



Análisis energético de un sistema híbrido fotovoltaico-térmico bajo las condiciones climáticas de Chachapoyas, Amazonas, Perú

Energy analysis of a photovoltaic-thermal hybrid system under the climatic conditions of Chachapoyas, Amazonas, Peru

Eráclides Jalca Cabañas¹, Fernando Espinoza Canaza², Wildor Gosgot Angeles^{2*}, Rosalynn Yohanna Rivera López³

RESUMEN

El aprovechamiento de la energía solar es una alternativa para cubrir la demanda energética. En cualquier parte del mundo. La investigación se enfocó en determinar la eficiencia térmica y eléctrica de un nuevo diseño de sistema híbrido fotovoltaico/térmico, compuesto de un colector de 1,6 m², una parrilla de tubos de policloruro de vinilo clorado (CPVC) de ½", con cubierta superior de un panel solar monocristalino de 315 W y un tanque de 70 litros para almacenar el agua; bajo las condiciones climáticas de Chachapoyas, a un ángulo de inclinación de 15° orientado norte-sur, entre las de 8:00 y 16:00 horas, durante 11 días en el mes de enero de 2021. Para comprobar la eficiencia térmica del sistema propuesto, se utilizó un sistema solar térmico convencional, con los mismos componentes, excepto la cubierta del colector (vidrio transparente de 4 mm de diámetro), mientras que para comparar la eficiencia eléctrica se usó un panel fotovoltaico (FV). Los resultados muestran que el nuevo sistema propuesto tuvo una eficiencia de 5% menor al sistema térmico convencional pero lo suficiente para calentar el agua, por otro lado, se tuvo una ganancia de 10% eficiencia energética del panel solar, por lo que, se concluye que este nuevo sistema, permite aprovechar mejor la radiación solar, para generar energía térmica y eléctrica de forma simultánea, además de optimizar el área de instalación.

Palabras clave: agua caliente, energía solar, electricidad, radiación solar, eficiencia térmica y eléctrica, Amazonas, terma, panel solar.

ABSTRACT

The use of solar energy is an alternative to cover the energy demand. Anywhere in the world. The research focused on determining the thermal and electrical efficiency of a new photovoltaic/thermal hybrid system design, composed of a 1.6 m² collector, a grid of ½" chlorinated polyvinyl chloride (CPVC) pipes, with a 315 W monocrystalline solar panel top cover and a 70 liter tank to store water; under the climatic conditions of Chachapoyas, at a 15° tilt angle oriented north-south, between 8:00 and 16:00 hours, during 11 days in January 2021: 00 and 16:00 hours, for 11 days in the month of January 2021. To test the thermal efficiency of the proposed system, a conventional solar thermal system was used, with the same components, except for the collector cover (4 mm diameter transparent glass), while a photovoltaic (PV) panel was used to compare the electrical efficiency. The results show that the new proposed system had an efficiency of 5% less than the conventional thermal system but enough to heat the water, on the other hand, there was a gain of 10% energy efficiency of the solar panel, so it is concluded that this new system allows to take better advantage of solar radiation to generate thermal and electrical energy simultaneously, in addition to optimizing the installation area.

Keywords: hot water, solar energy, electricity, solar radiation, thermal and electrical efficiency, Amazon, terma, solar panel.

¹Dirección Regional de Salud Amazonas, Dirección de Salud Ambiental, Chachapoyas, Perú.

²Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva, Chachapoyas, Perú

³Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Chachapoyas, Perú

*Autor de correspondencia. E-mail: jesus.rascon@untrm.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN

La necesidad del consumo de energía en el planeta está escalando vertiginosamente, como resultado de la industrialización y la expansión urbana (Wu *et al.*, 2017). En ese sentido, recurrir al uso de la energía procedente del sol, es una alternativa importante para disminuir y mitigar la crisis energética mundial. Además, ayuda a cumplir los objetivos del desarrollo sostenible de la Agenda 2030, debido a que, la disponibilidad de energía solar es inagotable y accesible en cualquier parte del mundo (Zhang *et al.*, 2014).

