

HORNO TACHO HÍBRIDO SOLAR-ELÉCTRICO. EVALUACION CUALITATIVA Y CUANTITATIVA DE SU FUNCIONAMIENTO

V. N. Quiroga, A. Esteves, F. Buenanueva, D. Orduna

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV-INCIHUSA-CONICET)

Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CRICYT)

Av. Ruiz Leal s/n – Pque. Gral. San Martín – Mendoza – Argentina

Tel.: 54 261 4288797 int. 109 – Fax: 54 261 4287370

e-mail: nquiroga@mendoza-conicet.gob.ar, aesteves@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN: El presente trabajo muestra el diseño de un horno solar en combinación con energía eléctrica. Se presenta como una opción al utilizar una fuente auxiliar para permitir la cocción en el mismo dispositivo, tanto en los días soleados, para terminar cocciones, como en los días nublados y seminublados. El horno se construyó en base al modelo de hornos solar de tacho, que por sus características de ser económico, fácil de armar, buen rendimiento, resulta interesante de transferir a aquellas comunidades aisladas de las zonas con suministro energético por redes (gas natural y/o electricidad). El mismo presenta una potencia de 200 W para una diferencia de temperatura entre el agua y el aire de 50°C de acuerdo al protocolo de RICSA.

Palabras claves: horno solar híbrido, horno solar-eléctrico, potencia útil.

INTRODUCCIÓN

Considerando el consumo de energía primaria, sólo una pequeña parte se utiliza para cocinar (alrededor del 2%) y aunque este valor no parece muy elevado, hay una serie de efectos que al combinarse resultan fundamentalmente dificultosos.

La energía gastada para cocinar es de suma importancia en comunidades rurales o urbano-marginales, especialmente en sociedades en vías de desarrollo. Los valores nutricionales de los alimentos dependen de la variedad y en ellos resulta de fundamental importancia disponer de energía para cocinarlos. Cuando no está disponible, las personas se encuentran frente a la imposibilidad de prepararlos y al no consumirlos dejan de ingerir proteínas, vitaminas y minerales esenciales para la vida en aquellos aspectos que hacen a su salubridad y al crecimiento apropiado de los niños.

El desarrollo de sistemas solares ha dependido siempre de las posibilidades de lograr un sistema técnico-económico factible. En el caso de la cocción solar de alimentos, hay cocciones húmedas (se utiliza agua para efectuarlas), cocciones secas (horneados y asados) o fritos. Los hornos solares tipo caja, trabajan muy bien desde la cocción de comida horneada y asados, con menor rendimiento en el caso de cocciones húmedas y no se pueden realizar fritos (Esteves, 2010).

En las comunidades rurales en donde el acceso a las energías es dificultoso, sobre todo al gas natural y envasado, se debe tratar de brindar una solución para el problema en particular de la cocción de alimentos. En este sentido, hay comunidades aisladas insertas en climas con mayor cantidad de días nublados. En estos días, el horno solar se puede utilizar como caja térmica para completar cocciones. Otra opción sería utilizar una fuente auxiliar para generar la cocción en el mismo dispositivo, tanto en los días soleados o no. Esto aportaría mayor utilización del horno por parte de las familias de esa Comunidad. Las comunidades aisladas de Mendoza, poseen acceso a la energía eléctrica, es decir, poseen un generador térmico a gas-oil, por lo cual, la utilización del horno híbrido solar-eléctrico en estas zonas, resulta viable.

Existen antecedentes de hornos híbridos (Buigens Nollens, 2008; Nandwani et al., 2007), en los cuales, se indica el funcionamiento de los modelos utilizados y su utilidad para las diferentes zonas de estudio. El caso de Nandwani, expone un horno híbrido con utilización de energía eléctrica como fuente auxiliar (Nandwani et al., 2007). Buigues analiza el comportamiento híbrido de un horno solar-eléctrico, utilizando un controlador automático para mantener la temperatura de funcionamiento estable.

El presente trabajo muestra el diseño de un horno solar en combinación con energía eléctrica. Se presenta los pasos dados hacia la incorporación de una resistencia eléctrica, la forma de incluirla, los controles necesarios y el resultado del funcionamiento del mismo.

