

ENSAYO DE POTENCIA PARA MEDIR EL COMPORTAMIENTO TERMICO DE HORNOS SOLARES. SU VALIDEZ EN FUNCION DE LA EPOCA DEL AÑO.

Alfredo Esteves

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivenda (LAHV) – INCIHUSA – CRICYT
Av. Ruiz Leal s/n – C.C. 131 – 5500 Mendoza – Argentina
Tel.: 54(0) 261 4288797 – Fa x: 54 (0) 261 4287370
e-mail: aesteves@lab.cricyt.edu.ar

RESUMEN En este trabajo se presenta el estudio de la validez del ensayo de potencia de cocinas solares propuesto en el protocolo de ensayos de la Red Iberoamericana de Cocción Solar de Alimentos (RICSA), al realizarlo en condiciones climáticas distintas. El protocolo indica las pruebas necesarias para evaluar las características de manejo (ergonómicos) seguridad, mantenimiento y materiales, como así también, los ensayos necesarios para determinar su rendimiento térmico. Los cuatro hornos se midieron simultáneamente en verano e invierno. Se puede indicar que el ensayo de potencia, a pesar de variar las condiciones exteriores, son consistentes para ser utilizados en la determinación de las posibilidades de las cocinas solares. Sobretudo si se realiza para comparar distintos tipos de hornos. El horno Ñacuñan1, es el que resulta con mayor potencia de los cuatro tanto en invierno como en verano: 70.2 W y 62.8W respectivamente. Le sigue el horno Nandwani, con 68.5W y 59.9W ; el horno Inclinado con 59.0W y 55.5W y finalmente el horno Ñacuñan2 con 42.3W y 36.2W respectivamente.

Palabras claves: energía solar, hornos solares, ensayos térmicos, potencia solar.

INTRODUCCION

La Red de Cocción Solar de Alimentos ha confeccionado un protocolo de ensayos que nos permite realizar una evaluación de cocinas solares tanto en sus aspectos térmicos como ergonómicos de seguridad, mantenimiento y calidad de materiales (Castell y ot., 2001). Este ha sido utilizado para evaluar la potencia de cuatro hornos solares distintos. Los modelos ensayados son los llamados: Inclinado, Nandwani, Ñacuñan1 y Ñacuñan2.

El modelo Inclinado proviene de un diseño original de Víctor Pinto de la Universidad de Chile que fuera utilizado en la transferencia y adopción de Cocinas Solares a Villaseca, IV Región en Chile (Guzmán M.T y ot., 1992) y optimizado para el clima del Centro Oeste de Argentina (Esteves et al., 1996). La Figura 1, muestra una foto del mismo.

El modelo Nandwani, ha sido diseñado por Shyan Nandwani (Nandwani, 1993) y ha sido utilizado por RICSA para probar los ensayos en los diferentes países miembros de la misma. La Figura 2 muestra una foto del mismo.

Nombre o modelo que lo identifica	INCLINADO	NANDWANI	ÑACUÑANI	ÑACUÑAN2
Superficie de cubierta vidriada [m²]	0.16685	0.3688	0.4538	0.2574
Area de reflectores [m²]	0.7948	0.3725	0.5270	0.2808
Superficie proyectada horizontal [m²]	0.4647	0.6026	0.7146	0.500
Superficie de placa absorbadora [m²]	0.1224	0.3675	0.3648	0.1824
Peso [kg]	14.5	23	23	15
Volumen interior [dm³] (útil para hornear)	21	66.1	66.15	29

Tabla 1: Valores característicos de los hornos solares



Figura 1: Horno Solar Inclinado



Figura 2: Horno Solar Nandwani



Figura 3: Horno Solar Ñacuñán1



Figura 4: Horno Solar Ñacuñán2

El modelo Ñacuñán1 corresponde al modelo de horno solar diseñado y construido en oportunidad de la transferencia de hornos solares a la comunidad aislada de las redes de combustibles y electricidad del mismo nombre, ubicada en el departamento de Santa Rosa, Mendoza, Argentina. El mismo fue transferido y adoptado por la comunidad aislada y aparece detalladamente descrito en Esteves, 1998. En la Figura 3 aparece una foto del mismo.

