

COCINAS SOLARES COMUNALES DE USO MÚLTIPLE

L. R. Saravia¹, C. Cadena², R. Caso³ y C. Fernández

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: saravia@unsa.edu.ar

RESUMEN - La cocción solar en escuelas albergue y centros comunales en zonas aisladas requiere el calentamiento de volúmenes grandes de comida, habitualmente en ollas entre 20 y 40 litros, habiéndose planteado en un trabajo anterior (Saravia y otros, 1.998) el uso de una cocina solar formada por dos unidades separadas: por un lado un concentrador y por otro, una caja aislada que contiene la olla de cocción. En este artículo se detallan varias modificaciones que permiten obtener mejoras importantes en su funcionamiento, dado que se dispone actualmente de tres tipos de absorbedores, optimizados para cumplir distintas funciones en un concentrador de 2 m² de área. Estas alternativas permiten satisfacer en forma eficiente, las necesidades de una cocina comunal, atendiendo hasta 30 niños por cada concentrador instalado.

1. INTRODUCCIÓN

El requerimiento de cocción en las zonas áridas andinas y subandinas de la Argentina constituye un problema de entidad tanto en lo que tiene que ver con la mejora del nivel de vida en los habitantes como el mantenimiento del medio ambiente.

Estas regiones disponen de muy pocos recursos bioenergéticos y su explotación produce serios problemas de desertificación, como ocurre por ejemplo, en la Puna con el uso de un arbusto conocido como "tola". Esta escasez también tiene una gran influencia en la alimentación y en la transmisión de muchas enfermedades. Por otra parte, a medida que va escaseando el recurso, los habitantes se ven obligados a utilizar una mayor parte de su tiempo en la búsqueda de transporte de la biomasa a mayores distancias.

El uso de combustibles no renovables provistos desde zonas más pobladas resulta difícil y oneroso debido a la situación de aislamiento de la mayoría de las comunidades. El nivel de radiación solar en estas regiones es muy bueno por lo que la cocción solar constituye una posible solución. Con su uso se pueden alcanzar los objetivos de alimentación y desarrollo minimizando el daño sobre el medio ambiente.

Uno de los requerimientos es el de cocción de alimentos en comedores comunales, ya sea en escuelas o centros para atención de personas donde usualmente es necesario alimentar a grupos de 30 a 100 personas. En la zona de la Puna, por ejemplo, las comidas diarias habitualmente suelen ser guisos, a razón de 200g por día. Estos se preparan en ollas no menores de 20 litros, llegando habitualmente a los 40 litros. La tecnología de cocinas solares para estos volúmenes se encuentra poco desarrollada y constituye un desafío de interés por diversas razones.

Saravia y otros (1999) han propuesto utilizar cocinas con concentradores de unos 2 m² de área y llevar a cabo la cocción u horneado en una caja aislada, que se llamará "caja caliente" donde se coloca la olla, transportando el calor con barras de aluminio calentadas en el concentrador a 300 C.

En el presente trabajo se explican varias modificaciones introducidas en el modelo inicial después de tres años de ensayos. Las mismas, mejoran sustancialmente la eficiencia de la cocina en términos de cantidad de comida producida por m² de colector y permiten usos diversos que dan una muy buena flexibilidad para encarar las distintas exigencias que se presentan en un comedor comunal. Una de las propuestas de modificación más importante, está relacionada con el hecho que existen en la actualidad tres tipos de absorbedores: uno de ellos permite colocar una olla de 10 litros con la que se calienta comidas de hasta unos 8 kg en forma rápida. Un volumen de 6 litros de agua llega al hervor en 35 minutos. Una segunda opción permite colocar una caldera con 2 litros de agua con la que se comienza a producir vapor en 8 minutos y cocina en 3 horas unos 18 kg de comida, como ser guisados, o sopas en una olla colocada en una caja aislada, burbujeando el vapor directamente en el líquido. La tercera opción calienta barras de aluminio ennegrecidas hasta una temperatura de 300 C, las que luego se llevan a una caja aislada donde puede hornear distintos productos, tales como el pan, u otras masas, produciendo unos 4 kg en 2.5 horas. Se usan 10 barras de 660 gr cada una, transportando 1Mj cada 40 minutos desde el concentrador a la caja.

