



Eficiencia térmica de calentadores solares industriales de tubos al vacío de alta presión Thermal efficiency of industrial solar heaters of tubes to the hole of high pressure

Amarilys Méndez García¹

<https://orcid.org/0009-0007-0331-1217>

Elen Dolores Álvarez Pardo¹

<https://orcid.org/0000-0003-3570-959X>

Yohani de Ávila Suárez¹

<https://orcid.org/0000-0003-4984-8937>

Pavel Roel Gutiérrez Sandoval²

<https://orcid.org/0000-0003-0437-1549>

¹Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Centro Universitario
Municipal de Morón, Ciego de Ávila, Cuba

²Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua, México

amarilysmg64@gmail.com elen@unica.cu

yohani@nauta.cu pavel.gutierrez@uacj.mx

Recibido: 2026/01/20 Aceptado: 2026/05/30 Publicado: a2026/09/23

Artículo original

Resumen

Introducción: El trabajo trata la eficiencia térmica de calentadores solares industriales de tubos al vacío. **Objetivo:** revelar la eficiencia térmica del calentador solar de tubos al vacío de alta presión utilizando las metodologías establecidas que permite la mejora en el aumento del servicio de agua caliente a mayor cantidad de usuarios, utilizando procedimientos de evaluación transitorios y procedimientos bajo condiciones estacionarias. **Método:** se aplicaron métodos del nivel empírico para recopilar la información sobre el estado del arte y el método experimental para las mediciones realizadas: las temperaturas de entrada y salida del agua al calentador y la irradiancia solar. La investigación se realizó en el Hotel Ciego de Ávila y en Villa Azul, Cayo Coco. Se caracterizaron las instalaciones, considerando la estructura de

e9093

Cite este artículo como:

Méndez García, A., Álvarez Pardo, E.D., Ávila Suárez, Y. de y Gutiérrez Sandoval, P.R. (2026). Eficiencia térmica de calentadores solares industriales de tubos al vacío de alta presión. *Universidad & ciencia*, 15(3), e9093.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/9093>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.22882843>



consumo energético, basado en estudios de cargas. Esta tecnología responde a la demanda de agua caliente de cada esquema. **Resultados:** el rendimiento térmico de los calentadores solares instalados en el hotel Ciego de Ávila es de 82 %, mientras que en Villa Azul es de 81.5 %. **Conclusión:** los calentadores solares industriales de tubos al vacío tienen alto rendimiento durante todo el año, y pueden ser utilizados con inclinación desde nivel horizontal hasta cerca de la vertical en (2-90°), no requieren de tanque de abasto, se pueden instalar a cualquier altura y usar hidroneumáticos, por ser más económica y fácil su instalación.

Palabras clave: calentadores solares; energía; fuentes renovables

Abstract

Introduction: This paper addresses the thermal efficiency of industrial solar water heaters with vacuum tubes. **Objective:** To reveal the thermal efficiency of the high-pressure vacuum tube solar heater using established methodologies, which allows for improvements in increasing the hot water service to a larger number of users, employing both transient evaluation procedures and procedures under stationary conditions. **Method:** Empirical level methods were applied to gather information on the state of the art, and the experimental method was used for the measurements taken: water inlet and outlet temperatures of the heater, and solar irradiance. The research was conducted at the Hotel Ciego de Ávila and at Villa Azul, Cayo Coco. The facilities were characterized, considering the energy consumption structure, based on load studies. This technology meets the hot water demand of each setup. **Results:** The thermal performance of the solar heaters installed at the Hotel Ciego de Ávila is 82 %, while at Villa Azul it is 81.5 %. **Conclusion:** Industrial solar water heaters with vacuum tubes have high performance throughout the year, can be used with inclinations ranging from horizontal to nearly vertical (2-90°), do not require a supply tank, can be installed at any height, and can use hydropneumatic systems, as their installation is more economical and easier.

Keywords: energy; renewable sources; solar heaters

Introducción

e9093

Cite este artículo como:

Méndez García, A., Álvarez Pardo, E.D., Ávila Suárez, Y. de y Gutiérrez Sandoval, P.R. (2026). Eficiencia térmica de calentadores solares industriales de tubos al vacío de alta presión. *Universidad & ciencia*, 15(3), e9093.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/9093>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.22882843>



El consumo de energía, está indisolublemente relacionado con el desarrollo tecnológico, el desarrollo de la humanidad y el bienestar social que exige un mayor consumo energético. El consumo de energía a escala mundial, supera los 10 TW/Años. Destacándose, los países industrializados, con el mayor consumo energético.