El modelo Ñacuñán2 es una variante del Ñacuñán1, como un intento de realizar un horno mas ágil y chico destinado para la venta a personas estusiasmas con la idea de cocinar con el sol. En la Figura 4 aparece una foto del mismo.

Se ha realizado una medición simultánea del test de potencia para conocer las respuestas de los hornos al realizarlo en diferentes condiciones climáticas . En este trabajo se presentan los ensayos realizados y los resultados obtenidos al comparar los hornos.

Descripción de los hornos

Los hornos ensayados, tienen las características indicadas en la Tabla 1, y una descripción adicional se incluye a continuación.

El horno Inclinado, se compone de una caja de madera de álamo por fuera, aluminio por el interior y aislación térmica de lana de vidrio y de poliestireno expandido entre medio de ellas. La cubierta vidriada posee una inclinación de 20° y tiene 4 reflectores exteriores de cartón prensado con lámina reflectora de papel de envolver regalos. Los alimentos se introducen por una puerta que se encuentra en la parte posterior opuesta a la ventana. El horno se ubica sobre un soporte sin ruedas.

El horno Nandwani, se compone de una caja de madera de álamo por fuera, aluminio por el interior y aislación térmica de lana de vidrio entre medio de ellas. Tiene 1 reflector exterior del mismo material que la caja con lámina de aluminio. La cubierta vidriada se encuentra horizontal en la parte superior y es de doble vidriado con cámara de aire estanca. Los alimentos se introducen por una puerta que se encuentra en la parte posterior. El horno tiene un soporte móvil.

El horno Ñacuñán1, se compone de una caja de madera de álamo por fuera, aluminio por el interior y aislación térmica de lana de vidrio y poliestireno expandido entre medio de ellas. Tiene 2 reflectores exteriores del mismo material que la caja con lámina de aluminio. Posee dos cubiertas vidriadas, una se encuentra horizontal en la parte superior y la otra vertical sobre el frente que mira al Ecuador. Ambas son de doble vidriado con cámara de aire estanca. Para aumentar la ganancia solar poseen reflectores adyacentes a ambas superficies vidriadas. Los alimentos se introducen por una puerta que se encuentra en la parte posterior. El horno tiene un soporte móvil.

El horno Ñacuñán2, se compone de una caja de madera de álamo por fuera, aluminio por el interior y aislación térmica de lana de vidrio entre medio de ellas. Tiene 2 reflectores exteriores del mismo material que la caja con lámina de aluminio. Posee dos cubiertas vidriadas, una posee una inclinación de 90° y se encuentra sobre el frente que mira al ecuador y la otra es horizontal ubicada en la parte superior. Ambas tienen doble vidriado con cámara de aire estanca. Para aumentar la ganancia solar poseen reflectores adyacentes a ambas superficies vidriadas. Los alimentos se introducen por una puerta que se encuentra en la parte posterior opuesta a la ventana. El horno se ubica sobre un soporte sin ruedas.

ENSAYOS TERMICOS

Se realizó el ensayo correspondiente para determinar la potencia de cocción, de acuerdo al protocolo, en dos momentos bien distintos del año, es decir, correspondiente al mes de enero de 2001, y al mes de agosto de 2000 y agosto de 2001, en la Ciudad de Mendoza (Latitud: 32° 89'S, Longitude: 68°85'W), en la República Argentina.

CARACTERISTICAS DE LOS DIAS DE MEDICIONES

La Figura 5 muestra los valores de las variables climáticas para uno de los días de invierno y la Figura 6 muestra las condiciones para uno de los días de verano en que se efectuaron las mediciones. Como se puede observar son condiciones bien distintas y precisamente se trata de determinar la validez del método de medición de potencia al realizar el ensayo bajo estas condiciones tan opuestas. La Tabla 2, resume los valores de temperatura del aire y de radiación solar para los días que se realizaron los ensayos térmicos.

Variable climática	Valor medio
Tempertura media del aire invierno	15.4 °C
Radiación solar en invierno	609.9 W/m ²
Tempertura media del aire verano	31.9 °C
Radiación solar en verano	967.5 W/m ²

Tabla 2: condiciones climáticas medias durante los días típicos en que se efectuaron las mediciones.

