

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE HORNOS SOLARES TIPO CAJA EN EL TIEMPO Y CON LA FRECUENCIA DE USO

Alfredo Esteves, Fernando Buenanueva, Daniel Orduna, Guadalupe Cuitiño
Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda INCIHUSA CCT CONICET Mendoza
Av. Ruiz Leal s/n – Parque Gral. San Martín 5500 Mendoza – Argentina –
e-mail: aesteves@lab.cricyt.edu.ar

RESUMEN Se presenta el estudio de los aspectos cualitativos y cuantitativos de hornos solares tipo Caja, que han sido contruidos por el Microemprendimiento de Nacuñán, Mendoza, Argentina. Dos de ellos tienen 8 años de uso, con diferente frecuencia, el primero se calcula que ya ha cocinado 1680 cocciones, el segundo 728 cocciones y el tercero es un horno solar nuevo, con la tecnología utilizada en este momento, la que ha variado levemente de los dos primeros. Se presentan los resultados del análisis del estado de las diferentes partes del mismo: absorbedor de radiación solar, reflectores, puerta, sellados, interior de cámara de cocción, aspecto exterior. Además se han realizado ensayos de las características térmicas las que no muestran señales de haber sufrido cambios, indicando que los mismos pueden seguir utilizándose por varios años más con el cambio de algunos componentes y mantenimiento que resultan mínimos respecto del costo de adquisición del horno.

Palabras clave: cocción solar de alimentos, mantenimiento, durabilidad de materiales, potencia de cocción

INTRODUCCIÓN

Las personas del área rural del Centro-Oeste de Argentina, consumen energía proveniente fundamentalmente de la leña y del gas envasado. El origen de la leña es la poda anual de frutales y vides (en zonas de oasis) o de bosques de especies nativas, fundamentalmente algarrobo, en zonas de secano. Esta energía la utilizan para cocción de alimentos, horneado de panes, lavado de ropa y calentamiento de agua para aseo.

En el caso del gas envasado, utilizado para cocción, el costo de la garrafa de 10 y 15 kg tiene un valor que se triplicó durante la crisis económica del año 2001 y continúa en aumento, a causa de la crisis energética, donde a las empresas productoras les conviene exportar que vender a un precio menor.

El uso de los recursos y el nivel de contaminación provocado por el mundo humano han sobrepasado el límite de sustentabilidad, a pesar del mejoramiento de la tecnología, de una mayor concientización y de políticas ambientales más severas. En Sapiña, 2006 se enfatiza que la solución de los problemas ambientales requiere un cambio de paradigma en el cual, se trata de humanizar el sistema económico, de forma que el ser humano pase así a ocupar un lugar central, tendiendo siempre hacia el desarrollo sustentable.

La sustentabilidad energética es el desafío presente. Cada comunidad debe usar la energía eficiente y hacer uso de las energías renovables disponibles en el lugar. Es importante introducir y expandir la tecnología y hábitos para hacer a los sistemas sociales más controlables por las personas mismas, de manera que la vida no dependa de fuentes no renovables (De Juana y Santos, 2007). Con el aumento del precio del petróleo (casi US\$ 130/barril- precio de 06/2008) es claro que el acceso a los recursos no resultará equitativo y los que padecerán son los que se encuentran más lejos de los centros de aprovisionamiento. En este sentido, ya se ha instaurado un debate respecto del cultivo de energéticos para generar biocombustibles a partir de oleaginosas, pero esta solución atenta contra la producción de alimentos a costos moderados.

Utilizar la energía solar sería estratégico para nuestro país, para las personas de bajos recursos cuya vida depende fundamentalmente del consumo de gas envasado o leña, tanto para calefaccionar la vivienda, calentar agua y/o cocinar. O que contando con la instalación de gas natural, su situación ya sea de desempleo o disminución de la calidad del empleo, tienen una situación difícil de mantener con una calidad mínima (Esteves y otros, 1999).

