capaz de cocinar una cocina, está determinada por la cantidad de energía que es capaz de captar y transferir a la olla y esta limitada por el tamaño propio de la cocina. Un aumento en el volumen de alimentos o agua cargado en la cocina, sin aumentar el tamaño y consecuentemente la captación energética en la misma, tendrá como consecuencia directa una reducción en la temperatura final de los alimentos y un aumento en el tiempo de cocción, debido a que la relación entre la cantidad de energía para la cocción y el volumen cocinado decrece. Para corroborar la validez de esta suposición y mostrar el grado de representatividad de los resultados de la simulación, se analizan los resultados de la simulación de la cocina con volúmenes crecientes de agua. Para este análisis se plantearon simulaciones con volúmenes progresivamente mayores hasta alcanzar los 8 litros. La modificación introducida en la simulación en este caso de estudio, fue solamente la masa del volumen de agua a los efectos de que el programa calculara la evolución de la temperatura en cada una de las nuevas condiciones, manteniendo todos los demás factores constantes, de modo que los resultados reflejen sólo la modificación en la temperatura del agua, derivada del cambio de volumen.

**Variación en el tamaño de la cocina:** El caso principal objeto del presente trabajo es el análisis de la posibilidad de aumentar el tamaño de la cocina y el volumen de agua cargado. El aumento en la capacidad de la cocina y de su contenido, se puede hacer siguiendo criterios diversos. Dado que la potencia recibida es proporcional al área de vidrio de la caja se fijó el criterio de que el volumen de agua creciera en la misma proporción que el área de vidrio y los tamaños y geometrías de la caja se aumentan manteniendo las proporciones originales. Por otra parte el diámetro y la altura de la olla también fue creciendo en la misma proporción que el aumento del agua contenida en ella.

En principio es de esperar que el comportamiento de la cocina se vaya degradando con el aumento en el tamaño, aunque se mantenga la relación área de vidrio / volumen de agua. La razón es que la relación de área de la olla con el volumen de agua disminuye con el tamaño.

Para una olla cilíndrica con una cierta proporción entre el diámetro y la altura, mientras se mantenga esa proporción se cumple que el volumen crecerá con el cubo del radio, pero el área de intercambio sólo lo hace con el cuadrado, de manera tal que a volúmenes cada vez mayores, le corresponderán áreas en la olla cada vez menores. La olla, recibe energía proveniente directamente de la radiación solar y de intercambios internos con las paredes y el aire de la caja, transfiriendo luego esa energía al agua contenida. Al no crecer en la misma proporción el área de la olla, respecto al volumen de agua contenido, la cantidad relativa de energía transferida al agua decrece conforme aumenta la relación volumen de agua / área de olla.

La tabla 1 presenta las modificaciones del área de captación, volumen de agua y áreas laterales de la olla resultantes de la modificación en el tamaño de la cocina.

Área de captación (m)	0,25	0,4	0,6	1	2,5
Volumen de agua (L)	2,5	4	6	10	25
Área lateral olla (m <sup>2</sup> )	0,0818	0,1113	0,1454	0,2051	0,3840

Tabla 1: áreas de captación, de paredes en la olla y volumen de agua proporcional, resultantes de la modificación en el tamaño de la cocina.

Como puede observarse en la tabla anterior el volumen aumenta 10 veces, mientras que el área lateral de la olla sólo aumenta 4,8 veces.

Por otra parte en relación con el tamaño inicial de la cocina con un volumen de 2,5 con 0,5 x 0,5 m en su área de captación se los hizo crecer paulatinamente hasta alcanzar un área de captación y un volumen de agua 10 veces mayor al inicial; manteniendo constante la proporción entre el área de paredes y la de captación, esto implica que las distancias lineales (largos) en la cocina se incrementaron hasta  $(10)^{1/2} = 3,16$ .

## RESULTADOS

Para el caso de la variación en los volúmenes cargados a la cocina, se plantearon 8 simulaciones, cada una con un volumen progresivamente mayor partiendo de los 2,5 litros del planteo original.

Los resultados obtenidos del Simusol en archivos numéricos ASCII, se volcaron en una planilla de cálculo para la representación comparativa de los resultados con las condiciones iniciales.

El gráfico de la figura 1 muestra la comparación entre las curvas de calentamiento de los diferentes volúmenes de agua.