Finalmente se discuten en términos cuantitativos, los requerimientos de los comedores comunales y la sesión de una cocina solar para atender los mismos teniendo en cuenta la cantidad de personas a atender.

2. EL CONCENTRADOR

Saravia y otros (1999) propusieron la utilización de un concentrador de tipo fresnel, formados por aros reflectores colocados sobre una superficie plana. Los mismos deben

1.- Investigador del CONICET

2.- Profesional del CONICET

3.- Técnico del CONICET

estar separados una cierta distancia uno de otro, para evitar las sombras entre ellos. Este diseño es muy sencillo pero tiene la desventaja de que la distancia que se deja entre los aros implica un área no utilizada, aumentando el diámetro necesario de concentrador. Por otro lado, los rayos solares llegan al absorbedor formando un ángulo grande con respecto a la normal al absorbedor, dando lugar a reflexiones altas en el vidrio que lo cubre.



Fig. 1: Muestra una vista lateral del concentrador de perfil curvo donde se aprecia que los aros consecutivos se apoyan directamente en los brazos y no dejan espacio libre entre ellos.

Se ha optado por abandonar la superficie plana y construir la misma mediante brazos radiales con un perfil curvo formado por segmentos del ancho de cada aro reflector, que se van inclinando a medida que se aleja del centro del espejo. Es posible diseñar el ángulo de los sucesivos segmentos para que los aros no se hagan sombras entre ellos pudiéndose colocar uno a continuación del otro sin espacio desperdiciado entre ellos. En estas condiciones es posible usar el diámetro mínimo, de 1.65 m, para el concentrador, con un área de 2 m². Solo se pierde la parte central del espejo, donde el absorbedor corta la llegada de los rayos solares. La figura 1 muestra una foto del concentrador donde se observa su estructura. En otro trabajo (Saravia y otros, 2001) se explica cómo se diseña el sistema y se discuten en detalle los aspectos constructivos.

Este diseño tiene la ventaja adicional de que el espejo curvo ilumina al absorbedor desde el costado de los mismos y no por debajo, con lo que los rayos llegan al absorbedor cerca de la normal al mismo, reduciendo bastante las reflexiones en la cubierta transparente. En la actualidad el absorbedor se puede observar directamente sin que las reflexiones molesten a la vista.

Esta alternativa tiene la desventaja de que requiere algo más de superficie reflectora, ya que la normal a los aros exteriores forman un ángulo mayor con el haz incidente. Esto se ve compensado en cuanto a costos, con el hecho que el espejo tiene ahora un radio menor.

Otros detalles que se han mejorado son:

- 1) la altura del concentrador, se ha reducido hasta el mínimo posible, facilitando el acceso al absorbedor;
- 2) el uso de un recorte en el aro exterior del lado por el que se acerca la persona que maneja el sistema, lo que le permite acercarse más al absorbedor.
- 3) La colocación y tamaño del contrapeso que se coloca hacia atrás en el concentrador para balancear el peso del absorbedor.

Con este fin se desplazaron los ejes de movimiento del espejo de manera que el contrapeso se pueda colocar sobre una varilla que salga del centro del espejo sin que obstaculice su movimiento.

3. EL TRANSPORTE DE CALOR CON VAPOR DE AGUA.

El calor recogido en el absorbedor del concentrador debe ser transportado hasta la caja caliente donde se realiza la cocción. Los ensayos realizados han mostrado que resulta conveniente disponer de varias alternativas. Una de ellas, es la producción de vapor de agua a presión atmosférica en el concentrador, que se transporta con una cañería flexible hasta la olla, donde se lo hace burbujear directamente en el líquido que se calienta. Esta solución es factible en el caso en que se hierva la comida para cocinarla, a una temperatura en el orden de los 100 C. En Salta es de 97 C y en la zona de Puna, a 4000 m de altura, es de 85 C.



Fig. 2: Muestra el absorbedor tipo caldera donde se cargan 2 litros de agua, la que llega a hervir produciendo vapor que sale por uno de los caños y es transportado con una cañería flexible.