Para aprovechar la energía solar, se vienen desarrollando diversas tecnologías, las cuales se dividen en tres principales grupos: sistemas fotovoltaicos, colectores solares térmicos y sistemas híbridos fotovoltaicos térmicos (OSINERGMIN, 2017). A pesar de los avances tecnológicos, estas tecnologías presentan algunas limitaciones como, por ejemplo, en algunas zonas la temperatura ambiente ocasiona incrementos o disminución de la temperatura del panel solar lo cual afecta al desempeño del sistema fotovoltaico (Rawat y Kumar, 2015; Shah y Srinivasan, 2018).

Una solución al sobre calentamiento de la superficie del panel solar, son los sistemas híbrido fotovoltaico térmico (FVT), el cual está compuesto por un panel solar que genera energía eléctrica y un colector que absorbe el calor excedente del panel a través de fluidos (aire o agua), logrando que el sistema genere energía fotovoltaica y térmica de forma simultánea (Rawat *et al.*, 2014).

Por ello, para utilizar el calor residual, generado por la radiación solar incidente en las células fotovoltaicas del panel solar. Mukhtar y Sabiu (2017), construyeron y evaluaron un sistema termosifónico de calentamiento agua, utilizando un intercambiador de calor de flujo oscilatorio, una lámina de cobre y una carcasa aislada en la parte posterior, logrando una temperatura máxima del fluido de 63.2 °C y una potencia eléctrica de 140 W. Por otra parte, Zhang *et al.* (2014), utilizaron ecuaciones de los semiconductores (germanio y silicio) para cada tipo de célula estudiada para determinar la eficiencia de los sistemas FVT. Los resultados de esta

investigación, demuestran que las células fotovoltaicas de película delgada de silicio policristalino son más eficientes, debido a que transmite calor por convección y proporción de concentración.

Asimismo, Wu *et al.* (2015), establecieron que la eficiencia de un sistema híbrido FVT con y sin protección de vidrio en la parte superior del panel solar, usando agua y nanofluidos, es afectada por la acción del viento y del flujo del agua o nanofluidos. También, Rawat y Kumar (2015), analizaron el aumento del rendimiento del sistema solar híbrido FVT, a través de la modificación de la velocidad y caudal de flujo másico del fluido refrigerante, logrando determinar que la variación de eficiencia de FVT está entre 47 y el 77% en función del flujo de masa. Además, afirman que el incremento de temperatura del módulo fotovoltaico, así como el material de las células, afectan directamente a la eficiencia del sistema.

En el mismo sentido, Dupeyrat *et al.* (2014) compararon el rendimiento energético de un sistema híbrido fotovoltaico/térmico, a partir de un colector FVT tipo plano, un colector solar térmico y un panel fotovoltaico, instalados en tres regiones de Francia (Paris, Lyon y Nice) con áreas de superficie iguales. Los resultados demostraron que el colector híbrido FVT de placa plana, tiene mayor rendimiento, en relación al colector solar térmico y al panel fotovoltaico. Por otra parte, Cui *et al.* (2016) evaluaron la eficiencia de un sistema híbrido FVT con material de cambio de fase (MCF), un sistema de células fotovoltaicas individuales y un sistema híbrido FVT, de los cuales el rendimiento del sistema híbrido FVT con MCF fue mayor, debido a su temperatura de fusión del MCF.

Por su parte, Fine *et al.* (2019) desarrollaron una metodología para estimar el rendimiento térmico y eléctrico, la cual consiste, en ajustar el flujo solar disponible en base a la eficiencia teórica del panel. Este flujo solar modificado se utiliza para determinar la temperatura de operación del panel, para luego, el flujo solar y la temperatura del panel se realiza una correlación con la eficiencia proporcionada por el fabricante

Por lo tanto, teniendo en cuenta todo lo anterior, esta

investigación tuvo por objetivo evaluar el rendimiento energético de un sistema híbrido fotovoltaico-térmico (FVT), bajo condiciones climatológicas de la ciudad de Chachapoyas, para ello, se diseñó y construyó un prototipo de sistema FVT, un sistema solar térmico (ST) y un sistema fotovoltaico (FV), con igual superficie y potencia del sistema FVT respectivamente.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El sistema híbrido FVT se instaló y evaluó, en la estación experimental del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDESCES), ubicado en el campus universitario de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), del distrito de Chachapoyas, provincia Chachapoyas, Departamento de Amazonas (Figura S1), con coordenadas 9310166 Norte y 184359 Este, a una altitud de 2357 m.s.n.m. En la cual representa dos épocas marcadas; La época lluviosa en los meses de noviembre a abril, con un pico en los meses de enero a marzo, y la época seca en los meses de mayo a octubre, con una disminución de precipitación en los meses de junio a agosto (Rascón et al., 2020). Además, la irradiación solar varía de 5 a 5.5 kWh/m² en la ceja de selva de Perú (SENAMHI y MINEM, 2003).

