

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Colector solar semiesférico de plástico para la obtención de
agua caliente en condiciones altoandinas

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Por:

Erick Alex Cancapa Turpo

Haydee Concepción Coyla Bustinza

Asesor:

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, mayo de 2021

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

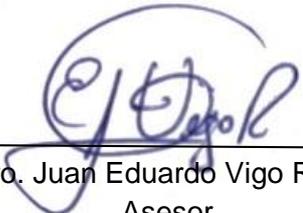
Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: **“COLECTOR SOLAR SEMIESFÉRICO DE PLÁSTICO PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA CALIENTE EN CONDICIONES ALTOANDINAS”** constituye la memoria que presenta los Bachilleres **Erick Alex Cancapa Turpo** y **Haydee Concepción Coyla Bustinza** para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad de los autores, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 28 días del mes de octubre del año 2021



Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera
Asesor



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 04 día(s) del mes de Mayo del año 2021, siendo las 14:00 horas, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: MSc. Rose Adeline Ballata Bhuera el secretario: Ing. Miguel Angel Salcedo Enriquez y los demás miembros: MSc. Mateo Alejandro Salinas Mena y el asesor Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Colector solar semiesférico de plástico para la obtención de agua caliente en condiciones altoandinas"

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) Erick Alex Bancapa Turpo b) Haydee Concepción Boyla Bustinza conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental (Nombre del Título Profesional)

con mención en

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): Erick Alex Bancapa Turpo

Table with columns: CALIFICACIÓN, ESCALAS (Vigesimal, Literal, Cualitativa), Mérito. Row 1: Aprobado, 15, B-, Bueno, Muy bueno

Candidato (b): Haydee Concepción Boyla Bustinza

Table with columns: CALIFICACIÓN, ESCALAS (Vigesimal, Literal, Cualitativa), Mérito. Row 1: Aprobado, 15, B-, Bueno, Muy bueno

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Signatures and names for Presidente, Asesor, Miembro, Secretario, Candidato/a (a), and Candidato/a (b).

Colector solar semiesférico de plástico para la obtención de agua caliente en condiciones altoandinas

Cancapa Turpo Erick Alex ^{a*}, Coyla Bustinza Haydee Concepción^a, Vigo Rivera Juan Eduardo ^a

^aEP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

Resumen

Obtener agua caliente doméstica en zonas altoandinas es una necesidad que se limita, por las bajas temperaturas, es por ello que en los últimos años se ha buscado nuevas alternativas de bajo costo que sean amigables con el medio ambiente, por ello esta investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de un colector solar semiesférico de plástico para obtención de agua caliente de uso doméstico en condiciones altoandinas. Para esto se construyó un colector solar de plástico compuesto por una cúpula acrílica (40 y 43 cm de radio y altura), una manguera de plástico negra corrugada (25 m de longitud y 2.5" de diámetro) que fue enrollada en una base semiesférica de alambre y un tanque de almacenamiento de plástico con una capacidad de (126 L). Se monitoreo los parámetros de radiación solar, temperaturas de entrada, salida y ambiental. En un periodo de 40 días en los meses de (septiembre –octubre) en intervalos de 30 minutos empleando 2 sensores Arduino de temperatura MI35. La radiación solar promedio fue de 551 W/m², la temperatura media fue 45 °C y la temperatura promedio máxima alcanzada del colector fue 58.45 °C a las 12:00 horas, luego del estudio se concluyó que la eficiencia obtenida del colector fue del 65 % y que la cantidad de energía térmica que se encuentra dentro del domo no posee pérdidas de energía ni de rendimiento por los efectos de enfriamiento del viento.

Palabras clave: Colector; eficiencia; temperatura; radiación; rendimiento.

Summary

Obtaining domestic hot water in high Andean areas is a need that is limited, due to low temperatures, that is why in recent years new low-cost alternatives that are friendly with the environment have been sought, therefore this research aimed to to evaluate the efficiency of a plastic hemispherical solar collector to obtain hot water for domestic use in high Andean conditions. For this, a plastic solar collector was built composed of an acrylic dome (40 and 43 cm in radius and height), a corrugated black plastic hose (25 m in length and 2.5 "in diameter) that was wound on a hemispherical base of wire and a plastic storage tank with a capacity of (126 L). The parameters of solar radiation, inlet, outlet and environmental temperatures were monitored. In a period of 40 days in the months of (September –October) in 30 minute intervals using 2 Arduino MI35 temperature sensors. The average solar radiation was 551 W / m², the average temperature was 45 ° C and the maximum average temperature reached from the collector was 58.45 ° C at 12:00 hours, after the study it was concluded that the efficiency obtained from the collector was of 65% and that the amount of thermal energy found inside the dome has no energy or performance losses due to the cooling effects of the wind.