La figura 2 muestra la caldera de acero inoxidable pintado de negro que se utiliza con este propósito. Su diámetro es de 10 cm siendo colocada en el foco del concentrador tipo fresnel, que en este caso es un segmento de unos 14 cm de largo. Un vaso Pyrex® de 2 litros cubre la caldera disminuyendo las pérdidas térmicas hacia el aire externo. La caldera tiene una conexión roscada de salida del vapor y el agua se coloca mediante un tapón roscado.

Los ensayos realizados muestran que la eficiencia en el proceso de producción de vapor es del orden del 50%. Con una radiación solar de 1000 W/m² se produce 1.5 kg de vapor y se necesitan unos 10 minutos para que la caldera se caliente hasta que el agua hierva.

Este procedimiento es el más sencillo y eficiente para transportar el calor cuando no se necesitan más de 100 C para la cocción. Las pérdidas en el transporte son muy bajas al usar una cañería aislada y las maniobras de puesta en marcha son mínimas. El burbujeo del vapor en el agua es rítmico con una frecuencia lenta debido a que el agua debe vencer la presión debida a la altura de agua producida por la cañería que está hundida una cierta distancia en el agua.

4. EL TRANSPORTE DE CALOR CON BARRAS DE ALUMINIO.

Una forma alternativa de transporte de calor es la de calentar un sólido, que luego se transporta manualmente y se mete en la caja caliente, ubicada cerca de la olla, o bien bandejas para que intercambie la energía por convección y radiación con el producto a cocinar.

En un trabajo anterior (Saravia y otros, 1999) se discute las ventajas en el uso del aluminio como material, frente a otros como el hierro o la piedra. Si bien el costo del aluminio es en principio mayor, se ha resuelto el problema utilizando las “latitas” de refresco, que constituyen un desecho y pueden ser fundidos fácilmente a una temperatura de 700 C en una fragua dentro de un crisol de hierro.

En el absorbedor se puede colocar un cilindro de unos 6.6 kg de aluminio. Para facilitar su transporte se lo ha dividido en 10 barras de sección triangular colocadas en forma radial, de manera que en su canto, de unos 3 cm de ancho, se absorbe la radiación. La longitud hacia el centro es de unos 4.5 cm, por lo que al colocarse la barra en la caja se enfrenta al producto esta cara, aumentando el área de radiación y convección. El peso de cada barra (660 gr), permite su fácil manipulación, colocando 5 barras en un “rack” abierto para su transporte. El mismo se coloca directamente en la caja caliente. La figura 3 muestra el absorbedor constituido por las 10 barras.

Para que la transmisión del calor tenga una velocidad suficiente se necesitan temperaturas entre 150 y 300 C, en cuyo caso el mecanismo principal es de radiación. La barra sufre un ciclo de enfriamiento de 300 C a 150 C en la caja y otro de calentamiento entre las mismas temperaturas en el colector solar. El período de este ciclo es de unos 40 minutos.

La figura 4 muestra la elevación de temperatura de una barra en el absorbedor. Se tomaron temperaturas en los dos extremos y en el centro de la misma. La barra tiene 32 cm de largo, por lo que unos 17 cm quedan expuestos al sol y los otros 15 están bajo una aislación. La zona expuesta absorbe

la energía solar, la que se transmite hacia la zona aislada produciendo un gradiente de temperatura bastante alto: del orden de los 100 C. La simulación del proceso muestra que las medidas son compatibles con una conductividad del aluminio en el orden de los 140 w/mC, lo que implica un aluminio contaminado con impurezas, típico del proceso de fabricación utilizado. La simulación numérica fue realizada con el programa SIMUSOL (Saravia y Alia, 2001) utilizando una red térmica de seis puntos y otras tantas ramas de intercambio térmico, en la que se consideraron los procesos de intercambio por conducción, convección y radiación. (Cadena y Saravia, 2001).

La simulación muestra que el rendimiento global de colección se sitúa en este caso en el orden del 21%, bastante más abajo que en el caso de usar vapor, ya que las temperaturas de colección son más altas, produciendo más pérdidas a través del vidrio. Por tal razón solo conviene utilizar este método de calentamiento si el proceso de cocción lo requiere, como es el caso de los procesos de horneado.