DESCRIPCIÓN DEL HORNO SOLAR HÍBRIDO

El horno solar híbrido está realizado sobre la base de horno tacho (Saravia, 2003) y una adaptación se presenta en Esteves, (2007). El mismo se compone de un tacho de 200 l, cortado por la mitad y revestido en su interior con lana de vidrio y poliestireno expandido. Se coloca un marco de madera que soporta la ventana realizada con doble vidrio. Su interior va

revestido con una placa de aluminio de 0.5mm de espesor. Se colocan dos bandejas de chapa galvanizada pintadas con pintura negro mate que funcionan como placas absorbedoras.

El sistema eléctrico está conformado por dos resistencias, en este caso, dos velas de cuarzo de las utilizadas para las estufas eléctricas, pero colocadas horizontalmente debajo de las placas absorbedoras. Dado que las resistencias poseen una resistencia de 89Ω , resulta en un valor de potencia de 543W cada vela, obteniendo una potencia total de 1086W. El control de la temperatura se realiza mediante un termostato de los utilizados para lavarropas (Fig.1). La temperatura máxima de corte del termostato es de 90°C .

La instalación eléctrica se completa con la incorporación de un tablero eléctrico que permite accionar y mediante luces verificar cuando el horno esté en uso. Un elemento adicional lo constituye un diodo al cual se conectan unos focos de led para indicar si se encuentra o no en funcionamiento el sistema eléctrico, posee también una perilla que permite graduar la temperatura de funcionamiento del horno. En la figura 1 se observa un esquema del horno con la ubicación de las resistencias eléctricas y el tablero eléctrico. También se muestra una imagen general del mismo. En la figura 2 se presenta una foto de la conexión y disposición de las resistencias encerradas en tubos de cuarzo.

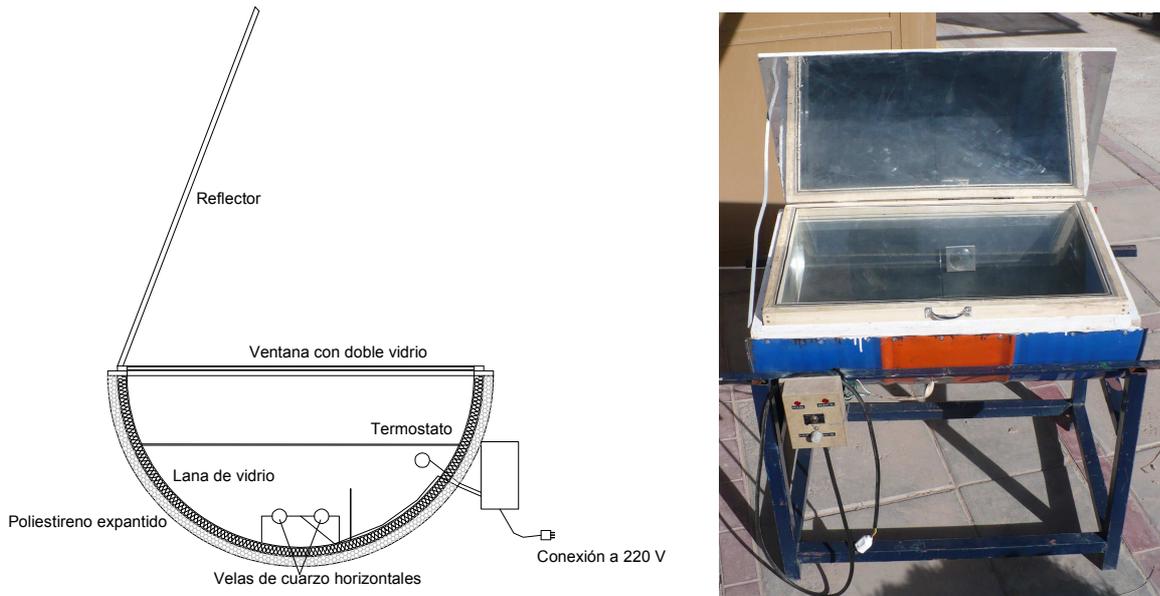


Figura 1: Esquema de horno solar híbrido y fotografía del mismo

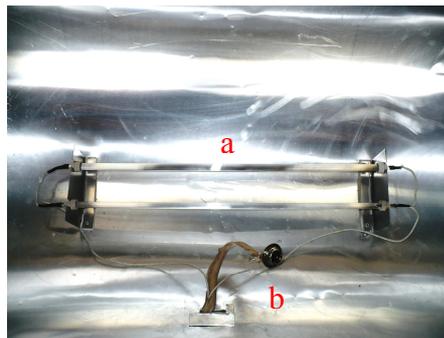


Figura 2: a) Foto de la conexión de velas de cuarzo y b) posición de termostato

El uso del horno solar-eléctrico permite la cocción de alimentos mediante el uso conjunto o individual de la energía solar, y la energía eléctrica. Cuando no es suficiente la energía solar para la preparación de alimentos, se pone en funcionamiento el sistema eléctrico.

