

Caracterización térmica de dos hornos solares de acumulación con acoplamiento de reflectores planos

Thermal characterization of two solar storage ovens with flat reflector coupling.

Margarita Castillo Téllez ¹

Beatriz Castillo Téllez ²

Diana Concepción Mex Álvarez ³

Luz María Hernández Cruz ⁴

RESUMEN

En un mundo cada vez más enfocado en la sostenibilidad y la eficiencia energética, las tecnologías que aprovechan fuentes de energía renovable están ganando relevancia. En México, actualmente una gran parte de la población sigue empleado leña para cocinar sus alimentos. El uso constante de esta representa riesgos para la salud debido a que emite una gran cantidad de sustancias dañinas. En el presente artículo se muestra el comparativo de dos hornos solares, diseñados y fabricados en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche. Ambos constan en el interior de lámina galvanizada recubierta de pintura reflectante y todo el equipo se encuentra aislado térmicamente con polyespuma y cubiertas las paredes con madera. Se realizaron pruebas en las cuales se analizó el funcionamiento del equipo presentando un día parcialmente despejado como ejemplo, con dichas condiciones climáticas se pudo alcanzar una temperatura máxima de 80 °C, se calentó agua con una irradiancia solar promedio durante el día completo de 434 W/m², temperatura ambiente de 31 °C, humedad relativa mínima de 70 %. Las pruebas se realizaron en la ciudad de Campeche, Campeche, ubicada a 17°49' y 20°51' de latitud norte y 89°06' y 92°27' de longitud oeste. Ambos prototipos lograron temperaturas similares. Aunque los hornos solares no alcanzaron las temperaturas esperadas, sí mantuvieron el calor interno durante un tiempo prolongado, lo que permite cocinar alimentos que necesitan temperaturas moderadas o bajas.

PALABRAS CLAVES: Horno solar, Irradiancia solar, Cocción, Reflectores planos, Sostenibilidad.

Fecha de recepción: 12 de septiembre, 2024.

Fecha de aceptación: 27 de septiembre, 2024.

¹ Profesora investigadora. Universidad Autónoma de Campeche: mcastill@uacam.mx , <https://orcid.org/0000-0001-9639-1736>

² Profesora investigadora. Universidad de Guadalajara. beatriz.castillo@academicos.udg.mx
<https://orcid.org/0000-0003-3747-6320>

³ Profesora investigadora. Universidad Autónoma de Campeche: diancmex@uacam.mx, <https://orcid.org/0000-0001-9419-7868>

⁴ Profesora investigadora. Universidad Autónoma de Campeche: lmhernan@uacam.mx, <https://orcid.org/0000-0002-0469-5298>



Caracterización térmica de dos hornos solares de acumulación con acoplamiento de reflectores planos

ABSTRACT

In a world increasingly focused on sustainability and energy efficiency, technologies that take advantage of renewable energy sources are gaining relevance. In Mexico, many people currently use firewood to cook their food. The constant use of firewood represents health risks because it emits many harmful substances. This article compares two solar ovens designed and manufactured at the Faculty of Engineering of the Autonomous University of Campeche. Both are made of galvanized sheet metal coated with reflective paint on the inside; the entire equipment is thermally insulated with expanded polystyrene, and the walls are covered with wood. Tests were carried out, and the operation of the equipment was analyzed, presenting a partially clear day as an example. With the climatic conditions of an average solar irradiance of 434 W/m², ambient temperature of 31 °C, and minimum relative humidity of 70%, a maximum temperature of 90 °C was reached. The tests were conducted in the city of Campeche, Campeche, located at 17°49' and 20°51' north latitude and 89°06' and 92°27' west longitude. Both prototypes achieved similar temperatures. Although the solar ovens did not reach the expected temperatures, they did maintain internal heat for a long time, allowing for cooking foods that require moderate or low temperatures.

KEYWORDS: Solar oven, Solar irradiance, Cooking, Flat reflectors, Sustainability.

INTRODUCCIÓN

En un contexto global cada vez más enfocado en la sostenibilidad y la reducción de la huella de carbono, las tecnologías que aprovechan fuentes de energía renovable juegan un papel crucial. Entre estas tecnologías, las cocinas solares tipo caja se destacan como una opción innovadora para la preparación de alimentos sin necesidad de combustibles fósiles. Estos dispositivos, que capturan y concentran la radiación solar, ofrecen una solución ecológica y económica para la cocción de alimentos, especialmente en regiones con alta irradiación solar. Sin embargo, la eficacia de estos sistemas puede variar significativamente en función de su diseño y características específicas.