Diseño y construcción de los sistemas de aprovechamiento solar

Para el diseño, construcción e implementación de los dos sistemas en se tuvo en consideración la metodología propuesta por Mukhtar y Sabiu, (2017) y Espinoza, (2017). Para el colector híbrido fotovoltaico/térmico, se ensambló con: la caja metálica protectora, material aislante térmico (tecnopor y papel aluminio), material absorbente de radiación solar (calamina), este material se ensambló uno debajo de la parrilla y otro encima, de forma contraplacada, la parrilla colectora de tubos de CPVC y un panel solar monocristalino de 315 W.

Estructura metálica

Fue diseñada de forma rectangular con dimensiones de 99 x 200 cm de ancho y largo respectivamente, en el

cual descansa el colector solar, asimismo, en la misma estructura se encuentra un soporte semicircular donde se ubica el tanque de almacenamiento. La sección rectangular se elevó la parte inferior 30 cm respecto al suelo, mientras la parte más alta se elevó 81.76 cm con la finalidad de obtener una inclinación de un ángulo de 15 grados con el fin optimizar la captación de la radiación solar.

Colector híbrido FVT

Fue construido de forma de un paralelepípedo rectangular, con dimensiones de: 165 cm de largo por 99 cm de ancho, 2 cm de espesor y 10 cm de altura. La caja colectora presenta tres cintas metálicas de soporte en la base con distancias de (38, 40 y 41 cm), en el borde superior tiene dos orificios de 3 cm de diámetros cada uno, por donde pasará la conexión de las tuberías entre la parrilla colectora y el tanque de acumulación de agua, con distancia entre los orificios indicados de 11 cm. Además, el interior de la caja de forró con papel aluminio, tecnopor como aislante, para evitar las pérdidas de calor, ganados por las planchas de calamina que fueron pintadas de color negro mate.

Parrilla colectora

El diseño tipo vertical, con dimensiones de 158 cm x 93 cm de ancho, con el fin, que pueda caber en el interior de la caja del colector FVT, se 11 unidades de tubos policloruro de vinilo clorado (CPVC) de ½" con medidas de 142 cm y una unidad de 150 cm de largo, por donde ingresará el agua fría. La distancia entre los tubos verticales fue de 5.5 cm.

Depósito de almacenamiento de agua

Se trazó una línea media en una parte del bidón, a partir de esa marca se midió 5 cm a cada lado estableciendo un punto fijo, de ese punto se midió 10 cm hasta definir 4 puntos separados por 10 cm de distancia, para el ingreso del agua, se trazó el quinto punto opuesto a los ya establecidos, para ventilación.

Se instaló dos ramales de tubería cada uno con una llave universal, una tubería para ingreso del agua caliente al tanque de almacenamiento y el otro para ingreso del agua fría al colector FVT. Con el fin de realizar el mantenimiento, se apertura un orificio de 15

cm de diámetro en la parte opuesta a los 4 orificios de ingreso y salida del agua. El tanque de almacenamiento se forró con una capa de tecnopor con dimensiones de 1.20 cm de altura por 1.60 cm de largo (forro circular externo), luego se dividió la plancha de tecnopor cada 10 cm para hacer un semi corte, el cual facilitó el forrado del recipiente utilizando como fijador cinta masking transparente, para evitar la pérdida de temperatura al ambiente. Para fijar el material aislante se añadió un forro de material reciclado de banner publicitario.

Se diseñó y construyó, con iguales componentes, dimensiones y especificaciones técnicas que el prototipo híbrido FVT, excepto la tapa de la caja del colector, la cual se acopló con una lámina de vidrio transparente con dimensiones de 165 cm por 99 cm y con espesor de 4 mm.