Cuando no está disponible la energía, las personas se encuentran frente a la imposibilidad de cocinar alimentos que son estratégicos para su nutrición: fundamentalmente cereales y proteínas.

En todo tiempo ha sido bueno el ahorrar, controlar el gasto (tanto monetario como energético) y aprovechar los recursos existentes. Pero hoy, tiene un mayor sentido establecer tendencias hacia un uso cada vez mayor del horno solar como una solución tanto para disminuir el consumo energético, mejorar la economía familiar y a la vez, cuidar el medioambiente produciendo menos impacto sobre el mismo.

Los hornos solares son elementos que nos permiten cocinar sin hacer uso de otro combustible, mas que el sol durante los días claros (sin nubes) o parcialmente nublados. El origen de los mismos se remonta al siglo pasado, en el cual, por la escasez de combustibles comenzaron a utilizarse. Sin embargo, con el descubrimiento del petróleo, su extensión fue disminuyendo y prácticamente no fue utilizado hasta fines del siglo 20, en que su uso comenzó a extenderse dada sus posibilidades para gente del área rural, permitiendo disminuir los consumos de leña y con ella los problemas que implica utilizarla (largas jornadas de acopio y acarreo que ocasionan dolores, lumbalgias, heridas; cocinar en un ambiente con humo que ocasiona llorizqueo de los ojos y alergias; desertificación del lugar, que genera espacios cada vez mas amplios sin cubierta vegetal sometido al deterioro por el clima y así una serie de factores importantes que pueden ser disminuidos utilizando el horno solar.

Desde Mendoza, en INCIHUSA-CONICET hemos estado trabajando con ellos desde 1996, primero estudiando sobre su mejor diseño y luego en la transferencia.

Uno de los modelos, el horno Ñacuñán2, ha sido objeto de fabricación por parte de Microemprendimientos originarios en Mendoza. Uno de ellos, se encuentra ubicado en la localidad de Ñacuñán, quienes vienen trabajando desde el año 2000 en la fabricación y venta de los hornos solares.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Con el objeto de poder cuantificar el resultado de la utilización de los hornos solares en el tiempo, hemos tomado tres hornos solares tipo Ñacuñán2. Los mismos se muestran en la Figura 1.

