



Evaluación del desempeño de una cocina solar construida con materiales reciclados

Evaluation of the performance of a solar cooker built with recycled materials

Josué Imbert-Gonzalez^{I,*}, Raimundo González Pérez^{II}, Beatriz Bu-Alba^{III}, Elena Gomez-Domecq^{III}

I. Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Santiago de Cuba, Cuba

II. Empresa de Fuentes Renovables de Energía. Santiago de Cuba, Cuba

III. Universidad de Oriente, Departamento de Planificación. Santiago de Cuba, Cuba

*Autor de correspondencia: imbert@uo.edu.cu

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 4 de noviembre de 2022

Aceptado: 20 de diciembre de 2022

Resumen

En el artículo se evaluó el comportamiento térmico de una cocina solar tipo caja construida con materiales reciclados. A partir de un procedimiento estándar que evalúa rendimiento térmico de la cocina solar construida. Las pruebas experimentales se desarrollaron bajo el clima de Santiago de Cuba durante Septiembre 2021. La cocina solar alcanzó una temperatura máxima de 87,2 °C con valores de eficiencia de 74,4 %. Los resultados obtenidos fueron comparados con dos tipos diferentes de cocinas solares, tipo panel y tipo

parabólica, de acuerdo con estudios anteriores. El análisis económico complementa el estudio y demostró que la cocina solar construida permite un ahorro estimado de más de 150 kg de carbón o 60 kg de Gases Licuados del Petróleo (GLP) en dependencia del combustible empleado en la cocción de alimentos, con aporte a la protección del medio ambiente.

Palabras claves: energía solar; cocinas solares; rendimiento térmico; análisis económico.

Abstract

The article evaluates the thermal performance of a box-type solar stove constructed with recycled materials. It is based on a standard procedure that evaluates the thermal performance of the constructed solar kitchen. The experimental tests were developed under the climate of Santiago de Cuba during September 2021. The solar cooking unit reached a maximum temperature of 87,2 °C with efficiency values of 74.4 %. The results obtained were compared with two different types of solar stoves, panel type and parabolic type, according to

previous studies. The economic analysis complements the study and showed that the constructed solar cooking unit allows an estimated saving of more than 150 kg of coal or 60 kg of LPG, depending on the fuel used to cook the food, contributing to the protection of the environment.

Key words: solar energy; solar cookers; thermal performance; economic analysis.

Cómo citar este artículo:

Imbert Gonzalez J, González Pérez R, Bu Alba B, Gomez Domecq E. Evaluación del desempeño de una cocina solar construida con materiales reciclados. Ingeniería Mecánica. 2023;26(1):e664. ISSN 1815-5944.

1. Introducción

La energía de cocción representa un elevado consumo energético en muchos países del mundo [1]. La madera es muy usada como combustible para cocinar en los países africanos, constituyendo esta la principal causa de la deforestación en esta área. La deforestación ha provocado una grave escasez de leña en muchas partes del país. Mujeres en zonas rurales se ven obligadas a caminar largas distancias con cargas pesadas de leña para lograr la cocción del alimento diario. El empleo de la radiación solar para cocinar es potencialmente viable para la preparación de alimentos en la mayor parte del mundo en desarrollo [2-4]. La energía solar es una fuente de energía abundante, limpia y segura y constituye un atractivo sustituto de los combustibles convencionales.

La cocina solar representa una vía alternativa para lograr la cocción de los alimentos. Diferentes tipos de cocinas solares se han desarrollado y probado en diferentes investigaciones. Recientemente ha habido un interés considerable en el diseño y desarrollo de varios tipos de cocina solar. Básicamente las cocinas solares se dividen en tres tipos: Cocinas solar parabólicas, cocinas solar tipo caja y cocinas solar tipo panel.

La cocina solar tipo de caja se basa en una caja de doble pared aislada con cubierta de vidrio simple o múltiple. Este tipo de cocinas depende del efecto invernadero en el que el acristalamiento transparente permite el paso de las longitudes de onda más cortas de radiación solar. En la cámara de cocción se emplean generalmente espejos o láminas de aluminio pulido para reflejar más la radiación solar.

Por otro lado, las cocinas solar parabólicas son cocinas de concentración directa con un reflector tipo plato que dirige la mayor parte de los rayos solares interceptados radiación a un punto de enfoque. Los concentradores tipo plato requieren luz solar directa para funcionar y debe orientarse con frecuencia hacia el sol. Las cocinas solar de panel o cocina combinada, incorpora elementos de cocinas tipo caja y parabólicas. Sin embargo, su estructura no es tan robusta como la de tipo caja, y no es posible cocinar tanta comida a la vez como en las cocinas parabólicas [5].