Instalación de los sistemas de aprovechamiento solar

En la instalación del agua al tanque de almacenamiento, se utilizó: tubería de PVC de ½", dos codos de ½", una T de ½", dos mangueras de abasto y dos válvulas de control de ½", se muestra la conexión.

Se acondicionó el terreno y se instaló los tres sistemas, con orientación al norte magnético, esto implica que los colectores de los sistemas estén levantados en el sur e inclinado al norte, con ángulo de inclinación de 15°, para aprovechar mejor la radiación solar, siguiendo la trayectoria del sol de este a oeste. Además permite que, los rayos solares incidan perpendicularmente sobre la superficie del panel y del colector, logrando captar la mayor energía solar (Duffie y Beckman, 2013). Finalmente se niveló los tres sistemas, utilizando cordel y nivel de mano, quedando listo para la fase de toma de datos y evaluación (Figura S2).

Registro de datos

El registro de datos de temperatura, voltaje e intensidad de corriente, fueron tomados durante el mes enero de 2021, durante 11 días consecutivos. Para la medición de temperatura se programó los Data Logger (MARCA: YOWEXA, MODELO: SSN-22ET), con una precisión de ± 0.5 °C, durante las 24 horas del día,

con intervalos de tiempo de una hora, para coincidir con el registro de datos de la Estación Meteorológica del INDES- CES. Los datos de amperaje y voltaje de los paneles solares, se realizó con multímetro (MARCA: TOTAL, MODELO: TMT46001), en horarios de 8:00 am, 13:00 pm y 16:00 pm.

Evaluación energética

La eficiencia térmica es la relación que existe entre la ganancia de energía térmica y la energía solar recibida, que incide sobre el área del colector solar (Wu *et al.*, 2017). Para calcular la eficiencia térmica se consideró la irradiancia solar (W/m^2), temperatura en el interior de tanque de almacenamiento (°C) y el volumen máximo del agua, según las siguientes ecuaciones (Espinoza, 2017).

Eficiencia térmica (η_t)

$$\eta_t = \frac{\text{Energía térmica ganada o útil}}{\text{Energía solar recibida}}$$

Energía térmica ganada (E_T)

$$E_T = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Donde, m es la masa de agua en el tanque de almacenamiento = 70 (l) equivale a 70 000 (g); c_p representa la capacidad calorífica del agua en 4.18 (J/g.°C) y ΔT = temperatura de salida-temperatura de entrada al recipiente de agua (°C). La energía solar recibida (E_s), se calcula través de las siguientes ecuaciones:

$$es = b \cdot \frac{h_1+h_2}{2} + b \cdot \frac{h_2+h_3}{2} + b \cdot \frac{h_3+h_4}{2}$$

En la cual, b es la base (en horas) y h_1 y h_2 son alturas (W/m^2).

$$ES = es \cdot A$$

Donde, es, se obtiene de la gráfica irradiancia solar y el tiempo, obtenido a través del método del área de los rectángulos bajo la curva y A, representa el área del colector solar en m^2 .

El coeficiente de rendimiento es una magnitud, no relacionada con el sitio de instalación, calidad de un sistema fotovoltaico, se expresa en porcentaje y resulta de la relación entre la potencia real o acumulada con la potencia nominal de la instalación fotovoltaica, (Santiago *et al.*, 2021), la cual se relaciona con la siguiente ecuación:

$$\% \eta = \frac{\text{Potencia real o acumulada Wh}}{\text{Potencia nominal Wh}}$$

La potencia real o acumulada para una condición de trabajo está dada por el producto de la tensión (V) y la corriente (I), (Rawat y Kumar, 2015), la cual está gobernada por la siguiente ecuación:

$$\text{Potencia real o acumulada} = V_{oc} \cdot I_{sc}$$

Donde, V_{oc} : Tensión máxima en circuito abierto (V) y I_{sc} : Corriente máxima en corto circuito (A).

La potencia nominal es un parámetro que se obtiene de la ficha técnica del panel solar, con funcionamiento a condiciones estándares.

III. RESULTADOS

Datos climatológicos

En la Tabla S1, se muestra el promedio de los datos del tiempo atmosférico durante los 11 días evaluados, por cada hora (8:00 a 16:00 horas), en los cuales tenemos: promedio de la temperatura ambiental en °C, irradiancia solar en W/m^2 , velocidad del viento en m/s y las precipitaciones en mm/m².