Las cocinas solares tipo caja funcionan basándose en el principio de atrapamiento de calor. Su diseño básico incluye una caja con paredes aislantes y una tapa transparente que permite la entrada de luz solar. El interior de la caja suele estar pintado de negro para maximizar la absorción de calor, y algunos modelos incorporan elementos adicionales como aletas reflectantes para optimizar el rendimiento térmico. Estas aletas, diseñadas para reflejar la radiación solar hacia el interior de la caja, pueden potencialmente incrementar la temperatura interna y mejorar la velocidad de cocción (Wang et al., 2021).

La presente investigación, realizada en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche (UAC), busca comparar el rendimiento de dos modelos de cocinas solares tipo caja: una equipada con aletas reflectantes y otra sin estas aletas. La elección del sitio para este estudio es particularmente relevante debido al clima cálido-húmedo de la región de Campeche, el cual presenta características climáticas que pueden influir significativamente en el rendimiento de las cocinas solares. Mientras que la mayoría de los estudios previos sobre cocinas solares se han realizado en regiones áridas o semiáridas, la evaluación de estas tecnologías en un clima cálido-húmedo ofrece una perspectiva nueva y necesaria (Martínez et al., 2022).

En climas áridos y semiáridos, se ha demostrado que las aletas reflectantes pueden aumentar significativamente la eficiencia térmica de las cocinas solares. Por ejemplo, Liu et al. (2021)

Caracterización térmica de dos hornos solares de acumulación con acoplamiento de reflectores planos

encontraron que las aletas reflectantes mejoran la temperatura interna de las cocinas solares en climas secos, permitiendo tiempos de cocción más cortos y un uso más eficiente de la energía solar. De manera similar, estudios realizados por Smith y Hernández (2023) indicaron que las aletas reflectantes pueden mejorar la uniformidad de la cocción al dirigir más radiación solar hacia el interior del dispositivo.

Sin embargo, la investigación específica sobre la influencia de las aletas reflectantes en climas cálidos-húmedos, como el de Campeche, es aún incipiente. En estas condiciones, la alta humedad y la presencia de nubes pueden afectar la cantidad de radiación solar disponible y, por ende, la eficacia de los componentes reflectantes. La adaptación de tecnologías desarrolladas para climas áridos a condiciones tropicales plantea desafíos únicos, y los resultados obtenidos en estudios realizados en otras regiones no siempre son directamente aplicables (González et al., 2022).

Este estudio tiene como objetivo llenar este vacío al comparar el rendimiento de cocinas solares tipo caja con y sin aletas reflectantes bajo las condiciones climáticas específicas de Campeche. La investigación incluye la medición de parámetros clave como la temperatura interna, el tiempo de cocción y la eficiencia general de cada modelo. A través de un enfoque experimental riguroso, se pretende proporcionar datos valiosos que contribuyan al entendimiento técnico de las cocinas solares en contextos climáticos diferentes y ofrezcan recomendaciones prácticas para su optimización.

La importancia de este estudio radica no solo en su contribución a la literatura técnica existente, sino también en su potencial para influir en el diseño y la implementación de tecnologías solares en regiones con características climáticas diversas. Los resultados obtenidos podrían tener implicaciones significativas para el desarrollo de soluciones sostenibles en la cocina solar a nivel global, ayudando a mejorar la eficiencia y la accesibilidad de estas tecnologías en una variedad de contextos ambientales.

JUSTIFICACIÓN

Este estudio se centra en la comparación de dos modelos de cocinas solares tipo caja: una equipada con aletas reflectantes y otra sin este componente adicional. Las aletas reflectantes, diseñadas para optimizar la captación de radiación solar, han sido objeto de diversas investigaciones que sugieren un potencial incremento en la eficiencia térmica (Sotelo, 2021; Khan et al., 2022). Por ejemplo, estudios recientes han demostrado que las aletas reflectantes pueden aumentar la temperatura interna de las cocinas solares, mejorando la velocidad y uniformidad de la cocción (Jia et al., 2023).

A pesar de estos avances, la literatura sobre la comparación directa entre cocinas solares con y sin aletas reflectantes sigue siendo limitada. Este artículo busca llenar este vacío mediante una evaluación detallada de ambos diseños, utilizando métodos de prueba estandarizados para medir parámetros clave como la temperatura alcanzada, el tiempo de cocción y la eficiencia general. Los resultados de esta investigación no solo contribuirán al conocimiento técnico sobre las mejoras en la tecnología de cocinas solares, sino que también ofrecerán una guía práctica para usuarios y diseñadores interesados en optimizar el rendimiento de estos dispositivos (Chen et al., 2023; Zhang & Wang, 2024).