5. LA COCCIÓN DIRECTA EN OLLA

La tercer opción de cocción desarrollada ha sido la de utilizar directamente una olla colocada en el foco del concentrador. Dado que este gira alrededor de un eje inclinado se ha colocado un sistema “tipo cardan” para sostener la olla, como se muestra en la figura 5, lo que permite que esta se mantenga vertical. Su colocación es tal que la línea focal cae dentro de la olla aunque esta gire, permitiendo que el concentrador la ilumine siempre. Dado que el tamaño del foco es mucho menor que la olla (14 cm versus 25 cm), la corrección de posición del concentrador es bastante más laxa que en los casos anteriores, en el orden de una vez cada media hora o más.



Fig. 3.- Absorbedor del concentrador construido con 10 barras de aluminio pintadas de negro y de sección triangular, dispuestas en forma cilíndrica. No se muestra la cubierta aislante de la parte superior.

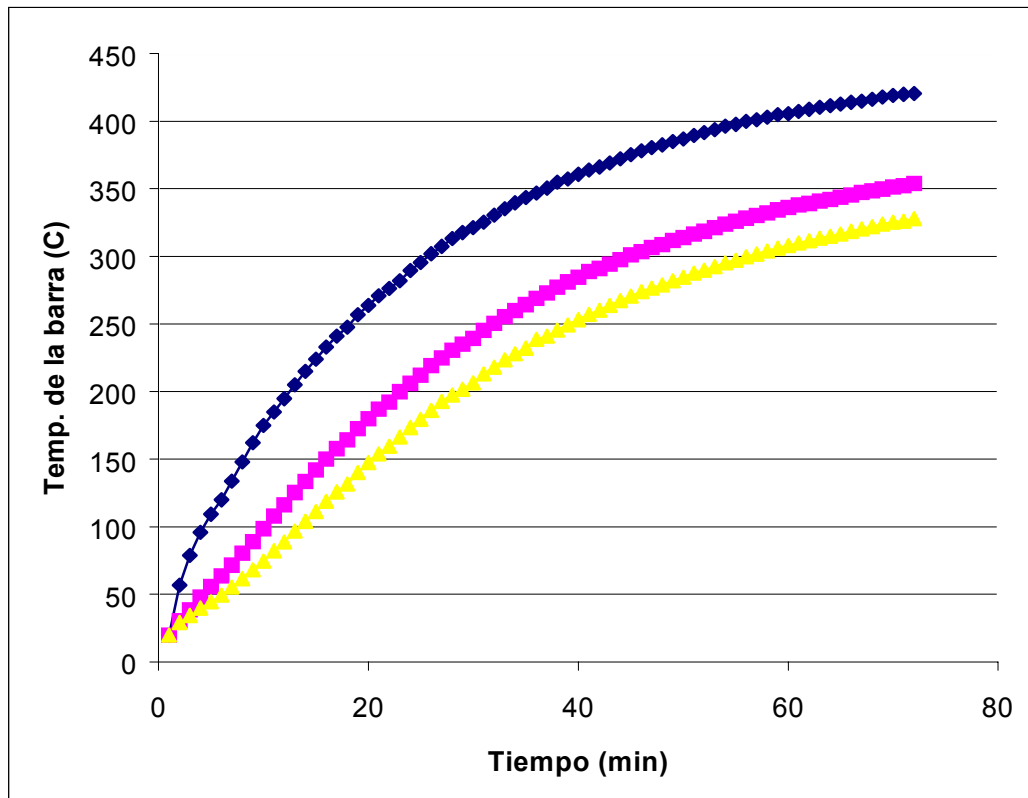


Fig. 4.- Muestra el aumento de temperatura en tres puntos de una de las 10 barras que componen el cilindro absorbedor. El punto con mayores temperaturas se encuentra en el extremo iluminado mientras que el de menor temperatura está en el extremo opuesto.