Keywords: Collector, efficiency, temperature, radiation, performance.

* Autor de correspondencia:

Km. 19 Carretera Central, Ñaña, Lima

Tel.: +0-000-000-0000

E-mail: autor1@institute.xxx, autor2@institute.xxx, autor3@institute.xxx

1. Introducción

El calentamiento global es uno de los mayores problemas ambientales provocados por el ser humano esto se debe a que, el 86,7% de la energía mundial es producida por energía fósil, como el petróleo, carbón y el gas natural. De acuerdo al, Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, esto provoca el efecto de gas invernadero (Osinergmin, 2017).

Peñaranda (2020) menciona que, en el 2019 las emisiones por (CO₂) se incrementaron en un 20 %. Esto genera que la concentración de gases en la atmósfera aumente la temperatura de la tierra en un promedio de 33°C provocando mayor contaminación en el aire, agua y suelo (Escobar, 2019).

Vega (2015) afirma que, a lo largo de la historia, el hombre se ha visto en la necesidad de utilizar distintas fuentes de energía para llevar a cabo sus actividades. Por ello una de las alternativas para mitigar los problemas de contaminación ambiental son las energías renovables, un recurso energético natural que, a diferencia de la energía convencional, son inagotables y su participación en los últimos años se ha ido desarrollando de manera continua (Zavala, 2018). La radiación solar tiene un gran impacto en la sociedad, debido a que se ha convertido en una fuente térmica para generar agua caliente de formas más económica y eficientes, resaltando además que este tipo de energía no provoca efectos negativos en el medio ambiente (Handayani y Ariyanti, 2012).

Según, Atarama (2019), la cantidad de energía que el sol vierte sobre la tierra es diez mil veces mayor a la que se consume por día. De acuerdo al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, el Perú cuenta con valores extremos de radiación solar que afectan a 19 puntos del país, encabezando la lista de los países con mayor radiación solar (Senamhi, 2019).

Los Autores Navntoft y Cristóbal (2019) sostienen que, una de las formas de aprovechamiento directo de la energía solar como fuente térmica es transformarla en calor, ya que hasta la actualidad los sistemas tradicionales para la obtención de agua caliente, son termas y duchas eléctricas, estas fuentes de calor demandan un consumo de 180 kWh. Según, el Ministerio de Energía y Minas, estos requieren un alto costo de inversión en su adquisición y mantenimiento (MINEM, 2020).

En este marco, la energía solar térmica, aprovechada adecuadamente proporciona un desarrollo sostenible de forma económica, brindando soluciones energéticas a zonas aisladas o no conectadas a redes de distribución, permitiendo el acceso de agua caliente a personas de zonas altoandinas de la sierra peruana, sector que por cierto es uno de los más vulnerables del país debido a sus condiciones frías, ya que en los meses de junio, julio y agosto las temperaturas bajan drásticamente alrededor de -15 °C; esta variabilidad climática es conocida como helada meteorológica generando serios problemas en niños y adultos (Umiña, 2014).

Jiménez y Llivichusca (2015) mencionan que el primer calentador solar con energía surgió a partir del investigador Horace de Saussure, quien inventó una caja caliente en 1767. Esta consistía en una caja acristalada donde ingresaban los rayos del sol, mientras que el interior fue pintado de negro. Salvo la caja de cristal, todas contaban con material aislante que permitía retener el calor en el interior. De esta manera, las temperaturas que se alcanzaban podían llegar a los 109°C. Ese éxito inicial marcó el comienzo de una tradición de innovaciones, que hasta el día de hoy han ido evolucionando a través de los años (Quitiaquez et al., 2020).

En la actualidad, en el mercado existen colectores solares semiesféricos como los de la empresa (Bubblesun, 2015). Este emplea materiales de plástico y tienen la ventaja de captar la radiación solar desde cualquier ángulo de inclinación, ocupa poco espacio, y pueden ser construidos fácilmente y de manera sencilla (Lalla y Juanicó, 2016). Gracias a ello los hogares de bajos recursos económicos tendrán acceso al agua caliente mejorando su nivel de vida (Alberto y Bobadilla, 2019).

Enmarcados en el contexto descrito el objetivo de la investigación fue diseñar, construir y evaluar un colector solar semiesférico operando en un régimen de circulación forzada, asimismo analizar la eficiencia térmica. A partir de un modelo matemático del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

(IDAE, 2020), contribuyendo a la sociedad con un nuevo sistema de calentamiento de agua, en bajo costo, para las regiones frías.