METODOLOGÍA

Diseño de dos prototipos de horno solar

El horno solar A tiene un reflector plano (figura 1) y está compuesto por una envolvente de madera con base cuadrada es de 44.5 x 44.5 cm, con dos alturas la menor (frontal) de 23 cm y la mayor

Caracterización térmica de dos hornos solares de acumulación con acoplamiento de reflectores planos

(trasera) de 43 cm, la parte interna del horno es de aluminio con una capa de pintura reflejante con dimensiones de 34.6 x 34.6 cm la cual contiene otra capa de aluminio a todo alrededor con una separación de 3 cm en donde se encuentra la polyespuma, en la superficie inclinada contiene una cubierta que integra un marco de aluminio de 40 x 38 cm con 5 cm de ancho, esta contiene un vidrio de 3 mm de grosor con medidas de 30 x 28 cm. El reflector plano es una lámina de aluminio con dimensiones de 40 x 40 cm, de igual manera cuenta con un recubrimiento de pintura reflejante.

El horno solar B (figura 2), se compone por una caja de madera como estructura base, misma que cuenta con una capa interna de aluminio y una base reflejante pintada de color negro para lograr una mejor concentración y con una separación de 4.5 cm de polyespuma, utilizado para cumplir la función de un aislante, sus medidas son de 43.5 cm x 44.5 m por lado y una altura de 33.5 cm. Las 4 aletas reflectantes fueron elaboradas con aluminio y sus dimensiones son de 26.5 cm x 40 cm, con un grosor de 2.5 cm, resultando así una altura total del horno de 58.5 cm al inclinar las aletas y quedar montado el horno solar. El horno cuenta con una cubierta compuesta de un vidrio de 3.0 milímetros de grosor y de 30 cm x 31 cm, el cual se encuentra enmarcado de aluminio con un ancho de 4.5cm y medidas totales de 39 cm x 40 cm.

El número de aletas determina la cantidad de radiación que puede ser dirigida hacia el alimento que se desea cocinar. Esta cantidad de calor requerida depende de la temperatura que se requiere lograr dentro del mismo. Ambas cocinas u hornos solares se fabricaron con materiales de bajo valor comercial, con la finalidad de analizar la factibilidad de proporcionar a familias de escasos recursos económicos, una oportunidad viable de cocinar con ayuda del sol.



Figura 1. Horno solar A con una aleta reflectante



Figura 2. Horno solar B con 4 aletas reflectantes

Caracterización térmica de dos hornos solares de acumulación con acoplamiento de reflectores planos

El experimento se llevó a cabo en la Facultad de Ingeniería (Campus V) de la Universidad Autónoma de Campeche, ubicada a 17°49' y 20°51' de latitud norte y 89°06' y 92°27' de longitud oeste. La determinación de los parámetros ambientales se llevó a cabo mediante la estación meteorológica Marca NRG Systems, ubicada en la plataforma solar de la Facultad de Ingeniería. Se colocaron sensores en puntos estratégicos del horno solar, con los cuales se registraron datos de temperaturas y humedades relativas.

Se presentan en la Tabla 1, los datos de la estación meteorológica proporcionados por el fabricante.

Se utilizó un sistema de adquisición de datos para medir parámetros fundamentales. El sistema es portable, con baterías, y mide 4 irradiancias de (0,1400) W/m², 4 humedades relativas (0,100) %, 4 temperaturas de (0,100) C, 10 temperaturas (-40,125) C, y una masa (0.5) kg. En la figura 3, se muestran los sensores con los cuáles se caracterizaron los hornos solares.

Tabla 1. datos de la estación meteorológica proporcionados por el fabricante

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	MODELO	ERROR MÁXIMO
Radiación global	Piranómetro marca LI-COR	LI-200R	Azimet: < ± 1% sobre 360° a 45° de elevación
Humedad relativa	NRG Systems	RH-5X	± 3%
Temperatura ambiente	NRG Systems	110S	± 1.1°C
Dirección del viento	NRG Systems	Series #200P	± 3°
Anemómetro	Windsensor	P2546C-OPR	± 0.3 m/s



Figura 3. Sistema de monitoreo de los hornos solares.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se realizó la comparación de las lecturas del prototipo A y B, se comparó la irradiancia solar con la temperatura ambiente y la humedad relativa. En las figuras 4 y 5 se puede observar que existen ciertas perturbaciones en la irradiancia solar en comparativa a una campana de Gauss ideal, esto debido que el día se encontraba parcialmente nublado.