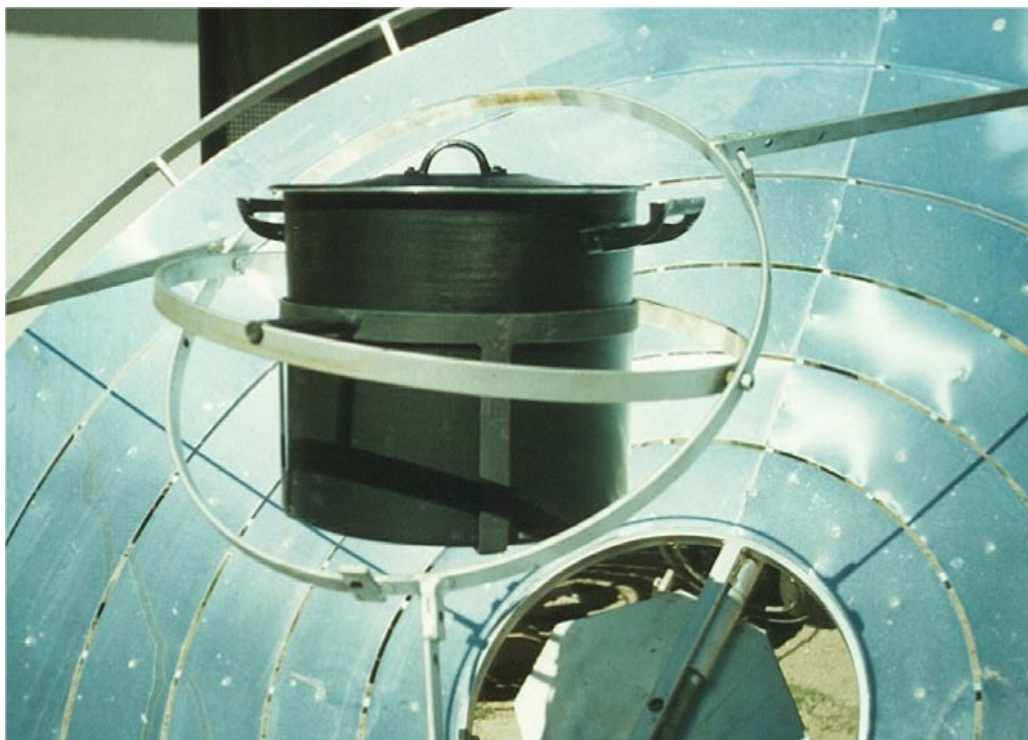


Fig. 5.- Muestra la cocina armada con una olla de 10 litros colocada como absorbedor en el concentrador. Una suspensión de tipo cardan sostiene a la olla en posición vertical para cualquier posición. La olla está dispuesta de manera que la línea focal cae siempre dentro de la misma.

La figura 6 muestra los resultados experimentales obtenidos con una olla de 25 cm de altura y 25 cm de diámetro, cargada con 6 kg de agua y se los compara con el resultado de un modelo teórico. El concentrador recibía una radiación de 1015 W/m² sobre una superficie normal al eje del mismo. Se planteó un modelo simple de funcionamiento del sistema, en el cual la olla recibe una radiación total $I=constante$, dada en vatios, y la olla pierde calor a través de toda su superficie con un coeficiente de pérdida global U, medido en W/(m².C). El modelo se ajusta bien a los resultados experimentales con un valor de I igual a 1000 W y un valor de U igual a 14 W/(m².C), esto implica que el concentrador hace llegar al absorbedor un 50 % de la radiación incidente. La eficiencia global del sistema, definida como calor que ha calentado el agua, dividido por la radiación total recibida por el espejo es de 36 %.

La olla seleccionada tiene un tamaño de 10 litros, usándose habitualmente entre 6 y 8 litros. Este es un tamaño que permite retirar o poner la olla con comodidad. Si bien este no es el tamaño que se pretende utilizar (que es del orden de

los 20 litros) existen muchos casos en que se preparan cantidades menores de comida, en cuyo caso esta posibilidad es más cómoda. En otros casos, la comida puede comenzar a prepararse en esta olla y luego se pasa a la olla grande para terminarla.

Por supuesto, esta opción también es muy útil en el caso de cocinas para familias numerosas (unas 12 personas). Es destacar que esta cocina es muy ágil ya que dispone de más de 1 kW de potencia en el foco por lo que puede ser empleada si se necesita tener una respuesta rápida.

Cuando se coloca la olla vacía, las paredes de la misma llegan a una temperatura alta, más de 200 C, por lo que es posible el fritado en la misma. Así, se utiliza esta combinación para rehogar la carne en el caso en que la misma se coloque en trozos para usarse en un guiso de tamaño grande.

