

Evaluación del desempeño térmico de una estufa solar parabólica

Assessment of the thermal performance of a parabolic solar stove

DOI: 10.17981/ladee.02.02.2021.2

Fecha de recibido 10/08/2021. Fecha de aceptado 23/10/2021

Robinson Johan Ramírez Gil

Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira (Colombia)

j.ramirez12@utp.edu.co

Para citar este artículo:

R. J. Ramírez, “Evaluación del desempeño térmico de una estufa solar parabólica”, *LADEE*, vol. 2, no. 2, pp. 16–24, 2021. <https://doi.org/10.17981/ladee.02.02.2021.2>

Resumen— Actualmente, el panorama ambiental y energético mundial exige la implementación de fuentes de energía renovables independientes de los combustibles fósiles, causantes en gran medida, de la crisis medioambiental a la que el mundo se enfrenta. Dentro de este escenario, la energía solar térmica surge como una opción viable y práctica, cuyas aplicaciones energéticas permiten satisfacer necesidades de calentamiento de agua, generación de potencia, calefacción en hogares, entre otras aplicaciones de tipo comercial e industrial. En Colombia particularmente, es normal la importación de tecnologías solares, lo cual representa un desafío a la industria actual y hace necesario incursionar en el desarrollo doméstico de este tipo de tecnologías para aplicaciones enfocadas en las necesidades y condiciones específicas del país. Por tal motivo, en este artículo se evalúa el desempeño térmico de una estufa solar parabólica diseñada para las condiciones ambientales de la ciudad de Pereira (Colombia); mediante una metodología experimental basada en los estándares internacionales de la Bureau Indian Standards (BIS) y la norma ASAE S580. El prototipo está compuesto por un plato parabólico con un diámetro de 1.28 m al cual se adhirió una película reflectante de tereftalato de polietileno con un factor de reflectividad del 95%, una estructura de perfiles cuadrados de acero de $\frac{3}{4}$ de pulgada y un recipiente de acero utilizado para la cocción en la estufa, con una capacidad volumétrica de 3 litros, el cual se cubrió con una pintura negra de alta temperatura con una absorptividad del 95%. Durante el desarrollo de esta investigación, se ejecutaron diferentes pruebas experimentales de 2 horas en la zona suburbana de la ciudad de Pereira; entre las 10:00 a.m. y las 4:00 p.m., que es el periodo del día donde las condiciones de irradiación solar son adecuadas para el uso de la estufa solar. De igual manera, para calcular la eficiencia térmica del sistema se midieron las temperaturas y la irradiación solar cada 5 minutos usando un termómetro digital para el agua, una cámara termográfica para la superficie de la olla y un piranómetro para la irradiación solar. Después de analizar los resultados tanto cualitativos como cuantitativos, se seleccionaron los resultados más relevantes para esta investigación, revelando que la eficiencia de la estufa solar varía entre 35% y 51% para las condiciones de irradiación solar medidas, con temperaturas máximas cercanas a 95°C para el agua.

Palabras clave— estufa parabólica; energía renovable; solar térmica; cocción solar; estufa solar.

Abstract— Currently, the global environmental and energy panorama requires the implementation of renewable energy sources independent of fossil fuels, which are largely responsible for the environmental crisis that the world is facing. Within this scenario, solar thermal energy emerges as a viable and practical option, whose energy applications allow meeting the needs of water heating, power generation, heating in homes, among other commercial and industrial applications. In Colombia particularly, the importation of solar technologies is normal, which represents a challenge to the current industry and makes it necessary to venture into the domestic development of this type of technologies for applications focused on the specific needs and conditions of the country. For this reason, this article evaluates the thermal performance of a parabolic solar stove designed for the environmental conditions of the city of Pereira (Colombia); using an experimental methodology based on the international standards of the Bureau Indian Standards (BIS) and the ASAE S580 standard. The prototype consists of a parabolic dish with a diameter of 1.28 m to which a reflective film of polyethylene terephthalate with a reflectivity factor of 95% was adhered, a structure of $\frac{3}{4}$ -inch square steel profiles and a container made of steel used for cooking in the stove, with a volumetric capacity of 3 liters, which was covered with a high-temperature black paint with an absorptivity of 95%. During the development of this research, different 2-hour experimental tests were carried out in the suburban area of the city of Pereira; between 10:00 a.m. and 4:00 p.m., which is the period of the day where the solar irradiation conditions are suitable for the use of the solar heater. Similarly, to calculate the thermal efficiency of the system, temperatures and solar irradiation were measured every 5 minutes using a digital thermometer for water, a thermographic camera for the surface of the pot and a pyranometer for solar irradiation. After analyzing both qualitative and quantitative results, the most relevant results for this research were selected, revealing that the efficiency of the solar stove varies between 35% and 51% for the measured solar irradiation conditions, with maximum temperatures close to 95°C for the water.

Keywords— parabolic stove; renewable energy; solar thermal; solar cooking; solar stove

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se buscan soluciones más efectivas a los problemas ambientales a nivel global, particularmente se promueve la transición energética y el desarrollo sostenible. Lo que está enmarcado en los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible-ODS definido por las Organización de las Naciones Unidas-ONU. Específicamente, el ODS número 7 se enfoca en el desarrollo de sistemas de energía limpia y asequible. Consecuentemente, el uso de la energía solar térmica para la cocción de alimentos permitiría reducir el consumo de leña y combustibles fósiles, mitigando el impacto ambiental generado por estas alternativas y las afecciones de salud causadas por inhalación de humo [1]. El uso de la energía solar térmica para procesos de calentamiento ha tenido un crecimiento importante en la última década, mayormente enfocado en el desarrollo de sistemas de calentamiento de agua solares 2019, que generaron 479 GWth a nivel global, previniendo la emisión de 135.1 millones de toneladas de CO² [2]. No obstante, la energía solar puede aprovecharse para la cocción de alimentos usando estufas solares.