En los últimos años, el crecimiento de la población mundial y sus requerimientos energéticos, el cambio climático, la contaminación y los daños a ecosistemas por la acción del hombre, ha motivado la búsqueda de nuevas formas de generación de energía, más limpias y eficientes (Moreno, 2013).

Cerca del 67,2 % del total de energía consumida a nivel mundial es producida mediante combustibles fósiles y sólo cerca del 27 % obtenida mediante energías renovables (Melikoglu, 2018).

La solución de este problema presupone que las nuevas fuentes sean compatibles con el medio ambiente y permitan un desarrollo sostenible para la humanidad.

Las energías renovables son aquellas fuentes de energías basadas en la utilización de recursos naturales, el sol, el viento, el agua y la biomasa vegetal o animal, capaces de renovar ilimitadamente. Conocidas como energías alternativas o verdes, ya que no generan contaminación (Gutiérrez, 2005).

La energía solar es la fuente de energía más abundante de la tierra. Además de renovable, disponible y gratuita; está en cantidad muy superior a las necesidades energéticas de la población mundial. Durante el año, el sol arroja sobre la tierra cuatro mil veces más energías que la que se consume y sólo se utiliza una pequeña parte, por lo que el camino a recorrer es todavía largo (Martínez, *et al.*, 2016).

En los últimos años ha existido un notable aumento de instalaciones de energía solar térmica (EST), debido a la mayor sensibilidad social y política hacia temas medioambientales, y a la continua mejora y reducción de costos de los sistemas solares térmicos. La EST puede utilizarse para: la calefacción, la refrigeración o la des humidificación del aire ambiente, la generación de calor de proceso y con fines de secado, el calentamiento de agua para fines industriales y

e9093

Cite este artículo como:

Méndez García, A., Álvarez Pardo, E.D., Ávila Suárez, Y. de y Gutiérrez Sandoval, P.R. (2026). Eficiencia térmica de calentadores solares industriales de tubos al vacío de alta presión. *Universidad & ciencia*, 15(3), e9093.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/9093>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.22882843>



domésticos hasta el tratamiento de materiales y la generación de electricidad. Esto contribuye de forma decisiva a reducir los costos energéticos y ahorrar en combustibles fósiles durante la generación de calor.

El uso de la energía térmica solar para el calentamiento de agua es una opción renovable, que permite disminuir la quema de combustible tradicional, por lo que los costos se reducen; además de ser una energía amigable al medio ambiente, se evita la emisión de gases como (NO_x, SO_x, CO_x). La energía solar utilizada a través de calentadores solares contribuye significativamente a disminuir la utilización de combustibles fósiles y con ello a una de las principales estrategias de mitigación del cambio climático a nivel mundial (Juantorea Ugaz *et al.*, 2017).

Los calentadores solares aprovechan la energía del sol y la transforman en energía térmica mediante el uso de líquido o aire. Pueden ser sistemas pasivos que utilizan la circulación natural o sistemas activos, que utilizan las bombas para hacer circular y generar calor (Moreno, 2013).

En Cuba el aprovechamiento de la energía solar, fotovoltaica y térmica, ha ido en desarrollo. Según la web oficial del Ministerio de Energía y Minas (2013), existen 40 parques solares fotovoltaicos con 87,5 MW de potencia, que alcanzan una generación eléctrica de 60,9 GWh y sustituyen aproximadamente 19 mil 440 toneladas de combustible anualmente. El potencial de radiación solar en el país es de aproximadamente 5 kWh por metro cuadrado por día. Están instalados un total de aproximadamente 9 mil 164 paneles solares aislados en escuelas, policlínicos, casa del médico de familia, entre otros lugares. En octubre del año 2025 se habían instalados alrededor de 26 parques fotovoltaicos más, sincronizados con el Sistema Electro energético Nacional.