La Tabla 1 resume las características dimensionales, capacidad y demás especificaciones a evaluar para cada cocina de acuerdo a las normas elaboradas por RICSA, CYTED.

El sistema está compuesto por un termostato cuya temperatura de corte es de 90°C , un intervalo de corte de $\pm 5^{\circ}\text{C}$. El sistema aprovecha la energía solar y la energía eléctrica. La temperatura de corte puede variar utilizando un control incorporado en el mismo termostato, sin embargo, en todas las pruebas fue ubicado en el punto máximo. Dado que el rango de temperatura en el que funciona el horno es mayor de 90°C , se ha colocado una barrera aislante entre el cuerpo del horno y

el ambiente del sensor del termostato, que hace las veces de resistencia térmica y que permite aumentar la temperatura de corte. Esto se materializó colocando un aislante térmico de lana de vidrio de 2,5 cm de espesor envolviendo al termostato, allí se colocó una termocupla, para medir la temperatura del ambiente del termostato en el corte.

Nombre o modelo que lo identifique	Horno Solar híbrido de Tacho
Tipo de Cocina Solar	Horno solar
Superficie de cubierta transparente [m ²]	0,32
Área de reflectores [m ²]	0,42
Angulo de Altitud solar para el día del ensayo a las 12 hrs.	38° 32'
Superficie proyectada horizontal [m ²]	0,61
Superficie de placa absorbidora [m ²]	0,42
Peso [kg]	19,470 kg
Volumen interior [dm ³] (útil para hornear)	40
Dimensiones exteriores en posición de operación (ancho, alto y profundidad)	0,90m x 1.34 m x 0,625m
Dimensiones en posición de traslado	0,90m x 0,84 m x 0,625m
Número de ollas y volumen [m ³] – (* olla de ensayo)	Dos (2) ollas de 5,1 (*)
Tipo de ollas (fijas o removibles)	Removibles
Las ollas se proveen con la cocina o no	NO
Otros usos: secadero, esterilización de agua, calentamiento de agua para otros usos, etc.	Esterilizador de agua. Calentador de agua

Tabla 1: Descripción física del horno de acuerdo a normas RICSA

METODOLOGIA

Las evaluaciones de temperaturas se realizaron empleando termocuplas tipo K y tipo T, unidas a un datalogger HOBO para registrarlas. El peso de la masa de agua se realizó empleando una balanza electrónica marca Systel, la Radiación Solar se midió utilizando un sensor Kipp y Zonen modelo CM5, unido a un datalogger HOBO.

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL HORNO SOLAR HÍBRIDO

Ensayos sin radiación solar

Para comprobar el funcionamiento del sistema eléctrico, se realizó una prueba sin contribución de la radiación solar en el sistema. La Figura 3 muestra los valores del camino de la temperatura en el termostato, el aire de la cámara de cocción y la temperatura del absorbedor.

- a los 10 minutos de ensayo se obtuvo la máxima temperatura: 137°C en el chapón absorbedor, 118°C en la cámara. En ese momento corta el termostato y la temperatura decrece en la cámara, el chapón absorbedor solar y el termostato. Cuando el ambiente del termostato llega hasta una temperatura de 90°C, el sistema eléctrico vuelve a encenderse generando un aumento de temperatura más suave, posiblemente dado por la inercia térmica de los mismos componentes del horno.