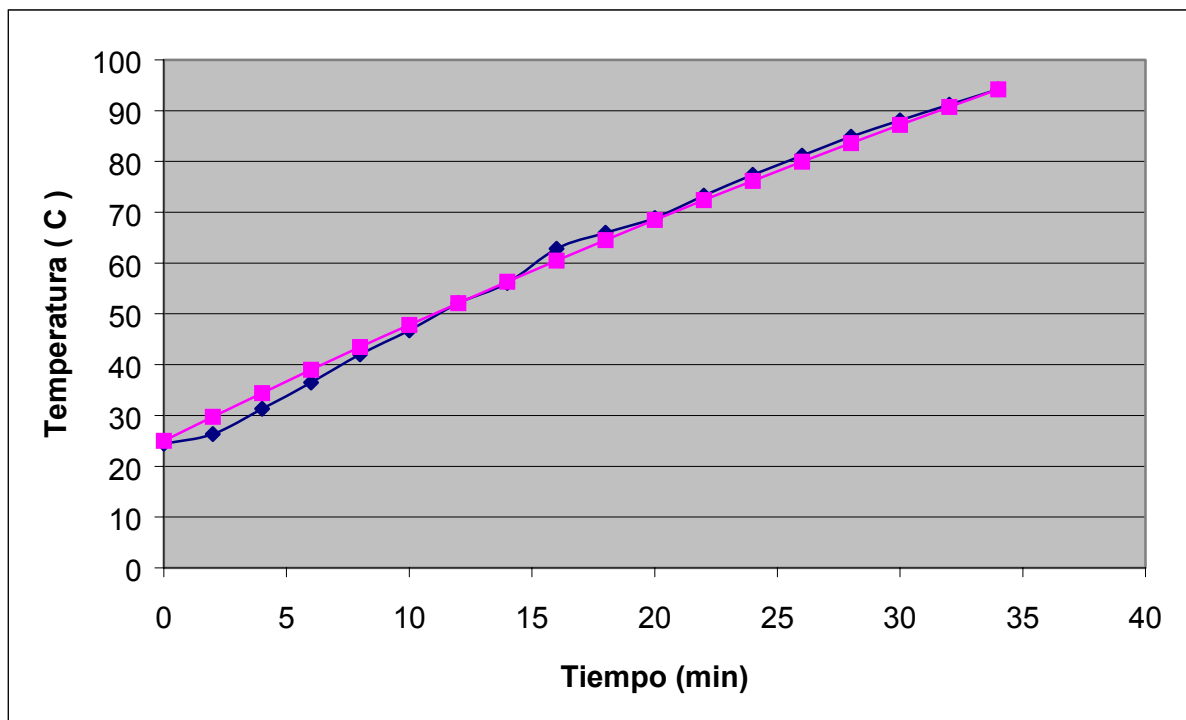


Fig. 6.- Muestra la variación de temperatura en la olla mientras recibe la radiación. La curva con puntos de forma de rombos representa los valores experimentales y la curva con puntos de forma cuadrada muestra los valores del modelo teórico.

6. ASPECTOS PRÁCTICOS DE LA COCCIÓN

Las alternativas mencionadas dan una buena flexibilidad, permitiendo optimizar el uso de la cocina para cada comida que se prepara. Se ilustrará este hecho dando dos ejemplos típicos en la zona de Puna.

Uno de ellos es la preparación de guisos, la comida más habitual en la región. La misma contiene papa, fideos o arroz, carne, otras verduras como pimiento y zanahoria, así como condimentos. La cocción es acuosa, respetando un orden de colocación de los ingredientes que contempla los tiempos de cocción necesarios para cada uno. A continuación se describe la preparación de 18 kg utilizando

un solo concentrador. Esta comida se sirve a mediodía, habitualmente las 12 y 30 horas, comenzando el trabajo de la cocina a las 8 y 30 o 9 de la mañana, por lo que se dispone de 3 horas y media para su preparación.