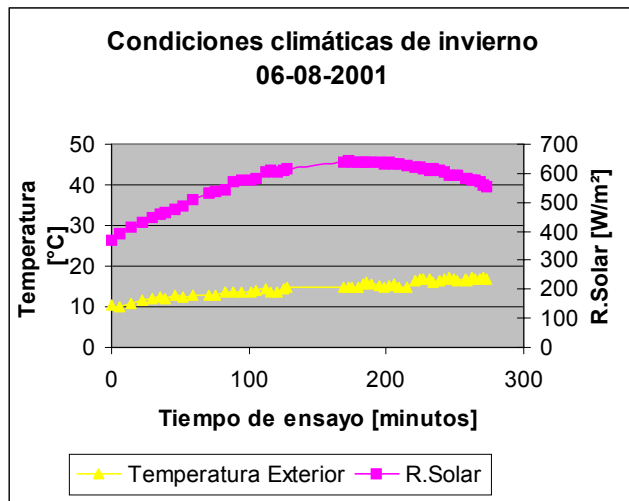


Fig. 5: condiciones climáticas de invierno

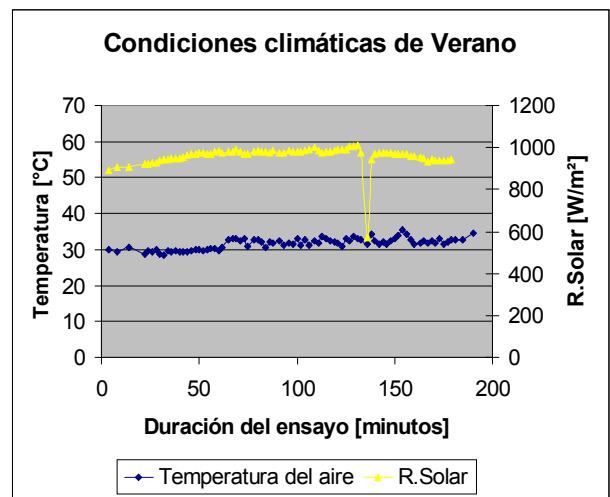


Figura 6: condiciones climáticas del 26-01-2001

MARCHA DE LOS ENSAYOS

Los ensayos han sido realizados de acuerdo al procedimiento que indica el protocolo de RICSA, para el ensayo de calentamiento de agua con reorientación. A continuación se expone cómo se realiza el ensayo.

Calentamiento de agua con reorientación

En este ensayo se determina el tiempo requerido para alcanzar los 80 °C, el tiempo en alcanzar la temperatura de ebullición menos 3°C, la potencia absorbida, el segundo factor de mérito F2, el tiempo que mantiene la temperatura de ebullición sin intervención y el tiempo que mantiene temperaturas por encima de 80 °C sin intervención.

Los pasos son los siguientes:

- El ensayo comienza a las 10 hrs.
- Se carga en la olla la cantidad de agua requerida (7 kg/m² de superficie proyectada horizontal). Es importante fijar este valor dado que el valor de F2, que posteriormente debe calcularse aumenta con el valor de la carga (Mullick et al., 1996).
- Se coloca la olla en la cocina y se orienta la misma hacia el sol, colocando el reflector en la posición óptima para el mediodía solar, es decir, en la posición que tenía en el momento de medir la superficie proyectada horizontal (ver punto 2-registro de variables).
- Se reorienta la cocina cada 15 a 30 minutos anotando la hora en que se realiza la misma.
- Los registros se realizan cada 5 minutos.
- Una vez alcanzada la temperatura de ebullición, se gira el horno hacia una posición óptima para una hora posterior y se deja sin intervenir en lo sucesivo. Se determina el tiempo máximo que mantiene la temperatura de ebullición.
- Cuando la temperatura alcanza la temperatura de ebullición menos 3°C (Ver Figura 1), se tapa el horno y se mantienen los registros de manera de determinar el tiempo que mantiene la temperatura del agua por encima de 80°C.

