

HORNO SOLAR TUBULAR CON CONCENTRADOR PARABÓLICO COMPUESTO

Tarifa H. Yamil¹, Di Lalla Nicolas¹, Díaz Andrés Emanuel¹, Hernández Alejandro Luis¹

¹INENCO (UNSa-CONICET), Av. Bolivia 5150, CP A4400FVY, Salta, Argentina.

RESUMEN: este trabajo se realizó en el marco de la cursada de la materia "Materiales de Construcción de Equipos Solares" de la Tecnicatura en Energías Renovables de la UNSa. En este sentido, se elaboró un horno tubular que opera con un reflector del tipo concentrador parabólico compuesto (CPC). El recinto de horneado es un tubo de 0,13 m de diámetro y 0,65 m de largo. El CPC posee un área frontal de captación de aproximadamente 0,45 m² (0,7 m x 0,65 m), la relación de concentración geométrica resultó de 1,7. Los ensayos térmicos mostraron, a pesar de la pequeña área de captación solar del dispositivo, que el horno pudo llegar al mediodía, en épocas de bajas temperaturas, a 120 °C, suficiente para poder realizar horneados. Se muestra el proceso de construcción y se detallan los materiales y técnicas utilizadas. Se presentan los resultados de los ensayos térmicos realizados, y para evaluar su funcionamiento práctico se realizaron horneados de panes y de budines.

Palabras clave: horno solar, tubular, CPC

INTRODUCCIÓN

Gran parte del territorio argentino carece de red de gas, solo el 58,4% de los hogares de Argentina disponen gas de red o electricidad para cocinar, el restante 42,6% usa garrafas o leña. Esta afirmación está respaldada por los resultados del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas de 2022 realizado por el INDEC. En el caso de utilización de garrafas su precio es mucho mayor que el gas de red. Por otro lado, si se utiliza leña o la quema de algún otro combustible, se pone en riesgo la salud de las personas por la inhalación de los gases de la combustión (OMS, 2022), además de ser métodos poco respetuosos con el medio ambiente, debido a la deforestación que generan (Abdela, 2019). Ante esta problemática, para dar una solución sustentable, desarrolladores que trabajan en el área de las fuentes renovables, proponen distintos tipos de cocinas solares (Erdem Cuce et al., 2013). Las de tipo caja acceden a moderadas temperaturas, y las de concentración pueden acceder fácilmente a temperaturas mayores a los 150 °C, ya sea las directas, como las indirectas (Di Lalla et al., 2022). Debemos resaltar la gran importancia de la utilización diaria de estas tecnologías por parte de comunidades aisladas (Padonou et al., 2022) y tratar de difundirlas. En este trabajo se propuso elaborar un horno solar capaz de alcanzar fácilmente temperaturas del orden de los 120 °C a 130 °C, valores que son suficientes para el horneado completo de pan (Vanina et al., 2009). Se decidió entonces la elaboración de un horno solar tubular que opere con radiación concentrada, utilizando un reflector de multisuperficie (Xinglong et al., 2019). Estos están pensados para aumentar el ángulo de aceptación, mejorar la eficiencia de interceptación de la luz y homogeneizar la distribución de energía en el absorbedor. En particular por la geometría del absorbedor se eligió la óptica CPC (Jiang et al., 2020), en este caso el reflector está compuesto por una involuta y una parábola. Entonces, elaboramos un horno solar tubular, de relativo bajo costo, que opera con un reflector del tipo CPC. Buscamos que el horno sea capaz de alcanzar temperaturas moderadas del orden de los 120 °C utilizando técnicas y materiales de bajos costos (en lo posible con materiales reciclados). Pensamos que este tipo de hornos solares puede ayudar, por lo menos como una solución complementaria, al reemplazo del uso de cocinas que utilizan electricidad, leña o gas envasado.

PARTE EXPERIMENTAL: DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO

Tubo colector

Las características y dimensiones utilizadas en el prototipo presentado aquí, se determinaron a partir del tamaño de dos budineras preexistentes (0,31 m x 0,12 m x 0,06 m cada una). Entonces para poder contenerlas, se decidió elaborar un tubo de 0,13 m de diámetro y 0,65 m de largo que actuará como horno. El tubo está construido con chapa galvanizada calibre 25 que fue cilindrada y agrafada. Su superficie externa fue ennegrecida con pintura negro mate para altas temperaturas. En los laterales del tubo se le colocaron sendas tapas discoidales elaboradas con madera. También se construyó una bandeja de aluminio para la colocación de los elementos a hornear (pan, budines, semillas, frutas, etc.).