Las estufas solares son dispositivos que reflejan la irradiación solar en una superficie reflectante concentrando la energía en un punto focal, lo que permite aumentar la temperatura de un fluido. Aunque son una tecnología que se ha estudiado exhaustivamente, no deja de ser un tema de interés actual, por ejemplo: La C. V. Raman Global University (India) aplicó un análisis basado en exergía a cocinas solares de diferentes diseños. Su estudio desarrolló un estándar de prueba uniforme para evaluar el rendimiento térmico de la cocina solar considerando cuatro geometrías diferentes [3]. Por su parte, el GECA (India) presentó estándares para probar y evaluar el rendimiento térmico de los concentradores solares basados en el calentamiento sensible del fluido de trabajo. Además de eficiencia térmica, es necesario evaluar otros parámetros como su temperatura de estancamiento, capacidad de cocción, costo por vatio entregado, peso de la cocina, facilidad de manejo y estética y estandarización de los resultados de la prueba [4]. Demostrando que, la mayoría de los prototipos de estufas solares presentan características generales similares, las cuales varían dependiendo del tipo de aplicación, de las condiciones para las cuales se diseña el prototipo y de los materiales usados para su construcción. En este caso, el prototipo que aquí se presenta, está diseñado para las condiciones de baja y mediana radiación solar que se presentan en la ciudad, logrando temperaturas de cocción superiores a 90°C, de tal manera que, se pueda cocinar y freír gran variedad de alimentos, algo que no se puede hacer con otros prototipos.

Colombia promueve la energía renovable como una alternativa para la transición energética. Sin embargo, la normatividad y la infraestructura disponible en el país no son ideales para este propósito. En particular, la aceptación cultural es una de las barreras más importantes para diferentes proyectos de energía renovable que se enfocan en comunidades sin acceso a servicios esenciales como la electricidad, el gas y otros combustibles; afectando directamente a las comunidades en aspectos socioculturales y económicos. Específicamente, existe poco interés en el desarrollo de tecnologías para aprovechar la energía solar para la cocción de alimentos, lo que puede reducir la demanda de leña, por lo que se requiere del desarrollo un prototipo de estufa solar [5]. La Unidad de Planeación Minero-Energética-UPME señaló que el 67.9% de los hogares sin acceso a gas domiciliario usan leña, lo que causa que el 36% de las personas sufran problemas respiratorios, el 15.1% sufran de problemas de visión y el 9.6% presente quemaduras [6].

En este estudio se evalúa el desempeño térmico de un prototipo de estufa solar parabólica bajo condiciones de irradiación solar de la zona suburbana de la ciudad de Pereira. Marcando un avance para la implementación de este tipo de tecnologías para sectores específicos del territorio nacional y su aplicación en la transición energética del país, en aras de promover el desarrollo sostenible en la región.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo cuenta con una metodología experimental, la cual consiste en un trabajo sistemático a partir de conocimientos ya establecidos. Particularmente, dirigido a la mejora de dispositivos ya existentes, en este caso, una estufa solar parabólica diseñada en la Universidad Tecnológica de Pereira (Fig. 1) [7]. Este prototipo tiene como principales características: ser

un sistema liviano con una masa de 7.5 kg, un factor de concentración de 3 soles y una capacidad máxima de 3 litros (Tabla 1). Adicionalmente, al construir el prototipo, se le introdujeron mejoras como adherir una película de 95% de reflectividad al paraboloide para aumentar la cantidad de irradiación solar dirigida al recipiente y cubrir la superficie del recipiente (olla) con una pintura de alta temperatura negro mate de absortividad del 95% para mejorar la transferencia de calor en el sistema (Tabla 2).



Fig. 1. Estufa solar parabólica.
Fuente: Elaboración propia.

Este prototipo fue diseñado especialmente para las condiciones meteorológicas de la ciudad de Pereira [7], marcando un precedente para la implementación y uso de este tipo de tecnología en zonas específicas del país y así garantizar que, el comportamiento de la estufa solar durante los procesos de cocción será acorde a las características de irradiación solar del lugar.

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL HORNO/ESTUFA SOLAR PARABÓLICA.

Factor de concentración [Soles]	Ángulo de apertura	Capacidad volumétrica [L]	Diámetro [m]	Altura del foco [m]	Área de apertura [m²]	Altura de la estufa [m]	Peso del prototipo [kg]
3	90°	3	1.28	0.32	1.28	0.7	7.5

Fuente: [7].

En la Tabla 2 se enlistan los materiales con los cuales se construyó el prototipo de estufa solar, estos se seleccionaron con el fin de mejorar la estabilidad de la estructura, aumentar la transferencia de calor en el sistema, aumentar la radiación solar que se focaliza en el paraboloide y brindarle una vida útil prolongada al producto final de acuerdo con las condiciones de humedad de la ciudad de Pereira y las temperaturas alcanzadas en el sistema.

TABLA 2. MATERIALES USADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTUFA SOLAR PARABÓLICA.

Materiales	
Lámina galvanizada de calibre 30.	Barillas de acero de ¾ de pulgada.
Película autoadhesiva PET del 95% de reflectividad.	Perfil de acero cuadrado de ¾ de pulgada.
Recubrimiento de alta temperatura con 95% de absortividad.	Recipiente (olla) de 3 litros.