2. Materiales y Métodos

2.1. *Ámbito de estudio*

La investigación se realizó en la ciudad de Juliaca en la región de Puno-Perú, a una altitud de 3825 msnm. El diseño del colector fue semiesférico de material de plástico y evaluado bajo condiciones ambientales no controladas.

2.2. *Diseño y construcción*

La base del colector está compuesta por poliuretano termoestable, en forma geométrica cuadrangular de aproximadamente 100 cm, del mismo modo está recubierto por un aislante térmico de aluminio de 10 mm. La cúpula semiesférica de acrílico cuenta con dimensiones de radio 40 cm y altura 43 cm, así mismo se utilizó tubo corrugado de polietileno color negro 25m de longitud como material para transportar el agua, su distribución asciende en forma espiral desde la parte inferior hasta alcanzar el extremo superior de la cúpula.

El sistema experimental funciona mediante el siguiente principio; el agua fría es impulsada por un motor, que recorre el colector solar, hasta llegar al tanque receptor de 100 L, que actúa como almacenador y amortiguador térmico, por otra parte, la medición del caudal está basada en el volumen y tiempo. La construcción del colector solar semiesférico se realizó con materiales accesibles y de bajo costo (Figura 1).

El colector solar semiesférico de plástico fue instalado en un lugar sin sombras en una pared horizontal, en dirección hacia el norte, la evaluación del sistema se realizó en condiciones empíricas, durante los meses de setiembre y octubre del 2020, desde la 6:00 horas hasta 17:00 horas. Los parámetros monitoreados fueron: radiación solar, temperaturas de entrada y salida del colector, y la temperatura ambiental. Las temperaturas fueron monitoreadas a intervalos de 30 minutos con sensores Arduinos M135 en plataforma Nano Arduino. Además, se determinó el caudal empíricamente empleando un vaso precipitado y un cronometro, midiendo el volumen en litros y el tiempo en segundos.

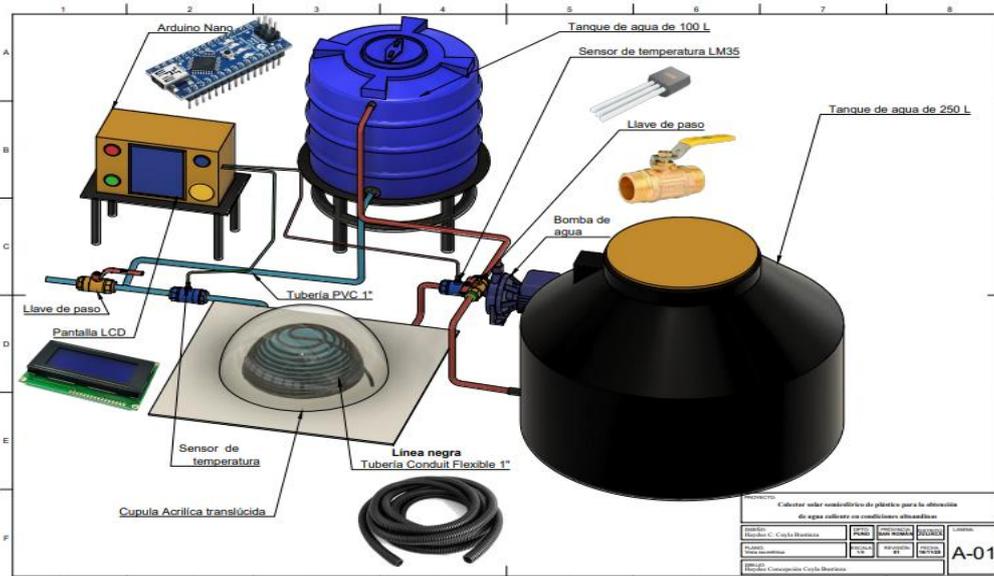


Figura 1. Diseño constructivo del sistema

2.3. Análisis teórico

Para determinar la eficiencia del colector solar se tomó la guía térmica de colectores solares, que permite calcular el rendimiento óptimo o también denominado factor de eficiencia del colector solar semiesférico. Este modelo matemático establecido por la Norma Española N° 12975 para captadores solares (IDAE, 2020). Está basado en una función cuadrática donde se calcula experimentalmente las condiciones de trabajo y donde se puede comprobar que la transformación de la energía radiante en la energía térmica se realiza conforme a la expresión del factor de eficiencia óptima.