Cuba se encuentra en el extremo noroeste de las Antillas. En ella se cuenta aproximadamente con 13 horas de sol, contando desde su salida hasta la puesta de sol en esta estación del año para el municipio de Santiago de Cuba. La salida del sol ocurre a las 6:42 AM aproximadamente y la puesta ocurre sobre las 9:32 PM siendo la intensidad de la radiación de aproximadamente 6,1 kWh / m² al día [7] que es suficiente para proporcionar la energía adecuada para la energía solar térmica y sus aplicaciones.

En este estudio se construye y evalúa una cocina solar tipo caja a partir de un procedimiento de prueba estándar y se realizan comparaciones con los resultados obtenidos por otros investigadores en este tipo de equipos para evaluar las posibilidades de la cocina solar construida.

2. Métodos y Materiales

Este estudio se realizó en la ciudad de Santiago de Cuba en la provincia de Santiago de Cuba, Cuba ubicada específicamente en las coordenadas 20°01'17.42" N, 75°49'45.75" O y altitud promedio de 82 m sobre el nivel del mar.

La cocina solar tipo caja construida consta de cinco componentes: Caja de madera (1), como contenedor con espesor de 5 mm. Material Reflectante (2), que cubre completamente todo el interior de la caja, para reflejar la radiación hacia el recipiente de cocción (para este efecto fue empleado la parte interna de latas de cerveza), Cubierta transparente (3), permite la entrada de los rayos solares y evita las pérdidas por convección, Material aislante (4), para el aislamiento térmico del interior de la cocina y placa absorbente (5). Sobre este último elemento se ubica el depósito de agua como se muestra en la figura 1.

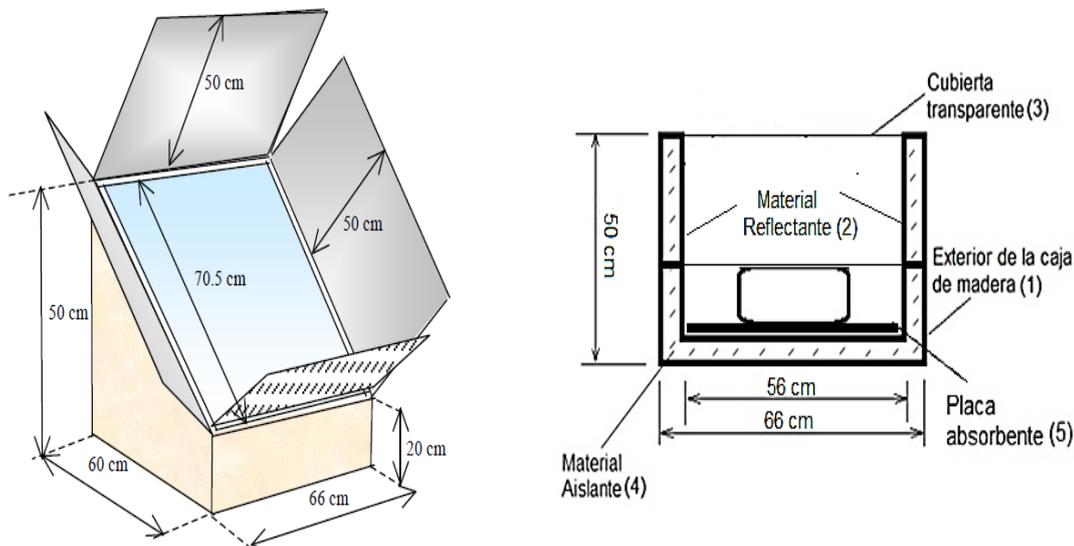


Fig. 1. Diagrama esquemático de la cocina solar tipo caja construida. Fuente autores

Los procedimientos seguidos para evaluar el rendimiento de la energía solar están enfocados en determinar el tiempo necesario para un calentamiento sensible de una cantidad conocida de agua o el tiempo necesario para el calentamiento de la placa de estancamiento a una temperatura determinada en pruebas sin carga. Tomando como base esta idea fue elaborado un procedimiento de prueba estándar para cocinas solares. El mismo ha sido propuesto y probado por diferentes investigadores [8,9]. Mediante este procedimiento debe determinarse la temperatura de estancamiento (sin carga) y el comportamiento de una masa conocida de agua. Este método establece una relación térmica entre tiempo y valores de potencia y eficiencia, valores de potencia y eficiencia. De la misma forma permite obtener el comportamiento de la temperatura, la eficiencia, y la potencia generada en por la cocina. El enfoque supone que la cubierta transparente tiene una transmisión óptica buena y la cocina tiene un bajo factor de pérdidas globales de calor.

