

HORNO SOLAR DE CUBIERTA VIDRIADA HORIZONTAL PARA ALTAS LATITUDES

Alfredo Esteves
 LABORATORIO DE AMBIENTE HUMANO Y VIVIENDA (LAHV)
 (INCHUSA-CRICYT)
 C.C. 131 - 5500 Mendoza - República Argentina
 Tel: 54-61-288797 - Fax: 54-61-287370
 e-mail: aesteves@lab.cricyt.edu.ar

RESUMEN

Se presenta un horno de cubierta horizontal, adaptado para ser utilizado en lugares ubicados en localidades de latitud mayor. En estos, el horno mencionado no posee buen rendimiento dado que la energía solar que absorbe resulta insuficiente para lograr cocciones en tiempos razonables durante los meses de invierno en que el sol permanece con poca altitud. Mediante un vidrioado y un reflector adicional se obtiene una mejora significativa en el rendimiento del horno y se lo hace apto para cocción en lugares donde la altitud solar es baja. Se presentan los resultados del estudio térmico del mismo cuando se lo compara con un horno de cubierta inclinada. Se observa que la evolución de las temperaturas en el mismo resulta equivalente al inclinado y lo hace viable y perfectamente utilizable con la ventaja adicional de contar con una mayor facilidad de construcción y armado.

INTRODUCCION

Las cocinas solares son dispositivos que han demostrado tener un potencial importante en la tendencia hacia la sustentabilidad energética de comunidades aisladas (Esteves et al., 1998). Pero para esto es necesario contar con un dispositivo que sea fácilmente construible y repetible y que su manejo no sea complicado.

Aalf Mark, 1995 indica que cuando la latitud aumenta, es conveniente utilizar hornos solares de vidrio inclinado, de este modo la radiación solar absorbida por el mismo mejora considerablemente y nos permite obtener una cantidad de energía suficiente para la cocción sobretodo en los días más críticos de invierno (días claros pero muy fríos en lugares de latitudes mayores de 30°, donde el sol se ubica en una posición de baja altitud).

Se debe destacar que si bien esta afirmación es de orden general, solamente el cambio de pendiente del colector no es condición suficiente para lograr un buen rendimiento invernal. Al respecto se comenta en Guzman et al, 1992, que con los hornos solares utilizados que tienen la cubierta vidriada inclinada 20°, no se puede cocinar en días críticos de invierno, utilizándolo en estos casos sólo para completar cocciones.

En esta UID se han construido y ensayado hornos solares con cubierta inclinada y mediante una incorporación de técnicas ajustadas de conservación de energía se ha logrado las cocciones en días fríos de invierno en tiempo suficiente y satisfactorio. Pero el problema

que se encuentra en este tipo de horno es cuando se quiere encarar su construcción, dado que posee algunas formas que generan volúmenes difíciles de aislar térmicamente sin dejar puentes térmicos. Un horno de este tipo se presenta en la Fig. 4.

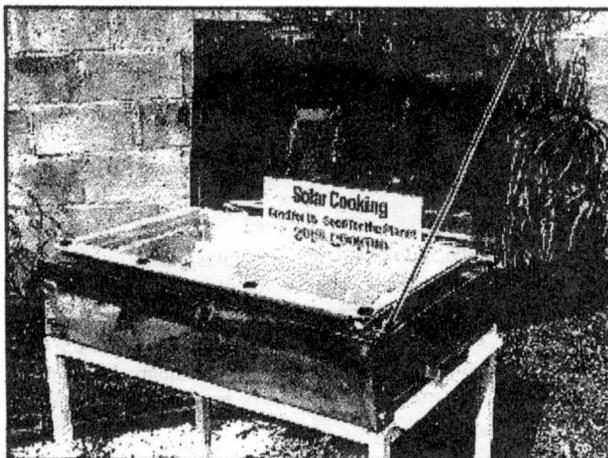


Figura 1: Cocina solar de Nandwani 1993.

Con vistas a establecer una transferencia concreta a la población de Nacuñán, era necesario simplificar el método de construcción del horno solar de cubierta inclinada a fin de hacer mas fácil su construcción por parte de la gente de la Comunidad. Por lo tanto se decidió construir un horno de cubierta plana, cuyas partes son simétricas y resulta de muy fácil construcción.

