

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER  
EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UN SISTEMA  
HÍBRIDO FOTOVOLTAICO-TÉRMICO**

**Autor: Bach. Eráclides Jalca Cabañas**

**Asesora: M.Sc. Rosalynn Yohanna Rivera López**

**Asesor: Ing. Wildor Gosgot Angeles**

**Registro:**

**CHACHAPOYAS – PERÚ**

**2021**

**Ing. Eli Morales Rojas  
Secretario**

**Ing. Betty Karina Guzman Valqui  
VOCAL**

**M. Sc. Jesús Rascón Barrios  
Presidente**

## **DEDICATORIA**

A mis padres **Arístides Jalca Picón y Adelina Cabañas Guablocho**, por darme la vida, apoyo incondicional y por permitirme crecer e inculcarme con valores y principios en seno familiar

A mis **hermanos y hermanas**, por su aliento y apoyo incansable, que me brindan cada día de mi vida, gracias a ellos estoy logrando esta meta profesional

A mi querido hijo **Luis Enrique** que, a pesar de su temprana edad, es la fuerza que me impulsa, inspira y motiva, para superarme cada día más, y poder darle una calidad de vida mejor.

***Eráclides Jalca Cabañas***

## **AGRADECIMIENTO**

Al Ing. Wildor Gosgot Angeles, por el gran apoyo permanente, acompañamiento y por compartir su conocimiento, en el desarrollo de esta de investigación

A la M.Sc. Rosalynn Yohanna Rivera López, por sus recomendaciones y orientaciones para la realización de la Tesis.

A Yhovany Llatas Sánchez por darme su apoyo y fortaleza para cristalizar la presente investigación

Al Proyecto-Creación de los Servicios del Centro de Investigación en Climatología y Energías Alternativas (PROCICEA), por facilitarme con equipos, materiales y accesorios, para la ejecución de esta investigación

A todos los compañeros y docentes, que me han compartido sus conocimientos durante el desarrollo de la presente Tesis y en mi formación profesional.

*Eráclides Jalca Cabañas*

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD**

Dr. POLICARPIO CHAUCA VALQUI

Rector

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

Vicerrector Académico

Dra. FLOR TERESA GARCÍA HUAMAN

Vicerrectora de Investigación

M.Sc. ROSALYNN YOHANNA RIVERA LOPEZ

Decana de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

## VISTO BUENO DEL ASESOR

El que suscribe el presente, docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada “RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UN SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO-TÉRMICO”; del egresado ERÁCLIDES JALCA CABAÑAS de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de las observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 26 de junio de 2021



---

M.Sc. Rosalynn Yohanna Rivera López

Asesora

## VISTO BUENO DEL ASESOR

El que suscribe el presente, docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada “RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UN SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO-TÉRMICO”; del egresado ERÁCLIDES JALCA CABAÑAS de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de las observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 26 de junio de 2021

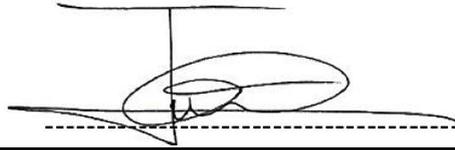


---

Ing. Wildor Gosgot Angeles

Asesor

## JURADO EVALUADOR

A handwritten signature in black ink, featuring a large, stylized initial 'J' and 'R' with a horizontal line through them, positioned above a dashed horizontal line.

---

Blgo. JESÚS RASCÓN BARRIOS  
Presidente

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, sweeping loop followed by a horizontal line and the initials 'E.M.R.' below it.

---

Ing. ELI MORALES ROJAS  
Secretario

A handwritten signature in blue ink, featuring a large, stylized initial 'B' and 'K' with a horizontal line through them, followed by a horizontal line and the initials 'B.K.G.V.' below it.

---

Ing. BETTY KARINA GUZMAN VALQUI  
Vocal



**ANEXO 3-Q**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

En la ciudad de Chachapoyas, el día 07 de Octubre del año 2021, siendo las 5:00 pm horas, el aspirante: JALCA CABAÑAS, Eráclides, defiende en sesión pública presencial ( ) / a distancia (  ) la Tesis titulada: RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UN SISTEMA HÍBRIDO FOTVOLTAICO-TÉRMICO

....., teniendo como asesor a M.Sc. Rosalynn Yohanna Rivera López/ Ing. Wildor Gosgot Angeles, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

- Presidente: M.Sc. Jesús Rascón Barrios
- Secretario: Ing. Eli Morales Rojas
- Vocal: Ing. Betty Karina Guzman Valqui

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:  
Aprobado (  )      Desaprobado (    )

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 6:25 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

  
.....  
SECRETARIO

  
.....  
VOCAL

  
.....  
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:  
.....  
.....

## DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO DE TESIS

Yo, Eráclides Jalca Cabañas, con D.N.I N° 40850303, domiciliado en el Jirón Prolongación 3 Esquinas N° 1140 de la ciudad de Chachapoyas, egresado la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, con correo electrónico institucional eraclides.jalca@untrm.edu.pe

Declaro Bajo Juramento

**Que:**

1. Soy autor de la Tesis titulada: Rendimiento Energético de un Sistema Fotovoltaico-Térmico, que presento para obtener el Título Profesional de: Ingeniero Ambiental.
2. La Tesis no ha sido plagiado ni total ni parcialmente, y para su realización se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La Tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La Tesis presentada no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico o título profesional.
5. La información presentada es real y no ha sido falsificada, ni duplicada, ni copiada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la Tesis para obtener el Título Profesional, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para la UNTRM en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado a las que encontraren causa en el contenido de la Tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio o falsificación de la Tesis para obtener el Título Profesional; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción se deriven.



Chachapoyas, 26 de junio de 2021

---

Eráclides Jalca Cabañas



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL

PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-0

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

Rendimiento Energético de un Sistema Híbrido Fotovoltaico - Térmico

presentada por el estudiante ( )/egresado (X) Eráclides Jalca Cabañas de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

con correo electrónico institucional eraclides.jalca@untrm.edu.pe

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- a) La citada Tesis tiene 10 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (X) / igual ( ) al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
b) La citada Tesis tiene..... % de similitud, según reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis cori egida para nueva revisión con el software Turnitin.

Chachapoyas ...14...de. ...setiembre .....del 2021.

