

Estufas solares de acumulación: simulación térmica comparativa entre Tradicional y Prisma Hexagonal

Arleth M. Hernandez-Romero ¹, Nallely Téllez-Méndez ¹, Enrique de la Fuente-Morales ¹, Laura A. Paniagua Solar ¹ y Jorge Cotzomi-Paleta ²

¹ Facultad de Ciencias de la Electrónica, BUAP, Puebla, Puebla, México.

² Instituto de Física, BUAP, Puebla, Puebla, México.

* Autor de correspondencia: nallely.tellez@correo.buap.mx

Artículo de divulgación científica

Recibido: 27 de septiembre de 2024

Aceptado: 24 de octubre de 2024

Publicado: 26 de diciembre de 2024

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v3i1.211>

Resumen: Las personas que viven en zonas remotas o rurales en México tienen mayor dificultad para acceder a servicios básicos como son: agua, drenaje, energía eléctrica, estufas de gas LP entre otras. La implementación de tecnologías sustentables como lo son las estufas solares de acumulación ofrecen una alternativa para satisfacer las necesidades de cocción de alimentos, en este trabajo se presenta el diseño y simulación de dos estufas solares de acumulación una tipo convencional y prisma hexagonal; los resultados obtenidos muestran que la estufa hexagonal alcanza una temperatura de 30°C más alta comparada con la tradicional; asimismo, una eficiencia térmica y potencia de cocción mayor, lo que indica puede ser una alternativa para su implementación en zonas rurales donde el acceso a gas LP es nulo.

Palabras clave: Energía solar; eficiencia; cocinar con calor

Introducción

México participó activamente en el establecimiento de la agenda 2030, proponiendo los principios de igualdad, inclusión social y económica entre otros; además, consideró abatir la pobreza retomando los derechos de las personas como alimentación, educación, salud, seguridad social y servicios básicos en las viviendas. (ONU, 2024)

Datos del INEGI indican que el 11% de población depende en gran medida del uso de leña o carbón para calentar y cocinar sus alimentos (INEGI, Información Demográfica y Social, 2018). El uso de este tipo de combustibles afecta la salud de las personas especialmente mujeres y niños por la exposición a gases derivados de la quema de estos combustibles, además de que degradan la calidad del ambiente debido a que favorecen el efecto invernadero y el calentamiento global. La deforestación es otra problemática derivada del uso de combustibles sólidos (carbón y la leña) ya que la población necesita obtenerlos para su consumo (Trubetskaya *et al.*, 2021).

Por ello, es importante la implementación de tecnologías sustentables como lo son las estufas solares de acumulación dado que ofrecen una alternativa para satisfacer las necesidades de cocción de alimentos y al mismo tiempo contribuye favorablemente en la problemática del deterioro ambiental por la emisión de gases de efecto invernadero producidos; apoyando así, al cumplimiento de los objetivos de Desarrollo Sostenible.

Desarrollo

Características de la zona de estudio

Las simulaciones se desarrollaron considerando las características de la capital de Puebla que tiene las coordenadas de 19°02'16.6" N y 98°12'12.5" W; con una irradiación de entre los 6 y 6.2 kWh/ m² (García, 2002), la mayor parte del territorio poblano tiene clima templado con diversos grados de humedad, la región central donde se ubica la capital posee un clima templado subhúmedo con precipitaciones durante el verano (INEGI, 2020).

Para las simulaciones realizadas se seleccionaron dos fechas, la primera refiriéndose al día con mayor cantidad de luz, que es el 21 de junio y el segundo día con menor cantidad de luz que es el 21 de diciembre (García, 2021). Además, se estableció el parámetro de la temperatura ambiente, de 25°C para la primera fecha y 20°C para la segunda. Sin embargo, aunque la simulación se estableció para este lugar en específico, la estufa solar de acumulación puede ser implementada en cualquier lugar de la república mexicana.

Dimensiones de la estufa solar

Una estufa solar de acumulación permite cocer alimentos mediante el fenómeno de efecto invernadero, por lo que es necesario una cubierta de vidrio transparente que permita el paso de los rayos solares y evita pérdidas de calor; además un aislante térmico para mantener el calor localizado; también, una placa absorbente en la parte inferior de la caja y reflectores para incrementar la acumulación de calor (García, 2002) (Salazar, 2022).