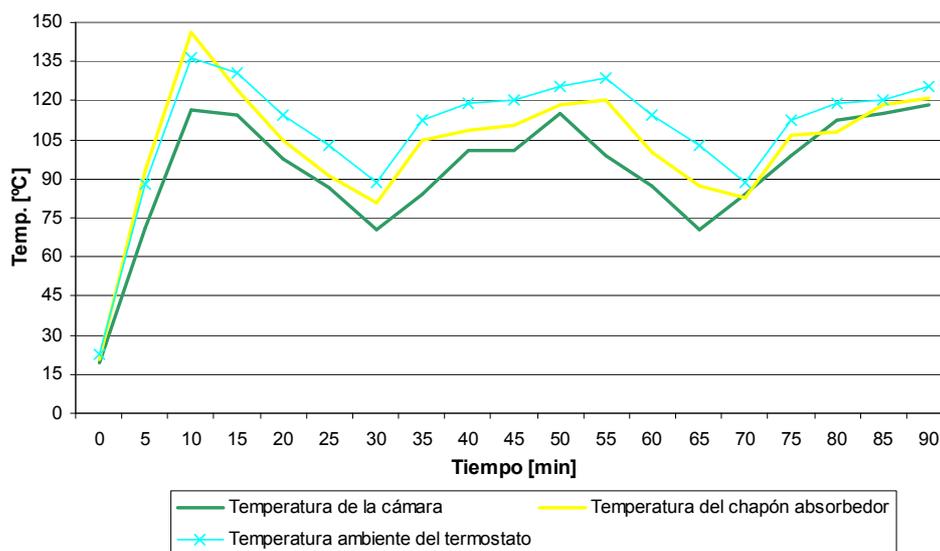


Figura 3: Evolución de temperatura en función del tiempo

Ensayos con radiación solar-electricidad sin masa

La siguiente experiencia realizada fue el funcionamiento solar-eléctrico del horno. El ensayo se lleva a cabo colocando el horno a partir del medio día, para que reciba radiación solar y además con el sistema eléctrico activo.

En la Figura 4 se observa la evolución de la temperatura a partir del medio día y hasta que comienza a decaer la energía recibida por radiación durante el día. Dado que el horno está frío, el termostato enciende las resistencias al inicio del proceso y se mantienen así durante 18 minutos. En este punto, las mismas se apagan y sigue funcionando sólo con energía solar. Luego de 144 minutos se enciende el sistema nuevamente. Cabe destacar que este ensayo se lleva a cabo realizando reorientación del horno cada 15 minutos, para que reciba siempre el máximo de radiación solar. Es notorio que cuando el sistema entra en régimen se mantiene la temperatura de la cámara, en alrededor de los 120°C, para cuando la radiación solar se mantiene entre 500 y 600 W/m². Este lapso dura 144 minutos. Cuando la radiación comienza a decaer el sistema eléctrico vuelve a las resistencias eléctricas durante lapsos de 10 minutos para mantener la temperatura de las placas absorbedoras entre 135°C y 82°C. Una vez que la radiación decae por debajo de 220 W/m², el proceso repite las temperaturas experimentadas en el ensayo sin radiación solar.

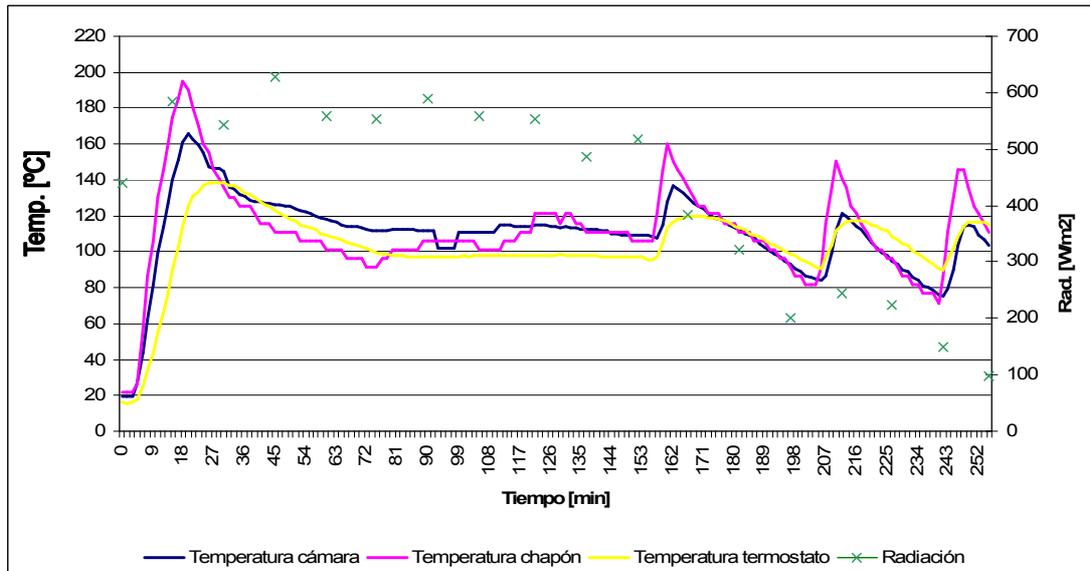


Figura 4: Evolución de la temperatura del horno en funcionamiento solar-eléctrico