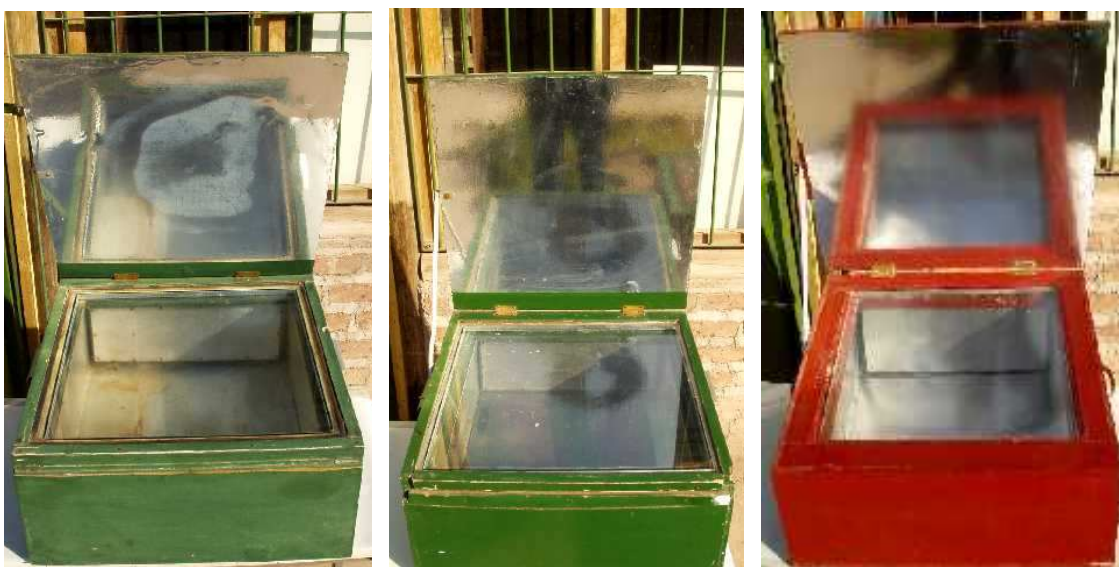


Figura 1: hornos solares ensayados: a) HS1 – con 8 años de uso y alta frecuencia de cocción; b) HS2 - con 8 años de uso y poca frecuencia de cocción; c) HS3 horno nuevo.

El estudio se ha encarado hacia 3 hornos solares iguales, dos contruidos hace 8 años, uno de los cuales ha tenido una frecuencia de uso muy frecuentemente (3 veces a la semana durante invierno y todos los días en verano – denominado en adelante “HS1”; otro utilizado menos frecuentemente (una vez a la semana en invierno y cuatro veces a la semana durante el verano) – denominado en adelante “HS2” y un tercero que no ha tenido uso aún, así que conserva las condiciones iniciales en todos sus materiales – denominado en adelante “HS3”. Hay que destacar que el HS3 es de dimensiones un poco menor al HS1 y HS2, a causa de hacer más eficientes los recortes de la placa de MDF para su fabricación. Por lo tanto, para establecer una relación se podría indicar la siguiente cantidades de cocciones en cada uno: HS1: 210/año, en total 1680 veces; HS2: 91/año, en total 728 veces; HS3 solamente el calentamiento necesario para eliminar los componentes más volátiles de pinturas y selladores – 5 veces. Durante todo este tiempo, el HS1 y el HS2 han permanecido en el exterior, sobre una mesa y los mismos eran cerrados mientras no se utilizaban, cubiertos por una lamina de polietileno para protección por lluvias momentáneas o caída de rocío.

El estudio se ha encarado desde dos aspectos: 1-Aspectos cualitativos, tomando en cuenta el estado de las distintas partes del horno, absorbedor, reflector, interior, partes selladas y encontrando una relación con el uso de cada horno; b) cuantitativo, tomando en cuenta el Protocolo de Ensayos de la Red RICA (Red Iberoamericana de Cocción Solar de Alimentos) (Esteves, 2003), teniendo en cuenta los ensayos térmicos para conocer la disminución del rendimiento obtenido por cada uno de los hornos ensayados. En este caso, se ha considerado los dos ensayos más importantes: temperatura de equilibrio térmico del horno sin carga y la potencia de cocción.

A- Evaluación de aspectos cualitativos

El aspecto cualitativo se ha encarado a través de las observaciones exhaustivas del estado de la materialidad de las distintas partes que conforman el horno, a saber, reflector, absorbedor, carcasa exterior, cierres de puerta, cámaras de aire en doble vidriado hermético, etc.

Reflectores

La Figura 2 muestra el estado de los reflectores para los tres casos estudiados: HS1, HS2 Y HS3. El mismo está conformado en los tres casos, de una placa de MDF (Médium Density Fiberboard) de 9 mm de espesor pintada con esmalte sintético y sobre ella se adhiere una lámina de papel aluminizado autoadhesivo. Es de destacar que la lámina del HS3 es menos especular, lo que implica un menor costo, pero también genera un reflejo más difuso sobre la ventana del horno.