En este trabajo es empleado este método para evaluar el rendimiento térmico de la cocina solar tipo caja y consistió en realizar medidas de la temperatura de placa absorbente de la cocina, de la temperatura ambiente y de la temperatura del agua durante un tiempo de exposición, se considera como carga un litro de agua destilada.

Los experimentos se llevaron a cabo al aire libre durante el mes de septiembre de 2021, desde las 11:00 AM hasta las 7:00 PM. Fueron utilizados diferentes tipos de termómetros calibrados (termoresistencia, infrarrojo y de mercurio) para medir la temperatura de la placa absorbente, la temperatura del agua y la temperatura ambiente, respectivamente. Para medir la masa de agua y un cronómetro para determinar el tiempo de exposición. Los parámetros fueron medidos y registrados con un intervalo de 30 minutos. Los datos fueron utilizados para determinar el comportamiento de la cocina solar construida.

2.1. Eficiencia térmica general

La eficiencia térmica general se calculó siguiendo la ecuación (1) [10].

$$n_u = \frac{M_f C_f \Delta T_f}{I_{av} A_c \Delta t} \tag{1}$$

Donde

n_u : Eficiencia Térmica Global (%)

M_f : Masa del fluido (kg)

C_f : Calor específico del fluido de cocción (J/kgK)

ΔT_f : Diferencia de temperatura entre la máxima temperatura obtenida y la temperatura del aire ambiente (°C)

I_{av} : Intensidad solar promedio durante el intervalo de tiempo (W/m²)

A_c : Área de la cocina solar (m²)

Δt : Tiempo requerido para alcanzar la máxima temperatura en el fluido de trabajo (s)

2.2. Potencia de cocción

La potencia de cocción de las diferentes cocinas solares fue calculada usando la ecuación propuesta por Kundapur y Sudhir en 2009 [11], ecuación (2):

$$P = \frac{T_{w2} - T_{w1}}{t} m_w C_{pw} \tag{2}$$

Donde:

P : Potencia de cocción (W)

T_{w2} : Temperatura final del agua (°C)

T_{w1} : Temperatura inicial del agua (°C)

T : Tiempo (s)

m_w : Masa de agua (kg)

C_{pw} : Capacidad calorífica del agua (kJ/kg K)

3. Resultados y Discusión

En la tabla 1 se presenta un ejemplo del registro de las temperaturas obtenidas durante los experimentos realizados durante el periodo de ensayos. La masa de agua empleada en todos los experimentos fue de 1 kg

Tabla 1. Registro de los valores de temperatura obtenidos durante los ensayos experimentales. Fuente: autores

Temperatura ambiente (°C)	Temperatura de la placa absorbente (°C)	Temperatura del agua (°C)	Tiempo de exposición (horas)	Hora
28,3	28,8	28,8	0	11:00
28,5	39,7	31,3	0,5	11:30
28,6	44,1	35,0	1,0	12:00
29,1	53,2	42,8	1,5	12:30
29,1	56,4	46,1	2,0	13:00
29,1	64,9	59,4	2,5	13:30
29,2	78,0	68,3	3,0	14:00
29,3	81,1	74,1	3,5	14:30
29,3	99,6	77,2	4,0	15:00
29,4	110,7	87,2	4,5	15:30
29,4	126,3	86,8	5,0	15:00
29,5	119,8	80,5	5,5	16:30
29,5	101,6	74,9	6,0	17:00
29,5	97,5	69,4	6,5	17:30
29,3	96,5	68,1	7,0	18:00
28,9	95,2	66,8	7,5	18:30

A partir de los todos datos experimentales obtenidos se realizó un proceso de cribado de datos hasta obtener los valores más frecuentes en el periodo en que se realizaron los ensayos. A partir de estos valores se obtuvo el comportamiento de la temperatura y la eficiencia de la cocina solar construida. Las figuras 2 y 3 muestran este comportamiento a lo largo del tiempo de radiación solar considerada.

La figura 2 muestra el comportamiento de la temperatura de la masa de agua en el interior de la cocina solar tipo caja construida en este trabajo en un día de experimentos. Se puede observar que a partir de las cuatro horas de exposición se obtienen los valores de temperatura más elevados, con un descenso relativo de pendiente suave a partir de las seis horas y media.