[Signature]

SECRETARIO

[Signature]

VOCAL

[Signature]

PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD.....	iii
VISTO BUENO DEL ASESOR.....	iv
VISTO BUENO DEL ASESOR.....	v
JURADO EVALUADOR.....	vi
DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO DE TESIS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
I. INTRODUCCIÓN.....	16
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
2.1. Área de estudio.....	19
2.2. Diseño y construcción de los sistemas de aprovechamiento solar.....	20
2.2.1. Construcción del prototipo híbrido fotovoltaico/térmico.....	20
2.2.2. Construcción del prototipo colector solar térmico.....	28
2.3. Instalación de los sistemas de aprovechamiento solar.....	29
2.4. Registro de datos.....	32
2.4.1. Datos de temperatura.....	32
2.4.2. Datos de voltaje y amperaje.....	32
2.5. Evaluación energética.....	33
2.5.1. Eficiencia térmica.....	33
2.5.2. Coeficiente de rendimiento.....	34
III. RESULTADOS.....	35
3.1. Datos climatológicos.....	35
3.2. Evaluación térmica.....	35
3.2.1. Temperaturas del FVT.....	35
3.2.2. Temperaturas del ST.....	36
3.2.3. Eficiencia térmica.....	37
3.3. Rendimiento eléctrico.....	41
3.3.1. Evaluación del sistema FV.....	41
3.3.2. Evaluación del sistema FVT.....	42

3.4. Comparación de rendimientos de sistemas .....	43
IV. DISCUSIÓN .....	44
V. CONCLUSIONES .....	46
VI. RECOMENDACIONES .....	47
VII. BIBLIOGRAFÍA .....	48
ANEXO 1. Radiación solar y temperaturas .....	51
ANEXO 2. Voltaje y amperaje del 12 al 22 de enero del 2021 .....	54

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Especificaciones para la construcción del colector FVT.....	22
<b>Tabla 2.</b> Datos climatológicos de los 11 días .....	35
<b>Tabla 3.</b> Eficiencia del sistema FVT en 11 días evaluados. ....	39
<b>Tabla 4.</b> Eficiencia del sistema ST en 11 días de evaluación. ....	39
<b>Tabla 5.</b> Datos de resultados de la evaluación del sistema FV .....	41
<b>Tabla 6.</b> Datos de resultados de la evaluación del sistema FVT. ....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de ubicación del proyecto. ....	19
<b>Figura 2.</b> (A) diseño de la estructura, (B) estructura armada. ....	21
<b>Figura 3.</b> (A) vista en planta, (B) vista lateral. ....	21
<b>Figura 4.</b> (A) forro con tecnopor, (B) forro con papel aluminio. ....	23
<b>Figura 5.</b> Diseño de la parrilla colectora vertical. ....	23
<b>Figura 6.</b> (A) accesorios, (B) ensamblaje de parrilla, (C) pintado de parrilla. ....	24
<b>Figura 7.</b> (A) medición de la calamina, (B) calamina cortada y pintada. ....	24
<b>Figura 8.</b> (A) Partes del colector FVT, (B) colector FVT terminado. ....	25
<b>Figura 9.</b> (A) diseño del tanque de almacenamiento, (B) accesorios utilizados, (C) colocación de accesorios, (D) abertura de orificio. ....	26
<b>Figura 10.</b> (A) preparación del forro, (B) tanque forrado con tecnopor, (C) tanque forrado con material reciclado, (D) tapa de acceso del tanque. ....	27
<b>Figura 11.</b> Colector solar térmico terminado. ....	29
<b>Figura 12.</b> Instalación de las conexiones de agua. ....	30
<b>Figura 13.</b> (A) panel FV, (B) sistema híbrido fotovoltaico/térmico, (C) sistema solar térmico. ....	31
<b>Figura 14.</b> (A) data logger, (B) multímetro digital. ....	32
<b>Figura 15.</b> Comportamiento de temperaturas y radiación solar, del sistema FVT. ....	36
<b>Figura 16.</b> Comportamiento de temperaturas e irradiancia solar, del sistema ST. ....	37
<b>Figura 17.</b> Determinación del área bajo la curva. ....	38
<b>Figura 18.</b> Comportamiento de la eficiencia térmica del sistema FVT y del ST. ....	40
<b>Figura 19.</b> Comparación del comportamiento del coeficiente de rendimiento del panel FV y del panel FVT. ....	43

## RESUMEN

El aprovechamiento de la energía solar es una alternativa para cubrir las demandas energéticas. Por lo que, se investigó la eficiencia térmica y eléctrica de un sistema híbrido fotovoltaico/térmico (FVT), compuesto de un colector de 1,6 m<sup>2</sup>, 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; instalado en la ciudad de Chachapoyas, a un ángulo de inclinación de 15° orientado norte-sur, en horarios de 8:00 a 16:00 durante 11 días en el mes de enero, se evaluó las temperaturas (al interior del tanque y colector), irradiación solar, voltaje y amperaje. Para comparar la eficiencia térmica se utilizó un sistema solar térmico (ST), 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 sistema FVT logró alcanzar una eficiencia térmica máxima de 12,2 %, menor al sistema ST que alcanzó el 19,0 de eficiencia térmica máxima. Así mismo, el sistema FVT presentó un rendimiento energético máximo de 76,6 %, mayor al panel FV con . El sistema híbrido permite aprovechar la energía térmica y eléctrica de forma simultánea, además de optimizar el área de instalación, así como también acoplarse fácilmente al diseño arquitectónico a las viviendas en las zonas altoandinas aprovechando eficazmente las condiciones meteorológicas de esta zona.

**Palabras Claves:** Radiación solar, eficiencia térmica y eléctrica, Amazonas, terma, panel solar, Perú.

## ABSTRACT

The use of solar energy is an alternative to meet energy demands. Therefore, the thermal and electrical efficiency of a photovoltaic/thermal hybrid system (PVT) was investigated, consisting of a 1.6 m<sup>2</sup> collector, a grid of ½" chlorinated polyvinyl chloride (CPVC) pipes, with a 315 W monocrystalline solar panel and a 70 liter tank for water storage; installed in the city of Chachapoyas, at an inclination angle of 15° oriented north-south, during the hours of 8:00 a.m. to 4:00 p.m. for 11 days in the month of January: The temperatures (inside the tank and collector), solar irradiation, voltage and amperage were evaluated during 11 days in January. To compare thermal efficiency, a solar thermal system (ST) 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 electrical efficiency. The results show that the FVT system achieved a maximum thermal efficiency of 12.2%, lower than the ST system that reached 19.0% maximum thermal efficiency. Likewise, the FVT system presented a maximum energy efficiency of 76.6 %, higher than the PV panel. The hybrid system allows to take advantage of the thermal and electrical energy simultaneously, in addition to optimizing the installation area, as well as to easily adapt to the architectural design of the houses in the high Andean zones, taking advantage of the meteorological conditions of this area.