ADAPTACIONES REALIZADAS

Las adaptaciones realizadas en el horno solar han sido fundamentalmente de dos tipos: mejorar la capacidad y simplificar su construcción. Para ello se partió del diseño que se menciona en Nandwani, 1993, que se indica en Figura 1.

El mismo posee una cubierta vidriada horizontal de 0,785 m. de largo x 0,435 m. de ancho de doble vidrio que permite la transmisión de la energía solar hacia el interior del horno y la misma se ve aumentada mediante la colocación de un reflector cuyo ángulo de inclinación puede ser ajustado convenientemente dependiendo de la posición del sol y permite reflejar la energía incidente en el mismo directamente hacia la cubierta vidriada.

En la Figura 2 se indica un esquema de la adaptación realizada y en la Figura 3, la foto del mismo modelo construido. Como puede observarse, las mismas consistieron en colocar un doble vidriado sobre el lado que se orienta al norte y además la colocación de un reflector adicional que aumenta la radiación incidente sobre este vidriado. Tanto el reflector superior como el reflector inferior permiten proteger ambas superficies vidriadas en el momento que el horno no se utiliza o cuando queremos mantener la comida caliente en el interior, ver Fig. 4.

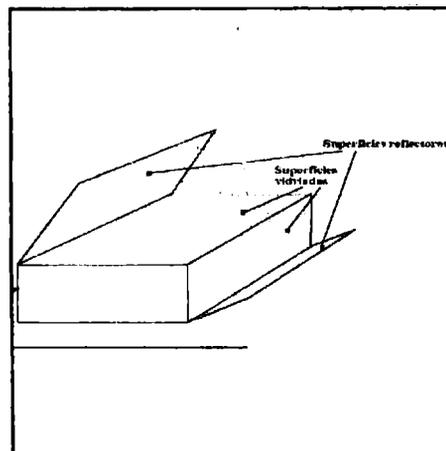


Figura 2: esquema de la adaptación realizadas.

METODOLOGIA DE EVALUACION

La metodología de evaluación ha sido el análisis analítico y experimental del comportamiento térmico. Para el análisis analítico se determinó la radiación solar incidente sobre cada cubierta, tratando luego de obtener la temperatura de equilibrio alcanzada por una determinada carga colocada en el interior.

La radiación solar incidente sobre cada cubierta se determina teniendo en cuenta la radiación solar recibida por el vidrio en su posición a la que se le adiciona la radiación solar recibida desde el reflector.

Se considera que en todo momento la cocina permanece orientada hacia el sol. Esta consideración es bastante cierta cuando se realizan correcciones posicionales cada 15 minutos, como sería en una cocción habitual.

Las pérdidas de energía del horno pueden dividirse en las pérdidas por la superficie de la cubierta vidriada (A_t) y las pérdidas por la superficie opaca (A_b). Los coeficientes de transferencia de calor correspondientes pueden definirse como U_t y U_b , respectivamente. La determinación del valor de los coeficientes de transferencia de calor se evaluaron según Channiwala et al, 1989.

La ecuación que gobierna la transferencia de calor en el horno solar es la siguiente:

$$S - (U_t A_t + U_b A_b) (T_p - T_a) = [\rho_l V_l C_{p_l} + m_r C_{p_r}] \frac{dT}{dt} \quad (1)$$

- donde:
- S: radiación solar absorbida por el recipiente [W]
 - U_t : coeficiente de transferencia de calor desde la superficie del recipiente al exterior por la cubierta vidriada [$W/m^2.C$]
 - U_b : coeficiente de transferencia de calor desde la superficie del recipiente por la pared opaca [$W/m^2.C$]
 - A_t : superficie de cubiertas vidriadas [m^2]
 - A_b : superficie de pared opaca [m^2]
 - T_p : temperatura de la superficie del recipiente que contiene el líquido que consideramos que es la misma del líquido [C]
 - T_a : temperatura del aire [C]
 - ρ_l : densidad del líquido utilizado [kg/m^3]
 - V_l : volumen del líquido [m^3]
 - C_{p_l} : calor específico del líquido [$J/kg.C$]
 - m_r : masa del recipiente utilizado [kg/m^3]
 - C_{p_r} : calor específico del material del recipiente [$J/kg.C$]
 - dT/dt : variación incremental de la temperatura del conjunto líquido+recipiente respecto al tiempo [C/s]