Figura 2: reflectores de los hornos a) de HS1; b) de HS2; c) de HS3

Como se puede observar, el reflector del HS1 (el más utilizado) tiene una mancha en donde ha perdido parte del efecto reflejante. El correspondiente al HS2 mantiene las condiciones de forma bastante aceptablemente. El correspondiente al HS3, el nuevo, posee un reflector más difuso pero se encuentra en condiciones óptimas. Al parecer el deterioro sufrido por el reflejante del HS1 habla de un calentamiento en contacto con el vidrio caliente más que por demasiado uso, ya que el utilizado en el HS2 permanece en mejores condiciones de uso, siendo que han permanecido el mismo tiempo colocados. Una forma de preservar el alimento caliente es la siguiente: luego de una cocción vespertina, digamos de las 17 hrs, podemos cerrar el reflector y mantener sin abrir el horno; la comida se mantiene caliente durante 3 hr casi hasta la hora de cenar. Al cerrar el reflector sobre el vidrio, el horno que se encuentra muy caliente, le transmite calor por conducción a la lámina, subiendo la temperatura y generando el deterioro que con el paso del tiempo se incrementa.

Placas absorbedoras de radiación solar

Las placas absorbedoras en todos los casos están constituidos por chapa de acero al carbono plegadas para permitir que se despeguen del fondo de la cámara de cocción. En todos los casos han sido pintadas con pintura negro mate para permitir una mayor absorción de radiación solar. La Figura 3 muestra las fotos de las mismas en su cara hacia el sol y la Figura 4 muestra la cara posterior de las mismas. Como se puede apreciar, el grado de oxidación es importante en el HS1, por el mayor uso. Es de destacar que la pintura protectora se va deteriorando a causa del rozamiento con los utensillos (ollas y fuentes) que se colocan dentro del horno solar, luego, con el ambiente húmedo y los derrames se genera una oxidación de la placa. Esto es directamente proporcional al uso del mismo.



Figura 3: absorbedores de radiación solar (cara al sol): a)HS1; b) HS2; c) HS3

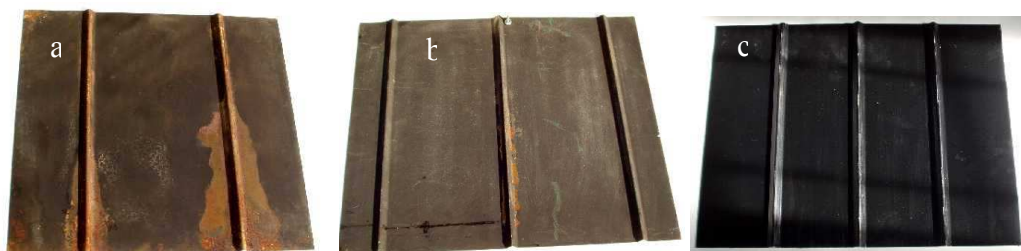


Figura 4: absorbedores de radiación solar (parte posterior): a)HS1; b) HS2; c) HS3

Además en el caso del HS2, que ha tenido un menor roce, se encuentra bastante decolorado fruto de la acción de los rayos ultravioleta sobre los pigmentos de la pintura. Lo ideal sería poder renovar la pintura en términos de 3 años, no más.

Puerta de acceso a la cámara de cocción

La puerta de acceso para introducir los alimentos a cocinar, es de madera por el exterior, aluminio por el interior y aislación térmica de lana de vidrio entre ellos. Esta es la misma conformación que tiene el cuerpo del horno. Se mantiene sujeta con bisagras (para doble contacto) que en todos los casos se mantienen en perfectas condiciones.

Como el horno es hermético, la evaporación del agua que contiene el alimento se absorbe en el aire en un principio, dado que la temperatura del mismo va creciendo más rápidamente que la producción de vapor, hasta que se alcanza la temperatura de equilibrio y la saturación del aire interior sobreviene rápidamente y el vapor sobrante comienza a condensar en las partes más frías del horno (doble vidrioado). Una parte del vapor producido, escapa por la esquina superior de la puerta, donde el burlete está interrumpido, y en contacto con las temperaturas exteriores más frías de la puerta, condensa, humedeciendo el material en contacto con él. Conviene en este caso, incorporar una placa metálica de modo que la condensación no deteriore la madera de la puerta y tratar de que las cocciones húmedas se realicen con la tapa de la olla colocada.