**Key words:** Solar radiation, thermal and electrical efficiency, Amazon, therma, solar panel, Peru.

## 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, debido a que, la disponibilidad de energía solar es inagotable y accesible en cualquier parte del mundo (Zhang, Xuan y Yang, 2014).

Para aprovechar la energía solar, se vienen desarrollando diversas tecnologías, según el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN), 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, Debbarma, Mehrotra, Sudhakar, y Kumar, 2014).

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. Mediante un panel híbrido fotovoltaico/térmico 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 del sistema FVT 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. Por su parte, 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. Así mismo, 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 es mayor, debido a su temperatura de fusión del MCF.

Además, Shah y Srinivasan (2018), emplearon el modelo teórico COMSOL Multiphysics (software de simulación) para simular el incremento de la temperatura del panel fotovoltaico, en un sistema híbrido FVT. Los resultados obtenidos fueron de 30.2 °C de temperatura promedio, en el panel con enfriamiento y 60.0 °C de temperatura en el panel sin enfriamiento. Asimismo, Sawicka *et al.* (2018), utilizaron el software Polysun para analizar la eficiencia máxima entre un módulo fotovoltaico, un colector solar térmico y un colector híbrido FVT en dos escenarios distintos. El primero a nivel de laboratorio y el segundo en condiciones reales. Evidenciando, que la eficiencia en condiciones reales superó a los datos de laboratorio. Mientras que, Nasir y Husaini. (2018), realizaron un estudio teórico de modelado y simulación de la eficiencia energética de un sistema FVT, a través del software Matlab/Simulink. concluyendo que, los valores máximos de eficiencia térmica, eléctrica y total de sistema FV/T, fueron de 35.80%, 15.56% y 50.74% respectivamente, con una radiación solar de 400 W/m<sup>2</sup>.

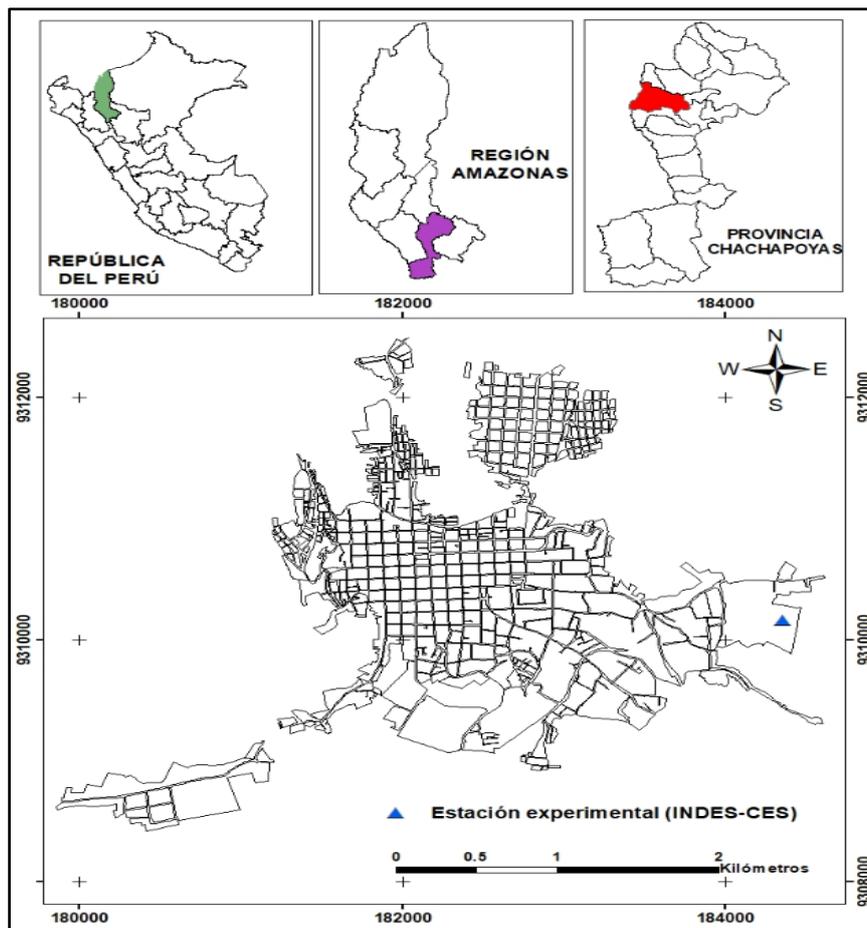
Por su parte, Fine *et al.* (2019) desarrollaron una metodología para estimar el rendimiento térmico y eléctrico, la cual consiste, en ajustar el flujo solar disponible en base a la eficiencia teórica del panel. Este flujo solar modificado se utiliza para determinar la temperatura de operación del panel, 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 con 1.63 m<sup>2</sup> de superficie y una potencia eléctrica solar de 315 W. Además, se construyó un sistema solar térmico (ST) e implementó un sistema fotovoltaico (FV), con igual superficie y potencia del sistema FVT respectivamente.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. 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 (INDES-CES), 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 1), 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/m<sup>2</sup>, según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y la Dirección General de Electrificación Rural (DGER-MEM) del Ministerio de Energía y Minas (MINEM), ambas instituciones del Perú (SENAMHI y MINEM, 2003).



**Figura 1.** Mapa de ubicación del proyecto.

## 2.2. Diseño y construcción de los sistemas de aprovechamiento solar

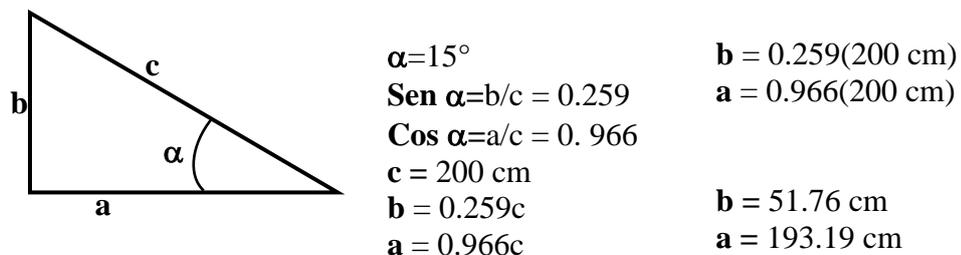
Se diseñó y construyó un prototipo de sistema FVT con 1.63 m<sup>2</sup> de superficie y una potencia eléctrica solar de 315 W, a la par se montó un sistema térmico e implemento un sistema fotovoltaico, con igual superficie y potencia del sistema fotovoltaico/térmico, para ello se tuvo en consideración la metodología propuesta por (Mukhtar y Sabiu, 2017; Espinoza, 2017).