Evaluación térmica

Los datos de temperaturas del sistema FVT se muestran en la Figura S3, son el promedio por hora de los 11 días evaluados. La máxima irradiancia promedio diario fue de $464.5 W/m^2$ a las 11:00 horas, la tendencia de irradiancia solar para ser aprovechada es entre las 10:00 y 15:00 horas. En este horario la temperatura ambiente tiene un comportamiento similar a la irradiancia, teniendo un valor máximo promedio de $18.4^\circ C$. El comportamiento de la temperatura del colector FVT es influenciada por la irradiancia y la

temperatura ambiente, lo cual a las 12:00 horas presenta una temperatura máxima promedio de $42.9^\circ C$. La temperatura de incremento del agua dentro del tanque de las 8:00 a 16:00 horas es de $3.6^\circ C$, con un incremento de tendencia positivo.

La Figura S4, muestra datos promedio por hora de los 11 días evaluados, del sistema ST. La máxima irradiancia promedio fue de $464.5 W/m^2$ a las 11:00 horas, la tendencia de irradiancia solar para ser aprovechada es entre las 10:00 y 15:00 horas. En este horario la temperatura ambiente tiene un comportamiento similar a la irradiancia, teniendo un valor máximo promedio de $18.6^\circ C$. El comportamiento de la temperatura del colector ST es influenciada por la irradiancia y la temperatura ambiente, lo cual a las 15:00 horas presenta una temperatura máxima promedio de $69.1^\circ C$. La temperatura de incremento del agua dentro del tanque ST de las 8:00 a 16:00 horas es de $5.4^\circ C$, con un incremento de tendencia positivo.

La Figura S5, se muestra el área bajo la curva por día, de acuerdo a la irradiancia solar (W/m^2) vs intervalos de tiempo del día (horas), calculado mediante el método de aproximación trapezoidal, para hallar la irradiación solar diaria (Wh/m^2). La máxima irradiación solar presentada fue de $3,960 Wh/m^2$ durante el día 6 de evaluación, mientras que la menor cantidad de irradiación solar fue de $2,294 Wh/m^2$ durante el día 2.

La Figura S6, muestra el comportamiento de las curvas de tendencia de eficiencias del sistema FVT y del sistema ST, durante 11 días de evaluación. En la que se observa que la máxima eficiencia térmica que alcanzó el sistema ST fue el 19.0 %, durante el quinto día. De forma similar el sistema FVT alcanzó la máxima eficiencia térmica de 12.2 % el quinto día. Mientras que ambos sistemas presentaron una caída de su eficiencia térmica el día 11, el sistema FVT con 5.2 % y el sistema ST con 4.6 %, el sistema ST presentó mayor eficiencia térmica, con una diferencia del 7 %, para el calentamiento de agua durante el horario de 8:00 am hasta 4:00 pm.

Rendimiento eléctrico

En la Figura S7, se muestra el comportamiento de las curvas de tendencia del coeficiente de rendimiento

eléctrico del panel fotovoltaico/térmico y del panel fotovoltaico, durante 11 días de evaluación. En la que se observa que el máximo rendimiento que alcanzó el panel FVT fue el 76.6%, durante el quinto día. Asimismo, el panel FV alcanzó el máximo rendimiento de 66.6% el séptimo día. Mientras que ambos paneles presentaron una caída del rendimiento el día 1, el panel FVT con 16.0% y el panel FV con 16.3%. En los periodos de evaluación ambos paneles presentaron similar comportamiento de tendencia de rendimiento eléctrico.

IV DISCUSIÓN

En los días evaluados la irradiancia solar fue menor a 600 W/m^2 , el cual se encuentra entre periodos de días nublados de acuerdo a la clasificación de Espinoza, (2017) para las condiciones climáticas de Chachapoyas: días soleados (mayor a 800 W/m^2), combinados (600 a 800 W/m^2), y nublados (0 a 600 W/m^2). Además, cabe indicar que durante el proceso de evaluación se observó la presencia de nubosidad en el cielo, con precipitaciones intermitentes e irradiancia solar total promedio de 356.6 W/m^2 . Por lo que, la radiación solar y la temperatura ambiental influyen directamente en la eficiencia térmica y rendimiento eléctrico del sistema fotovoltaico/térmico como lo sostiene Pang *et al.* (2019). Por otra parte, Nasir y Husaini (2018), simuló la eficiencia térmica de un sistema híbrido, modificando valores de temperatura y radiación solar, que alcanzó variaciones del 21.10% al 35.18%, por lo que concluyeron que, al aumentar la cantidad de radiación solar, incrementa la eficiencia térmica. Entonces, las condiciones climáticas de Chachapoyas son variables por lo que la ganancia y/o pérdida de calor de los sistemas evaluados son directamente influenciados por el tiempo atmosférico.