Operando convenientemente la ecuación (1) puede despejarse el valor de T_p y trabajando en diferencias finitas, puede conocerse el camino de la temperatura en función del tiempo. Para la evaluación se incluyó en el programa el calentamiento de 1 lt. de agua en el horno con cubierta inclinada (de menor capacidad) indicado en la Figura N°5 y 1,5 lts. en el horno de cubierta horizontal que posee mayor capacidad. Los resultados se indican en la Figura N° 6, se puede observar, el comportamiento de la temperatura simulada para el mes de junio para cada tipo de horno. Como puede observarse crece más rápidamente en el horno con cubierta inclinada, mientras que en el horno con cubierta horizontal, lo hace más lentamente debido a la mayor transmitancia térmica U de este último horno, dado la mayor cantidad de cubierta que posee.

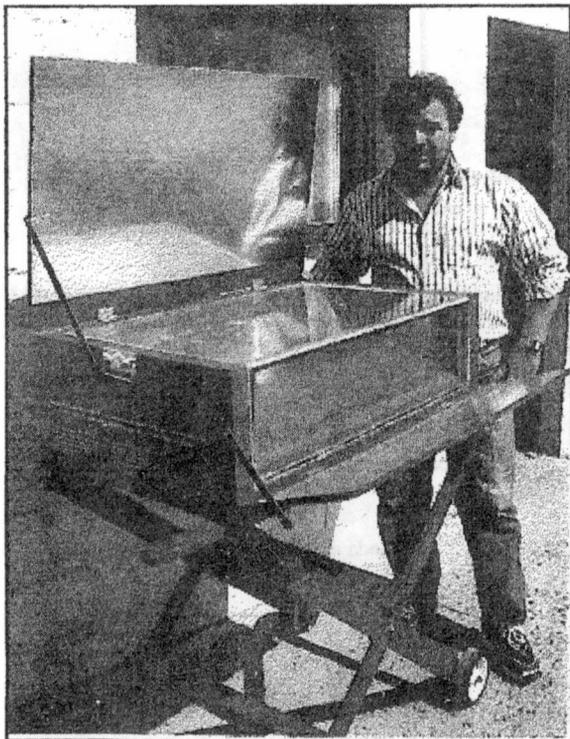


Figura 3: horno de cubierta horizontal.



Figura 5: Horno de cubierta inclinada.



Figura nº 4: vista del horno con los reflectores cerrados

La evaluación experimental consistió en incorporar un volumen de 1,5 lt de agua a la cocina solar de vidrio inclinado y 3 lts. a la cocina solar de vidrio plano dada la duplicación de su capacidad. Los resultados pueden observarse en la Fig. 7, en la que se indica también las temperaturas exterior y la radiación solar sobre superficie horizontal. Para esto se ha seguido lo indicado en ECSCR, 1993. El camino de las temperaturas no se diferencia de lo obtenido con la simulación. Se vuelve a demostrar que si bien existe una diferencia en el calentamiento correspondiéndole un menor rendimiento al horno de cubierta horizontal, la diferencia no resulta tan significativa a los efectos de una cocción que lleva normalmente entre 1,5 y 2 hrs. Es de destacar también, que los 3 lts. en el horno de vidrio horizontal se colocaron en dos ollas iguales a la colocada en el horno de vidrio inclinado cada una con 1,5 lts. Se ha observado que dado el corrimiento normal del sol, la olla ubicada sobre el lado oeste, tiene un calentamiento 4 C menor que la olla ubicada sobre el lado este. Este fenómeno se debe al efecto de reflexión del eastado interior sobre la olla.