En la Tabla 1, se muestran las dimensiones de la estufa de acumulación solar prisma hexagonal y convencional. La determinación de las dimensiones se realizó considerando el tamaño estándar para una estufa tradicional de acumulación tipo caja.

Tabla 1. Dimensiones geométricas de las estufas de acumulación convencional y prisma hexagonal.

Estufa solar de acumulación	Cubierta (m ²)	Reflector (m ²)	Tapa (m ²)	Agua (L)
Convencional	0.12	0.42	0.0314	2
Prisma hexagonal	0.096	1.03	0.0314	2

Simulación térmica

En el desarrollo de proyectos de ingeniería se requieren herramientas computacionales que permitan diseñar en 3D, así como realizar la simulación de los diseños para identificar fallas y optimizarlos. Una de estas herramientas es el diseño asistido por computadora (CAD por sus siglas en inglés) en este rubro se utilizó el Software SolidWorks debido a que es uno de los programas más completos por que brinda las opciones de diseño, manufactura y simulación.

Condiciones de Simulación

La simulación se realizó para dos escenarios, el día con mayor y menor cantidad de luz (García, 2021): 21 de junio y 21 de diciembre respectivamente. Para el primer escenario del (21 de junio) se configuró una temperatura ambiente de 25°C considerando las características de la época de verano donde las temperaturas son mayores, en la opción de nubosidad se estableció en 0%, es decir, un cielo despejado. El segundo escenario se configuró una temperatura ambiente de 20°C y la nubosidad se estableció un 20%.

Para la simulación de la eficiencia térmica de ambos modelos se realizaron las siguientes consideraciones:

- Se considero al calor específico del agua como constante ya que posee la misma densidad durante todo el periodo.
- El recipiente de cocción ubicado en el interior de la estufa es un sistema cerrado.
- La pérdida de calor hacia el medio ambiente por las paredes de la estufa solar es mínima.

Distribución de temperatura

a) Escenario 21 de junio

En la Figura 1 se muestra la simulación de las estufas solares de acumulación, en el modelo convencional (a) se aprecia una mayor temperatura en la cara frontal que en el resto de la caja por lo que es necesario una reorientación contante, aproximadamente cada 30 min; para el modelo prisma hexagonal (b) los rayos incidiendo sobre las dos ventanas por lo que no requiere reorientación obteniéndose temperaturas cercanas a los 80°C. El uso varias ventanas en el modelo prisma hexagonal permite el paso de los rayos solares que, combinado con los reflectores internos provoca una concentración de calor mayor al interior de la estufa, logrando alcanzar temperaturas en el recipiente de cocción de 115°C, superando los 84°C alcanzados por el modelo convencional, esto acorde a Riveros (2011) que indica que el hemisferio norte se inclina hacia el sol, por lo que hay más horas de radiación.