### 2.2.1. Construcción del prototipo híbrido fotovoltaico/térmico

El prototipo híbrido fotovoltaico/térmico diseñado, se compuso de una estructura metálica, un colector híbrido y un tanque de almacenamiento de agua. En tal sentido la construcción se realizó en base a los componentes considerados y siguiendo la siguiente secuencia:

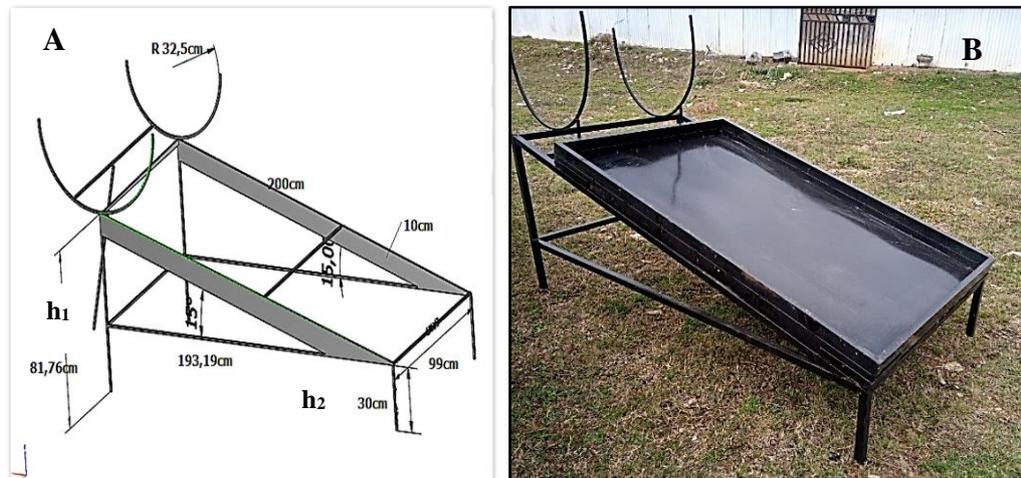
#### a) Estructura metálica:

Para el diseño del soporte del prototipo FVT, se consideró 15° de inclinación con el fin de optimizar que los rayos solares sean perpendiculares a la superficie del sistema propuesto, en tal sentido para el cálculo de las dimensiones del soporte del sistema FVT, se utilizaron las relaciones trigonométricas, en base a un ángulo recto.



En la construcción de la estructura metálica se usó tubo de fierro rectangular de 2" x 1" x 1.1 mm de espesor; con las dimensiones de 81.76 cm de altura ( $h_1$ ), la sumatoria de ( $b + h_2$ ) es igual a  $h_1$ , 30 cm de altura ( $h_2$ ) por 193.19 cm de largo y 99 cm de ancho; unidos con soldadura eléctrica en los ángulos. La estructura metálica tiene la forma rectangular, en la parte superior donde descansará el colector solar con ángulo de inclinación de 15° (parte inclinada) y al tanque de almacenamiento de agua (parte circular, media luna). En la Figura 2, se muestra

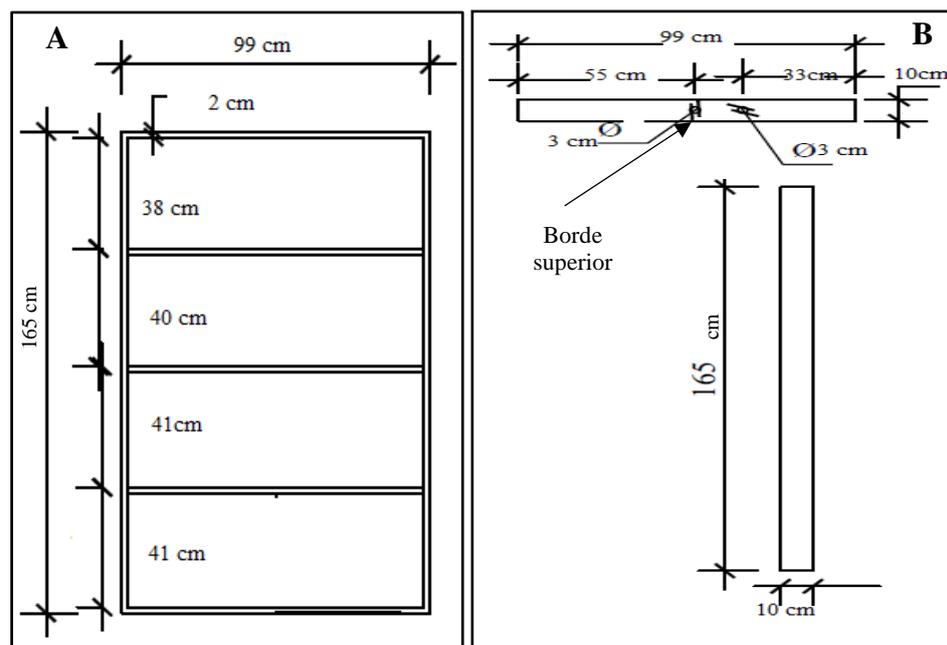
el montaje. La estructura metálica de hierro se protegió y pinto, con pintura anticorrosiva esmalte sintético color negro mate.



**Figura 2.** (A) diseño de la estructura, (B) estructura armada.

**b) Colector híbrido fotovoltaico/térmico:**

El diseño de la caja del colector fotovoltaico/térmico se realizó de forma de un paralelepípedo rectangular, cuyas dimensiones son: 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 pasa la conexión de las tuberías entre la parrilla colectora y el tanque de acumulación de agua, la distancia entre los orificios indicados es de 11 cm (Figura 3).