Se comienza cortando la carne y fritándola en la olla de 10 litros. Mientras se corta la carne se coloca la olla a calentar. Esto lleva una media hora, aunque la fritura en si solo necesita unos pocos minutos. La carne fritada se pasa a la olla grande en la caja caliente. Luego se empieza por calentar unos 10 litros de agua en la olla de 10 litros, lo que lleva algo menos de una hora. Mientras se pela la papa. Si se dispone de una cocina familiar extra, se puede ir calentando la papa que se corta en la misma. Cuando el agua hierve se

pasa unos 8 litros a la olla grande en la caja aislada. Se saca la olla de 10 litros y se coloca la caldera con los dos litros restantes ya calientes, por lo que la caldera comienza a producir vapor enseguida. Este se le hace burbujear en la olla grande, con lo que el agua vuelve a hervir y se puede colocar la papa, que es el elemento que requiere mas tiempo de cocción. El agua del vapor de agua se va incorporando al resto, con lo que se recupera los 10 litros que es lo que se necesita para el guiso. De ser necesario se puede agregar mas agua fría lentamente. A partir de este momento, con el agua hirviendo se van agregando los otros elementos a los tiempos requeridos para la cocción final simultánea. Este proceso lleva alrededor de una hora y media, con lo que el guiso queda preparado al cabo de unas 3 horas.

Durante la hora y media final, el requerimiento de calor es mucho menor que durante el calentamiento inicial, ya que la caja está aislada y el proceso de cocción no requiere calor extra. Solo se entrega el calor que se pierde por las paredes de la olla, la que está aislada. Esto implica que el concentrador está produciendo un exceso de calor en forma de vapor. Parte del vapor puede ser desviado, utilizándose en otra olla, por ejemplo, para terminar de calentar una sopa cuya parte nutritiva ha sido preparada de antemano en una cocina familiar o se ha guardado de un día anterior.

Como se aprecia, la combinación de los distintos elementos permite realizar el proceso de cocción en forma eficiente. Por cada concentrador se puede producir hasta unos 18 kg de guiso en unas 3 a 4 horas. El sistema puede ser utilizado por la tarde para producir otra comida, la que se puede guardar caliente para la cena o usar el día siguiente a mediodía. Con dos concentradores y un horno adecuado se puede producir alrededor de unos 10 kg de pan, llegando a repetirse esta producción en 4 sesiones a lo largo de un día.

7. CONCLUSIONES

A través de este proyecto se ha logrado brindar una solución efectiva al problema de la cocción solar destinada a

comedores comunales. Se han fabricado hasta el momento dos prototipos de la cocina, con dos concentradores cada una, que han sido colocados en dos escuelas de la zona de Puna, con el fin de ensayar el sistema en condiciones reales de uso. Previamente, se han realizado varios ensayos de corta duración en diferentes escuelas de la zona, lo que ha permitido ir mejorando distintos aspectos de diseño, que se han explicado en detalle en este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado como parte de las actividades planteadas en el proyecto de "Nuevas Tecnologías de Cocción Solar" que se desarrolla en el subprograma VI del CYTED.

El proyecto fue apoyado financieramente por el CONICET y por el Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta.

REFERENCIAS

- Cadena, C. y Saravia, L. (2001). Análisis del comportamiento térmico de absorbedores de aluminio empleados en cocinas solares con concentración". Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, *ASADES*, **5**, 2, 08.121-08.126 (ISSN 0329 5184).
- Saravia, L. R., Cadena, C., Caso, R., y Fernández, C.,(2001). El diseño de concentradores reflectores de tipo fresnel destinados a cocinas solares., *Energías Renovables y Medio Ambiente, ASADES*, **9**, 57-65. ISSN 0328-932X
- Saravia, L. R., Cadena, C., Caso, R., y Fernández, C.,(1999) Cocinas solares comunales con concentrador y acumulador sólido. *Energías renovables y Medio Ambiente ,ASADES*, **6**, 7-16. ISSN 0328-932X

COMMUNAL SOLAR COOKER WITH MULTIPLE USES.

ABSTRACT- Schools and communal centers in the NOA isolated regions require larger food volumes (20 to 40 liters) than those used by families. In a previous work (Saravia y otros, 1998) a solar cooker was proposed, where the cooking and the solar collection functions are separated. A fresnel type concentrator is used to collect the solar energy and an insulated box contains the large pot. In this paper several modifications to the original design are proposed. There different absorber types are used according to the food to be cooked, improving considerably the global energy efficiency and allowing the cooking for more than 30 students with each unit.