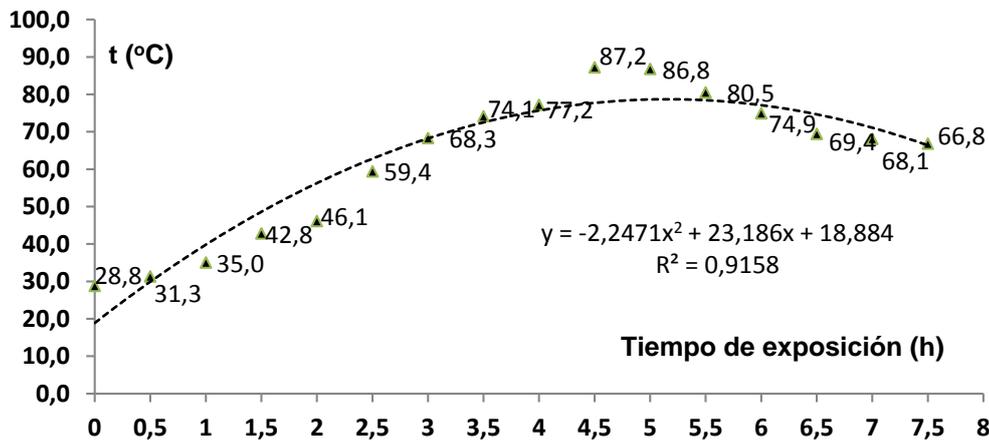


Fig. 2. Comportamiento de la temperatura del agua en el interior de la cocina solar. Fuente: autores

El comportamiento de la eficiencia de la cocina solar tipo caja construida en este trabajo se puede apreciar en la figura 3. Se puede observar que los valores de eficiencia obtenidos superan el 60 % a partir de las 3 horas y media de exposición, llegando a 74 % a las cinco horas y media. Se observa que a medida que aumenta la exposición aumenta la eficiencia, alcanzando los valores más elevados de eficiencia entre las cuatro y las seis horas, con un descenso a partir de las seis horas y media.

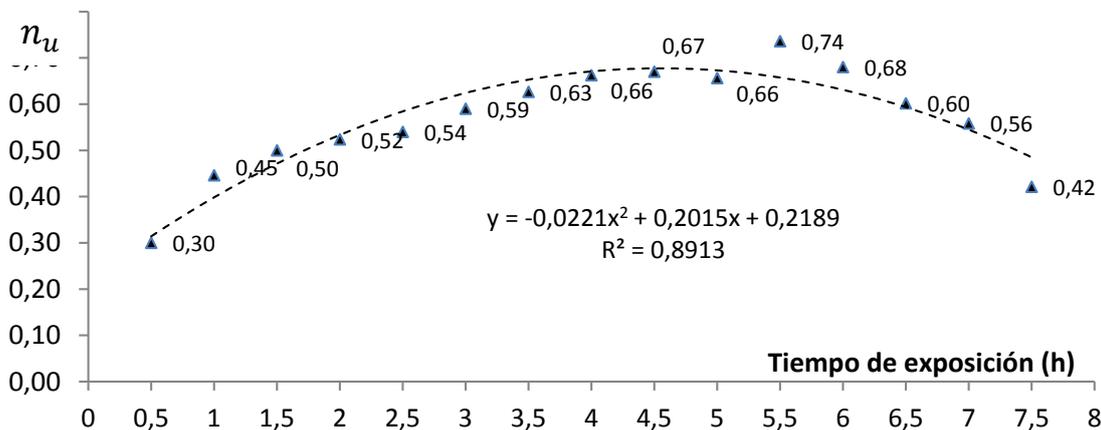


Fig. 3. Comportamiento de la eficiencia alcanzada por la cocina solar construida para el estudio. Fuente: autores

Las curvas de ajuste polinomial y las ecuaciones obtenidas demuestran que es posible realizar un diseño que pueda prever con determinado grado de certidumbre las temperaturas a alcanzar en la masa del agua y la eficiencia de la cocina en su explotación.

La figura 4 muestra el comportamiento comparativo de la cocina solar tipo caja construida para el estudio. El valor de potencia obtenido (37,78 W), es superior a las cocinas tipo caja (21,1 W) y panel (12,9 W) utilizadas empleadas como comparación [2], quedando solo por debajo solo de la cocina parabólica (51,9 W).