**Figura 3.** (A) vista en planta, (B) vista lateral.

Para la construcción del colector híbrido FVT, se consideró el componente térmico y fotovoltaico, en la cual se utilizó tubo de fierro rectangular de 2" x 1" x 1.1 mm, la base lleva una lámina metálica fina y tiene forma rectangular, a continuación, se detalla las especificaciones y dimensiones en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Especificaciones para la construcción del colector FVT.

N°	Descripción	Especificación
1	Área del colector	1.64 m <sup>2</sup>
2	Largo del colector	1.65 m
3	Ancho del colector	0.99 m
4	Altura del colector	0.10 m
5	Parrilla del colector	Tubo CPVC ½" pulgada
6	Base del colector	Lámina delgada
7	Tubos para el colector	½" pulgada
8	Protector superior del colector	Panel solar monocristalino
9	Tubos para el colector	½" pulgada
10	Material de aislamiento (1)	Tecnopor de 25 mm
11	Material de aislamiento (2)	Papel aluminio
12	Material para absorción de radiación solar	Calamina de 0.20 mm
13	Material de contra placado	Calamina de 0.20 mm
14	Pintura de revestimiento	Esmalte negro mate
15	Distanciamiento entre tubos verticales	5.5 cm

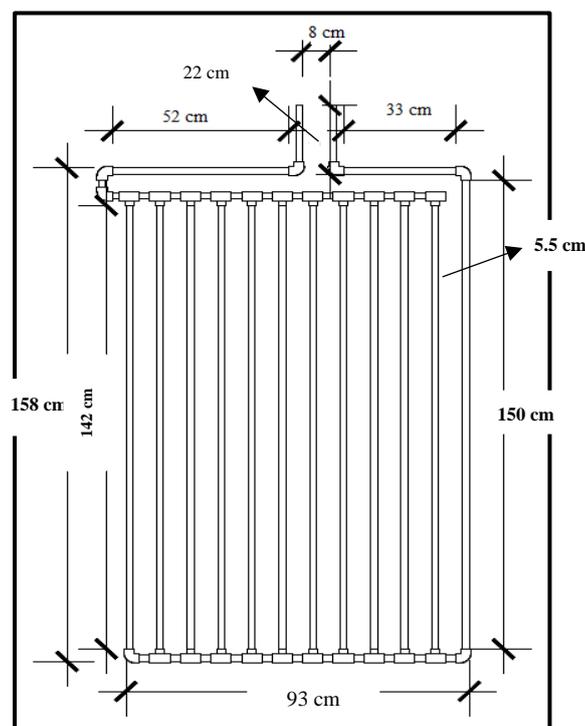
De acuerdo a las especificaciones descritas en la Tabla 1 se procedió a medir y cortar el tecnopor de 2.5 cm de espesor, con medidas de 1.63 cm de largo por 0.97 cm de ancho, para realizar el acoplamiento de la parte interna del colector incluye el marco y la base. Se optó por este material por su propiedad como aislante térmico. Así mismo, para conservar y evitar la pérdida de la temperatura interna del colector, se forró con papel aluminio encima de la capa de tecnopor, además para reflejar la radiación solar hacia la calamina y acumular mayor energía térmica (Figura 4).



**Figura 4.** (A) forro con tecnopor, (B) forro con papel aluminio.

### c) Construcción de la parrilla colectora

El diseño de la parrilla colectora de tubos fue tipo vertical, los detalles de las dimensiones tiene 158 cm de largo por 93 cm de ancho, con el fin, que pueda caber en el interior de la caja del colector fotovoltaico- térmico. Para el montaje y construcción de la parrilla colectora se cortaron 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 ingresa el agua fría. La distancia entre los tubos verticales fue de 5.5 cm (Figura 5). En cada tubo ya cortado se aplicó pegamento en la parte distal, para unir con la T, finalmente se unió con codos de 90° en las partes extremas de la parrilla, para ganar absorción de calor, la parrilla fue pintada con pintura negro mate (Figura 6).

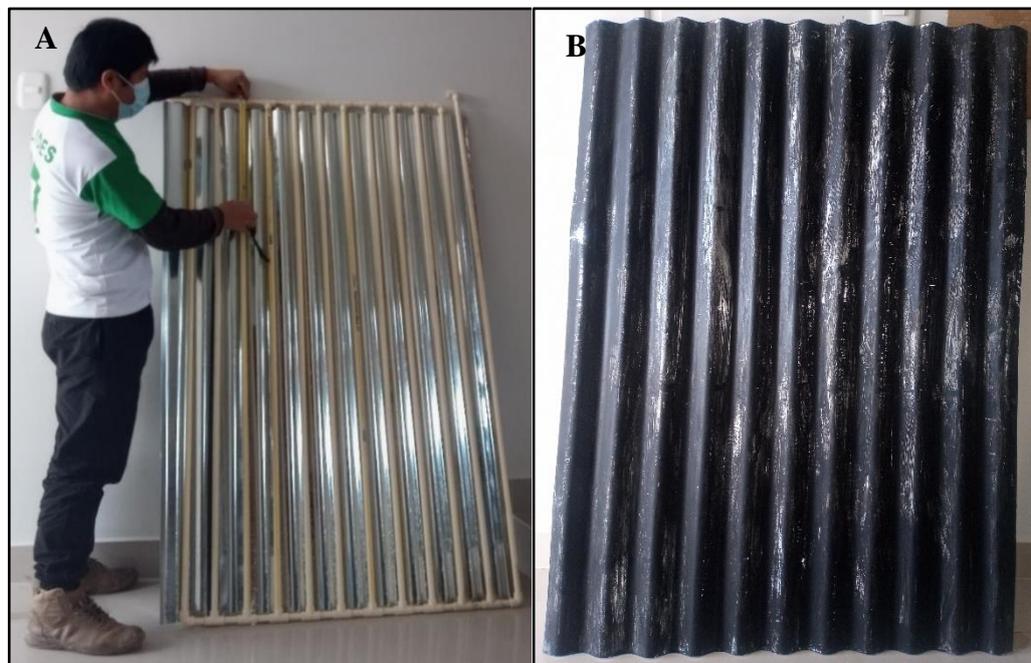


**Figura 5.** Diseño de la parrilla colectora vertical.



**Figura 6.** (A) accesorios, (B) ensamblaje de parrilla, (C) pintado de parrilla.

Al concluir el montaje de la parrilla vertical de tubos CPVC, se procedió a realizar la prueba hidráulica con la finalidad de detectar fuga de agua. Para facilitar la absorción de radiación solar se utilizó dos planchas de calamina con dimensiones de 142 cm de largo y 81 cm de ancho cada uno. Estas planchas fueron pintadas de color negro mate y después, colocadas debajo de la parrilla de tubos CPVC (Figura 7).