Calculo de la potencia de cocción. La diferencia en la temperatura del agua cada intervalo de 5 minutos debe multiplicarse por la masa y el calor específico del agua contenido en la olla en el intervalo de 40°C a la temperatura de ebullición menos 5°C. Dividir el producto por los 300 segundos contenidos en los 5 minutos dando la potencia de cocción en W. Calcular los promedios de la radiación, temperatura ambiente, y temperatura del contenido del alimento para cada intervalo.

Standarización de la potencia de cocción. La potencia de cocción para cada intervalo debe ser corregida para una radiación solar standard de 700 W/m² multiplicando la potencia observada por 700 W/m² y dividiendo por la radiación promedio registrada durante el correspondiente intervalo. La razón es ayudar a la comparación de resultados de diferentes localidades y fechas (Funk, 2000).

Diferencia de temperatura. Se calcula la diferencia de temperatura entre la olla y el ambiente para cada intervalo.

Graficación y regresión. Se deben realizar dos gráficos, la temperatura del agua en función del tiempo y la potencia standard de cocción en función de la diferencia de temperatura para cada intervalo de tiempo. Se debe realizar una regresión lineal de los puntos graficados para encontrar la relación entre la potencia de la cocina y la diferencia de temperatura. Se debe graficar la relación entre la potencia de cocción standarizada (desde 0 a 200 W) contra la diferencia de temperatura (de 0 a 70°C) y presente la ecuación. Se determina luego la potencia de cocción (estandarizada) a la diferencia de temperatura de 50°C.

Simple medida de rendimiento. El valor para la cocción standard (W) correspondiente a una diferencia de temperatura de 50°C, puede ser tomado como una medida simple de la performance.

RESULTADOS

Los valores de potencia que resultan de realizar los ensayos en esos días se indican en las figuras 7 hasta 10, una para cada horno solar ensayado. Se puede deducir lo siguiente:

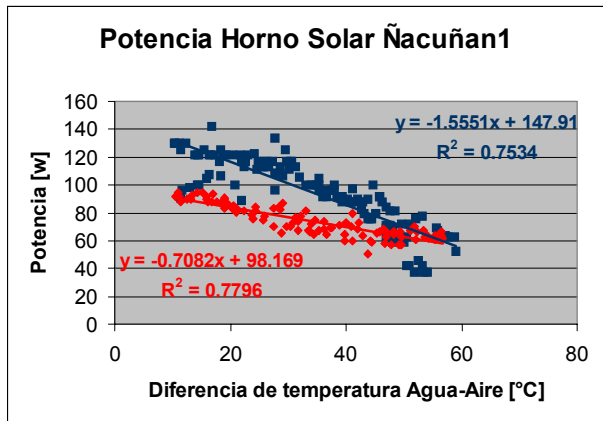


Figura 7: ensayo de potencia Horno Solar Ñacuñan1

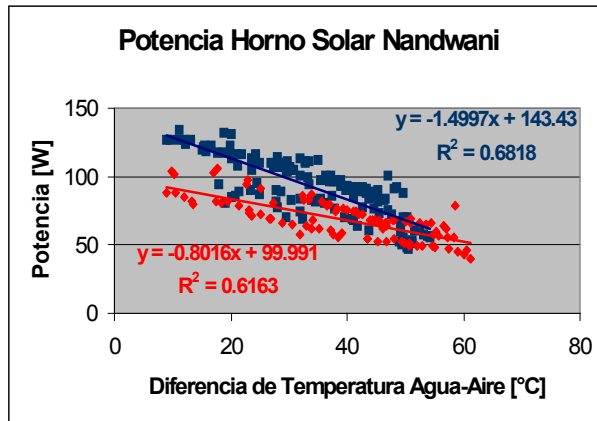


Figura 8: ensayo de potencia Horno Solar Nandwani

1- En todos los casos, la potencia del horno va disminuyendo conforme aumenta la diferencia de temperatura entre el agua y el aire exterior, tanto en invierno como en verano. Esto es lógico si pensamos que a mayor temperatura mayores son las pérdidas de energía y consecuentemente menor es la energía útil (utilizada en este caso para calentar el agua dentro de la olla) y menor la potencia.

2- En los ensayos realizados en los meses fríos de invierno, la curva de potencia tiene una ordenada al origen de mayor valor y una pendiente también mayor que en los ensayos realizados en los meses más cálidos de verano.