La eficiencia térmica del sistema híbrido fotovoltaico/térmico, estuvo entre 5.2% al 12.2%, con un incremento de temperatura máxima del agua del $6.4 \text{ }^\circ\text{C}$ y con una irradiancia solar máxima diaria de $3,960 \text{ Wh/m}^2$. Mientras que el sistema solar térmico presentó una eficiencia entre el 4.6% al 19.0%. Además, Rawat

et al. (2014) determinaron la eficiencia térmica del sistema FVT entre el 48% al 60%, con una ganancia de temperatura del agua de $21 \text{ }^\circ\text{C}$ con una temperatura, la diferencia de la eficiencia entre el estudio desarrollado y el citado se debe al mayor potencial de radiación solar y temperatura ambiente, dado que fue realizado bajo condiciones climatológicas de la India. En el presente estudio ambos sistemas presentaron similar tendencia del comportamiento de eficiencia en los días evaluados, sin embargo, el sistema ST presenta mayor eficiencia debido a que la cobertura de vidrio propicia el efecto invernadero dentro del colector por lo que gana mayor calor en comparación con panel solar que cuya cobertura oscura absorbe calor con rapidez, pero por su naturaleza lo disipa con facilidad.

El máximo rendimiento eléctrico del sistema FVT fue el 76.6%, durante el quinto día, de modo similar, el panel FV alcanzó el máximo rendimiento eléctrico de 66.6% el séptimo día. En los periodos de evaluación ambos paneles solares presentaron similar comportamiento de tendencia de rendimiento eléctrico, pero, el panel FVT tuvo mayor eficiencia, esto debido a que la absorción de calor por la superficie del panel es concentrada y este calor es absorbido por el agua óptimamente, lo que actúa como un sistema de enfriamiento en el panel FVT, mientras que en el panel FV ocasiona una disminución en el voltaje y pérdida de eficiencia por efecto de la temperatura. Dado que, el panel FV no estuvo acoplado a un sistema de circulación de agua que permitió el calentamiento del sistema, por lo que, su potencia eléctrica netamente dependió de la radiación solar. Esto se basa en el estudio realizado por (Mukhtar y Sabiu, 2017).

V. CONCLUSIONES

Se ha determinado la eficiencia de un nuevo diseño fotovoltaico/térmico, obteniendo como resultado un 5% menor al sistema térmico convencional pero lo suficiente para calentar el agua para el uso doméstico, sin embargo, se tuvo una ganancia del 10% eficiencia energética respecto a una instalación convencional de un panel solar bajo las condiciones climáticas de Cha-

chapoyas, este comportamiento energético depende de tiempo atmosférico en que son operados estos sistemas. La propuesta del sistema híbrido FVT permite aprovechar mejor la radiación solar para convertir en energía térmica y eléctrica a la misma vez, además de optimar el área a utilizar en la instalación.

VI. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Todos los autores participaron en la conceptualización, metodología, investigación, redacción del manuscrito inicial, revisión bibliográfica, y en la revisión y aprobación del manuscrito final.