Fuente: Elaboración propia.

A. Metodología experimental

Para el desarrollo de la metodología experimental, se usaron las normas internacionales American Society of Agricultural Engineers (ASAE) S580 y Bureau Indian Estandars (BIS), que establecen parámetros y modelos matemáticos para evaluar la potencia y la eficiencia térmica de las estufas solares [8]. A partir de estos estándares se ejecutaron diferentes pruebas experimentales de 2 horas en la zona suburbana de la ciudad de Pereira. En las cuales, por motivos de cálculo y análisis, se midió la temperatura ambiente, del fluido y del recipiente, así como la irradiación solar, cada 5 minutos durante todo el proceso.

Los instrumentos empleados durante las diferentes pruebas fueron: una cámara termográfica para la temperatura superficial del recipiente (olla), un termómetro digital de cocina para medir la temperatura del agua y la temperatura ambiente, y un piranómetro para la irradiación solar (Tabla 3).

TABLA 3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDIDA.

Instrumento	Exactitud	Rango
Cámara Flir One Pro [9]	$\pm 3^{\circ}\text{C}$	-20°C hasta 150°C
Termómetro digital TP101 [10]	$\pm 1^{\circ}\text{C}$	-50°C hasta 300°C
Piranómetro LI-200R [11]	$\pm 0.1 \text{ W/m}^2$	0 W/m^2 hasta 3000 W/m^2

Fuente: [9], [10], [11].

En la Fig. 2 se presenta el diagrama de flujo que describe el proceso de ejecución experimental del proyecto, donde se inicia con una etapa teórica y de selección de la metodología a emplear en este proyecto, posteriormente, se pasa por una etapa de realización de las distintas pruebas experimentales y por último, se tiene una etapa de obtención de resultados, análisis de información y de conclusiones.

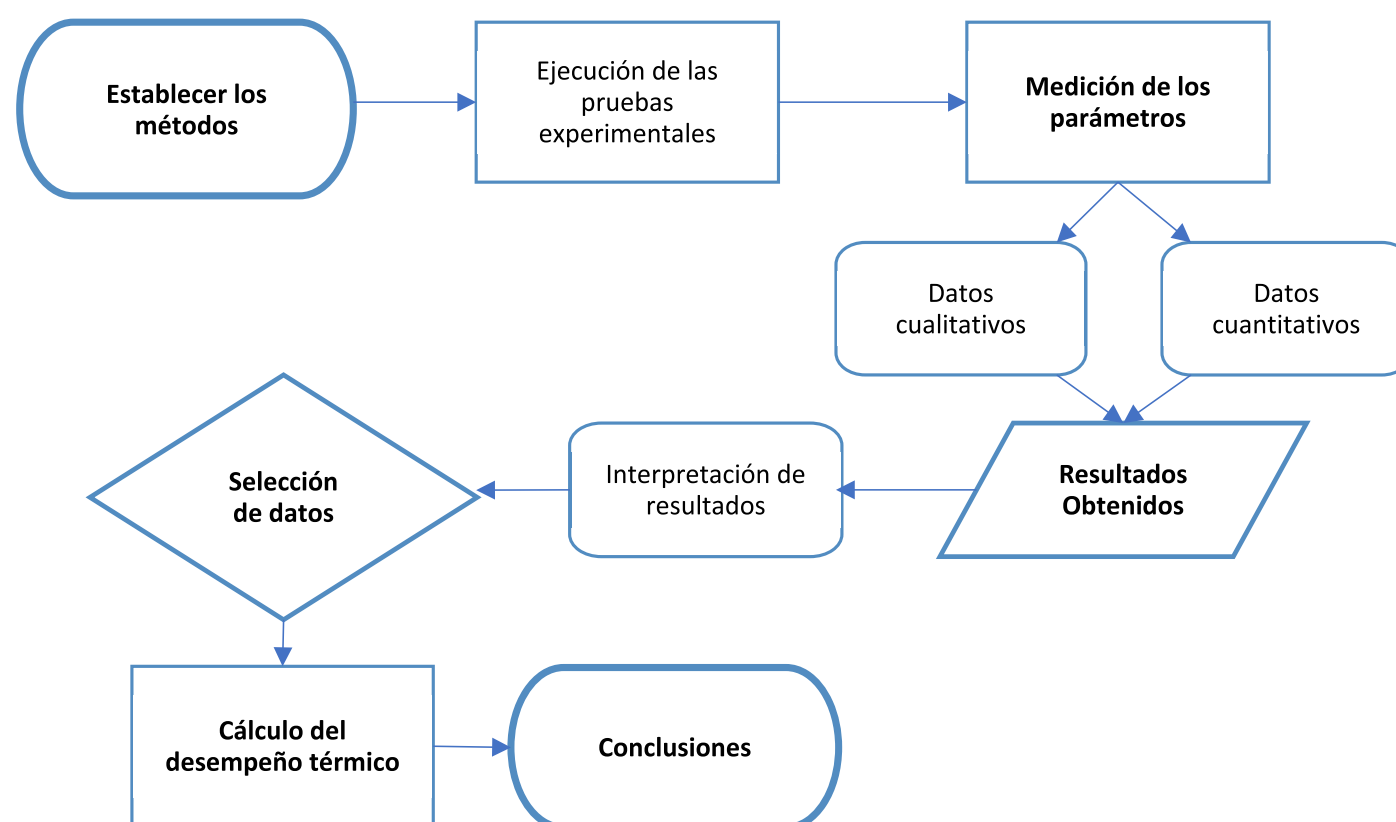


Fig. 2. Diagrama de flujo del procesamiento de la metodología usada.
Fuente: Elaboración propia.