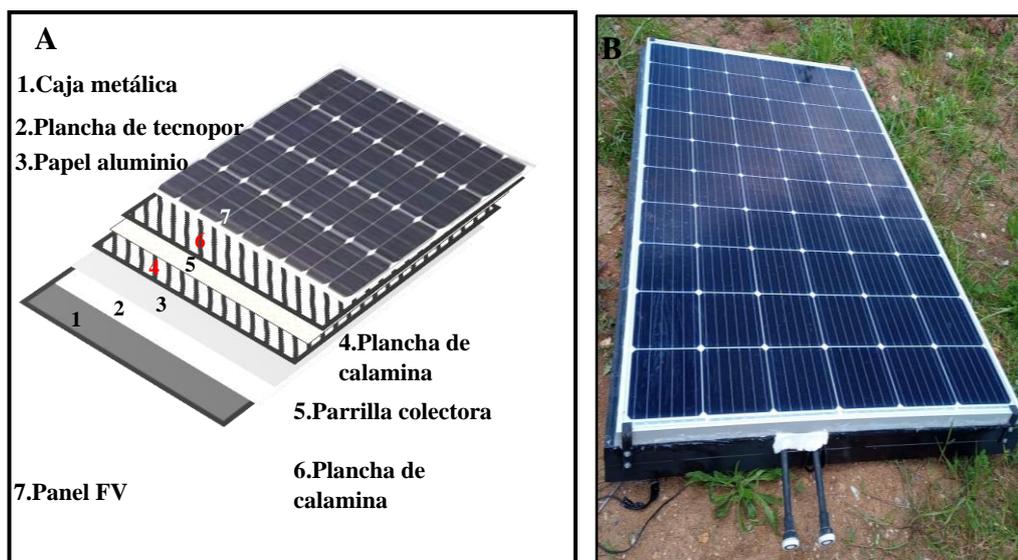
**Figura 7.** (A) medición de la calamina, (B) calamina cortada y pintada.

#### d) Ensamblaje del colector híbrido fotovoltaico/térmico

Después de realizar la preparación de todos los componentes, para armar el colector híbrido FVT, se procedió a estructurar cada componente de la siguiente manera:

- Caja protectora del colector FVT
- Material aislante térmico del colector (Tecnopor y papel aluminio)
- Material absorbente de radiación solar (calamina), este material se ensambló uno debajo de la parrilla y otro encima, de forma contra placada
- Parrilla colectora de tubos de CPVC
- Panel solar de 315 W monocristalino

Se perforó dos orificios en la parte superior de la caja protectora del colector FVT, para el ingreso de la tubería de la parrilla colectora de tubos CPVC, los mismos se unieron con el tanque de abastecimiento y almacenamiento de agua, a través de dos ramales de tubos PVC para agua fría. Para garantizar un buen acople entre la parrilla colectora y la calamina, se hizo coincidir los tubos de la parrilla con el canal de la calamina. El ensamblaje del panel solar en el colector híbrido FVT, se realizó con un sujetador metálico en cada esquina del borde del colector, luego se ajustó con autoperforante, para evitar la salida del calor interno se aplicó silicona entre la unión del borde del colector FVT y el panel solar, (Figura 8)