3- El simple valor de potencia para una diferencia de temperatura de 50°C entre el agua y el aire exterior, dan valores muy semejantes en los ensayos realizados en el mismo horno y en distinta época, siendo mayor siempre en invierno. El horno Ñacuñan1 resulta con mayor potencia seguido por el horno Nandwani, el Inclinado y finalmente el Ñacuñan2 independientemente de la fecha en que hagamos el ensayo. La Tabla 3, indica los valores obtenidos para los distintos hornos ensayados.

4- Mientras más expuesto está el horno (mayor transmitancia térmica), la pendiente es mayor, razón por la cual, el enfriamiento y la disminución de potencia con el aumento de temperatura es mayor.

5- Un horno con mayor aislación, posee una pendiente menor, por lo tanto podría ser mejor para ser utilizado en clima frío. Los valores de potencia se pueden observar en la Tabla 3, que indica los valores tanto para invierno como para verano.

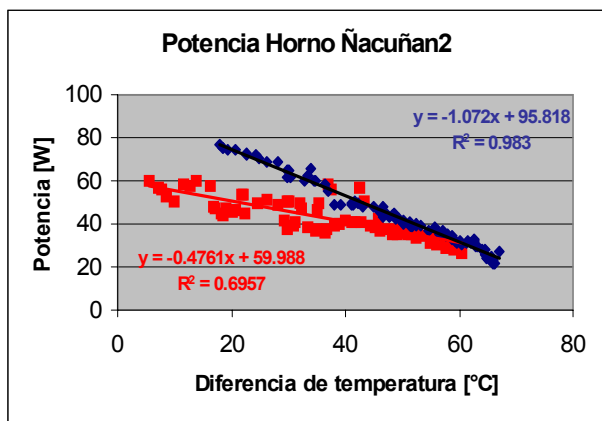


Figura 9: ensayo de potencia Horno Solar Ñacuñan2

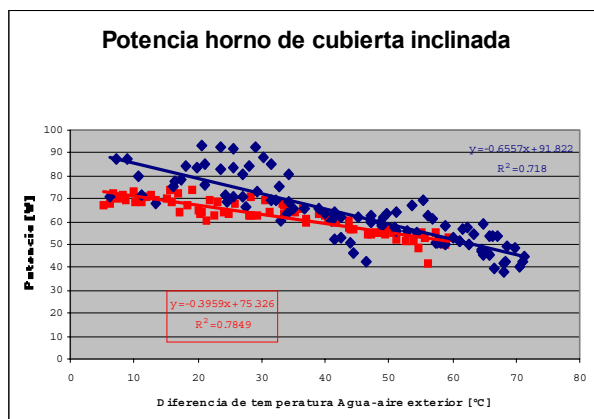


Figura 10: ensayo de potencia Horno Solar Inclinado

Horno Solar	a	B	Pot.50°C
Inclinado verano	75.32	-0.396	55.52
Ñacuñan2 verano	59.99	-0.476	36.19
Ñacuñan1 verano	98.17	-0.708	62.77
Nandwani verano	99.99	-0.802	59.89
Inclinado Invierno	91.82	-0.656	59.02
Ñacuñan2 Invierno	95.82	-1.07	42.32
Ñacuñan1 Invierno	147.91	-1.555	70.16
Nandwani Invierno	143.43	-1.499	68.48

Tabla 3: recta de regresión: a, ordenada al origen; b, pendiente; pot.50°C, potencia para diferencia de 50°C.

6- El horno que resulta con mayor potencia es el Ñacuñan1, el mismo ha logrado alcanzar las temperatura de ebullición en menor tiempo para la misma carga, por lo tanto es el que se recomienda desde este estudio. Inclusive durante los ensayos en tiempo invernal, cuando la potencia resulta la mas elevada de los cuatro. En segundo término aparece el horno tipo Nandwani, en términos de potencia. El horno Inclinado, aparece como el mejor en climas fríos y ventosos, dada su excelente aislación térmica que se traduce en menores pendientes de la curva de potencia. Esto sumado a su gran área de apertura (incrementada por los cuatro reflectores que posee) tiene una performance muy conveniente en cualquier época del año.