En el caso del HS1, la madera de MDF se ha deteriorado con el humedecimiento reiterado. En el caso del HS2, se encuentra mucho menos deteriorado, pero su presencia indica que va por el camino del HS1. En el caso del HS3, se encuentra en perfectas condiciones. Otra posibilidad sería utilizar madera compacta, no aglomerada que tiene una resistencia a la absorción de humedad mucho mayor. La Figura 5 muestra las imágenes de las puertas en las condiciones que se encuentran hoy. Un dato curioso es que el HS1, como la misma se encuentra muy deteriorada, la cocinera, le coloca una bolsa de polietileno arrugada formando una especie de sello para evitar que la infiltración sea excesiva. Es de destacar que para ella no significa ningún problema este deterioro, aduce que se puede cocinar perfectamente bien.



Figura 5: imágenes de las puertas: a) HS1; b) HS2; c) HS3

Otro dato curioso es la duración de los burletes colocados. Ya se tenía cierta experiencia respecto de qué material utilizar y los burletes autoadhesivos de neoprene, resultan ser los más indicados para este tipo de trabajo. Es de destacar que los mismos se encuentran sometidos a temperaturas altas y radiación solar y no han perdido las propiedades físicas de elasticidad y forma en estos 8 años de uso.



Figura 6: imágenes del aspecto exterior: a)HS1; b) HS2; c) HS3

Aspecto Exterior

El aspecto exterior responde al paso del tiempo en función del cuidado de haber protegido el horno de las inclemencias del clima, especialmente de la lluvia. En el caso del HS1, el mismo se encuentra con marcas propias de la humectación del MDF. En el caso del HS2, también aparecen las marcas, pero en menor cantidad. El HS3 se encuentra impecable. Es de destacar que el mismo, a pesar de tratar de evitar la lluvia, hay ocasiones que resulta inevitable si es que uno lo utiliza asiduamente.

Aspecto interior de la cámara de cocción

La cámara de cocción es un elemento clave para la duración del horno solar, ya que es la que aloja el absorbedor, permite el ingreso de radiación solar en su ventana y además debe mantener las condiciones de seguridad de que el aislante térmico no se humedezca en contacto con el vapor que podría migrar desde la cámara de cocción hacia la cámara donde se encuentra el aislante térmico. En todos los casos, el material está compuesto por una lámina de aluminio de 0.5 mm sellada en sus pliegues con sellador de siliconas. La correspondiente al HS1 se encuentra con los selladores deteriorados y bastante manchada por el óxido desprendido desde el absorbedor. La correspondiente al HS2, se encuentra en condiciones bastante aceptables, pudiendo mantener las condiciones iniciales.



Figura 7: imágenes del interior de la cámara de cocción: a) HS1; b) HS2; c) HS3

La Tabla I muestra un resumen de todos los aspectos cualitativos estudiados anteriormente en cada uno de los hornos.

Tabla I: resumen de los aspectos cualitativos observados en los tres hornos ensayados

| Horno solar | HS1 | HS2 | HS3 | Observaciones |
|-------------------|---|---|---|---|
| Reflectores | deteriorado | Condiciones aceptables | Buen estado pero difuso | Utilizar aluminizado más especular |
| Absorbedores | Despintado y oxidado | Decolorado y algo oxidado | En buen estado, pero no opaco | Renovar pintura cada 3 años |
| Puerta | deteriorada | Condiciones aceptables | Condiciones aceptables pero usar burletes de neoprene | Utilizar madera compacta y/o protector metálico de condensación |
| Bisagras | excelentes | excelentes | Excelentes | --- |
| Aspecto Exterior | Bueno, algo deteriorado por lluvia | Bueno, menos deteriorado | Sin problemas | Convendría utilizar una cubierta a medida y proteger siempre en las noches. |
| Cámara de Cocción | Deteriorado los burletes y manchado por óxido | Buenas condiciones, algo manchado por óxido | Excelente | Renovar sellados cada 6 años. Mantener desmanchado el aluminio. |

B- Ensayos Térmicos

Los ensayos termicos se refieren a dos tipos: a) medición de la temperatura máxima sin carga y b) medición de la potencia de cocción y cálculo del rendimiento.

