

## **HORNO HÍBRIDO SOLAR – BIOMASA. EVALUACIÓN CUALITATIVA Y TÉRMICA DE SU FUNCIONAMIENTO.**

**Quiroga, V. N., Esteves, A. y Buenanueva, F.**

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - INCIHUSA-CCT CONICET Mendoza  
C.C. 131 – 5500 Mendoza – Argentina. Tel.: 54-261-5244338/09 - [nquiroga@mendoza-conicet.gov.ar](mailto:nquiroga@mendoza-conicet.gov.ar)

*Recibido 18/08/14, aceptado 29/09/14*

**RESUMEN:** El presente trabajo muestra el diseño de un horno solar en combinación con energía de biomasa. Se presenta como una opción al utilizar una fuente auxiliar para permitir la cocción en el mismo dispositivo, tanto en los días soleados como también alcanzar la temperatura ideal en días nublados o parcialmente nublados. La cocina se construyó en base al modelo de horno solar de tacho, seleccionado este por sus características de construcción económica, fácil armado y buen rendimiento. En conclusión un provechoso prototipo para transferir a comunidades aisladas de las zonas con suministros energéticos como redes de gas, (gas natural y/o electricidad). Este sistema presenta una potencia de 351.3 W para una diferencia térmica entre el agua y el aire de 50°C, de acuerdo al protocolo de RICSA.

**Palabras claves:** horno híbrido, solar, biomasa, potencia útil.

### **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, el uso de madera como biocombustible en los hogares, se considera como un indicador de pobreza, dado que estas familias poseen escasos recursos para acceder a combustibles modernos. Por tal motivo deben satisfacer sus necesidades de cocción de alimentos y calefacción, a través de la extracción de leña de zonas aledañas a la vivienda.

Alrededor de 3000 millones de personas en el mundo dependen de la biomasa tradicional (leña o carbón), para cocción o calentamiento de agua, es una realidad que no ha variado en la última década, sobre todo en las zonas rurales. Proponer una mejora de los dispositivos de cocción como estufas eficiente a leña, se garantiza que el efecto al ambiente es mucho menor que el actual uso de los dispositivos de cocción con combustión incompleta asociados a altas emisiones de CO<sub>2</sub> (GEA, 2012).

Es importante el estudio de la biomasa como combustible auxiliar, dado que el uso de la leña está arraigado a las características culturales y necesidades socioeconómicas de las comunidades sobre todo aisladas. Disponer de leña es un factor determinante en su vida cotidiana. Algunas comunidades poseen un conocimiento empírico perfeccionado, sobre las formas eficientes de utilizar la leña, pero otras no, por lo tanto en ciertas regiones disponer de leña suficiente para cocinar sigue siendo limitante.

Se encuentran ampliamente estudiadas cocinas eficientes a leña, en muchos casos para utilizarlas con varias funciones a la vez, como: calefaccionar la casa, cocinar alimentos y calentar agua, dependiendo de la cantidad de leña y la época del año.

A su vez ha sido remarcada la importancia de contar con sistemas solares que funcionen en días nublados o por las noches, para garantizar de esta manera el uso continuado del horno solar (Nandwani, 2007). Con el fin de adaptar los diferentes diseños a las condiciones climáticas del lugar y disminuir los efectos de las condiciones adversas es que se han desarrollado cocinas híbridas con el uso de fuentes alternativas de energía. En Quiroga et al (2011, 2014) se expuso el desarrollo y comportamiento térmico y diseño de un horno híbrido solar – eléctrico para su uso en zonas con baja heliofanía relativa, con potencias térmicas del orden de 200 W. Nandwani (2007) y Buiguens Nollens (2008) también utilizan la energía eléctrica como sistema de energía auxiliar al de la energía solar; ambos con buenos rendimientos térmicos.

Haciendo referencia a sistemas híbrido que utilicen biomasa como combustible auxiliar, Fonseca et al (2012) propone un horno híbrido para su aplicación en comedores, dado su alta capacidad de cocción, el horno está formado por la cámara de cocción y la cámara de combustión en un recipiente adosado a la parte externa inferior de la cámara de cocción. El horno reduce el consumo de leña y tiene un rendimiento del 21% por sobre las cocinas tradicionales a leña.

Por lo expuesto disponer de sistemas energéticos auxiliares para los sistemas solares de cocción, es una buena alternativa para aumentar las prestaciones y la versatilidad de los equipamientos solares de cocción disponibles. En este trabajo se hará hincapié en el diseño y primeras evaluaciones térmicas del horno híbrido solar - biomasa.

## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Se utilizó el horno solar de tacho (Saravia, 2003), con las modificaciones realizadas por Esteves (2007), como base de horno solar, al cual se le adiciona el sistema de combustión de biomasa. Para conocer la respuesta del horno solar frente a esta nueva fuente energética, se colocó un brasero en el interior del horno, comprobando que al poco tiempo las brasas se consumían por falta de oxígeno.

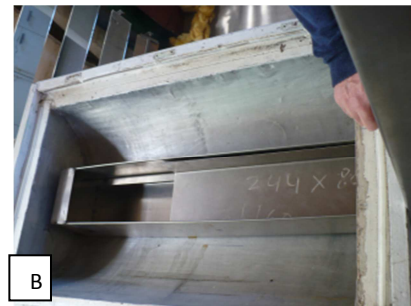
La dificultad del sistema híbrido, en particular los sistemas que utilizan energía solar, es conservar la aislación del sistema respecto al ambiente, con lo cual se deben disminuir los puentes térmicos para que la potencia del horno solar no varíe con el agregado del nuevo sistema de combustión. Debido a la doble funcionalidad (uso de energía solar y uso de biomasa), es que se diseñó una sola abertura en el horno, es decir, la cámara de carga y la salida de gases (chimenea) en un solo sector del horno.

Por ello se tomó temperatura del recipiente donde se obtuvieron las brasas, para tener una idea de la temperatura probable con que las brasas ingresan al horno. La misma arrojó un valor de 280°C. Al agregar una fuente de temperatura tan alta al dispositivo, sin poder controlar su evolución (es decir, no posee un termostato que regule el aumento gradual de la temperatura como en el horno híbrido solar – eléctrico) (Quiroga et al., 2011), el principal inconveniente fue el estrés térmico del vidrio. Esto se solucionó cambiando el vidrio interior de la ventana, por un vidrio templado de 6mm.

Por las temperaturas alcanzadas en el recipiente es que se consideró instalar un dispositivo en la cámara interna inferior del horno (debajo de la placa absorbidora), en el cual se colocan las brasas (Fig. 1.B y 1.C). Se diseñó un dispositivo en el cual entra el aire exterior, aumenta su temperatura por el paso sobre las brasas, permite el calentamiento de la placa absorbidora; y una chimenea que permita la salida de gases calientes al exterior (Fig. 1.D).



A) Horno híbrido solar – biomasa

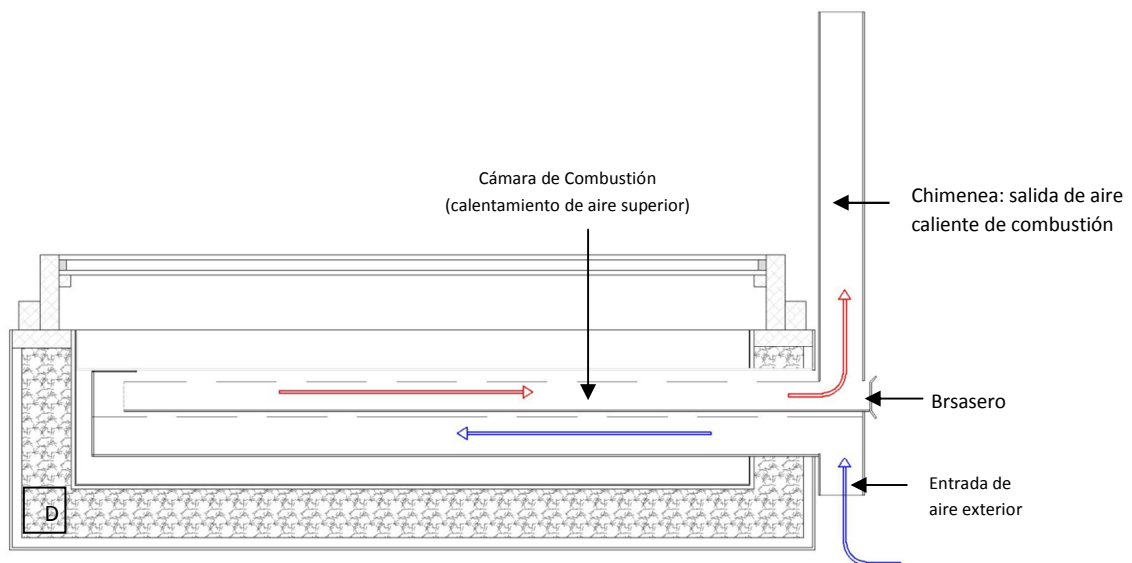


B



C

B) Detalle de la cámara de combustión; C) brasero móvil.