El factor de rendimiento o eficiencia se calcula mediante la siguiente expresión.

$$\eta = \eta_0 - a_1 x \frac{t_m - t_a}{G} \tag{1}$$

$$\eta = 0.996 - 14.029 x \frac{28.47 - 14.23}{551 \text{ (W/m}^2\text{)}}$$

Dónde: η_0 es el factor óptimo de rendimiento, a_1 , factor establecido de la norma, T_a es la temperatura ambiente exterior, T_s es la temperatura de salida, T_e temperatura entrada, T_m es temperatura media o lo más habitual $T_m = (T_e + T_s) / 2$, G representa la radiación solar total, una vez determinados dichos valores se dispone de la función lineal representativa.

2.4. Análisis estadístico

Para analizar el parámetro de eficiencia, los datos se procesaron en hoja de cálculo Microsoft Excel, cuando se trata de estudios meteorológicos, se recomienda el uso del método de tablas para el cálculo de la eficiencia, por lo que permite procesar la información con mucha facilidad. Para realizar el ajuste de mínimos cuadrados en relación a la eficiencia se aplicó los criterios estadísticos sugeridos por (Duffie et al., 2013). Entre ellos tenemos la suma final de los cuadrados del error, error cuadrado (RMSE) y el coeficiente de determinación R2 (Pavel, 2016).

Suma final de los cuadrados del error SSE

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 m \tag{2}$$

Cuadrado medio del error RMSE

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \tag{3}$$

Coefficiente de Determinación R2

$$1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y}_i)^2} \tag{4}$$

3. Resultados y Discusión

3.1. Resultados 1

En la figura 2 se muestra el comportamiento de temperatura de entrada, salida y ambiente dentro del colector solar; en función al promedio de los 40 días, se observa que; a medida que transcurre las horas, la intensidad solar varía alcanzando un valor máximo a mediodía, hora donde la intensidad solar es de 1145 (W/m²), punto donde la temperatura de entrada alcanza un valor de 35.45°C y la temperatura de salida 58.45°C. Así mismo la temperatura ambiente oscila entre valores menores que los 20°C.