En los Lineamientos de la Política Económica y Social aprobados en el VI congreso del Partido Comunista de Cuba (PCC, 2021), se aprecia la importancia concedida por la máxima dirección de la nación, a la eficiencia energética y en los Lineamientos 113, 247 y 267 se llama a fomentar el incremento del uso de las fuentes renovables de energía (FRE). (CC, PCC Lineamientos de la Política



Económica y Social del Partido y la Revolución, 2011, p. 36); reafirmados en el VIII Congreso del PCC y que representa un sector estratégico para el país.

La energía solar térmica, en Cuba, está difundida. Hay instalados más de 10 mil 595 calentadores solares de diferentes tecnologías, principalmente en el sector del turismo. Además, en la industria nacional, desde el 2008, se cuenta con la Fábrica de Calentadores Solares, de tecnología China ubicada en la ciudad de Morón, en la provincia de Ciego de Ávila, con una capacidad de producción, de 18 mil calentadores anuales Bériz y Madruga, (2008).

La temperatura requerida del agua caliente sanitaria para el consumo en un hogar se encuentra en el rango de 45 a 60 °C. Considerando que la demanda de agua caliente, está sujeta a un alto grado de variación del día a día y de consumidor a consumidor, no es práctico usar un único perfil de demanda. Un perfil habitual de demanda térmica de agua caliente, asume un consumo diario moderado de 40 L/persona a 45 °C para una vivienda de 4 personas como bien se especifica en la norma UNE 94002.

La Empresa de Energías Renovables (RENSOL), empresa líder en el Caribe Insular en el diseño y fabricación de sistemas tecnológicos ecológicos, produce calentadores solares de 90 litros, de baja presión; de 200 litros de alta y baja presión, domésticos y los calentadores industriales con una capacidad de almacenamiento de agua según el depósito seleccionado en correspondencia con las necesidades del lugar.

En el transcurso de la explotación de los calentadores solares, se han presentado dificultades: la dureza del agua, al ser tratadas las mismas, provoca incrustaciones en las placas captadoras solares, en un término de cuatro meses, disminuyendo el aprovechamiento de la radiación solar y por tanto también la eficiencia del calentador, lo que influye en que el agua alcance menor temperatura y el calentador produce menos cantidad de agua caliente, esto requiere realizar los mantenimientos a corto plazo, aumentando el costo de los mismos y disminuyendo la vida útil del calentador.



Para dar solución a esa problemática se han empleado calentadores solares de tubos al vacío de alta presión, tomándose como muestras para el experimento: 23 calentadores solares de tubos al vacío de alta presión, en el hotel Ciego de Ávila y 10 en Villa Azul en Cayo Coco, donde habían instalados calentadores planos de 1,9 m² y 200 litros de capacidad.

El objetivo de la investigación es: revelar la eficiencia térmica del calentador solar de tubos al vacío de alta presión utilizando las metodologías establecidas, que permitirá la mejora en el aumento del servicio de agua caliente a mayor cantidad de usuarios.

Para el desarrollo de la investigación se realizaron las siguientes tareas:

1. Determinó la irradiancia solar en la zona de estudio.
2. Caracterizó y cuantificó la eficiencia térmica del calentador solar de tubos al vacío de alta presión.
3. Determinó la relación de la irradiancia y la instalación con la eficiencia térmica del calentador solar de tubos al vacío de alta presión.

Materiales y Métodos

Para la investigación se utilizaron calentadores solares industriales de tubos al vacío, de alta presión, contruidos en la empresa de Energías Renovables, en Morón, provincia Ciego de Ávila, Cuba, comercializados, bajo la marca RENSOL.

Se midieron las temperaturas de entrada y salida del agua con termómetros digitales (PASS F-808), con una precisión de $\pm 0,1$ °C, acoplados directamente al flujo de agua.

La irradiancia solar, se midió cada 30 minutos, a partir de las 8.00am hasta las 2.30pm, utilizando un panel NUMEN con un soporte de inclinación variable para situarlo a la misma inclinación de los paneles solares, y un multímetro digital acoplado a la laptop, Ekici y Teke, (2017) y Al-Taani y Arabasi, (2018).