D) Esquema del horno solar con el esquema de sistema de combustión

Figura 1: Horno solar híbrido y detalles constructivos del mismo

El uso del horno solar-biomasa permite la cocción de alimentos mediante el uso conjunto o individual de la energía solar y la energía liberada con la combustión de la biomasa. Cuando no es suficiente la energía solar para la preparación de alimentos, se hace uso del sistema híbrido, colocando las brasas necesarias para lograr el calentamiento de la placa absorbadora, permitiendo completar la cocción de alimentos.

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.

Nombre o modelo que lo identifique	<b>Horno Híbrido Solar - Biomasa</b>
Tipo de Cocina Solar	Horno Solar
Superficie de cubierta transparente [m <sup>2</sup> ]	0.32
Área de reflectores [m <sup>2</sup> ]	0.42
Superficie proyectada horizontal [m <sup>2</sup> ]	0.61
Superficie de placa absorbadora [m <sup>2</sup> ]	0.42
Peso [kg ]	28
Volumen interior [dm <sup>3</sup> ]	30
Dimensiones exteriores en posición de operación (alto, ancho y profundidad)	0.90m x 1.34m x 0.625m
Dimensiones en posición de traslado	0.90m x 0.84m x 0.625m
Número de ollas y volumen [m <sup>3</sup> ] – (*) olla de ensayo	Dos (2) ollas de 5 l (*)
Tipo de ollas (fijas o removibles)	Removibles
Las ollas se proveen con la cocina o no	NO
Otros usos: secaderos, esterilización de agua, calentamiento de agua para otros usos, etc.	Esterilización de agua, calentamiento de agua, pasteurizador

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

## METODOLOGIA

### Estudio de Biomasa disponible

Como premisa para el desarrollo del horno de biomasa se tuvo en cuenta que muchas de las familias pertenecientes a comunidades rurales del centro oeste de Mendoza, utilizan leña para la cocción de alimentos y obtener agua caliente. Cuatro comunidades representativas de zonas rurales aisladas de Mendoza, consumen 150 kg de leña mensuales para cocinar, calefaccionar y calentar agua; además alrededor del 50% de estas familias de la comunidad prefiere utilizar leña para la cocción de alimentos. Siendo un consumo importante de biomasa, la cual la obtienen generalmente de árboles nativos de los alrededores o de restos de poda de forestales cultivados como cortina de viento.

ESPECIES	Poder calorífico [kJ kg <sup>-1</sup> ]
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> "eucalipto"	20097,6
<i>Populus deltoides</i> clon Harvard "álamo"	19281,1
<i>Prosopis flexuosa</i> "algarrobo"	19134,6
<i>Prosopis flexuosa</i> "algarrobo dulce"	19134,6
<i>Melia azedarach</i> "paraíso"	19126,2
<i>Populus x canadiensis</i> clon CONTI 12 "álamo"	18412,3
<i>Prosopis chilensis</i> "algarrobo chileno"	17585,4
<i>Morus sp.</i> "morera"	17053,0
<i>Schinus molle</i> "aguaribay"	16329,3
<i>Acacia visco</i> "acacia"	15906,5
<i>Prunus persica</i> "duraznero"	10125
<i>Prunus domestica</i> "ciruelo"	10053
<i>Vitis vinifera</i> "vid"	9900
<i>Pirus comunis</i> "peral"	9711
<i>Malus domestica</i> "manzano"	9092

Tabla 2: Especies forestales y frutales comunes en Mendoza

En Mendoza se dispone de una importante cantidad de biomasa residual de restos de poda de frutales y forestales, que podrían utilizarse como combustible para realizar la combustión en el horno híbrido solar - biomasa. Esta es una importante

alternativa para disminuir el uso de biomasa proveniente del monte nativo. En la Tabla 2 se pueden observar las especies presentes en Mendoza, con su correspondiente poder calorífico (Quiroga et al. 2010), factibles de ser utilizadas para la combustión de leña en el horno híbrido solar – biomasa. Por tal motivo es importante relevar en cada lugar la biomasa disponible y accesible para los miembros de la comunidad, y así propender el autoabastecimiento de leña, y hacer uso de tecnologías que utilizan biomasa como recurso energético.