Específicamente, la ejecución de cada una de las pruebas siguió un orden específico (Fig. 3), con el fin de hacer reproducible la toma de datos y minimizar los errores causados tanto por factores ambientales como humanos.

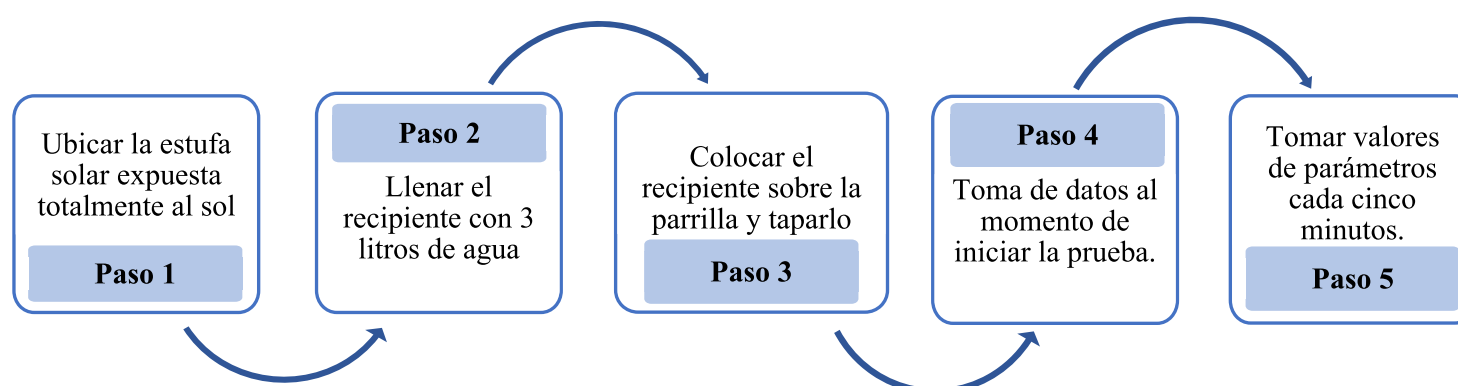


Fig. 3. Metodología usada para la ejecución de las pruebas experimentales.
Fuente: Elaboración propia.

B. Evaluación del desempeño térmico

Para evaluar el desempeño térmico del prototipo es necesario determinar tanto su potencia como su eficiencia. Por lo tanto, para el cálculo de la potencia (1) y la potencia estandarizada de la estufa (2) se usó el estándar internacional ASAE S580, y para el cálculo de la eficiencia térmica (3) se usó el estándar internacional de la BIS [8].

Si bien existen diferentes métodos para evaluar el desempeño térmico, la más usada es la definición de la primera ley de la termodinámica; sin embargo, esta presenta falencias en cuanto a los parámetros que puede evaluar y que afectan directamente el cálculo de la eficiencia del prototipo. Factores con el área de apertura del paraboloide, la velocidad del viento, la insolación y la temperatura de estancamientos se hacen necesarios para este tipo de estudios. Precisamente los estándares internacionales ASAE S580 y BIS, tienen en cuenta estos parámetros.

$$P = \frac{\Delta T \cdot m \cdot C_p}{\Delta t} \quad (1)$$

$$P_s = \frac{P \cdot 700}{I_s} \quad (2)$$

$$\eta = \frac{\left(\frac{T_p - T_a}{H}\right)(m \cdot C_p)}{A_p t} * \ln \left[\frac{1 - \frac{1}{\left(\frac{T_p - T_a}{H}\right)} * \left(\frac{T_{w1} - T_a}{H}\right)}{1 - \frac{1}{\left(\frac{T_p - T_a}{H}\right)} * \left(\frac{T_{w2} - T_a}{H}\right)} \right] \quad (3)$$

Donde:

ΔT = Cambio de temperatura (K).

I_s = Irradiación solar (kW/m²).

m = Masa (kg).

C_p = Calor específico (kJ/kg K).

T_w = Temperatura del agua (K).

t = Tiempo (s).

T_p = Temperatura de estancamiento (K).

P = Potencia de cocción (kW).

H = Insolación (Wh/m²).

P_s = Potencia estandarizada (kW).

T_a = Temperatura ambiente (K).

A_p = Área de apertura (m²).

η = Eficiencia térmica.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con todos los datos recolectados durante las diferentes pruebas que se ejecutaron en la ciudad de Pereira, se realizó un proceso de análisis de resultados, con el fin de verificar el comportamiento del prototipo de estufa solar bajo diferentes condiciones de radiación solar y evaluar el desempeño térmico.

La Fig. 4 muestra el comportamiento de las temperaturas del sistema desde las 6:00 a.m. hasta las 6:00 p.m., dando como resultado que, las mejores condiciones de irradiación solar y aumento de temperatura se dan después de las 10:00 a.m. y hasta aproximadamente las 4:00 p.m., en este periodo de tiempo la irradiación solar global promedia 800 W/m², lo que permite alcanzar temperaturas en la olla superiores a 100°C y a 90°C en el fluido. Por lo cual, se definió que todas las pruebas para determinar el desempeño térmico del prototipo fuesen entre ese lapso del día.