Temperatura máxima sin carga

Las mediciones de temperatura máxima sin carga, se llevan a cabo entre las 10 hr solar y hasta alcanzar la temperatura máxima, reorientando el horno solar cada 15 a 20 minutos. Esteves A., 2003.

La Figura 7 muestra los valores de temperatura máxima para cada horno.

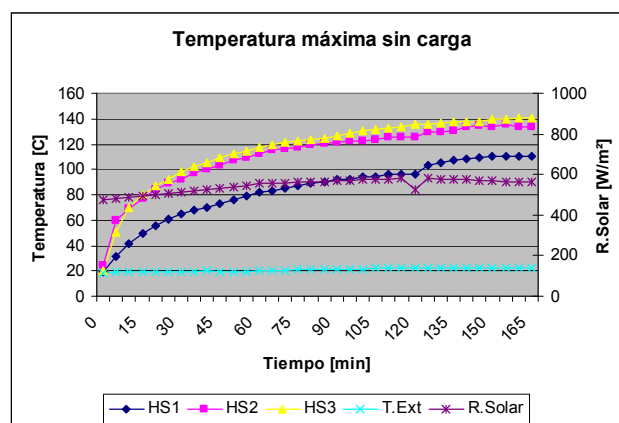


Figura 8: valores de temperatura máxima sin carga

Como se puede observar, el horno HS1, el más utilizado tiene una temperatura máxima muy disminuida del orden de 15° menor a la temperatura de los otros hornos solares, posiblemente por infiltración excesiva a causa del deterioro de la puerta. La temperatura alcanzada por el HS1 es de 110.4C. El horno HS3 tienen la mejor evolución térmica, alcanzando una temperatura de 141C. El horno HS2 si bien la temperatura alcanzada es menor, la diferencia con el horno nuevo es muy baja, alcanzando una temperatura de 134C. Como se puede observar la radiación solar y la temperatura exterior se mantienen prácticamente constantes en el intervalo de medición, aunque ésta última no es necesario que se mantenga constante.

Rendimiento térmico y eficiencia

Las mediciones de potencia y eficiencia térmica de los hornos se han llevado a cabo tomando en consideración una carga de agua equivalente a la superficie de ventana del horno, según indica el protocolo. La Tabla II muestra los valores de área de ventana, área de apertura y la carga ocurrida en cada uno de ellos (Funk, 2000). El área de apertura, es el área conformada por la suma del área del reflector y de la ventana proyectada sobre el plano horizontal (Esteves, 2003), representa la superficie total que recibe la radiación solar incidente, que es posible aprovechar.

Tabla II: valores de área de ventana, de apertura y carga de agua para ensayo de potencia

| Horno | Area de ventana [m ²] | Area de Apertura [m ²] | Carga de agua [kg] |
|-------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------|
| HS1 | 0.2285 | 0.4127 | 1.60 |
| HS2 | 0.2500 | 0.4340 | 1.75 |
| HS3 | 0.1850 | 0.3417 | 1.30 |

En la Figura 9 se muestra la potencia y eficiencia térmica para el HS1. Los valores resultantes han sido para una diferencia de temperaturas entre el agua y el aire circundante al horno de 50C, de 43.5W y 20.5% para la potencia y la eficiencia respectivamente.