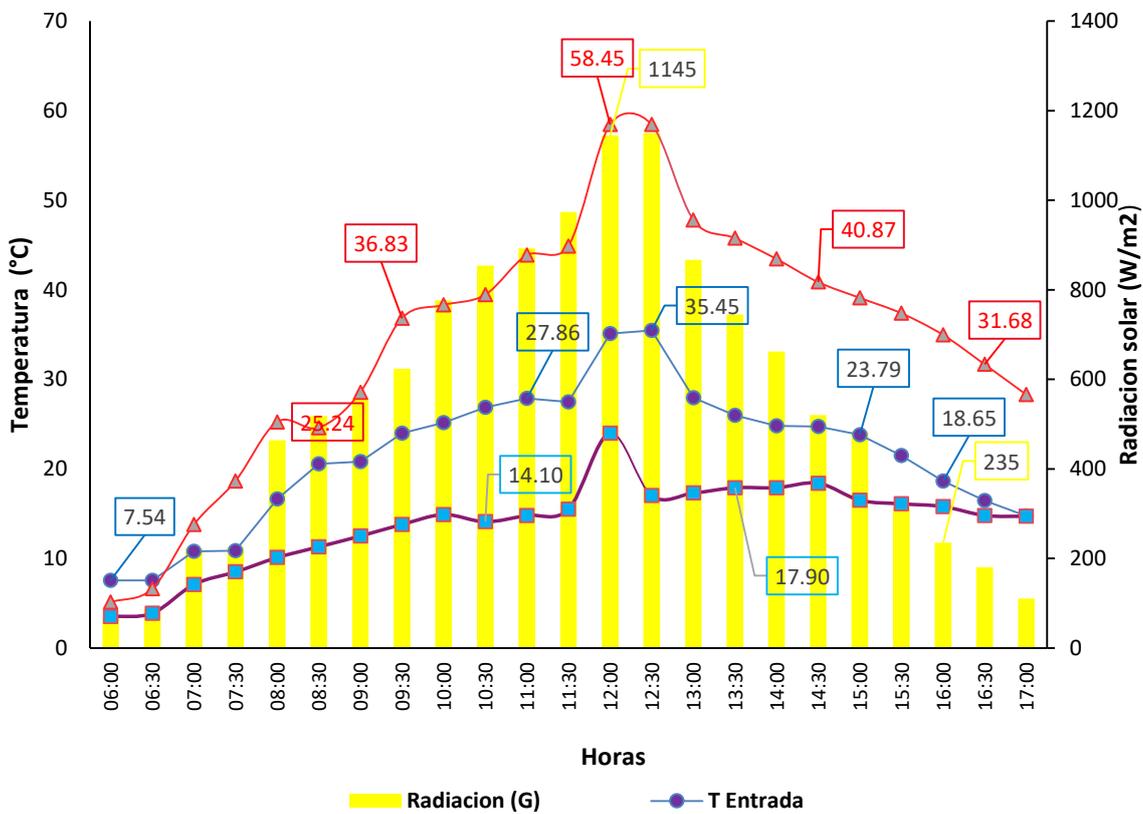


Figura 2. Comportamiento de temperatura

En la figura 3 se muestra los resultados de eficiencia en relación al tiempo y a la radiación registrada de la estación meteorológica de la Universidad Peruana Unión-FJ, durante un periodo de 40 días de 6:00 am a 5:00 pm de la tarde. Los resultados obtenidos están en un rango de 13% a 73% con un promedio general del 67 %, por tanto, la eficiencia hallada está basada en relación a los promedios de temperatura entrada, salida y ambiente.

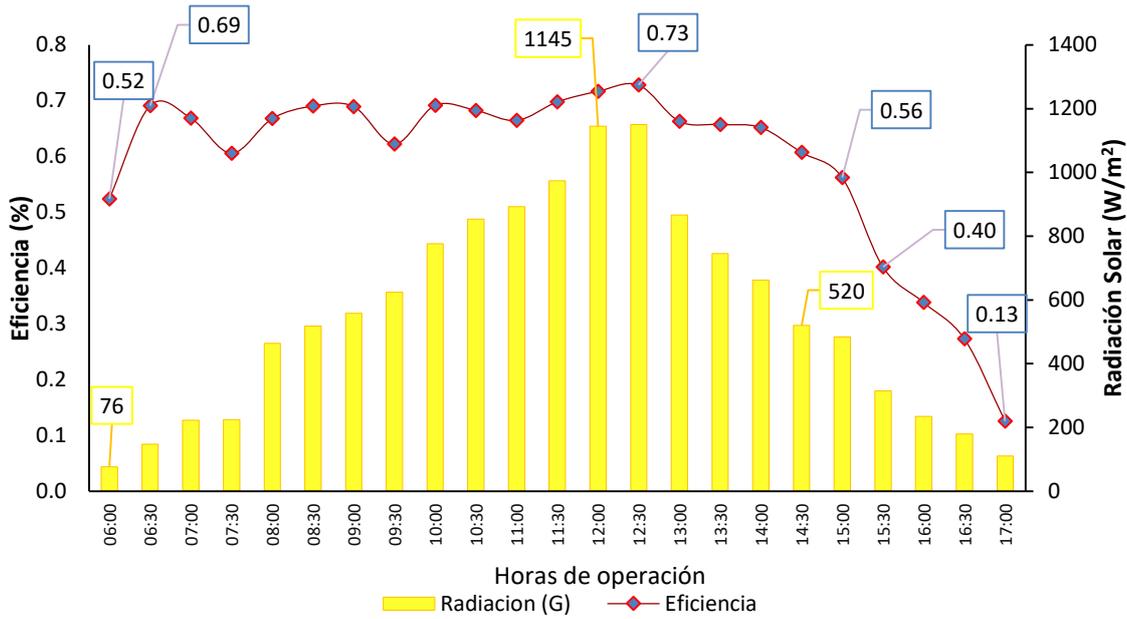


Figura 3. Eficiencia térmica en relación al tiempo

La figura 4 muestra la curva de la eficiencia instantánea del colector solar semiesférico de plástico, los puntos experimentales del ajuste de curva lineal, con similitudes en los modelos logísticos de un ajuste cuadrático y con la variable independiente, variable dependiente y una familia de funciones, se halló la función continua, de acuerdo con el criterio de mínimo error cuadrático y RMSE.