Ensayo con el sistema con electricidad y con masa

La siguiente experiencia consistió en colocar dentro del horno una olla con 3 l de agua (de acuerdo a las normas RICSA) para evaluar el comportamiento del horno utilizando sólo la energía aportada por el sistema eléctrico. En la figura 5 se observa la evolución de la temperatura del termostato, de las placas absorbedoras y de la masa de agua. Se observa que el termostato trabaja con máximas de 125°C y mínimas de 60°C. Esto genera temperaturas de las placas absorbedoras también variables entre 117°C y 90°C. Mientras que la masa de agua se va calentando prácticamente sin interrupción. Luego, cuando la temperatura del agua se eleva por encima de 60°C, la inercia del sistema hace que la temperatura tome un camino distinto, más estable en las máximas, sin embargo, de las placas absorbedoras mantienen sus temperaturas y se van uniendo la temperatura de la olla y la temperatura del chapón absorbedor solar, hasta que el agua llega al punto de ebullición.

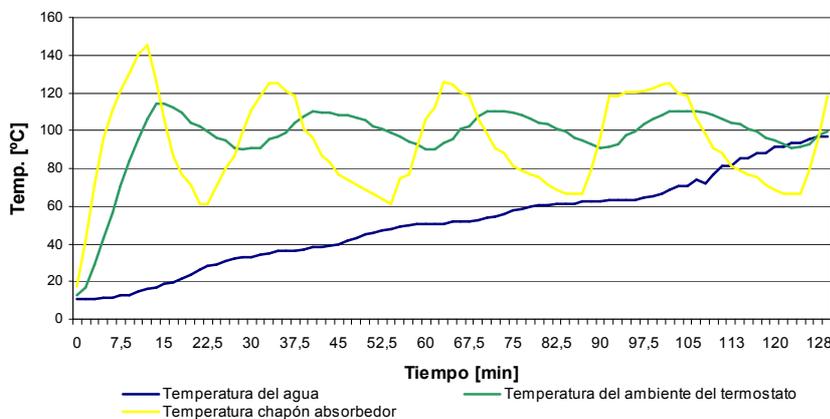


Figura 5: Ensayo con funcionamiento eléctrico con incorporación de olla con agua.

El agua alcanza la temperatura de ebullición a los 122 minutos, con lo cual se infiere que existe una inercia importante entre el sistema de calentamiento y la transmisión de flujo energético hacia la olla, aunque se observa que la temperatura de inicio del agua resulta muy baja: 12°C. En este caso la frecuencia con que se pone en funcionamiento las resistencias eléctricas es en promedio de 12 minutos encendidas y 15 minutos apagadas.

Con los valores obtenidos de calentamiento de agua en función del tiempo se calculó la potencia del funcionamiento eléctrico. La potencia se calcula para el intervalo de temperatura, entre los 40°C y los 90°C de acuerdo al protocolo de RICSA (Esteves, 2003). En la Figura 6 se muestra la curva de potencia útil obtenida en el calentamiento de agua, para el horno en funcionamiento sólo eléctrico. Para una diferencia de 50°C el horno alcanza una potencia de 200 W. Se observa que sería bueno, precalentar el horno previo a colocar la masa (comida) dentro del mismo, tal como se recomienda en los manuales de funcionamiento de los mismos.