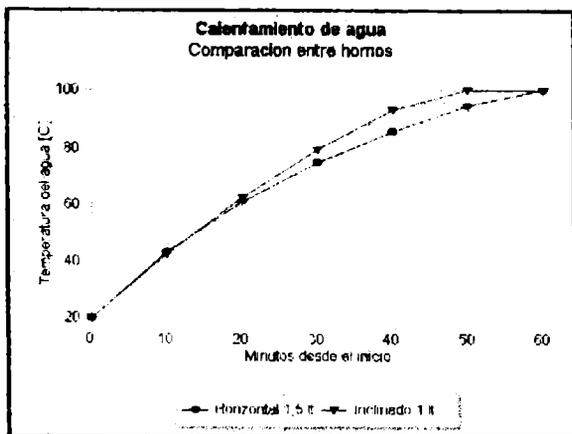


Figura 6: comparación de los dos hornos en el calentamiento de agua para el mes de junio y para la Ciudad de Mendoza

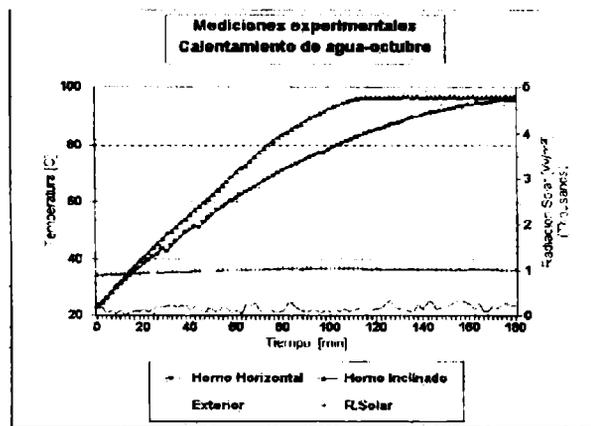


Figura 7: mediciones experimentales para la comparación térmica de los hornos.

CONCLUSIONES

El rendimiento térmico del horno propuesto resulta ser menor, debido a una mayor área vidriada. Sin embargo, las curvas de la Figura 6 corresponden al mes de Junio, cuando menos radiación hay y cuando más bajo se encuentra el sol. Podría esperarse que en otros meses del año, el horno de vidrio horizontal se comporte mejor.

Una de las ventajas importantes con que cuenta el horno de cubierta horizontal es la facilidad de construcción ya que todas las piezas son totalmente regulares y muy simples, cosa que no ocurre con el horno de cubierta inclinada que posee los costados formados de trapecios irregulares los que generan volúmenes interiores cuya aislación térmica resulta dificultosa y en la mayoría de los casos presenta puentes térmicos que disminuyen el rendimiento. Esto ha podido comprobarse al haberse transferido exitosamente a la Comunidad de Ñacuñán en Santa Rosa, Mendoza.

Otra ventaja es que mientras se duplica la capacidad de cocción, el costo de materiales sólo se multiplica por un factor de 1,5 cuando se lo compara con el horno de cubierta inclinada.

Las conclusiones indican que es posible construir un horno solar con cubierta horizontal que pueda ser utilizado en latitudes mayores a 30° incorporando en él área colectora sobre el lado norte del mismo y su funcionamiento no resulta tan diferente del horno de cubierta inclinada, tal como se ha comprobado en este trabajo.

REFERENCIAS

- Nandwani, Shyan (1993). "La Cocina Solar/Horno Solar". Ed. *Fundación UNA*. Heredia. Costa Rica. ISBN 9977-90639-4.
- Aalfs Mark (1995). "Principles of Solar Box Cooker Design". *Solar Cookers Review*, Vol. 1, N°3, pp. 20-23.
- Guzman M.T., Jury G., Durán E. (1992). "Evaluation of INCA-TECA Solar Cooking Program and Pilot Project in Villaseca, IV Región, Chile". *Nutrition and Food Technology Institute*. University of Chile
- Esteves A. y Cortegoso, J.L. (1996). "Manual de Autoconstrucción de un Modelo de Horno Solar y Cocina Solar Plana". Ed. *CRICYT*. ISBN 987-99668-1-3.
- Channiwala S.A., Doshi N.I. (1989). "Heat Loss Coefficients for Box-Type Solar Cookers". *Solar Energy* Vol.42, N° 6, pp.195-201.
- ECSCR, 1993. "Solar Cooker Test Procedure - Version 2". European Committee for Solar Cooking Research (ECSCR). Lodève. Francia.