**Evaluación del comportamiento térmico del horno híbrido solar - biomasa**

Para estos primeros ensayos se utilizó la madera de *Prosopis flexuosa* "algarrobo", como biomasa para la combustión. Las evaluaciones de temperaturas se realizaron empleando termocuplas tipo K y tipo T, unidas a un datalogger HOBO. Dado el rango de temperatura al cual se trabaja, se utilizaron también termocuplas tipo J, unidas a un adquisidor de datos, en este caso, Labjack. El peso de la masa de agua se realizó empleando una balanza electrónica marca Systel, la Radiación Solar se registró utilizando un sensor Kipp y Zonen modelo CM5, unido a un datalogger HOBO.

**a- Ensayos sin radiación solar y sin carga**

Para comprobar el funcionamiento del sistema de combustión, se realizó una prueba sin contribución de la radiación solar en el sistema. En el mismo se utilizó 2 kg de leña de algarrobo (Fig. 2.A), la leña se quema fuera del horno para generar las brasas, que luego se introducirán en el brasero del horno (Fig. 2.B).

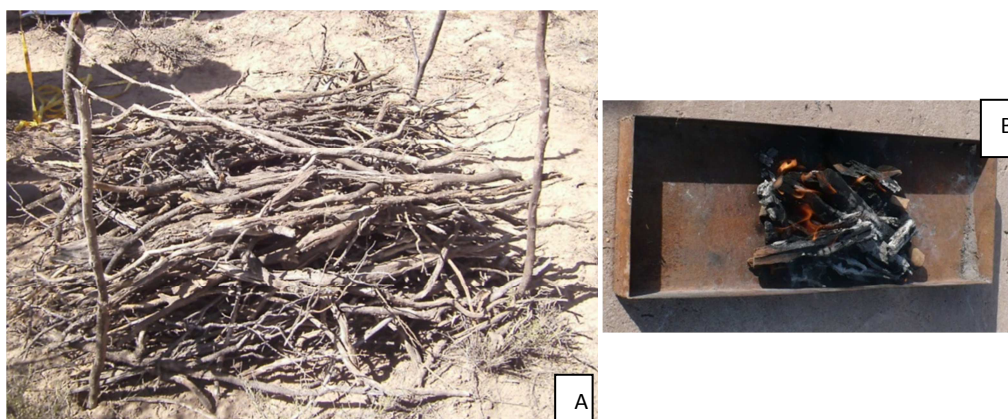


Figura 2: A) Leña de *Prosopis flexuosa* "algarrobo"; B) Obtención de brasas

La Figura 3 muestra los valores de la placa absorbidora, del aire interior del horno y de la temperatura exterior. Se puede observar que en 5 minutos alcanza la temperatura máxima del aire interior del horno, el cual gradualmente va disminuyendo, pero se mantiene por encima de los 130°C por casi 3 horas de funcionamiento. Contar con estos valores preliminares de funcionamiento del horno sin carga, da una idea de la temperatura alcanzada con poca cantidad de biomasa, brindando la posibilidad de realizar 1 cocción y además calentar agua

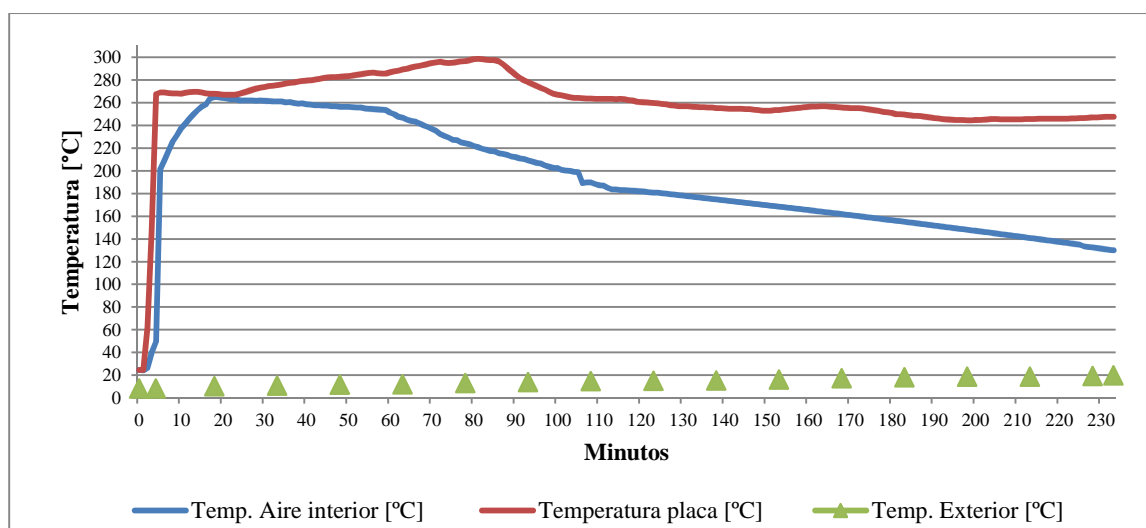


Figura 3: Evolución de la temperatura del horno en funcionamiento con energía de biomasa