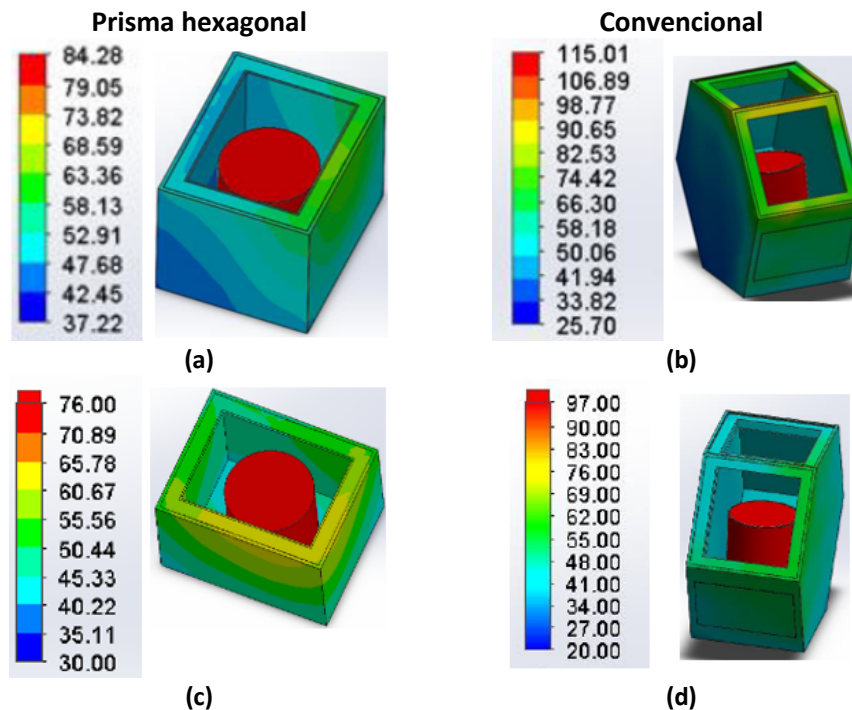


Figura 1. Distribución de las temperaturas: 21 de junio (a y b); 21 de diciembre (c y d).

b) Escenario 21 de diciembre

En la estufa solar tipo caja convencional alcanza una temperatura de 76 °C (Figura 1c) y en el modelo prisma hexagonal de 97°C (Figura 1d), además se observa que en el resto de las estufas en ambos modelos tiene un color similar que corresponde a una temperatura alrededor de los 45°C (Figura 1), esto coincide con lo mencionado por García (2021) ya que en los días soleados de verano los rayos llegan en una misma dirección, mientras que en días nublados o con algún porcentaje de nubes los rayos sufren procesos de dispersión por lo que llegan sin una dirección uniforme (radiación difusa).

Temperatura del agua

a) Escenario 21 de junio

En la Figura 2 se observa la temperatura del agua registrada en el recipiente de cocción para ambas estufas; para las primeras tres horas transcurridas de exposición solar, la estufa solar caja convencional alcanza una temperatura de 51°C, mientras que en la estufa prisma hexagonal alcanza la temperatura de 66°C una hora antes, lo que indica que la presencia de reflectores inclinados favorece el incremento de la temperatura. Después de siete horas de exposición la estufa convencional alcanza la máxima de temperatura de 81°C, mientras que la estufa solar prisma hexagonal alcanza 112°C (Figura 2); la temperatura del agua en una olla habitual no excede los 100°C, sin embargo, para este ejercicio, al cerrar la olla diseñada con una tapa a su medida, el programa la considera como si fuera de presión.

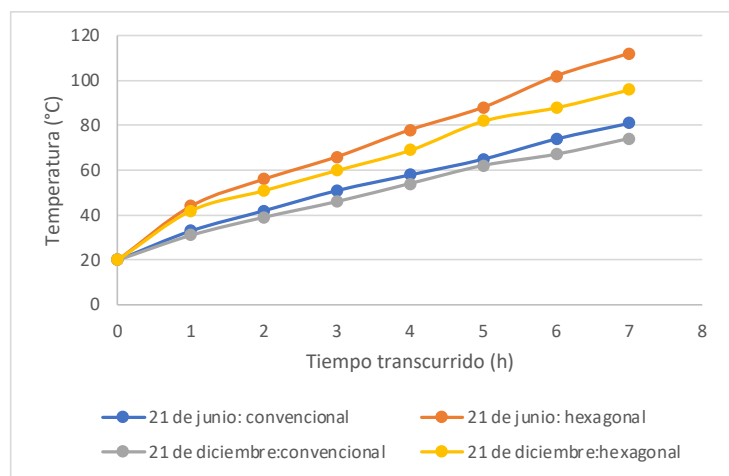


Figura 2. Temperatura del agua para el 21 de junio y 21 de diciembre para ambas estufas.

b) Escenario 21 de diciembre

Los factores meteorológicos para el 21 de diciembre tales como la baja intensidad de radiación, la dispersión y las temperaturas bajas en el medio ambiente influyeron en que ambos modelos alcanzaran menores temperaturas que en la simulación del 21 de junio, a pesar de esto el modelo de estufa solar prisma hexagonal superó la temperatura de la estufa solar tipo convencional como se observa en la Figura 2. Después de 74 horas transcurridas de exposición solar, la estufa solar convencional alcanza una temperatura de 46°C mientras que en el modelo prisma hexagonal obtuvo 60°C, después de cuatro horas su aumento fue de forma moderada en comparación con el 21 de junio, es decir, con menor rapidez, alcanzando como temperatura máxima 96°C.