En ambas instalaciones, anteriormente habían instalados calentadores planos de 1,9 m² y 200 litros de capacidad. En el transcurso de su explotación, se presentaron dificultades: debido a la dureza del agua, las placas captadoras solar, se incrustan en un término de cuatro meses, esto hace que la eficiencia del

e9093

Cite este artículo como:

Méndez García, A., Álvarez Pardo, E.D., Ávila Suárez, Y. de y Gutiérrez Sandoval, P.R. (2026). Eficiencia térmica de calentadores solares industriales de tubos al vacío de alta presión. *Universidad & ciencia*, 15(3), e9093.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/9093>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.22882843>



calentador disminuya considerablemente, no cumpliendo con las funciones de diseño y explotación.

Se evaluaron 23 calentadores instalados hace cinco años en el hotel Ciego de Ávila, ubicado en las afueras de la ciudad y 10 instalados en Villa Azul, Cayo Coco hace 10 años.

Las mediciones obtenidas se procesaron usando el software Match CAD 15 para obtener los principales parámetros de los calentadores solares.

Diferentes autores, como Ashrae (2008), Duffie y Beckand (2013) y Estif (2012) coincidiendo con la Norma Mexicana NMX-ES-004-NORMEX (2010) para evaluar calentadores solares, (vigente desde junio del 2010), plantean que existen dos métodos generales para evaluar el rendimiento de los paneles solares:

El procedimientos de evaluación transitorios, como uno de los métodos generales para evaluar el rendimiento de los paneles solares que se usa para evaluar en largos períodos de tiempo el comportamiento de los calentadores solares en condiciones dinámicas es utilizada en esta investigación, se hace un monitoreo del rendimiento para rangos de radiación y condiciones del ángulo de incidencia, subsecuentemente los resultados dependen del tiempo y es usado para identificar datos transitorios de los parámetros de rendimiento del calentador, este procedimiento es muy impreciso.

Otro procedimiento es bajo condiciones estacionarias, que permite obtener resultados de mayor precisión y confiabilidad para determinar el rendimiento de los calentadores en condiciones reales de explotación.

Según Ashrae (2008), las mediciones, deben cumplir los siguientes requisitos:

1. Incidencia normal de la irradiación solar sobre los calentadores, para garantizar el máximo de potencia solar, es decir, alrededor de las 12 m. Además, la transmitancia del vidrio y la absorbancia dadas por los fabricantes está definida para incidencia normal.
2. La irradiancia debe permanecer aproximadamente constante en el tiempo de medición, para garantizar un intercambio de calor estacionario en el sistema.



3. El caudal debe de permanecer constante, por la misma razón que la irradiancia.
4. La velocidad del viento debe ser constante y preferiblemente igual a 0, para garantizar un intercambio de calor estacionario con el entorno.

En estas condiciones el modelo matemático para evaluar el rendimiento, según Duffie y Beckand (2013) y Estif (2012) está dado por la Figura 1

Figura 1

Fórmula para determinar el rendimiento

$$\eta = F_R \tau \alpha - F_R U_L \left(\frac{T_m - T_a}{G} \right) \quad (1)$$

Donde:

FR: factor de remoción o extracción del calor.

UL: coeficiente global de pérdidas,

Tm: temperatura media entre la entrada y salida.

Ta: temperatura ambiente.

G: irradiancia solar en W/m²

El rendimiento de un colector solar, se define como la relación entre la tasa de energía útil ganada sobre un determinado período de tiempo y la cantidad de energía incidente sobre el mismo período.

Resultados y Discusión

A partir de la investigación desarrollada en el hotel Ciego de Ávila y en Villa Azul, Cayo Coco, para evaluar el rendimiento térmico de los calentadores solares de tubos al vacío de alta presión, se obtienen los siguientes resultados:

Como podemos ver en la Figura 2, el valor de la irradiancia va aumentando desde 1015 W/m² hasta 1080 W/m², con la energía radiante del sol, desde las 8.00 am hasta la 1.00 pm, luego permanece constante hasta aproximadamente las 2.30 pm, que paulatinamente va disminuyendo. En el hotel Ciego de Ávila el valor máximo es de 1075 W/m² y en Villa Azul 1080 W/m². El valor medio de irradiancia por meses, en el hotel Ciego de Ávila es de 1057 ± 6 W/m² y en Villa Azul de 1059 ± 7 W/m². Estos resultados son similares a los de obtenidos por (Juantorea Ugaz *et al.*, 2017).

e9093

Cite este artículo como:

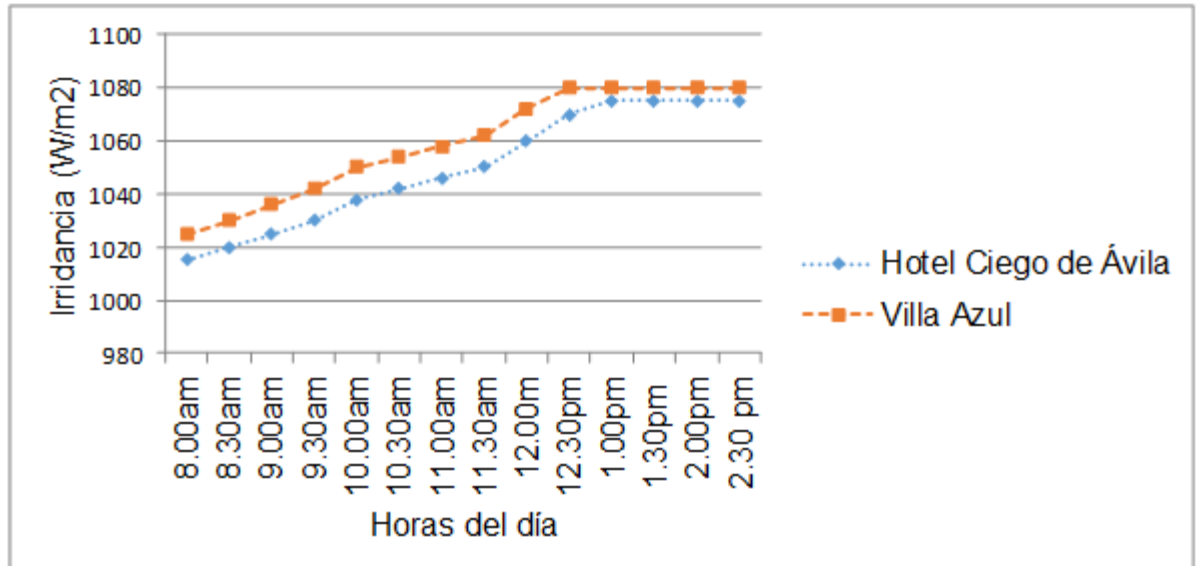
Méndez García, A., Álvarez Pardo, E.D., Ávila Suárez, Y. de y Gutiérrez Sandoval, P.R. (2026). Eficiencia térmica de calentadores solares industriales de tubos al vacío de alta presión. *Universidad & ciencia*, 15(3), e9093.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/9093>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.22882843>

Figura 2

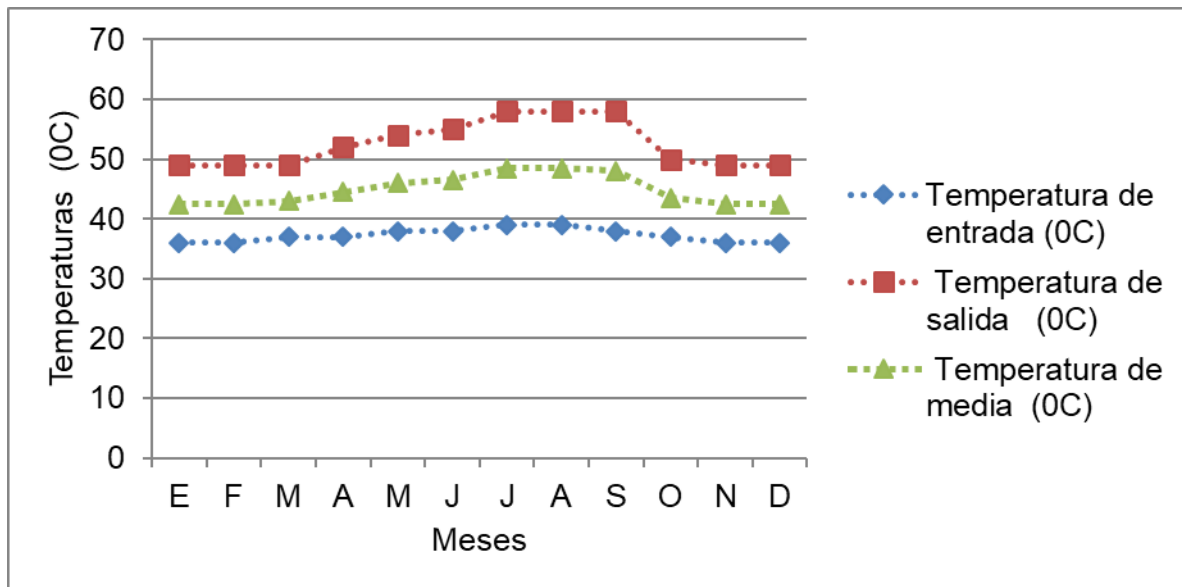
Valores de la irradiancia en los diferentes horarios.