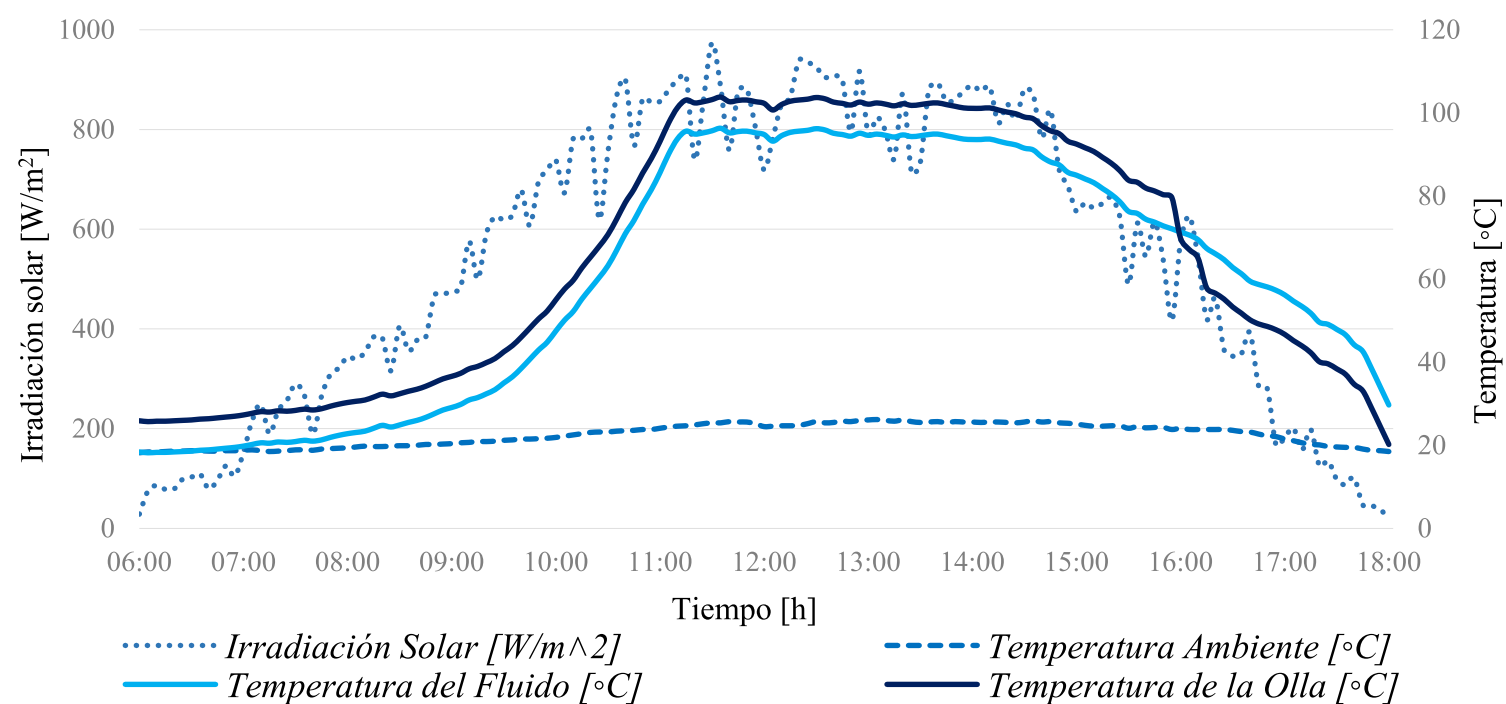


Fig. 4. Comportamiento de la estufa solar durante un día de funcionamiento el 3 de julio de 2021.
Fuente: Elaboración propia.

La Fig. 5 muestra imágenes termográficas tomadas durante el funcionamiento de la estufa solar (al principio y al final), donde se ven las temperaturas alcanzadas sobre diferentes puntos de la superficie del recipiente (olla). En particular, se muestran las temperaturas en el punto de incidencia de la radiación solar, en la parrilla, sobre el recipiente y en la unión de la parrilla y el recipiente. Dando como resultado el aumento de temperatura sobre la parrilla es de 15.6°C y en la superficie del recipiente es de 50.3°C , lo que demuestra que las pérdidas de calor por conducción son considerables.

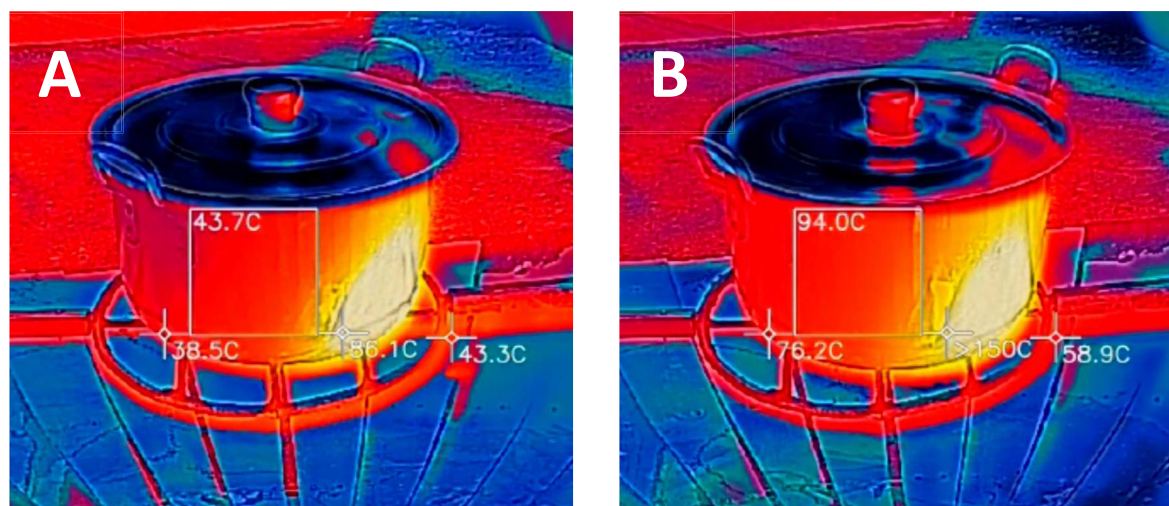


Fig. 5. Imágenes termográficas de la olla durante la operación de la estufa solar.
A) al principio de la prueba y B) al final de la prueba
Fuente: propia].