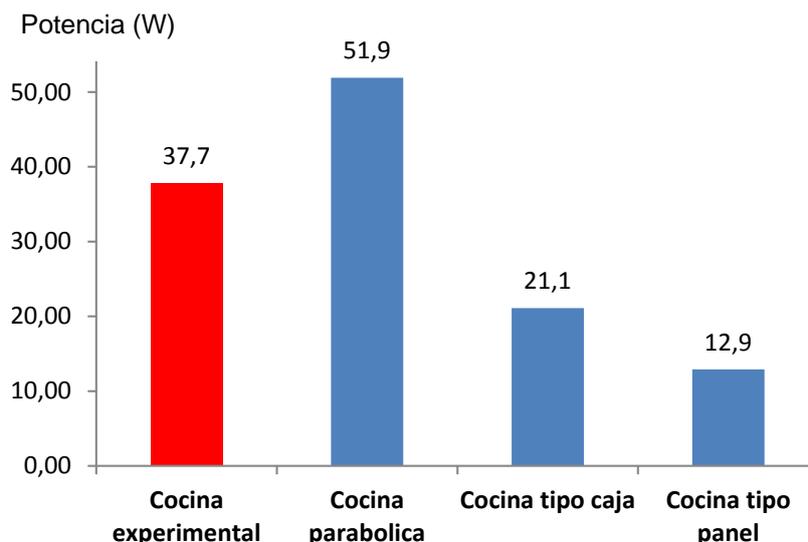


Fig. 4. Valores de potencia de la cocina solar experimental respecto a otros autores [2]. Fuente: autores

3.1. Consideraciones económicas

Para complementar la evaluación desarrollada se determinó la cantidad de combustible ahorrado en un año de funcionamiento de esta cocina solar. Esta evaluación se realiza de manera comparativa a partir del empleo de determinados combustibles empleados en la cocción de alimentos y su poder calórico.

La vida estimada de esta cocina solar es de 15 años. Al analizar la duración de las horas del sol en Santiago de Cuba, se ha determinado que una cocina solar será capaz de cocinar por un tiempo superior a las ocho (8) horas durante aproximadamente 254 días [12]. Esto permitiría realizar ambas comidas del día a partir de luz solar. Como promedio existen 67 días en Santiago de Cuba donde las horas de sol están entre 6 y 7 h/día. En estos días se considera que solo podrá confeccionarse una comida diaria en la cocina solar.

La energía para cocinar por persona, es de aproximadamente 900 kJ de combustible equivalente por comida [11]. La cocina solar construida es capaz de cocinar para cinco (5) personas, y no consume otro combustible durante la cocción de los alimentos. Por lo tanto, ahorrará 4,5 MJ de energía por comida y 2 889 MJ de energía por año.

A partir de estas consideraciones es posible estimar la cantidad de combustible ahorrado en un año de funcionamiento de esta cocina, a partir del empleo de determinados combustibles empleados en la cocción de alimentos a partir del poder calórico de inferior [13]. La tabla 2 que se presenta a continuación expone un estimado del ahorro que sería posible obtener al emplear este medio de cocción.

Tabla 2. Valores del poder calórico y ahorro anual estimado de combustible por el empleo de la cocina solar.

Fuente: autores

Combustibles considerados	Poder Calórico de Inferior (kW-h/kg)	Ahorro de combustible (kg)
GLP	12,75	62,82
Carbón vegetal	4,41	181,78

Como se puede observar el ahorro de combustible superaría los 150 kg de carbón, siendo superior a 60 kg en caso del empleo del GLP como combustible.

Un elemento no despreciable a considerar es que la cocina solar construida emplea como superficies reflectantes la parte interior de las latas vacías de refresco y cerveza, a partir del proceso de reciclaje. Este elemento permitiría el ahorro en la inversión de material reflectante con la consecuente disminución del impacto medioambiental. Por otro lado su empleo en áreas rurales podría significar un ahorro importante en la elaboración de alimento animal en granjas rurales con impacto en las producciones agrícolas y la reducción considerable de la liberación del CO₂ al medio ambiente.

Los resultados de los experimentos desarrollados hacen evidente que el diseño de la cocina solar construida a partir de materiales de desecho, contiene elementos de alto valor, ya se obtienen niveles de eficiencia similar, a los de las cocinas solares que se toman como referencia. El empleo del aluminio pulido obtenido de las latas de cerveza ya consumidas, brinda un modo de aprovechar un tipo de los residuos que, en muchas partes del mundo, constituyen un problema de difícil solución.