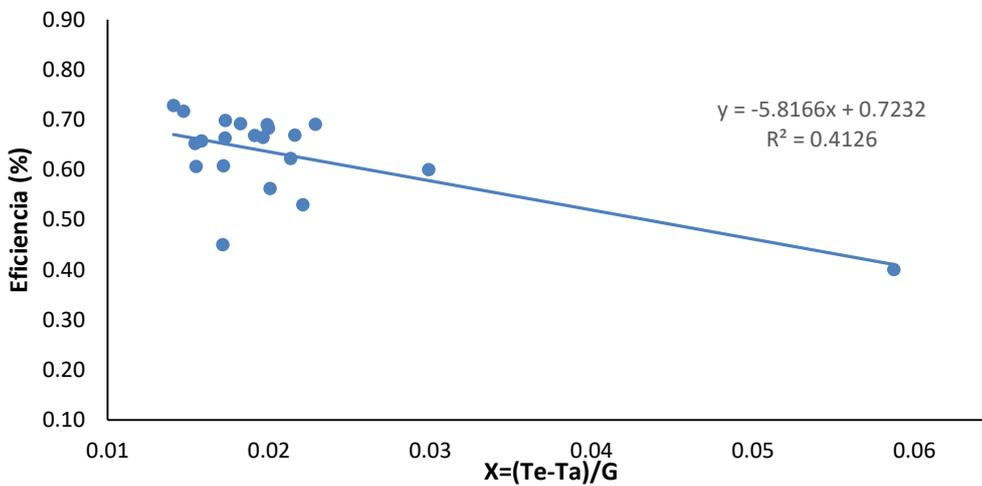


Figura 4. Curva de la eficiencia instantánea del colector solar semiesférico de plástico

3.2. Discusión

En la figura 2 se muestra el comportamiento con respecto a los datos registrados de la radiación por la estación meteorológica de la universidad, la radiación promedio de los 40 días evaluados fue de 617 W/m², mayores encontrados en el trabajo de Ávila et al. (2010), donde las oscilaciones dentro del sistema, varían debido a que las condiciones meteorológicas son fluctuantes en relación al tiempo, especialmente si se tiene en cuenta la época del año; en el cual se hicieron las mediciones. La región de Puno se caracteriza por los súbitos cambios de clima, nublado y soleado (Loza et al., 2016).

De las tendencias horarias de los parámetros medidos se observa que; a medida que transcurre las horas la intensidad solar varía de modo que alcanza su valor máximo al mediodía, hora donde se desprende una intensidad solar que alcanza un valor de 1145 (W/m²); así mismo la irradiancia solar incidente y afecta directamente en la variación de los parámetros restantes, aumentando así el calor útil, es decir que durante esas horas se presenta mayor acumulación de energía para el calentamiento del agua, pero cuando la radiación solar disminuye entonces el calor útil también disminuye lentamente (Martínez, 2014).

Los resultados obtenidos difieren al trabajo de Escobedo et al. (2014), donde la temperatura de entrada y salida son relativos, esto se aprecia porque ambos valores comienzan parcialmente iguales a diferencia del colector solar semiesférico donde la temperatura de entrada a las 6:00 am es 7.1 °C mayor a la temperatura de salida es 5.83 °C, asimismo, a medida que transcurre el día ambas temperaturas llegan a punto de equilibrio a las 6:30.

Por otra parte, la radiación solar tiene una secuencia de incremento por cada hora hasta llegar a las 12:00 pm. Punto en donde la temperatura de entrada y salida alcanzan sus valores máximos 35.45°C y 58.45°C a diferencia de la temperatura ambiente esta presenta una continuidad de 15°C.

Al analizar los valores de la temperatura de salida del colector se determina su variación de acuerdo a la fluctuación de la radiación entre el registro mínimo y máximo. Durante la noche tiende a disminuir entre 2 a 3°C. De acuerdo a Martines et al. (2013), la temperatura de salida para agua caliente en horas de la tarde debe tener como promedio 36°C, si no superan los valores establecidos no se garantiza la generación de agua caliente.

En la figura 2 se muestra el comportamiento de la eficiencia térmica en relación a la radiación y horas, su comportamiento inicia en un 52%, debido a que la radiación inicial está sobre un valor de 76 (W/m²), de las 7:00 am a las 17:00 el valor de la eficiencia oscila sobre 65% la eficiencia se mantiene de acuerdo al incremento de la radiación.

De acuerdo a la investigación de Recalde et al. (2015) el declinamiento de la eficiencia térmica en horas de la tarde está sujeto a la irradiancia solar, temperatura ambiente y temperatura de entrada, se observa que se requiere contar con un nivel de irradiancia mínimo, de aproximadamente 240 (W/m²) a partir de las 15:00 horas, esto con la finalidad de empezar a obtener calor útil del sistema de colector y que su enfriamiento ocurra de manera pausada. El decaimiento de la temperatura empieza a partir de las 16:00 horas debido a que alcanza valores menores de 40 %.

Los resultados son conscientes con los obtenidos por Domínguez y Alarcón (2005) quienes afirman que, el efecto de aumento de temperatura solo se presenta para las horas de pico de radiación donde se cuenta con los mayores valores de temperatura, en la etapa final del monitoreo, se incrementó las pérdidas de calor debido a la influencia de materiales y de las condiciones climáticas, fenómeno que también ocurre en el colector solar semiesférico, aunque la pérdida de energía es menor esto se debe a que el domo acrílico no depende de los efectos de enfriamiento del viento, además de ser un sistema cerrado la temperatura dentro del domo se mantiene de forma hermética. Para el colector solar semiesférico la eficiencia térmica promedio experimental calculado fue del 67 % por tanto la eficiencia hallada está basada en relación a los promedios de temperatura entrada, salida y ambiente (Bedregal, 2016).