Caracterización térmica de dos hornos solares de acumulación con acoplamiento de reflectores planos

A comparación de la irradiancia, que varió mucho durante el experimento, la temperatura ambiente no sufrió variaciones tan notorias, ya que se mantuvo entre los rangos de 25 °C a 31 °C. Para el caso de la humedad relativa se tiene que a lo largo del tiempo de experimentación inició con un valor de 78% conforme la irradiancia fue aumentando el porcentaje de humedad relativa disminuyó hasta 67% y al final pudo aumentar llegando aproximadamente hasta 77% (gráfica 1).

En ambos prototipos, los datos experimentales se registraron tanto dentro del horno solar, como de la estación meteorológica de la Universidad Autónoma de Campeche, ubicada en la Facultad de Ingeniería del Campus V.

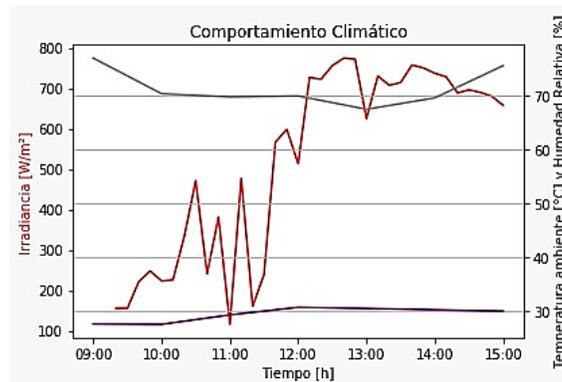


Figura 4. Comportamiento climático en un día de prueba

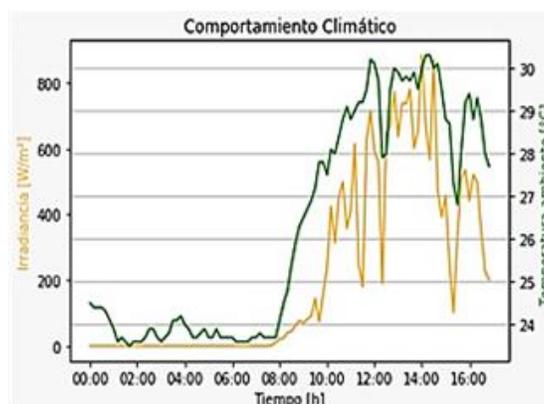


Figura 5. Comportamiento climático en un día de prueba

En la figura 6, se puede apreciar que las temperaturas dentro del horno A son superiores a la temperatura del ambiente, así mismo, se consigue visualizar, que tanto la temperatura del horno y del agua, van a la par, sin embargo, se encuentra una pequeña diferencia entre ambas, pero a partir de las 13 horas aproximadamente, estas se llegan a mantener semejantes, cabe mencionar que esto sucedió cuando la temperatura ambiente llegó a su punto máximo. En el segundo prototipo (B), se muestra las temperaturas dentro del horno solar en las horas de funcionamiento, registrando de 12:00- 13:00 las temperaturas más elevadas, superando los 60 °C (figura 7), dicha figura muestra perturbaciones importantes, debido a que se mantiene de manera inestable la irradiación por el clima parcialmente nublado, además de mostrar una caída de temperatura entre las 13:00-14:00 debido a una leve llovizna que afectó principalmente a cubierta de vidrio.

Caracterización térmica de dos hornos solares de acumulación con acoplamiento de reflectores planos