Para determinar la energía, por unidad de tiempo que adquirió el agua al elevar su temperatura desde la entrada hasta la salida, se midieron las temperaturas de entrada y salida del agua. Y con ellas se determinó la temperatura media en cada instalación, como podemos ver en la Figura 3, en el hotel Ciego de Ávila, el valor medio de la temperatura de entrada es de 37,25 °C y la de salida de 52,5 °C, resultando la temperatura media de 44,8 °C.

Figura 3

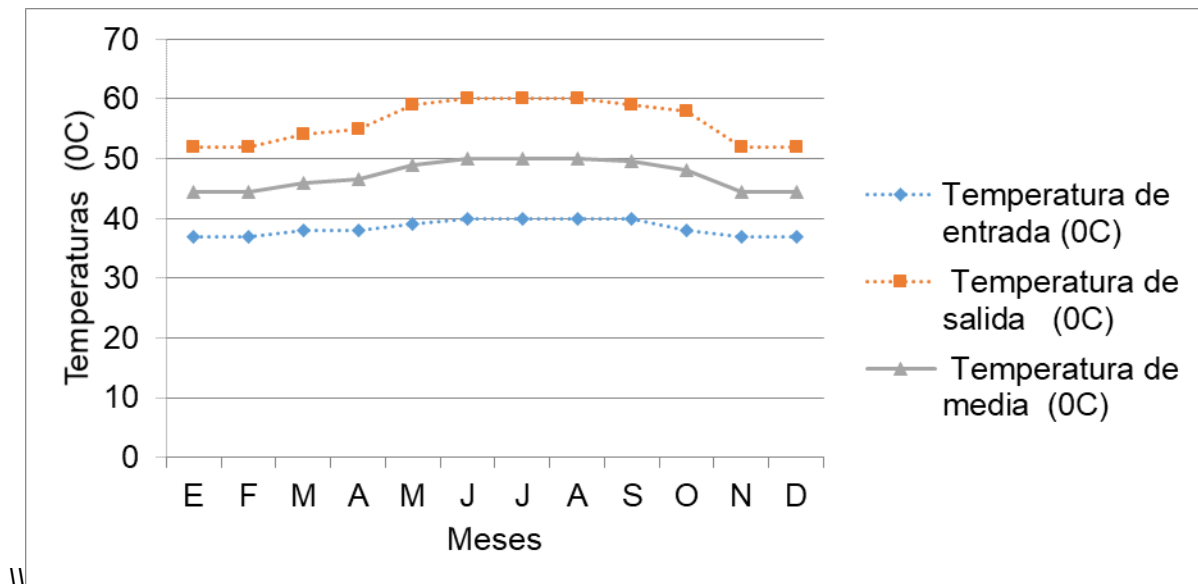
Temperatura de entrada, salida y media del agua en el hotel Ciego de Ávila.



En la Figura 4, se puede observar que, en Villa Azul, el valor medio de la temperatura de entrada es de 38,42 °C y la de salida de 56,08 °C, resultando la temperatura media de 47,25 °C.

Figura 4

Temperatura de entrada, salida y media del agua en Villa Azul, Cayo Coco.



La energía (potencia) útil, es decir, la (entalpía) por unidad de tiempo que adquirió el agua al elevar su temperatura desde la entrada hasta la salida, en el hotel Ciego de Ávila es de 13,40 W, y en Villa Azul de 15.52 W.



La energía útil ganada, de salida, es la diferencia entre la radiación absorbida y las pérdidas térmicas, considerando el factor de remoción o extracción de calor (FR), que en las condiciones del experimento es 0,965. Y el coeficiente global de pérdidas globales (UL) 2,72.