**b- Ensayo con precalentamiento solar y con masa**

El ensayo experimental se realizó primeramente con precalentamiento con energía solar, luego se tapó la ventana del horno, posteriormente se colocaron las brasas, y por último se colocó una olla con agua utilizando el calor de combustión hasta llegar a ebullición (Fig. 4).

Se precalentó el horno con energía solar durante aproximadamente 10 minutos, luego se le colaron las brasas alcanzando a los 20 minutos del ensayo las siguientes temperaturas: de placa 130°C, de aire interior 160°C y de salida de gases de 305°C. La temperatura de la placa y de aire interior se mantienen constante 1.5 hs aproximadamente. En cuanto a la temperatura de salida se observan que los gases alcanzan temperaturas de 305°C y al cabo de 1.5hs la temperatura de los gases es de 230° aproximadamente.

A los 30 minutos de ensayo se introdujo en el horno una olla de aluminio pintada de negra con 2L de agua, utilizando la energía aportada por la combustión de la biomasa, ya que cuando se colocó la olla, el horno sólo funcionaba con la energía aportada por la combustión de la biomasa.

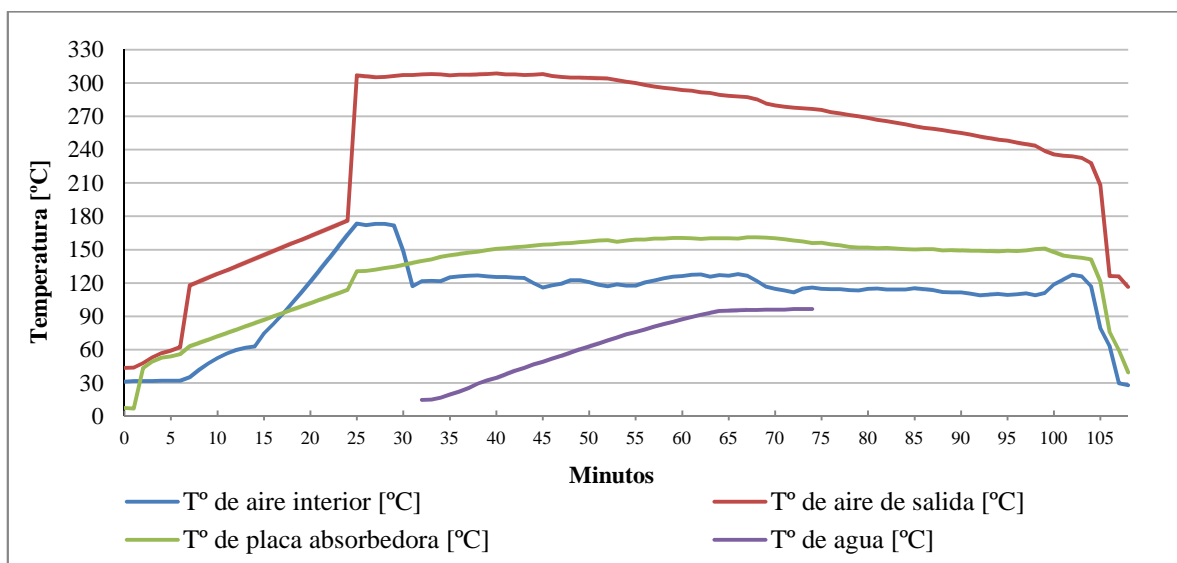


Figura 4: Ensayo del horno funcionando con biomasa y la olla con 2L de agua

### c- Cálculo de Potencia Térmica

La temperatura de ebullición del agua se consiguió a los 43 minutos de colocado en el horno con la energía de biomasa. Con los valores obtenidos de calentamiento de agua en función del tiempo se calculó la potencia del funcionamiento con biomasa. La potencia se calcula para el intervalo de temperatura de agua, entre los 40°C y los 90°C de acuerdo al protocolo de RICSA (Esteves, 2003). En la Figura 5 se muestra la curva de potencia útil obtenida en el calentamiento de agua, para el horno en funcionamiento con sólo energía de combustión de biomasa. Para una diferencia de 50°C el horno alcanza una potencia de 351.3 W. Se observa que es útil precalentar el horno previo a colocar la masa (comida) dentro del mismo, tal como se recomienda en los manuales de funcionamiento de horno solares.