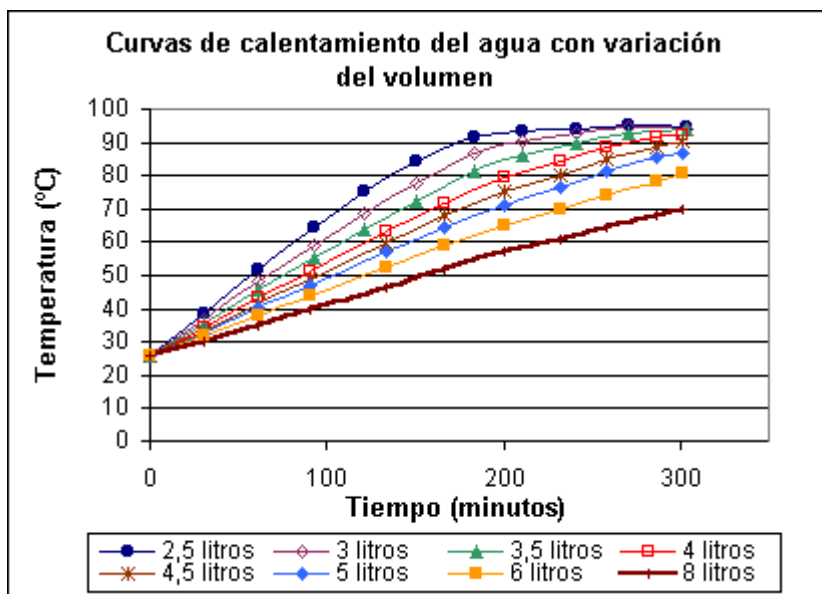


Figura 1: Curvas de calentamiento de agua para diferentes volúmenes

Las curvas de calentamiento presentan una zona de mayor pendiente, que se corresponde con el calentamiento inicial del agua, donde la temperatura progresa rápidamente. Luego a medida de que la temperatura se acerca a ebullición, el proceso evaporativo aumenta consumiendo parte de la energía, cuando esto ocurre, la pendiente de la curva decae y se hace nula al alcanzar la ebullición.

Las tres primeras curvas correspondientes a volúmenes de 2,5; 3 y 3,5 litros, alcanzan temperaturas cercanas a ebullición, aunque con un retraso en el tiempo que aumenta con el volumen. Los 4 litros alcanzan una temperatura final de 92,5 °C y para volúmenes mayores decae progresivamente.

La tabla 2 muestra para cada volumen, el tiempo necesario para alcanzar 85 °C, temperatura en la que la mayor parte de los alimentos se encuentran en proceso de cocción.

VOLUMEN	TIEMPO NECESARIO PARA ALCANZAR LOS 85 °C (MINUTOS)
2,5	152
3	176
3,5	203
4	235
4,5	258
5	284
6	No llega
8	No llega

Tabla 2, tiempo requerido para alcanzar 85 °C para distintos volúmenes de agua

El tiempo límite representado por la simulación es de 300 minutos (5 horas), más allá de este período pierde sentido práctico si se considera la preparación de alimentos en la mañana para consumirlos al mediodía.

Como puede observarse, el tiempo requerido para alcanzar los 85 °C, aumenta con el volumen, por encima de los 3,5 L de agua, el tiempo para alcanzar esta temperatura de cocción es de tres horas y media, y la temperatura final alcanzada de 94 °C. Por encima de este volumen las temperaturas finales decaen sensiblemente y los tiempos se hacen excesivamente largos hasta que para 6 y 8 litros no se alcanza en los 300 minutos considerados la temperatura necesaria para la cocción de los alimentos

### Variación en el Tamaño de la Cocina

Para el caso de la variación del tamaño de la cocina, se replantearon simulaciones de 5 situaciones diferentes, incorporando las modificaciones en las áreas de la cocina en todos los intercambios térmicos en que se encontraban involucrados, la masa de piso y paredes también se calcularon proporcionalmente al aumento en sus áreas.

Paralelamente también se modificó la cantidad de agua cargada en el recipiente, manteniendo constante su proporción con el área de captación y con el tamaño del recipiente que la contiene. Los cambios en las áreas también afectaron los parámetros involucrados en las ganancias de radiación interna en la cocina y la tasa de evaporación se modificó con un coeficiente que la hace aumentar proporcionalmente a los cambios del área de evaporación (diámetro de la olla). Los espesores de las aislaciones se mantuvieron constantes e iguales a los de la cocina original.

El gráfico de la figura 2 presenta las curvas de calentamiento resultantes de la modificación en las dimensiones de la cocina. Las referencias de cada curva en metros cuadrados, corresponden con las dimensiones del área de captación (vidrio) consideradas en cada caso.