Para determinar la energía útil ganada, se tiene en cuenta la temperatura ambiente, por meses.

La temperatura ambiente oscila entre 23 y 28 °C en ambos lugares.

Luego, la energía útil ganada en el hotel Ciego de Ávila es de 2,42 kW, y en Villa Azul de 2,41 kW.

Se valoró la eficiencia de conversión solar en calórica, determinando la eficiencia instantánea de los calentadores, es de 0.54 en el hotel Ciego de Ávila y 0.54 en Villa Azul.

Luego con los valores de α y τ , dados por el fabricante se determina el factor de remoción o extracción del calor y el coeficiente global de pérdidas que definen el rendimiento térmico real del calentador solar, según la Figura 1, resultando que el rendimiento térmico de los calentadores solares instalados en el hotel Ciego de Ávila es de 82 %, mientras que los de Villa Azul es de 81.5 %, Estos resultados superan el 59 % obtenido por Bermúdez, (2017).

Conclusiones

Los calentadores solares de tubos al vacío de alta presión, tienen mayor eficiencia, producen mayor cantidad de agua caliente, son más confiables, los mantenimientos son más fáciles y menos costosos, son más resistentes a los fenómenos naturales y la instalación tiene mayor duración de vida útil, por tanto, la investigación realizada demostró que los calentadores solares de tubos al vacío de alta presión, son eficientes y producen mayor cantidad de agua caliente.

Referencias Bibliográficas

Al-Taani, H. y Arabasi, S. (2018). Solar Irradiance Measurements Using Smart Devices: A Cost-Effective Technique for Estimation of Solar. *Revista Sustainability*. 10(508), 1-11.



- Ashrae, W, (2008). Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collector. *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers*. Wiley.
- Bermúdez, D. A. (2017). *Repotenciación de un calentador solar de agua de tubos al vacío para el asilo “El señor de los milagros”*, San Juan de Girón. Universidad Pontificia Bolivariana.
- Bérriz, L. y Madruga, E. (2008). Las energías renovables en Cuba. *Revista energía y tú (D) RNPS. Volumen 2219*.
- Duffie, J. A. y Beckman, W. A. (2013). Chapter 6: Flat plate collector. Collector characterizations. In: *Solar engineering of thermal process 4th Edition*. New Jersey.
- Ekici, C. y Teke, I. (2017). *Total Global Solar Radiation Estimation with Relative Humidity 2 and Air Temperature Extremes in Ireland and Holland. Geoscientific*. Instrumentation Method.
- Estif. (2012). Guide on Standardization and Quality Assurance for Solar Thermal. *Revista Global Solar Water*. No.71. www.solarthermalworld.org/node/330
- Gutiérrez, O. (2005) Estrategia de desarrollo del turismo en Cuba: Retos y perspectivas. Ministerio del turismo.
- Juantorea Ugaz, A., Godínez Mena, A. C. y Hernández Gálvez, A. M. (2017). Evaluación experimental de un calentador solar de agua de tubos evacuados. *Revista de Aplicación Científica y Técnica*, 3(8), 24-34.
- Martínez, A. R., Hernández, A. P y Bernal, R. M. (2016). Análisis del Estado del Arte del Calentamiento de Agua con Energía Solar: Mini revisión. *Revista Márgenes*, 4(2), 13-40.
- Melikoglu, M. (2018). Current status and future of ocean energy sources: A global review. *Jornal Ocean Engineering*, 148, 563-573.
- Ministerio de Energía y Minas (2013). Análisis de la situación actual. Presupuesto general de ingresos y egresos del estado para el ejercicio fiscal 2016 y Multianual 2016-2018.



Moreno, C. (2013) Cuba hacia 100 % energías renovables. *Revista Energía y tú*, 62(2).

Norma cubana UNE 94002. (2005). *Instalaciones solares térmicas para la producción de agua caliente sanitaria*.

Norma Mexicana NMX-ES-004-NORMEX. (2010) Evaluación de calentadores solares.

Partido Comunista de Cuba. (2021). Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el período 2021-2026 [Documento aprobado en el 8vo Congreso del PCC].
https://www.pcc.cu/sites/default/files/documentos/lineamientos_2021-2026.pdf

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflictos de intereses.



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/). Se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de los contenidos y no realice modificación de la misma.