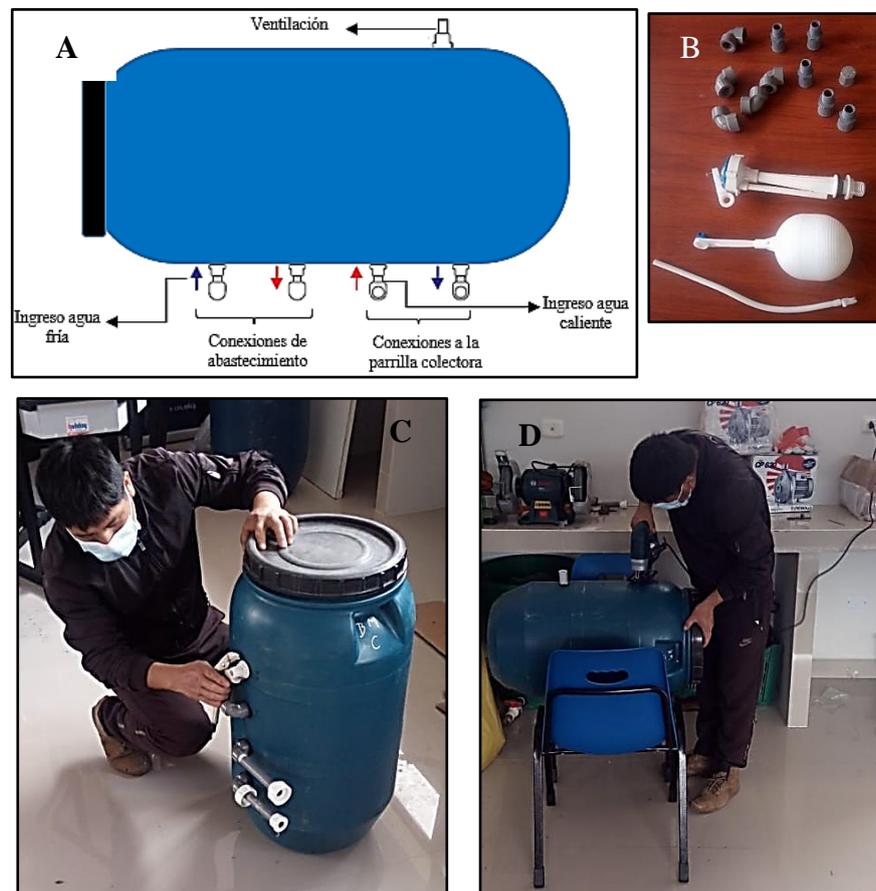


**Figura 8.** (A) Partes del colector FVT, (B) colector FVT terminado.

### e) Construcción del depósito de almacenamiento de agua

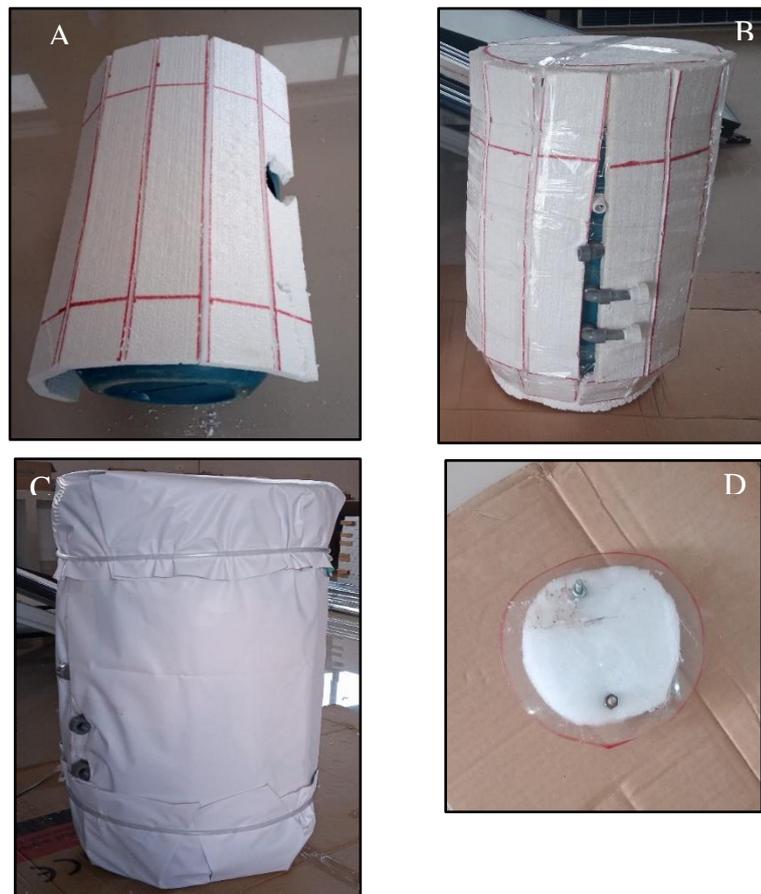
Para la preparación del tanque de almacenamiento de agua y caliente, se procedió a trazar una línea media en una del bidón a partir de esa marca de midió 5 cm a cada lado estableciendo un punto fijo, de este punto se midió 10 cm hasta definir 4 puntos separados por 10 cm de distancia, para el ingreso del agua, seguidamente se trazó el quinto punto opuesto a los ya establecidos, para ventilación. Se realizó la perforación de los 5 puntos marcados utilizando un taladro, y se instaló los adaptadores macho en los cinco orificios, ajustándolos con empaquetaduras hechas de cámara de llanta que luego serán unidos con los codos con rosca (Figura 9). Se utilizaron los siguientes materiales:

- Bidón de PVC de 70 litros: 01 unidad
- Adaptador macho de PVC de ½": 05 unidades
- Codos de PVC de ½": 04 unidades
- Kit de accesorios para wáter: 01 unidades
- Llave universal de PVC de ½": 02 unidades
- Empaquetadura de jebe de cámara llanta



**Figura 9.** (A) diseño del tanque de almacenamiento, (B) accesorios utilizados, (C) colocación de accesorios, (D) abertura de orificio.

Se instalaron dos ramales de tubería cada uno con una llave universal, una tubería para ingreso del agua caliente al tanque de almacenamiento el otro para ingreso del agua fría ala colector FVT. Con el fin de facilitar la instalación interna de los accesorios en el tanque de almacenamiento de agua, así como el mantenimiento del mismo, se optó por realizar un corte circular de aproximadamente 15 cm de diámetro en la parte opuesta a los 4 orificios de ingreso y salida del agua. El tanque de almacenamiento se forro con una capa de tecnopor por la parte externa, incluyendo la tapa y la base del recipiente, como un sistema aislante para evitar la pérdida de temperatura al ambiente. El 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 fijar el material aislante se añadió un forro de material reciclado de banner publicitario (Figura 10).



**Figura 10.** (A) preparación del forro, (B) tanque forrado con tecnopor, (C) tanque forrado con material reciclado, (D) tapa de acceso del tanque.

La tapa de del tanque de almacenamiento de agua se hizo de forma circular con material reciclado (Tecnopor y botella de plástico PET), para fijarlo se usó tornillos, cabe indicar que la tapa mencionada permite realizar el mantenimiento del tanque de almacenaje cuando este lo requiera.

### **2.2.2. Construcción del prototipo colector solar térmico**

El prototipo de colector solar térmico se diseñó, con iguales dimensiones y especificaciones técnicas que el colector FVT, excepto la tapa de la caja del colector. El colector ST está integrado de una estructura metálica, un colector solar y un tanque de almacenamiento de agua, la construcción se realizó siguiendo la siguiente secuencia:

#### **a. Estructura metálica:**

La estructura metálica se construyó siguiendo los pasos y especificaciones técnicas detalladas líneas arriba, en el numeral **2.2.1** parte **a**.

#### **b. Colector solar térmico.**

Para la construcción del colector solar térmico se siguió las indicaciones y especificaciones técnicas detalladas líneas arriba, en el numeral **2.2.1** parte **b**, excepto para la capa protectora del colector se acoplo con vidrio transparente con dimensiones de 1, 65 cm por 0.99 cm y con diámetro de 5 mm.

#### **c. Construcción de la parrilla vertical**

En la construcción de la parrilla colectora, se siguió las indicaciones y especificaciones técnicas detalladas líneas arriba, en el numeral **2.2.1** parte **c**.

#### **d. Ensamblaje del colector solar térmico**

Después de realizar la preparación de todos los componentes descritos líneas arribas, para armar el colector solar térmico, se procedió a estructurar cada componente de la siguiente manera:

- Caja protectora del colector solar térmico
- Material aislante térmico del colector (Tecnopor y papel aluminio)

- Material absorbedor de radiación solar (calamina), este material se ensambla uno al debajo de la parrilla y otro en la superior, de forma contra placada
- Parrilla colectora de tubos de CPVC
- Vidrio transparente de 4 mm

El ensamblaje de la plancha de vidrio transparente de 4 mm en el colector solar térmico, se realizó con silicona entre la unión de los bordes de la caja protectora del colector solar térmico y el vidrio transparente, procedimiento que evita la salida del calor interno del colector (Figura 11).



*Figura 11.* Colector solar térmico terminado.