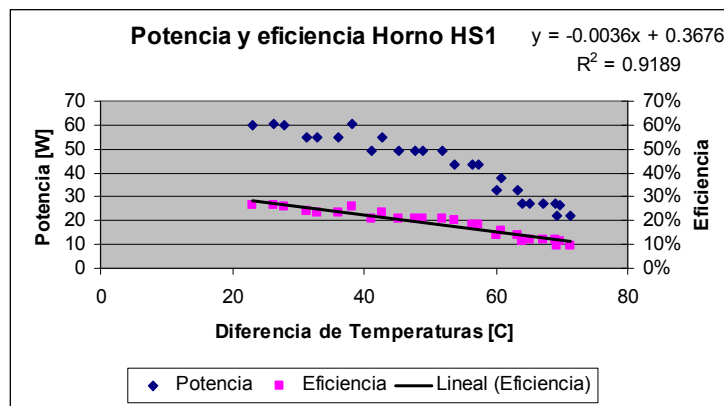


Figura 9: Potencia y Eficiencia de cocción para el HS1.

El horno solar HS2, conserva prácticamente intactas las condiciones térmicas originales. La Figura 10 muestra la potencia y la eficiencia resultante del ensayo, alcanzando una potencia para 50C de diferencia entre la temperatura del agua y la temperatura del aire de 47.6W y 18.9 % de potencia y eficiencia respectivamente.

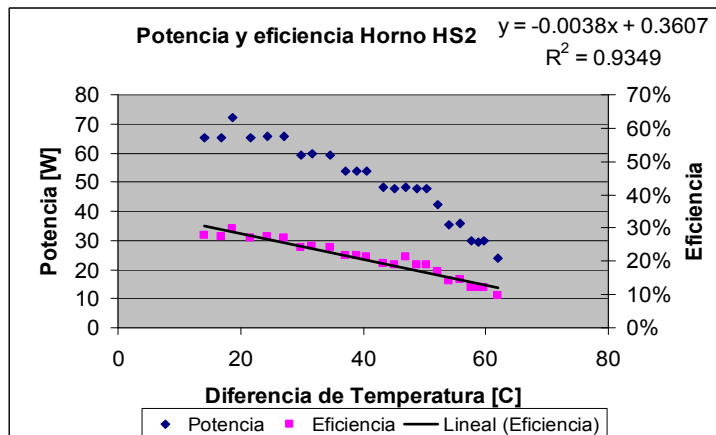


Figura 10: Potencia y Eficiencia de cocción para el HS3.

El horno HS3 se encuentra en óptimas condiciones por lo que su potencia y eficiencia deberían ser las mayores, sin embargo, no es así. La mayor difusividad del reflejante, el menor tamaño de ventana conjuntamente con una menor cámara de cocción, una influencia mayor de los límites, genera una muy imperceptible potencia menor, aunque su eficiencia aumente. La Figura 11 muestra este ensayo para el horno HS3. La potencia y la eficiencia resulta para una diferencia de temperatura entre el agua y el aire de 50C, 35.17W y 18.1 % respectivamente.

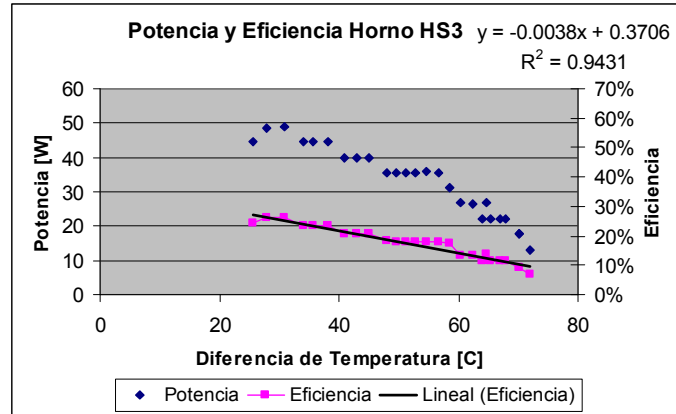


Figura 11: Potencia y Eficiencia de cocción para el HS1.

La Tabla III resumen los valores de los ensayos térmicos. Como se puede observar, los valores para la temperatura máxima resultan proporcionales al estado en que se encuentran los hornos. El deterioro de la puerta y la menor ganancia solar, influye para no poder alcanzar temperaturas más elevadas. Sin embargo, en el ensayo de potencia, al mantener temperaturas más bajas (por debajo de la ebullición), los problemas de infiltración aparentemente no tienen tanta incidencia, manteniendo valores aceptables de rendimiento.