En la Fig. 6 se muestra el comportamiento del prototipo durante una prueba de 2 horas, mostrando algunas mediciones del sistema: como el tiempo que tardó los 3 litros de agua en alcanzar la temperatura máxima, la irradiación solar, la temperatura superficial del recipiente y la temperatura ambiente. A partir de estos resultados se concluyó que, el aumento progresivo de la temperatura está ligada a la radiación solar, las pérdidas de calor, la capacidad calorífica del agua y la absorptividad del recipiente. Particularmente en esta prueba se alcanzaron valores de 93.2°C debido a que la irradiación solar global estuvo en promedio, entre los 850 W/m^2 . Este comportamiento indica que la estufa solar cumple con las condiciones establecidas para su correcto funcionamiento en la ciudad, ya que alcanza los valores mínimos de temperatura en el agua para cocinar cualquier alimento.

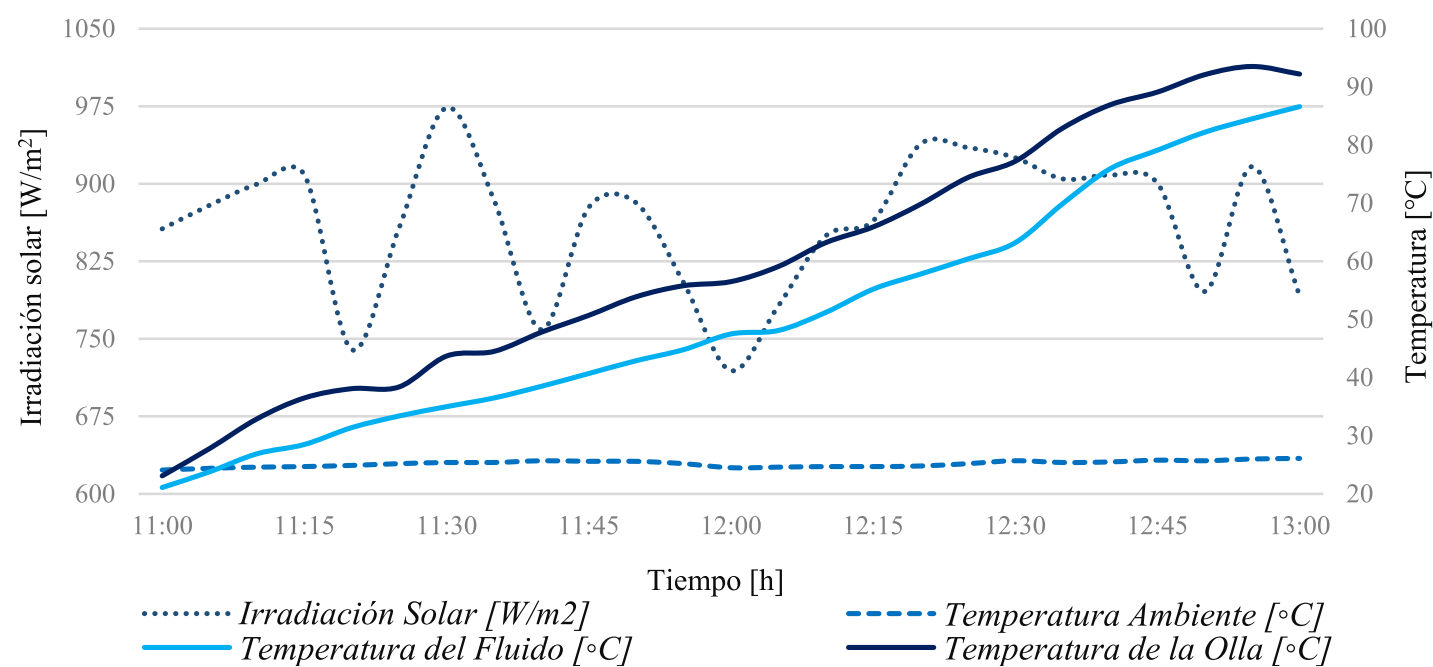


Fig. 6. Comportamiento de la estufa solar durante una prueba de cocción el 3 de julio de 2021.
Fuente: Elaboración propia.

En la Fig. 7 se muestran las potencias de cocción (1) de la estufa solar bajo diferentes valores de irradiación solar, alcanzando valores entre 400 W y 600 W. Además, se calcula la potencia estandarizada (2) la cual permite comparar este prototipo con cualquier otro de las mismas características; debido a que es un estándar internacional (ASAE S580). Cabe resaltar que las diferencias en las potencias obtenidas están ligadas directamente a la variación de las condiciones climáticas, las cuales son inconstantes y pueden afectar significativamente las mediciones y resultados.