El reciclaje que se promueve a partir de estos resultados, permitiría disminuir el consumo de materias primas, reduciendo por tanto la contaminación del aire y del agua, y el impacto las emisiones de gases de efecto invernadero.

Conclusiones

Los resultados obtenidos mostraron que la potencia obtenida en la cocina solar construida fue de 37, 78 W, con valores de eficiencia que superan el 60 % a partir de las 3 horas y media de exposición. Las comparaciones desarrolladas evidencian que la cocina solar tipo caja construida con elementos reciclados, presenta niveles de potencia y eficiencia similares a otras desarrolladas para este fin. El análisis económico que complementa el estudio demostró que la cocina solar tipo caja permite un ahorro estimado de más de 150 kg de carbón vegetal ó 60 kg de GLP, en dependencia del combustible empleado en la cocción de alimentos. Las consideraciones expuestas permiten observar sus posibilidades de ser extendida, colaborando de manera importante en el ahorro de portadores energéticos y en la protección del medio ambiente.

Referencias

1. Khaiwal R, Maninder K, Suman M, Siby J. Trend in household energy consumption pattern in India: A case study on the influence of socio-cultural factors for the choice of clean fuel use. *Journal of Cleaner Production*. 2019; 213: 1024-1034.
2. Bassazin A.M, Muluken T. (2020). Solar cooking in Ethiopia: Experimental testing and performance evaluation of SK14 solar cooker. *Case Studies. Thermal Engineering*. 2020; 22 (2): 10-17.
3. Gulsavin G., Shanmugam S. & AR. Veerappan. Performance evaluation of a box-type solar cooker integrated with Fresnel lenses, *International Journal of Ambient Energy*. 2022; 43(1): 6132-6141.
4. Toonen, H.M. Adapting to an innovation: Solar Cooking in the Urban Households of Ouagadougou (Burkina Faso), *Physics and Chemistry of the Earth*. 2009; 1 (2): 65-71.
5. Muthusivagami R.M, Velraj, R, Sethumadhavan R. Solar cookers with and without thermal storage-a review. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2010; 14: 691-701.
6. Zeleke A., Sameer H. Design, construction and performance evaluation of aBox type solar cooker with a glazing wiper mechanism. *AIMS Energy*. 2018; 6 (1): 146-169.
7. Nieto Columbie J.D, Moreno García R.R, Medel González F. Evaluación del potencial energético de los residuos sólidos en Santiago de Cuba. *Anuario Facultad de ciencias Económicas y Empresariales*. 2021; 10: 90-108.
8. Surendra Poonia A, Singh K. Development and Performance Evaluation of High Insulation Box Type Solar Cooker. *Agricultural Engineering Today*. 2018; 43(1): 1-10.
9. Ramírez R. J. Evaluación del desempeño térmico de una estufa solar parabólica. *LADEE*. 2021; 2 (2): 16-24.
10. El-Sebaei A.A, Ibrahim A. Experimental testing of a box solar cooker using the standard procedure of cooking power. *Renewable Energy*. 2015; 30: 1861-1871.
11. Kundapur A, Sudhir C.V. Proposal for new world standard for testing solar cookers. *Journal of engineering science and technology*. 2019; 4(1): 27-28.
12. Fonseca Fonseca S, Andiñ Torres R, Pacheco Busquets O, Torres-Ten A, Zenón-Cobián F. Diseño, construcción y evaluación sin carga de un prototipo de secador solar para el secado de Anamú. *Tecnología Química*. 2019; 39(1): 148-159.
13. Mukhopadhyay A, Sen S. *Fundamentals of Combustion Engineering*. 1st ed. Boca Raton, FL 33487-2742. USA: Taylor & Francis eBooks; 2019.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

Josué Imbert González. <https://orcid.org/0000-0001-8384-3684>

Participó en la concepción del artículo, en la elaboración, revisión del diseño y ejecución de las tareas de investigación, así como en la revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del trabajo final.

Raimundo González Pérez. <https://orcid.org/0000-0001-7395-5391>

Participó en la recogida de datos de manera directa, en el desarrollo de los experimentos, en el procesamiento de datos experimentales y en la revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del trabajo final.

Beatriz Bú Alba. <https://orcid.org/0000-0002-8776-8463>

Participó en el diseño de las tareas de investigación, en la investigación bibliográfica, así como en la revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del trabajo final

Elena Gómez Domecq. <https://orcid.org/0000-0002-9154-0760>

Participó en el diseño de las tareas de investigación en la investigación bibliográfica, así como en la revisión crítica de su contenido, redacción y aprobación del trabajo final