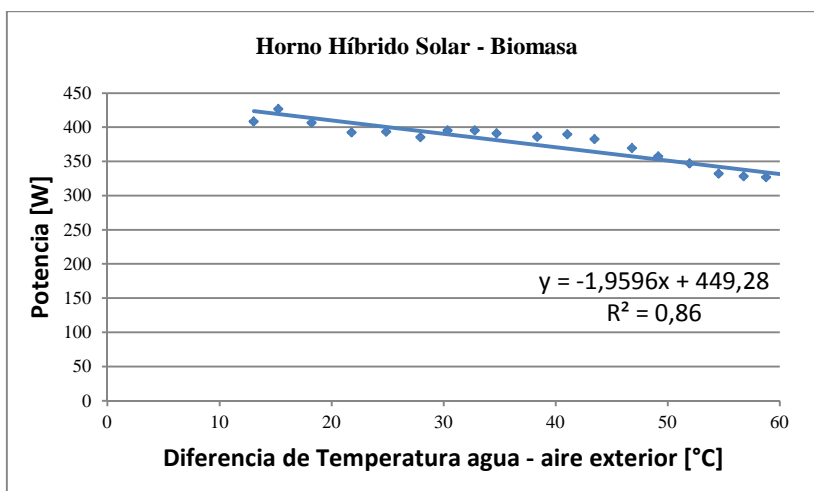


Figura 5: Potencia de cocción para el funcionamiento con biomasa.

## CONCLUSIONES

Se presenta la posibilidad de incorporar una energía auxiliar a un modelo de horno solar que por sus características de económico, fácil armado y buen rendimiento, resulta interesante de transferir a aquellas comunidades aisladas que poseen acceso a leña. Dado que el consumo de leña es poco, si se cuenta con acceso a biomasa proveniente de restos de poda de arbolado público o cultivos de la zona, es una excelente alternativa para cocción de alimentos y calentamiento de agua.

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, el cual es sencillo de operar, siendo un modelo factible de ser transferido.

Se presentan resultados de la evaluación térmica del sistema, realizando ensayos utilizando solar - biomasa, con y sin carga. Las temperaturas logradas son de alrededor de 120°C para el aire y de 150°C para la placa absorbadora, típico del horno solar, esto fue posible gracias a la cantidad de biomasa utilizada que permite 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, 351.3 W, mayor a la potencia de los hornos solares en un día soleado, muy cercana a las logradas por un concentrador como la cocina SK14.

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

## 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 Iberoamérica". Esteves, A., Roman R., ed. Red RICSА. 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>.
- Fonseca F., S., Abdala R., J.L., Griñán V., P, Flores B., A., Sánchez H., J. Bergues R., C. (2012). Desarrollo de una cocina híbrida solar-biomasa "Biosol". Perú: Proyecto Digital.
- GEA. (2012). Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future. International Institute for Applied Systems Analysis, Vienna, Austria and Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- 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.
- Quiroga N., Esteves A. and Buenanueva F. (2014). Thermal test of drum hybrid solar oven for arid and semiarid climate to use on cloudy days. Grand Renewable Energy 2014 (GRE2014) international conference, 27 July to 1 August. Tokyo Big Sight, Tokyo, Japan.
- Quiroga V. N., Martínez C., Esteves A. (2010). Modelo de manejo energético en base a tecnología solar y biomasa para cocción sustentable en comunidades de zonas desérticas y semidesérticas. *Revista Energías Renovables y Medio Ambiente*. 26: 9-18. Argentina.
- Saravial L. R., Caso R. y Fernández C. (2003). Cocina solar de construcción sencilla. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 7*, N° 1

## ABSTRACT

This paper presents the design of a solar oven in combination with biomass energy. It is presented as an option to use an auxiliary source to allow cooking in the same device both on sunny days as well as to reach the ideal temperature on cloudy or partly cloudy days. The cooker was constructed based on drum solar oven model, selected this by virtue of their economic construction, easy assembly and good performance. In conclusion a useful prototype for transfer to isolated communities in the areas of energy supplies as networks of gas (natural gas and / or electricity). This system has an output of 351.3 W for a thermal difference between water and air at 50°C, according to the protocol RICSА.

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