Superficie reflectora

El CPC en el cual se dispone el tubo consta de una involuta y una parábola. El radio generatriz a partir del cual se trazó la involuta es el radio del tubo absorbedor ($R=0,065$ m). El perfil del CPC se diseñó de tal manera que la involuta y la parábola queden empalmados para lograr una buena apertura de captación solar. Su trazado se realizó a través del programa GeoGebra, en base a las clases del profesor Alejandro Hernández de la cátedra de "Materiales de Construcción de Equipos Solares" de la Tecnicatura en Energías Renovables de la UNSa. La Fig. 1 muestra el trazado a escala del medio perfil del CPC mediante el programa GeoGebra. El segmento de parábola (tramo BC) fue empalmado, a la involuta (tramo AB), a la altura del diámetro del círculo (punto B). Los rayos solares pueden llegar al tubo de manera directa, por simple reflexión en la involuta, o por doble reflexión primero reflejándose en la parábola y luego en la involuta (rayos 1, 2 y 3 de la Fig. 1).

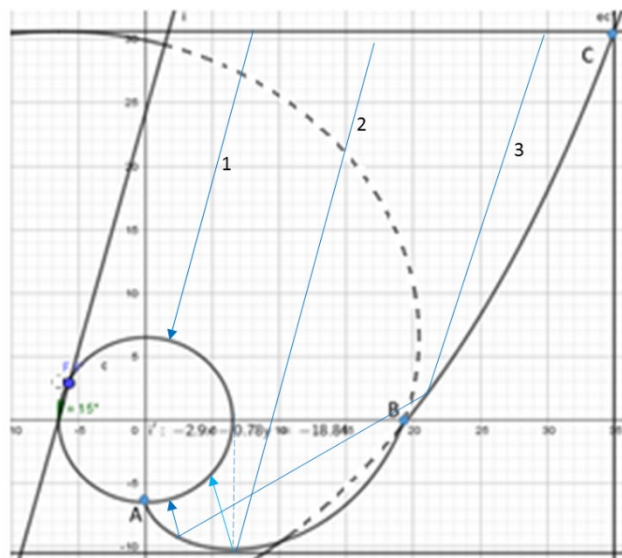


Figura 1. Trazado a escala del perfil CPC mediante el programa GEOGEBRA.

El reflector se elaboró con la utilización de lámina de aluminio reflectante, en nuestro caso reciclada, cuya reflectancia original en el espectro visible era de 82%. Este reflector tiene un área de captación de $0,7 \text{ m} \times 0,65 \text{ m} = 0,45 \text{ m}^2$. La relación de concentración geométrica definida como el cociente entre el área de captación y el de absorción resultó de $0,455/0,265=1,7$.

Armado del horno

Las láminas reflectantes están soportadas mediante costillas con la forma del CPC realizadas con placas de madera de 10 mm de espesor. La estructura externa del horno fue elaborada con placas de madera reciclada de $\frac{3}{4}$ de pulgada de espesor, a la cual se le practicó una puerta lateral a la altura del tubo absorbedor, de $0,16 \text{ m} \times 0,16 \text{ m}$ para ingresar los elementos a hornear. En la parte interna de la estructura se colocó una aislación de 40 mm de espesor de poliestireno expandido de baja densidad, 15 kg/m^3 . La cubierta transparente es de vidrio de ventana de 4 mm de espesor, también reciclado. En

la Fig. 2 se muestra un esquema en corte del horno con sus dimensiones externas. La Fig. 3 muestra parte del armado del horno, y la Fig. 4 muestra la foto del horno terminado.

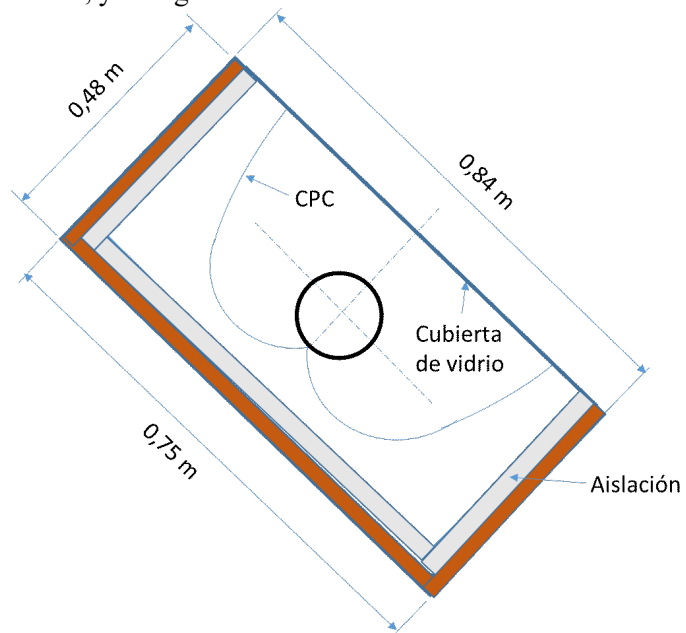


Figura 2. Esquema lateral del horno y sus medidas externas



Figura 3. Ubicación del tubo absorbedor y las láminas reflectantes.