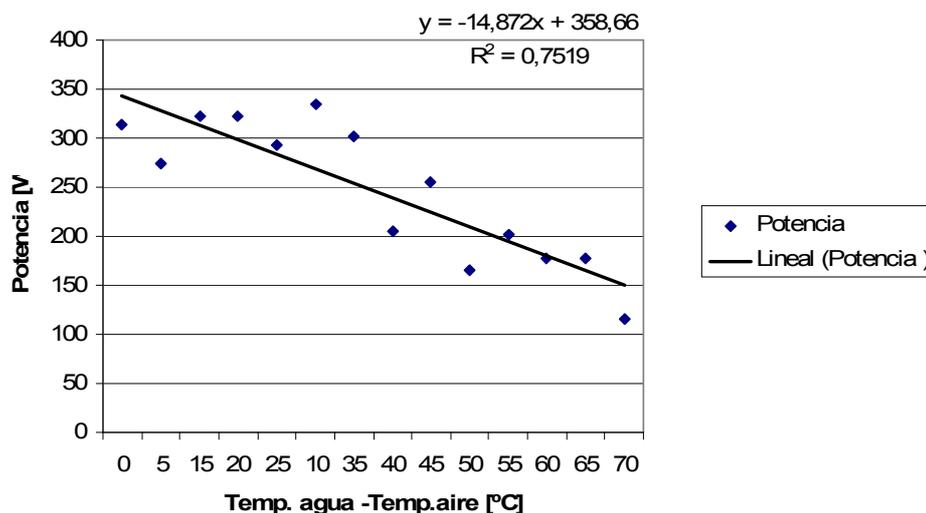


Figura 6: Potencia de cocción para el funcionamiento del horno eléctrico

CONCLUSIONES

Se presenta la posibilidad de incorporar una energía auxiliar a un modelo de horno solar que por sus características de económico, fácil de armar, buen rendimiento, resulta interesante de transferir a aquellas comunidades aisladas de las zonas con suministro eléctrico. Esto es factible dado que las comunidades rurales aisladas de Mendoza, poseen acceso a la energía eléctrica.

El horno solar híbrido es útil para ser utilizado en lugares con alta proporción de días nublados y parcialmente nublados. El diseño propuesto es una adaptación del horno solar de tacho, realizado con materiales fáciles de conseguir y sencillos de operar, siendo un modelo factible de ser transferido.

Se presentan resultados de la evaluación térmica del sistema, realizando ensayos utilizando sólo el aporte eléctrico, utilizando solar-eléctrico y sin carga en ambos casos. Las temperaturas logradas son similares, alrededor de 120°C, típico del horno solar, esto fue posible gracias al ajuste de la temperatura en el ambiente del termostato, cuyo valor de corte original resultaba insuficiente para lograr temperaturas de cocción dentro del mismo. El análisis posterior utilizando una cantidad de agua representativa de la masa térmica a cocinar, indica una potencia útil equivalente a la potencia de los hornos solares en un día soleado.

Es importante continuar los ensayos tratando de precisar y de conocer el comportamiento frente a días nublados con distinta temperatura exterior del aire, velocidades diferentes de viento, cantidades diferentes de carga, etc.

AGRADECIMIENTO

El trabajo presente ha sido parcialmente financiado por el PICT 2006-1963 de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica del FONCYT, Ministerio de Innovación Productiva.

BIBLIOGRAFÍA

Buigues Nollens A., Rojas E. y Fariello M. (2008) Comportamiento térmico experimental de un horno solar híbrido. Avances en energías Renovables y Medio Ambiente Vol 12, 08.85-08.91.

- Esteves A. 2003. Protocolo de Ensayos de Cocinas Solares – Cap. 5. en "Las cocinas solares en Iberoamerica". Esteves, A., Roman R., editores. Red RICSA. CYTED. Subprograma VI: SOLCYTED. Primer Volumen.
- Esteves A., 2007. Instrucciones para armar horno solar de tacho. Página Web del CCT CONICET Mendoza.
<http://www.cricyt.edu.ar/lahv/atm/index.php?PHPSESSID=e931520c26828d35a1b662a9b21efed8&direction=0&order=&directory=Hornos+y+Cocinas+solares>. Ingreso 08/08/2011.
- Esteves A., Quiroga V.N., Buenanueva F., Orduna D. (2010) Estudio de la potencia de cocción en concentradores solares de distinto tipo. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 14, Salta.
- Nandwani S. (2007) Design, construction and study of a hybrid solar food processor in the climate of Costa Rica. Renewable Energy 32
- Nandwani S. y Chaverri C.(2007) Estudio de un procesador híbrido (solar-eléctrico) de alimentos con énfasis en el secado solar. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 11, 09,07-09.14.
- Saravia L. R., Caso R. y Fernández C. (2003) Cocina solar de construcción sencilla. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 7, N° 1, 2003.

ABSTRACT

This paper shows the design of a solar oven in combination with electric power. It is an option to use an auxiliary resource to finish cooking on sunny days or cooking its on cloudy days. The oven was built using the model of solar oven of barrel, which is economical to built, is easy to assemble, and present a good solar performance. This oven is interesting to transfer to isolated communities in the areas isolated of net energy supply, such us natural gas or electricity. It presents a power of 200W for a temperature difference between water and air of 50°C in accord to RICSA protocol.

Keywords: Hybrid solar oven, solar-electric oven, useful power