La figura 4, muestra los resultados de los criterios estadísticos, correspondiente a los modelos matemáticos del ajuste lineal, el coeficiente de determinación del ajuste presentó un valor $R^2 = 0.4126$, error cuadrático medio $RMSE = 0.063$ y un coeficiente de correlación de 0.0482 para analizar el ajuste entre los valores experimentales y teóricos determinamos la raíz cuadrada del error cuadrático medio $RMSE$ y el valor porcentual de la raíz cuadrada del error cuadrático medio $RMSE\%$ definidos por las ecuaciones (2) y (3). Este ajuste mostrara la dispersión de puntos (Chuquimamani, 2017).

De acuerdo al trabajo de Bhowmik y Amin (2017) refieren que el error cuantifica la desviación media de los valores teóricos respecto a los valores experimentales. Para el colector solar semiesférico el $RMSE$ la eficiencia fue calculada en un 6.3 %. Esto indica que la curva de la eficiencia instantánea fue calculada

experimentalmente con un promedio error de 6%. El rendimiento instantáneo 66.29 % del colector indica que su función termo-energética proporciona una gran cantidad de energía térmica completamente pasiva sin requerir una energía adicional al sistema. La eficiencia obtenida es mayor a los resultados establecido por el trabajo de Soto y Romero (2018) y (Guanoluisa, 2015). Es preciso mencionar que la eficiencia instantánea es el mayor valor que el colector solar puede alcanzar Bedregal (2016), por otro lado, se dedujo que a mayor temperatura menor es la pérdida de calor del colector, esto también se debe a que el domo mantiene su propia temperatura térmica, por ello esta no tiene grandes pérdidas de energía en horas de la noche ya que se han registrados hasta 15 ° C en horas de la noche en los días con mayor incidencia solar. El número de la figura y el título deben ser escritos debajo de la figura y alineados a la izquierda. El tipo de letra que use dentro de la figura debe ser legible y nítida. El tamaño de la figura debe adecuada de tal modo que se entienda.

4. Conclusiones

Expresar lo que ha aprendido de este análisis (tenga presente el objetivo del trabajo). Puede sintetizar la idea central del estudio y el argumento principal en la cual se fundamenta, pudiendo convertirse en una hipótesis. Inicie con una sustentación clara de la hipótesis, si no sustentó la hipótesis, proporcione las explicaciones. Use similitudes y diferencias entre sus resultados y el trabajo de otros. Cada afirmación debe contribuir a la interpretación y a la comprensión del estudio. Reconozca sus limitaciones y proporcione explicaciones alternativas de sus resultados. Finalice con un planteamiento razonable y justificable sobre la importancia de sus descubrimientos.

Son las impresiones finales del autor, y se añaden posibles soluciones o recomendaciones del tema planteado, en función del objetivo propuesto, de acuerdo a los alcances y limitaciones.

5. Referencias

- Alberto, E., & Bobadilla, M. (2019). *Climatización de piscinas y obtención de agua caliente sanitaria , con energía solar , en Piura*. <https://bit.ly/2QEUOWd>
- Atarama, N. (2019). *Evaluación del potencial de energía solar para generación de energía eléctrica, como una alternativa para disminuir el uso de combustibles fósiles, en la región Piura*. <https://bit.ly/31n1fQ3>
- Ávila, A., Mendoza, J., & Beltrán, J. (2010). Energy assessment of a double cover flat-plate solar collector. *Ingeniería y Desarrollo*, 27, 93–112. <https://bit.ly/2NX5UF4>
- Bedregal, R. (2016). *Estudio de un colector solar de doble paso con circulación forzada y almacenamiento de energía*. <https://bit.ly/2P4ZAw5>
- Bhowmik, H., & Amin, R. (2017). Efficiency improvement of flat plate solar collector using reflector. *Energy Reports*, 3, 119–123. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2017.08.002>
- Bubblesun. (2015). *Bubblesun, el colector solar semiesférico*. <http://www.sitiosolar.com/bubblesun-el-colector-solar-semiesferico/>
- Chuquimamani, B. (2017). *Eficiencia De Un Calentador Solar De Agua Flujo Constante Empleando Material Reciclado En La Ciudad de Juliaca*. <https://bit.ly/3911iAc>
- Domínguez, M., & Alarcón, T. (2005). *Análisis paramétrico de colectores solares planos operando en serie*. 195. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000400012>
- Duffie, J., Beckman, W., Saini, J. S., Singh, K. M., Thakur, S., Thakur, N. S., Karwa, R., & Srivastava, V. (2013). Wiley: Solar Engineering of Thermal Processes, 4th Edition - John A. Duffie, William A. Beckman. In *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects* (Vol. 2013, Issue 00). <https://bit.ly/3ssLxi4>
- Escobar, F. (2019). *Crisis climática y perspectiva de sustentabilidad ambiental*. 21(2), 245–248. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18271/ria.2019.507>