Figura 4. Foto del horno tubular CPC terminado.

RESULTADOS

Mediciones térmicas

Las mediciones térmicas realizadas en el prototipo se basaron fundamentalmente en observar como varia la temperatura dentro del horno sin carga térmica, desde la mañana hasta horas del mediodía, estableciendo cual es la temperatura alcanzada a las 12:00 hs, y así evaluar si está listo para su utilización en ese momento. Las mediciones fueron efectuadas en días de invierno en la Ciudad de Salta. Se utilizaros dos termocuplas tipo K (error estimado $\pm 0,5$ °C), una puesta en el centro del horno y otra en el ambiente exterior. Las temperaturas fueron registradas por intermedio de un adquisidor de datos modelo MyPCLab de NOVUS. La base de tiempo de los registros de temperaturas, corresponden en todos los casos a la hora oficial local (la cual se encuentra 1 hora y 27 minutos adelantada respecto de la hora solar). La irradiancia (W/m^2) se midió con un solarímetro fotovoltaico portátil, de error aproximado de ± 10 W/m^2 , ubicado en el plano de captación del reflector, el cual se orientó estacionariamente al Norte e inclinado con una pendiente de $\beta \approx 45^\circ$.

Evolución diaria de la temperatura interna del tubo

Se evaluó la evolución de temperatura del horno sin carga en un día claro desde la mañana hasta el mediodía. La Fig. 5 muestra el resultado. Se observa que a las 12:00 hs el horno alcanzó 110 °C, temperatura suficiente para iniciar un horneado. El máximo de temperatura fue de 120 °C a las 12:45 hs. Los valores de irradiancia correspondientes a esta medición se muestran en la Tabla 1.

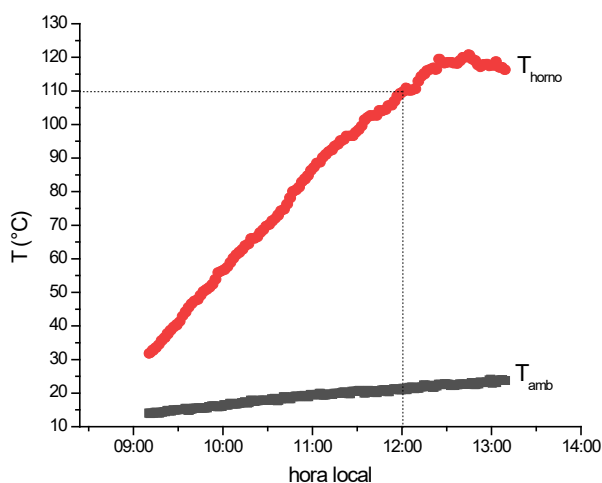


Figura 5. Evolución de temperatura en el interior del horno en un día de invierno.

Tabla 1. Irradiancias correspondientes al día en que se efectuó la evaluación del horno.

hora	Irradiancia (W/m^2)
09:00	57
09:30	104
10:00	197
10:30	450
11:00	501
11:30	670
12:00	780
12:30	850
13:00	880
13:30	840
14:00	732
14:30	775

15:00	700
15:30	670
16:00	236
16:30	162
17:00	60

Horneado de un budín

Para probar el horno en situación real se realizaron varios horneados de pan y de budines. Por ejemplo, en el caso del horneado del budín, éste fue ingresado al horno aproximadamente a las 11:50 hs con una masa húmeda de 0,75 kg con el horno a una temperatura de 112 °C. Al cabo de aproximadamente 2 horas se completó la cocción. La masa perdió aproximadamente un 15% de su peso inicial resultando una pieza horneada de 0,65 kg. En la Fig. 6 se observan los registros de las temperaturas del horno durante el horneado del budín, y en la Fig. 7 se muestra una foto del resultado obtenido.