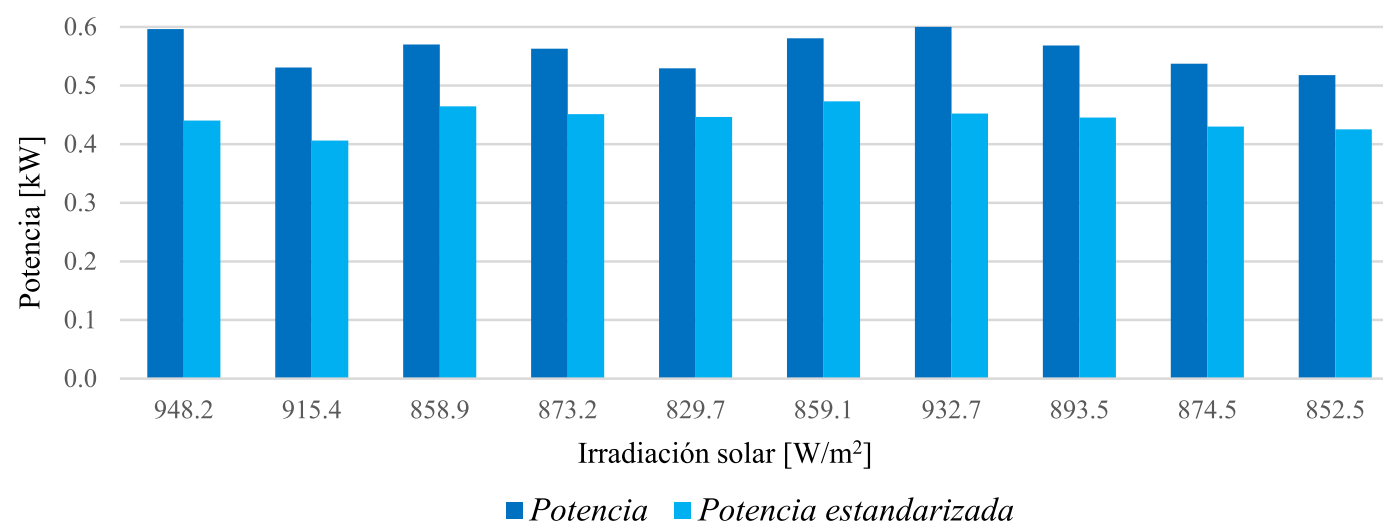


Fig. 7. Potencias alcanzadas de la estufa solar bajo diferentes condiciones de radiación solar.
Fuente: propia].

La Fig. 8 muestra las eficiencias térmicas (3) obtenidas con las diferentes pruebas experimentales desarrolladas, dando como resultado que estas se encuentran entre los valores de 35.0% y 51.0%, las cuales están dentro de los rangos de eficiencia idóneos para este tipo de prototipos. Generalmente, las eficiencias para las estufas solares parabólicas están entre el 20% y el 60% [12].

Las diferencias en las eficiencias están relacionadas, al igual que en el cálculo de la potencia, con parámetros ambientales que no se tienen en cuenta el cálculo del desempeño térmico, como lo son: la humedad del aire, la velocidad del viento, la nubosidad, entre otros factores que son inconstantes en el tiempo y que causan diferencias relevantes en las mediciones y resultados. Un ejemplo de ello es que, la radiación solar fue medida cada 5 minutos, donde el sol durante 4 minutos estuvo completamente cubierto por nubes y en el minuto que se tomó la medición, el sol estuvo despejado.

No obstante, las eficiencias térmicas alcanzadas, son relevantes si consideramos que las pérdidas por convención (velocidad del aire) y las pérdidas de calor por conducción (contacto estructura-recipiente) son las causantes de que gran parte del poder calorífico obtenido en el sistema se disipe. Por lo cual se recomienda en trabajos futuros que se mejore esta parte agregando aditamentos adicionales al prototipo.