- Escobedo, J., Burciaga, J., Castro, P., Martín, I., & Alarcón, T. (2014). *Comportamiento de la eficiencia térmica de un arreglo de colectores solares planos , a lo largo del día y para diferentes días del año*. <https://bit.ly/3w4zjP0>
- Guanoluisa, T. (2015). *Estudio de la geometría del absorbedor del colector solar parabólico compuesto y su incidencia en la eficiencia para calentamiento de agua de uso sanitario*. 2015. <https://bit.ly/3cudkJv>
- Handayani, N. A., & Ariyanti, D. (2012). Potency of solar energy applications in Indonesia. *International Journal of Renewable Energy Development*, 1(2), 33–38. <https://doi.org/10.14710/ijred.1.2.33-38>
- Instituto de diversificación y ahorro de la energía IDAE. (2020). *Guía Técnica de Energía Solar. v1.0*. <https://www.idae.es/publicaciones/guia-tecnica-de-energia-solar-termica>
- Jiménez, J. C., & Llivichusca, H. P. (2015). *Diseño, implementación y monitoreo de calentadores híbridos con energía solar-GLP y energía solar-calentadores eléctricos para la obtención de agua caliente sanitaria*. <https://bit.ly/3fiFI39>
- Lalla, D., & Juanicó, E. (2016). *Nuevo colector solar térmico de bajo costo de flujo forzado autónomo por panel fotovoltaico*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Loza, A., Paola, G., Francisco, C., & Reynoso, V. (2016). *Estrategia Regional De Cambio Climatico Puno*. <https://bit.ly/3dezfU6>
- Martines, G., Mantilla, J., & Poveda, B. (2013). Evaluación de un calentador solar de agua fabricado con tubería PVC en serie y envases pet translucidos. *Tecnura*, 16(0). <https://doi.org/10.14483/22487638.6819>
- Martínez, C. (2014). Evaluación experimental de los tres modelos matemáticos de un colector solar de aire utilizado en el secado indirecto de las plantas aromáticas. *Universidad Nacional Del Centro Del Centro De Posgrado*, 10–11. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5992>
- Ministerio de Energía y Minas MINEM. (2020). *Ministerio de Energía y Minas*. Gop.Pe. <https://bit.ly/3cqkjTQ>
- Navntoft, C., & Cristóbal, M. P. (2019). *Energía solar térmica*. <https://bit.ly/31YqMIK>
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería Osinergmin. (2017). *La industria de la energía renovable en el Perú*. <https://bit.ly/2Pe3JNZ>
- Pavel, A. (2016). *Tabla de contenido*. <https://doi.org/10.3726/978-3-0352-0094-2/1>
- Peñaranda, C. (2020). *Perú apuesta por las energías renovables*. <https://bit.ly/2NX2tOK>
- Quitiaquez, W., Simbaña, I., Roldan, I., Quitiaquez, P., Londoño, C., & Ramos, F. (2020). Revisión del estado del arte de sistemas DX-SAHP para la obtención de agua caliente sanitaria. *SciELO*, 11(2), 29–46. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v11n2.565>
- Recalde, C., Cisneros, C., Ávila, C., & Urquiza, G. (2015). Influencia del ángulo de inclinación de los tubos solares evacuados sobre la temperatura del agua. *Información Tecnológica*, 26(4), 89–96. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000400012>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú Senamhi. (2019). *Radiación en el Perú*. <https://senamhi.gob.pe/>
- Soto, L., & Romero, I. (2018). *Rendimiento termo-energético del calentador solar de aire de doble paso de convección natural con la placa corrugada y material poroso*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/10688>
- Umiña, C. (2014). *Control digital para contrarrestar las heladas en la Región de Puno*. <https://bit.ly/2NY0RUW>
- Vega, O. (2015). *Use of and access to renewable energies in rural territories*. <https://bit.ly/31qXVDy>
- Zavala, B. (2018). *Radiación solar*. <https://bit.ly/2O3a8ey>