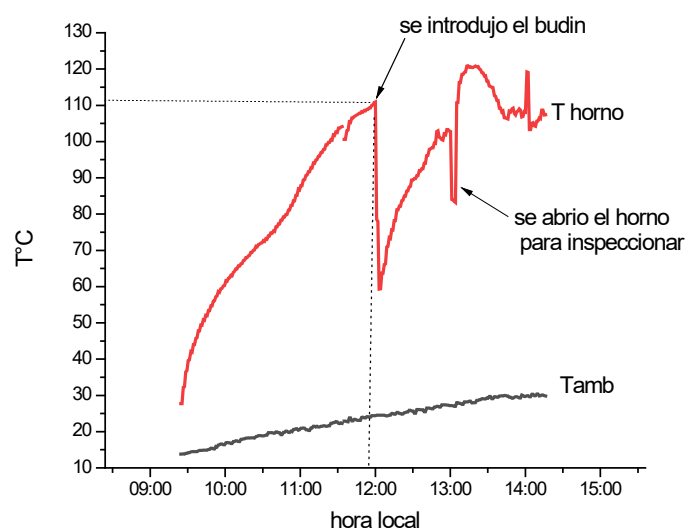


Figura 6. Evolución de temperatura en el horneado de un budín.



Figura 7. Foto del resultado del horneado del budín

Además, se pudo hornear una tira de pan integral de aproximadamente 0,75 kg, y galletas (Fig.8).



Figura 8. Fotos de horneados de pan integral, un budín y galletas.

CONCLUSIONES

A pesar de la utilización de materiales reciclados y el empleo de técnicas constructivas sencillas hemos elaborado un horno solar que cumple su función en tiempo y forma.

Si bien posee un área de colección pequeña ($0,45 \text{ m}^2$) el horno pudo alcanzar, al mediodía y en invierno, una temperatura cercana a los 120°C .

Con las dimensiones, materiales y técnicas utilizadas en la construcción de este horno solar, se podría elaborar aproximadamente $0,7 \text{ kg}$ de pan integral por día.

Se concluye que, por simpleza, practicidad y desempeño, el modelo de este horno solar puede ser replicado pudiendo, para ciertas tareas de cocción, reemplazar la utilización de fuentes convencionales no renovables para esta actividad, ayudando a la economía doméstica y al medio ambiente.

REFERENCIAS

- Abdela, Umer. (2019). Review on Environmental and Social Impacts of Rural Household Traditional Biomass Energy Utilization. Journal of Energy Technologies and Policy Vol.9, No.9.
- Di Lalla N., Díaz A., Hernández A. (2022). Cocina Solar de Alto Rendimiento con Aplicación de Tubo Evacuado Selectivo y Concentrador CPC. Actas de la XLIV Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente. Vol. 9, pp 30-38 2022 ISBN 978-987-29873-1-2.

- Erdem Cuce, Pinar Mert Cuce (2013). A comprehensive review on solar cookers. *Applied Energy*. Volume 102, Pages 1399-1421.
- Jiang C., Yu L., Yang, S., Li K., Wang, J., Lund, P. D., & Zhang, Y. (2020). A review of the compound parabolic concentrator (CPC) with a tubular absorber. *Energies*, 13(3), [695]. <https://doi.org/10.3390/en13030695>.
- OMS (2022). Household air pollution and health. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>.
- Padonou E.A., Akabassi G.C., Akakpo B. A., Sinsin B. (2022). Importance of solar cookers in women's daily lives: A review *Energy for Sustainable Development*, Volume 70, October 2022, Pages 466-474.
- Xinglong Ma., Hongfei Zheng, Shuli Liu, (2019). Review on Solar Concentrators with Multi-surface and Multi-element Combinations. *Journal of Daylighting* 6(2):80-96. DOI:10.15627/jd.2019.9.
- Vanina T., Lucasa and Trystram G., (2009). Crust formation and its role during bread baking. *Trends in Food Science & Technology* 20.

TUBULAR SOLAR OVEN WITH COMPOUND PARABOLIC CONCENTRATOR

ABSTRACT: This work was carried out within the framework of the subject "Materials for Construction of Solar Equipment" of the Renewable Energy Technicature of the UNSa. In this sense, a solar tubular oven was developed that operates with an anidolic-type reflector concentrator (compound parabolic concentrator or CPC). The baking chamber is a tube 0,13 m in diameter and 0,65 m long. The CPC has a frontal solar collection area of approximately 0,45 m² (0,7 m x 0,65 m), the geometric concentration ratio was 1,7. The thermal tests showed, despite the small solar collection area of the device, that the oven could reach 120 °C at noon, in times of low temperatures, enough to be able to carry out baking. The construction process is shown and the materials and techniques used are detailed. The results of the thermal tests carried out are presented, and to evaluate its practical operation, baked breads and puddings were carried out.

Keywords: solar oven, tubular, CPC