CONCLUSIONES

Se ha trabajado el ensayo de potencia de hornos solares en cuatro tipos diferentes, que dan cuenta de distintos valores de aislación térmica y distintos valores de área de apertura que otorgan una variabilidad suficiente para realizar este estudio. Todos los hornos se han ensayado durante el invierno y en verano de manera de contar con condiciones climáticas opuestas. Las conclusiones es que la curva de potencia resulta mayor en invierno que en verano, pero esta diferencia se mantiene para todos los hornos ensayados, lo que nos indica la viabilidad del ensayo al momento de efectuar una comparación entre los distintos tipos de hornos solares. La pendiente de la recta de regresión, es mayor cuando realizamos el ensayo en los meses de invierno, mientras que, por otro lado, cuando el horno posee mayor aislación térmica, la pendiente es comparativamente menor. Esto le permite mejorar la prestación en climas fríos, es el caso del horno Inclinado, que posee mayor aislación, menor abertura colectora vidriada y mayor reflexión a partir de cuatro reflectores. El horno Ñacuñan1, es el que resulta con mayor potencia de los cuatro tanto en invierno como en verano: 70.2 W y 62.8W respectivamente. Le sigue el horno Nandwani, con 68.5W y 59.9W ; el horno Inclinado con 59.0W y 55.5W y finalmente el horno Ñacuñan2 con 42.3W y 36.2W respectivamente.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al personal del CYTED y de dirección de la RICSA la posibilidad de participar de las tareas de la Red y de asistir al Congreso Iberoamericano de Energía Solar. Agradece también a Daniel Vickary y a José Luis Cortegoso por su ayuda en el registro de las variables.

ABSTRACT

The comparison of four solar oven through Power Test it is presented in this paper, applying the Solar Cooker Test Procedure of RICSA (Solar Cooker of Food Latinamerican Network). This Test Procedure, include thermal test for obtain it thermal performance as well as testing for safety, ergonomical, quality and maintenance aspects. Four oven has been tested simultaneously in summer and winter. The result indicate that Power test is consistent when we make it in summer (with high ambient temperature, solar altitude and solar radiation level) and winter (with low temperatures, solar altitude and solar radiation levels) in Mendoza City (Latitude: 32° 89'S). In summer, power is lower than in winter for the same solar cooker but slope of regression line is lower and when high water and ambient air temperature differences occur, power is near the same than in winter. However, it is necessary to prove it more in other geographical and climatic situations. Ñacuñan1 oven have 70.2 W and 62.8W in winter and summer respectively. Nandwani oven have 68.5W in winter and 59.9W in summer; Inclinado oven have 59.0W y 55.5W and finally Ñacuñan2 oven have 42.3W and 36.2W respectively.

REFERENCIAS

- Castell M.E., Collares Pereira M., Esteves A., Finck Pastrana A., Fonseca Fonseca S. 2001. Congreso Iberoamericano de Energías Renovables. Honduras. En impresión.
- Esteves A. y Cortegoso J.L. 1996. Manual De Autoconstruccion De Un Modelo De Horno Solar Y Cocina Solar Plana". Ed. CRICYT. ISBN 987-99668-1-3.
- Esteves A. 1998. "Horno solar de cubierta vidriada horizontal para altas latitudes". Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 2, N° 1, 1998.
- Funk P. (2000). "Evaluating the international Standard Procedure for Testing Solar Cookers and Reporting Performance". Solar Energy Vol. 68, N° 1, pp.1-7.
- Guzmán M.T., Jury G., Durán E.M. 1992. "Evaluation of Inta-Teca Solar Cooking Program an Pilot Project in Villaseca, IV Region, Chile". UNICEF. Octubre 1992.
- Mullick S.C., Kandpal T.C., Subodh Kumar. 1996. Testing of Box-Type solar cooker: second figure of merit F2 and its variation with load and number of pots. Solar Energy Vol. 57 N° 5, pp. 409-413.
- Nanwani S. (1993). "La Cocina Solar/Horno Solar". Ed. Fundación UNA. Heredia. Costa Rica. ISBN 9977-90639-4.