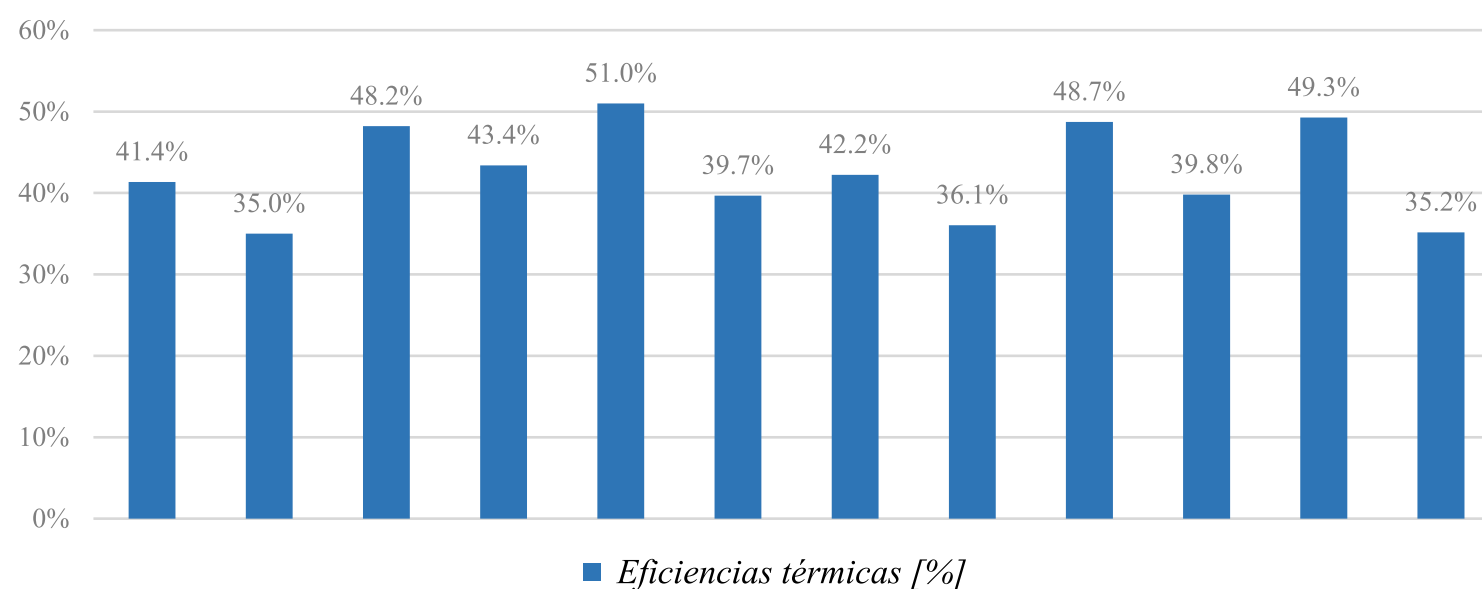


Fig. 8. Eficiencias térmicas de la estufa solar parabólica.
Fuente: propia]

IV. CONCLUSIONES

A partir de las pruebas y resultados se concluye que en la ciudad de Pereira se puede utilizar el prototipo de estufa solar parabólica para la cocción de alimentos desde las 10:00 a.m. y hasta las 4:00 p.m., donde la irradiación solar promedia 800 W/m^2 , alcanzando temperaturas superiores a 100°C en la estufa y de 93°C en el agua y eficiencias térmicas entre el 35% y el 51%. Por último, se recomienda probar la estufa solar en regiones del país que cuenten con mejores condiciones de irradiación solar que las de Pereira, como lo es la región caribe colombiana, donde se lograría obtener mayores valores de potencia y de eficiencia térmica.

Uno de los aspectos más importantes para la implementación de este tipo de tecnologías es el impacto, ambiental que se genera. Por lo tanto, se puede concluir que, debido al uso de este prototipo se está avanzando un poco en la transición energética del país contribuyendo a la disminución de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y a la reducción de las enfermedades causadas por la inhalación de humo.

El uso de materiales livianos en la estructura permite que el prototipo sea fácilmente manio-brable y permita su uso en espacios reducidos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Grupo de Investigación en Propiedades Magnéticas y Magneto-Ópticas de Nuevos Materiales de la Universidad Tecnológica de Pereira (GIMM-UTP), al programa DELFÍN y a la Universidad de la Costa de Barranquilla, por el apoyo durante el desarrollo de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] M. P. Oviedo, “Buenas prácticas hacia el cumplimiento del ODS 7 «Energía Asequible y No Contaminante»”, *Rev Ciente UCSA*, vol. 7, no. 3, pp. 72–75, Dic. 2020. <https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2020.007.03.072>
- [2] W. Weiss & M. Spörk-Dür, “Instalaciones solares térmicas en aumento. Energía solar térmica, factor importante para la protección del clima,” SHC, Gleisdorf, Austria, *Reporte Solar Heat Worldwide Edition 2020*. Disponible en <https://www.iea-shc.org/solar-heat-worldwide-2020>
- [3] N. Kumar, G. Vishwanath & A. Gupta, “An exergy based unified test protocol for solar cookers of different geometries,” presented at *Proc. of World Renewable Energy Congress, Solar Thermal Applications*, STH, Linköping, SE, pp. 3741–3748, 8-3 May. 2011. <https://doi.org/10.3384/ecp110573741>
- [4] M. Rathore & R. Warkhedkar, “Test Standards for Direct Steam Generating Solar Concentrators,” *JPEE*, vol. 3, no. 12, pp. 1–10, Dec. 2015. <https://doi.org/10.4236/jpee.2015.312001>

- [5] A. Amando & S. Arango, “Renewable energy technology diffusion: an analysis of photovoltaic-system support schemes in Medellín, Colombia,” *J Clean Prod*, vol. 92, pp. 152–161, Apr. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.090>
- [6] República de Colombia, “Caracterización: Socioeconómica, cultural y ambiental en la Colombia No Interconectada”, IPSE, BO, CO, *Encuesta 2019*. Recuperado de: <https://ipse.gov.co/sigipse/resultados-encuesta-de-caracterizacion-zni/>
- [7] N. Ramírez, A. Jaramillo y R. Dorantes, “Cálculo y diseño de una estufa solar parabólica para la cocción de alimentos”, presentado en el XXXIX *Semana Nacional de Energía Solar*, Asociación Nacional de energía Solar, ANES, Campeche, MX, 5-9 Oct. 2015. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1131.4007>
- [8] H. Servín y M. González, “Estándares para evaluar el desempeño térmico de cocinas solares”, UIIM, Michoacán, MX, 2003.
- [9] FLIR ONE® Pro-Series. (2018), Pro-Grade thermal cameras for smartphones. Flir Systems México, Teknometer, MX. Recuperado de <https://apliter.com/wp-content/uploads/2019/09/FLIR-435-001-03-FLIR-ONE-PRO-LT-C%C3%A1mara-termogr%C3%A1fica-para-smartphone-Character%C3%ADsticas.pdf>
- [10] Tenma TP101. (2018), Digital Stick Probe Thermometer. Tenma. Newark, JP. Recuperado de <http://www.farnell.com/datasheets/2647446.pdf>
- [11] Pyranometer LI-200R. (s. f.), Pyranometer. LI-COR, LI-COR Biosciences, LNK, USA. Disponible en <https://www.licor.com/env/products/light/pyranometer.html>
- [12] F. Chejne, A. Macía, D. Estrada, H. Velásquez & C. Londoño, “Radiation model for Predicting Temperature Evolution in Solar Cooker”, *Dyna*, vol. 78, no. 166, pp. 68–74. 2011. Disponible en <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25718>