XI. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cui, T., Y. Xuan, y Q. Li. 2016. "Design of a novel concentrating photovoltaic–thermoelectric system incorporated with phase change materials". *Energy Conversion and Management*. 112 (1): 49-60. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.01.008
- Duffie, J. A., y W. A. Beckman. 2013. *Solar Engineering of Thermal Processes*. Madison (EE.UU.): ESL.
- Dupeyrat, P., C. Ménézo and S. Fortuin. 2014. "Study of the thermal and electrical performances of PVT solar hot water system". *Energy and Buildings* 68 (6): 751-755. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.09.032
- Espinoza, F. 2017. *Eficiencia Energética de Colectores Solares con tubos verticales de PVC en termas solares, Amazonas, 2017*. Tesis Maestría. Universidad Nacional "Toribio Rodríguez de Mendoza. Amazonas (Perú).
- Fine, J. P., S. B. Dworkin and J. Friedman. 2019. "A methodology for predicting hybrid solar panel performance in different operating modes". *Renewable Energy* 130 (6): 1198-1206. DOI: 10.1016/j.renene.2018.08.082
- Mukhtar, A., and B. M. Sabiu. 2017. "Design and Construction of a Thermosiphonic Solar Photovoltaic: Thermal Water Heating System for Sustainable Development in Temperate Regions of Africa". *Journal of Alternate Energy Sources and Technologies* 7(2): 1-8. DOI: 10.9790/4861-07228896
- Nasir, F. H. M., and Y. Husaini. 2018. "MATLAB Simulation of Photovoltaic and Photovoltaic/Thermal Systems Performance". *Science and Engineering* 341(1): 1-9. DOI: 10.1088/1757-899X/341/1/012019
- OSINERGMIN (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería). 2017. *La industria de la energía renovable en el Perú*. Informe Técnico. Lima (Perú)
- Pang, W., Y. Cui, Q. Zhang, H. Yu, X. Zhang, Y. Zhang, and H. Yan. 2019. "Comparative investigation of performances for HIT-PV and PVT systems". *Solar energy* 179 (1): 37-47. DOI: 10.1016/j.solener.2018.12.056
- Rascón, J., W. Gosgot, M. Oliva, L. Quiñones y M. Á. Barrena. 2020. "Determinación de las épocas lluviosas y secas en la ciudad de Chachapoyas para el periodo de 2014-2018". *Revista de Climatología* 20 (2020): 1-14.
- Rawat, P., M. Debbarma, K. Sudhakar, and P. Kumar. 2014. *Performance Evaluation of Solar Photovoltaic/Thermal Hybrid Water Collector*. Master's Thesis. Universidad Jawaharlal Nehru. Nueva Delhi (India).
- Rawat, P., and P. Kumar (2015). "Performance Evaluation of Solar Photovoltaic / Thermal (PV/T) System". *Science and Research* 4 (8), 1466-1472.
- Santiago, I., J. Esquivel, D. Trillo, R. Real, and V. Pallares. 2021. "Classification of Daily Irradiance Profiles and the Behaviour of Photovoltaic Plant Elements: The Effects of Cloud Enhancement". *Applied Sciences* 11 (11): 1-28. DOI:10.3390/app11115230
- Sawicka, P., M. Sibiński, M. Cholewa, M. Klein K. Znajdek, and A. Cenian. 2018, diciembre 21).

- "Tests and theoretical analysis of a pvt hybrid collector operating under various insolation conditions" *Innovations* 26 (1): 62-74. DOI: 10.32933/ActaInnovations.26.7
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología) y MINEM (Ministerio de Energía y Minas). 2003. *Atlas de energía solar del Perú*. Lima (Perú): GEF
- Shah, R., and P. Srinivasan .2018. "Hybrid Photovoltaic and Solar Thermal Systems (PVT): Performance Simulation and Experimental Validation". *Materials Today: Proceedings* 5 (11): 2 2 9 9 8 - 2 3 0 0 6 . D O I : 10.1016/j.matpr.2018.11.028
- Wu, J., X. Zhang, J. Shen Y. Wu, K. Connelly, T. Yang, L. Tang, M. Xiao, Y. Wei, K. Jiang, C. Chen, P. Xu, and H. Wang. 2017. "A review of thermal absorbers and their integration methods for the combined solar photovoltaic/thermal (PV/T) modules". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 75(1): 839-854. DOI: 10.1016/j.rser.2016.11.063
- Wu, Y., S. Wu and L. Xiao. 2015. "Performance analysis of photovoltaic–thermoelectric hybrid system with and without glass cover". *Energy Conversion and Management*. 93 (1): 151-159. DOI: 10.1016/j.enconman.2015.01.013
- Zhang, J., Y. Xuan, and L. Yang. 2014. "Performance estimation of photovoltaic thermoelectric hybrid systems". *energy conversion and management* 78 (1): 895 -903. DOI: 10.1016/j.energy.2014.10.087