Tabla III: valores de área de ventana, de apertura y carga de agua para ensayo de potencia

| Horno | Temperatura sin carga [C] | Potencia para DT de 50C [W] | Eficiencia para DT de 50C [%] | Curva de eficiencia |
|-------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------|
| HS1 | 110.4 | 43.5 | 20.5 | 0.3676-0.0036 DT |
| HS2 | 141.0 | 47.6 | 18.9 | 0.3607-0.0038 DT |
| HS3 | 134.0 | 35.1 | 18.1 | 0.3706-0.0038 DT |

CONCLUSIONES

Se han realizado pruebas cualitativas y cuantitativas para 3 hornos solares del mismo tipo caja, contruidos con placa de MDF con interior de aluminio, doble vidriado hermético y reflector con película autoadhesiva.

Como se puede observar, luego de 8 años de uso variado, el HS1 con 1680 cocciones tiene una potencia significativa que prácticamente no ha disminuido a pesar del deterioro significativo en el absorbedor y la puerta fundamentalmente. Este deterioro se puede corregir con pintura adicional en el absorbedor y el cambio de la placa exterior de la puerta de la cámara de cocción. El reflector también podría ser cambiado para su renovación.

El horno HS2, con 728 cocciones no ha sufrido cambios significativos en los resultados de los ensayos térmicos de temperatura máxima, potencia y eficiencia. Se debería renovar la pintura sobre la placa absorbedora para mantener en excelentes condiciones su uso y agregar una placa metálica sobre la tapa de la puerta para evitar que continúe el deterioro de la misma por el escape del vapor de agua.

Es de destacar que estas operaciones tienen un valor monetario mínimo respecto del costo del horno solar, por lo cual, se podría deducir que al cabo del paso de 8 años, su performance se mantiene en valores aceptables para continuar su utilización durante varios años adicionales.

REFERENCIAS

De Juana, José; Santos F.2007. Energías Renovables para el Desarrollo. 2ª Ed. Editorial Thompson. España.

- Esteves A., Pattini A., Mesa A., Candia R., Delugan M. (1999). "Sustainable Development Of Isolated Communities And The Role Of Solar Technology: The Case Of Ñacuñán, Santa Rosa, Mendoza, Argentina". *Ecosystems and Sustainable Development II*. Section 6. pp. 235-244. Ed. WITPress. Southampton, UK.
- Esteves A. 2003. Cocinas Solares de Iberoamerica. Cap. 5. Ed. 2- Red RICSA. CYTED. Subprograma VI: SOLCYTED. ISBN 987-20105-3-6. CYTED. INENCO, Salta, Argentina. 2003.
- Funk P.A. 2000. Evaluating the international standard procedure for testing solar cookers and reporting performance. *Solar Energy* Vol. 68, N°1, p 1-7.
- Piñón Richard. 1983. About Solar Cookers. *Passive Solar Journal*. Vol. 2, N° 3.
- Sapiña Fernando. 2006. ¿Un futuro sostenible? Ed. Publicacions de la Universitat de Valencia. Ed. Maite Simón ISBN: 84-370-6307-8.

Abstract: in this paper both qualitative and quantitative aspects of three solar oven are presented. These solar ovens has been made by Ñacuñán entrepreneurs, in Mendoza, Argentine. Two have 8 years in use, with different frequency, the first have used in 1680 times and 728 the other. The third is new oven, and have minimal dimmensional differences with the other two oven and practically is not used. qualitative aspects studied are: reflectors, absorber of solar radiation, outer and internal box, door and sealing. Thermal test has been made in order to determine the variability of performance. Solar ovens shows very well thermal performance, and with minimal maintenance it is possible to continue use for several years more.

Keywords: solar cooking of foods, mainenance, material durability, cooker power.