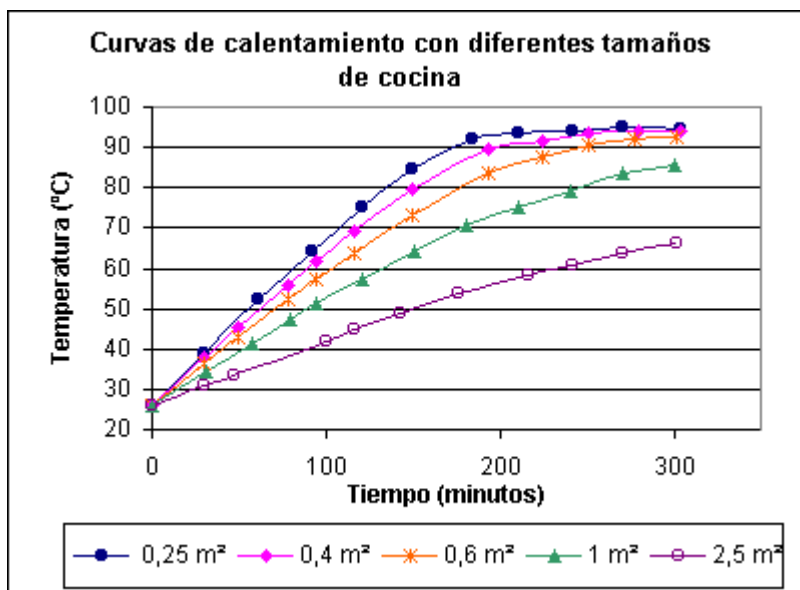


Figura 3: Curvas de calentamiento del agua correspondientes a diferentes tamaños de cocina

El aumento en el tamaño de la cocina incide notablemente en el ritmo de calentamiento del agua, siendo las pendientes y las temperaturas finales alcanzadas, progresivamente más bajas a medida que aumenta el tamaño de la cocina, hasta que aumentando 10 veces el tamaño de la cocina, la temperatura final alcanzada es 29 °C menor

Para cada caso planteado en el aumento del tamaño de la cocina, la tabla 3 muestra el tiempo requerido para alcanzar los 85 °C fijados como referencia.

VOLUMEN	AREA DE CAPTACIÓN	TIEMPO NECESARIO PARA ALCANZAR LOS 85 °C (MINUTOS)	TEMPERATURA FINAL ALCANZADA (300 MINUTOS)
2,5	0,25	152	94,5
4	0,4	172	93,8
6	0,6	201	92,52
10	1	290	85,69
25	2,5	No Alcanza	66,21

Tabla 3: tiempo requerido para alcanzar los 85 °C y temperaturas finales alcanzadas para diferentes áreas de captación en la cocina con variación proporcional de volumen de agua.

Como puede observarse la temperatura del agua resulta muy sensible al cambio en las dimensiones de la cocina. Con una cocina 10 veces mayor, no se alcanzan los 85 °C en el tiempo considerado, y la temperatura final alcanzada se encuentra muy lejana a la necesaria para la cocción de alimentos.

Si la caída de temperaturas que se producen en el agua con el aumento del tamaño de la cocina, está determinada fundamentalmente por una reducción relativa del área que transfiere energía al agua (en este caso la olla), respecto al volumen de agua cargado en la misma; una forma sencilla de mejorar este punto sería colocar el agua en varios recipientes pequeños en lugar de emplear uno grande.

De esta manera mejora la relación área de transferencia / volumen de agua; tomando como ejemplo el volumen final de 25 litros, planteado. Si colocamos esta cantidad de agua en 10 recipientes conteniendo 2,5 L de agua cada uno, (iguales al del planteo inicial de la simulación) el área de olla intercambiando calor con la cocina y con el agua será de 0,82 m<sup>2</sup> en lugar de los 0,38 m<sup>2</sup> (Tabla 1) correspondiente a un solo recipiente.

Para la simulación de esta situación se tomó como base el caso de la cocina de mayor tamaño con 25 litros de agua, modificando las áreas en todos los procesos de intercambio térmico en que la olla se encontraba implicada, se modificó la masa de tapa y olla en igual proporción, los parámetros que incluyen las áreas de la olla en la ganancia de radiación y la tasa de evaporación se modificó también en proporción al aumento del área de superficie evaporante.

El gráfico de la figura 3 muestra comparativamente las curvas de calentamiento para un solo recipiente y 10 recipientes conteniendo el mismo volumen de agua.