Irradiación

a) Escenario 21 de junio

La irradiación fue simulada de las 10h a las 15h, se observó que a partir de las 11 am, la irradiancia supera los 900W/m², manteniéndose con niveles altos hasta las 2pm, después de esta hora la irradiación empieza a descender, por ello, se considera este periodo las horas óptimas para el uso de estufas solares.

b) Escenario 21 de diciembre

Durante diciembre existe una mayor presencia de nubes y precipitaciones, estas condiciones meteorológicas reducen la cantidad de radiación solar que llega a la superficie de la Tierra y provocan un aumento de la radiación difusa. La irradiación simulada fue de siete horas (10 a 15h), obteniéndose un comportamiento irregular debido a una baja temperatura en el ambiente y la condición establecida de un 20% de nubes en el cielo. Alcanzando un máximo de radiación de 614 W/m² lo que comprueba que diciembre es el mes menos apto en el hemisferio norte para el uso de estufas solares, ya que la radiación disponible es inferior a la del verano.

Eficiencia térmica

Para el cálculo de la eficiencia térmica se utilizó la Ecuación 1 y 2 (González-Avilés y Campuzano, 2015); considerando el área de apertura de la ventana para el modelo convencional de 0.12 m² y para la estufa prisma hexagonal 0.096 m²; además de la irradiancia promedio de los días 21 de junio y 21 de diciembre; para el primer día se tomó una irradiancia de 738 W/m² ya que durante las siete horas de exposición de las estufas solares se consideró cielo despejado. Mientras que para diciembre existen condiciones adversas como mayor cantidad de viento, humedad en el ambiente, menor temperatura, precipitaciones y nubes, factores que afectan directamente en la intensidad de la radiación solar; también, utilizando para este día 736 W/m²; los resultados obtenidos de eficiencia térmica para ambos modelos se observan en la Tabla 2.

$$\eta = \frac{m \Delta U}{I_{av} A_c \Delta t} \quad (1)$$

Donde: m: masa del agua (Kg); Δu variación de la energía interna (J/Kg); I_{av} : Irradiación promedio para el lugar (W/m²); A_c : área de apertura de la cubierta (m²) y t tiempo (s).

Si se considera un sistema cerrado, la energía interna se puede calcular con: $\Delta U = C_{pw} \Delta T$

$$\eta = \frac{m_w C_{pw} \Delta T}{I_{av} A_c \Delta t} \quad (2)$$

C_{pw} : calor específico del agua (4168J/Kg K), ΔT variación de la temperatura (K).

Tabla 2. Eficiencia térmica de los modelos de caja de acumulación convencional y prisma hexagonal.

Escenario	21 de junio		21 de diciembre	
	Caja convencional	Prisma hexagonal	Caja convencional	Prisma hexagonal
Eficiencia (%)	21	40	18	33

En la Tabla 2 se observa que para el día con mayor cantidad de horas de luz solar (21 junio), la estufa solar tipo caja tuvo una eficiencia de 21% mientras que la estufa solar tipo prisma hexagonal 40%. En diciembre con condiciones adversas la eficiencia de la estufa solar tipo caja prisma hexagonal disminuyo en comparación con el escenario de verano debido a los reflectores inclinados en su interior que influyen favorablemente en la recolección de energía.

Potencia de cocción

Para el cálculo de la potencia en los diferentes días de simulación, se utilizó la Ecuación 3, manteniendo constante la masa del fluido y el calor específico (González-Avilés y Campuzano, 2015). Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 3.

$$P = \frac{T_{w2} - T_{w1}}{t} m_w C_{pw} \quad (3)$$

En la Figura 3, se compara la potencia de la estufa solar tipo caja convencional y la estufa solar prisma hexagonal para los dos escenarios 21 de junio y 21 de diciembre. El valor de potencia obtenida para el modelo propuesto (prisma hexagonal) es de 28.7 W, que es superior a la estufa tipo caja convencional con 18.5 W en el día para mayor radiación (21 de junio). Se observa que el día menos recomendado para el uso de estufas solares es el 21 de diciembre ya que ambas estufas mostraron una disminución de potencia esto debido por las condiciones meteorológicas, para la estufa prisma hexagonal fue de 22.49 W mientras que en la estufa tipo caja fue de 15.54 W.