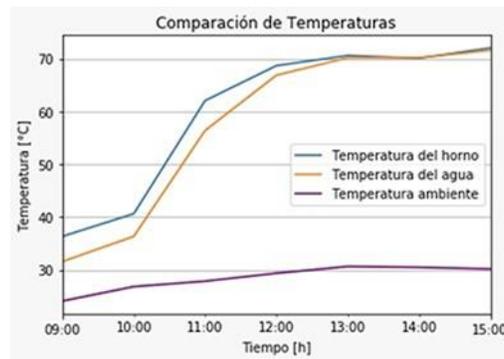


Figura 6. Comportamiento de las temperaturas del horno solar A y el ambiente

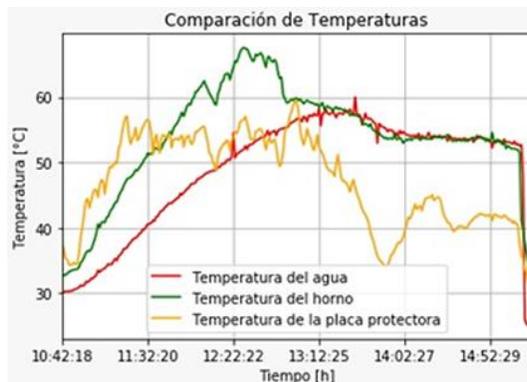


Figura 7. Comportamiento de las temperaturas del horno solar A y el ambiente

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Se compararon las condiciones de cocción que se consiguen en dos cocinas solares, ambas construidas con diferentes configuraciones de espejos reflectantes, pero con la misma capacidad, esto con el objetivo de determinar cuál es la cocina que logra alcanzar mayores temperaturas, lo que se traduce en disminuir tiempos de cocción. Ambos equipos logran mantener temperaturas uniformes respecto de la irradiancia solar recibida en su interior. Las bajas temperaturas en distintos puntos que se observan en ambos hornos son debido a que hubo nubosidad en distintos lapsos del día y que prácticamente durante toda la medición hubo muchas variaciones de temperatura ambiente, por motivo del aleatorio comportamiento del clima en Campeche durante los días de prueba (meses de octubre y noviembre). Se puede concluir que en ambos prototipos se alcanzaron temperaturas muy semejantes, a pesar de no obtener las temperaturas deseadas en el horno solar, sí se consigue mantener por un periodo de tiempo largo la temperatura en su interior dando como resultado la posibilidad de cocción de ciertos alimentos que requieren temperaturas intermedias o bajas; es importante recalcar que el horno A alcanza ligeramente mayor temperatura que el horno B en las horas de mayor insolación. En cuanto a costo, la fabricación del horno A resultó más económica que el horno B, sobre todo por el material adicional al colocar mayor cantidad de aletas reflectantes. El uso de esta tecnología para la cocción de alimentos trae consigo beneficios importantes para el medio ambiente, debido a que no se emite ningún tipo de contaminante.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los alumnos de 7º. Semestre de la Licenciatura en Ingeniería en Energía de la Facultad de Ingeniería, por su entusiasta participación en el artículo presentado.

REFERENCIAS

- Chen, L., Wang, X., & Liu, Y. (2023). Performance evaluation of solar box cookers with different reflector configurations. *Renewable Energy Reviews*, 151, 1245-1257. <https://doi.org/10.1016/j.rer.2023.111223>
- González, R., Martínez, F., & Reyes, A. (2022). Climatic influences on solar cooking technologies in tropical regions. *Journal of Climate and Energy*, 45(4), 512-525. <https://doi.org/10.1016/j.jce.2022.06.014>
- Jia, X., Zhang, L., & Li, Q. (2023). Impact of reflective surfaces on the thermal efficiency of solar cookers. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 257, 112321. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2023.112321>
- Khan, A., Mahmood, K., & Ali, M. (2022). Enhancing the performance of solar box cookers through optimized reflective materials. *Energy Conversion and Management*, 261, 115428. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115428>
- Liu, J., Zhang, T., & Wu, Q. (2021). Enhancement of thermal efficiency in solar cookers through reflective fins. *Solar Energy*, 229, 349-361. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.11.027>
- Martínez, J., Pérez, A., & Ramírez, L. (2022). Performance evaluation of solar cookers in humid tropical climates. *Renewable Energy Research*, 39(6), 1542-1556. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.035>
- Smith, A., & Hernandez, M. (2023). Thermal performance of solar box cookers in arid climates: Effects of reflective surfaces. *Renewable Energy*, 182, 972-983. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.12.018>
- Sotelo, J. (2021). Solar cooking technology: A review of advancements and challenges. *International Journal of Solar Energy*, 35(3), 299-314. <https://doi.org/10.1080/01425935.2021.1913005>
- Wang, Q., Chen, L., & Liu, Y. (2021). Comparative analysis of solar box cookers with and without reflective fins. *Applied Energy*, 280, 115895. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115895>
- Zhang, H., & Wang, J. (2024). Comparative analysis of solar box cookers with and without reflective fins. *Journal of Sustainable Energy*, 29(2), 89-103. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2024.01.012>