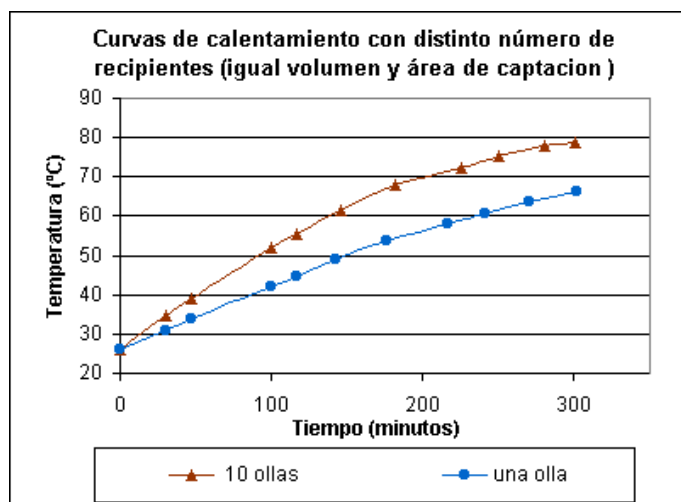


Figura 3: Curvas de calentamiento de 25 litros de agua en una olla grande y en 10 ollas pequeñas.

Los 25 litros de agua calentados en una sola olla, alcanzan una temperatura final de 66,21 °C mientras que calentados en la misma cocina con 10 ollas pequeñas alcanzan 79 °C, es decir que dividiendo el agua en 10 recipientes pequeños se logra un aumento de la temperatura de casi 13 °C.

## CONCLUSIONES

La simulación para distintos volúmenes de agua ha mostrado que 3,5 L constituiría una carga límite para esta cocina, en las condiciones simuladas, si se quieren alcanzar temperaturas suficientes para la preparación de alimentos en tiempos razonables.

Por otra parte, el análisis de los resultados obtenidos es concluyente respecto a que las cocinas de menor tamaño presentan mejor comportamiento. Esto es razonable ya que al aumentar el tamaño por un lado aumentan las áreas de pérdidas conforme aumentan sus tamaños las paredes de la cocina. Y por otra parte, al aumentar el volumen de agua y olla en relación proporcional con el área de captación, si bien aumenta la cantidad de energía que ingresa en la cocina, esto no es suficiente para compensar el efecto de la reducción de la relación entre el área de transferencia de calor (olla) y el volumen de agua. El aumento de tamaño de la cocina para lograr la cocción completa de volúmenes de 25 L de alimentos no parece válida cabría analizar alternativas diferentes en diseños y/o materiales en búsqueda de una posible solución. Cocinas mayores a las empleadas usualmente en escala familiar podrían usarse para calentamiento de alimentos precocidos.

El aumento del número de recipientes, resulta válido ya que mejora el funcionamiento de la cocina Operativamente si se quieren cocinar volúmenes de 25 L de alimentos de idéntica formulación implicaría una complicación tener que fraccionarlo en varios recipientes de volumen pequeño. Podría ser aplicable a la preparación de variedad de alimentos en bajas cantidades.

## REFERENCIAS

Quiroga M., Saravia L.R., Cadena C. (2001) Aplicación Del Programa Sceptre Para La Simulación De Una Cocina Solar Tipo Caja "Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol 5 - 106-08

Saravia L., Quiroga M., Cadena C., (2002). Simulación de cocinas solares con el programa Sceptre (simusol) en el entorno linux. Las cocinas solares en Iberoamérica CD Rom, edición Subprograma VI - Programa CYTED ISBN 987 - 20105 - 3- 6, Capítulo 6.

Quiroga M., Saravia L. Evaluación de la distribución de radiación dentro de una cocina solar tipo caja Cd.Rom de Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol 6 Año 2002. ISSN 0329-5184 P.02.43.

Dolores Alía de Saravia; Luis Saravia y Diego Saravia. Avances Introducidos en la Capacidad del Simulador de Sistemas Solares Térmicos Simuterm (Simusol). CD de la V Jornada Iberoamericana en Energías Renovables, Cocción Solar de Alimentos, Antigua, Guatemala – 6 al 13 de junio de 2003

Horn M., Espinoza J., Janampa K. (2003) Evaluación Comparativa de Cocinas Solares, Tipo Caja, de Alturas Diferentes y con Ollas Diferentes. CD de la V Jornada Iberoamericana en Energías Renovables, Cocción Solar de Alimentos, Antigua, Guatemala – 6 al 13 de junio de 2003.

## ABSTRACT

Possibilities of solar box cooker application to cook a bigger than usual amount of food, enough to feed several families with a 25 litre a day requirement of food, is analyzed employing a computer simulation by GNU/Linux program – SIMUSOL The size of the cooker and proportionally the volume of water is increased till the 25 litres that are required, and the performance of the solar box cooker is analyzed. Water temperature depends clearly on the relationship between the kettle area and the volume of water inside. Since the volume of water increase with the cube, the kettle area increase with the quadratic, the relationship between them is lower and the temperature is not enough to cook food. If the number of kettles is increased (remaining the total volume the same) the cooker performance is better.

**Keywords:** Solar box cooker, simulation.