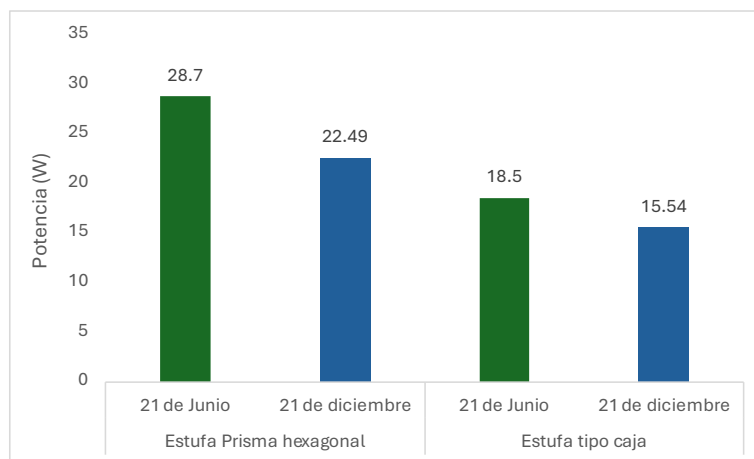


Figura 3. Valores de potencia para ambos modelos de estufa solar de acumulación.

Conclusiones

El modelo propuesto de estufa solar prisma hexagonal alcanzo una temperatura de 112° C, una eficiencia térmica de 40% y potencia de cocción de 28.7W para el día con mayor cantidad de radiación (21 de junio), mostrando valores superiores a los obtenidos con la estufa solar tipo caja convencional. Si bien la estufa prisma hexagonal supero las deficiencias del modelo convencional como su menor temperatura, la necesidad de redireccionarse o mayor captación de radiación solar, podría tener un costo más elevado debido a que tiene un mayor volumen y por ende requiere más material reflejante; aun así, se considera una alternativa viable para comunidades rurales donde no se tiene acceso a gas LP, favoreciendo el acceso a servicios básicos de vivienda de manera sustentable.

Bibliografía

- Trubetskaya, A., Lin, C., Ovadnevaite, J., Ceburnis, D., O'Dowd, C., Leahy, J. J., ... & Smith, W. (2021). Study of emissions from domestic solid-fuel stove combustion in Ireland. *Energy & Fuels*, 35(6), 4966-4978. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c04148>.
- García, A. O. (2021). *Aspectos Geométricos de la relación Sol-Tierra*. <https://www.seiscubos.com/conocimiento/aspectos-geometricos>.

- González, J. G. (2002). La cocina solar. Un sistema de aprovechamiento directo de la energía solar para cocer los alimentos y para otras aplicaciones. *Biblio 3w: revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales*. <https://raco.cat/index.php/Biblio3w/article/view/66690>.
- González-Avilés, M., & Servín Campuzano, H. (2015). Modelo térmico para estimar la potencia de cocción estándar de cocinas solares. *Nova scientia*, 7(13), 48-65. <https://www.scielo.org.mx/pdf/ns/v7n13/v7n13a4.pdf>.
- INEGI. (2018). *Información Demográfica y Social*. <https://www.inegi.org.mx/programas/encevi/2018/>.
- INEGI. (2020). *Clima en Puebla*. <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/pue/territorio/clima.aspx>.
- ONU. (2024). *Acerca de nuestro trabajo para los Objetivos de Desarrollo Sostenible en México*. <https://mexico.un.org/es/sdgs>.
- Salazar, M. (2022). *Cocinar con ayuda del sol: los emprendedores que impulsan una revolución solar en México*. <https://es.mongabay.com/2022/03/emprendedores-impulsan-una-revolucion-solar-en-mexico/>.