#### **e. Construcción del tanque de almacenamiento de agua**

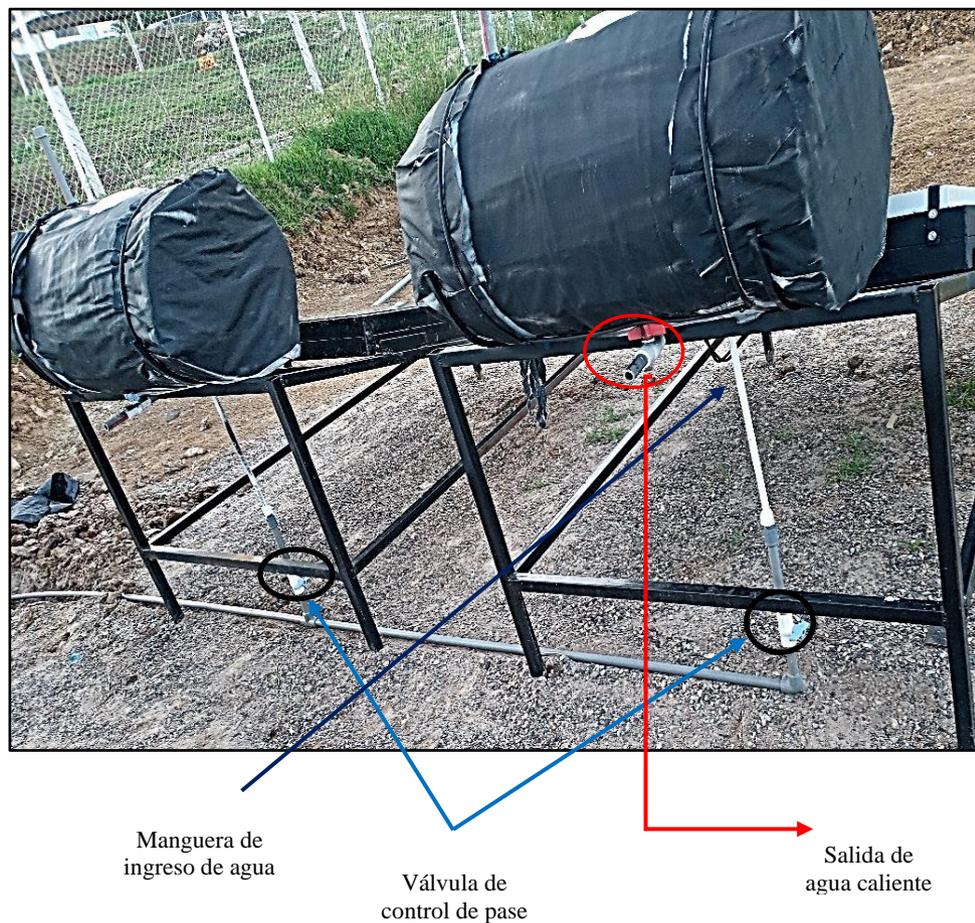
Para la construcción del tanque de almacenamiento de agua, se procedió con las indicaciones y especificaciones técnicas detalladas líneas arriba, en el numeral 2.2.1 en la parte e.

### **2.3.Instalación de los sistemas de aprovechamiento solar**

En la instalación de los 3 sistemas, se siguió los siguientes pasos:

- Instalación de la tubería de PVC de ½” y accesorios para el abastecimiento de agua, a los tanques de almacenamiento, para ello se utilizó dos codos de ½”, una T de ½”, dos mangueras de abasto y dos válvulas de control de ½”, en la Figura 12, se muestra la conexión.

- Se realizó el acondicionamiento de los tres sistemas, con orientación al norte magnético, este implica que los colectores de cada uno de los sistemas estén levantados en el sur e inclinado al norte, haciendo un ángulo de inclinación de  $15^\circ$ , para ello se tomó la latitud de la ciudad de Chachapoyas ( $6^\circ 13' 60''$ ) con equipo de posicionamiento global (GPS), para aprovechar mejor la radiación solar, siguiendo la trayectoria del sol de este a oeste. Además el ángulo de inclinación de  $15^\circ$  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 procedió a nivelar los tres sistemas, utilizando cordel y nivel de mano, quedando listo para la fase de toma de datos y evaluación (Figura 13).



**Figura 12.** Instalación de las conexiones de agua.



**Figura 13.** (A) panel FV, (B) sistema híbrido fotovoltaico/térmico, (C) sistema solar térmico.

- Para el registro de datos de temperatura, se instalaron cinco equipos “Data Logger” (Figura 14 a) en los sistemas: híbrido fotovoltaico/térmico, colector solar térmico y fotovoltaico, distribuidos de la siguiente manera:
  - Un sensor en la parte interna del colector híbrido FVT, localizado en el centro de la calamina que cubre a la parrilla colectora, debajo de la capa protectora de panel solar.
  - Un sensor en la parte interna del tanque de almacenamiento de agua caliente del sistema híbrido FVT, ubicado a una profundidad de 15 cm del nivel de agua.
  - Un sensor en la parte interna del colector solar térmico, localizado en el centro de la calamina que cubre a la parrilla colectora, debajo de la capa de vidrio transparente.
  - Un sensor en la parte interna del tanque de almacenamiento de agua caliente del sistema colector solar térmico, ubicado a una profundidad de 15 cm del nivel de agua.
  - Un sensor en la parte media del panel fotovoltaico, ubicado por debajo de panel solar.

Para registrar datos de voltaje y amperaje se instaló dos multímetros, conectándolos cada uno de ellos en el terminal del panel solar del sistema FVT y del sistema FV (Figura 14 b).



**Figura 14.** (A) data logger, (B) multímetro digital.

## **2.4. Registro de datos**

El registro de datos de temperatura, voltaje e intensidad de corriente, así como los parámetros ambientales han sido tomados durante el mes enero del año 2021, en periodos de tiempo por cada hora en 11 días consecutivos.

### **2.4.1. Datos de temperatura**

Para la medición de temperatura se programó los Data Logger (MARCA: YOWEXA, MODELO: SSN-22ET), con una precisión de  $\pm 0.5$  °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 (Anexo 1).

### **2.4.2. Datos de voltaje y amperaje**

Los datos de amperaje y voltaje de los paneles solares, se realizó con multímetro (MARCA: TOTAL, MODELO: TMT46001), se consideraron en horarios de 8:00 am, 13:00 pm y 16:00 pm (Anexo 2), se estableció en estos horarios para coincidir con el registro de datos de la Estación Meteorológica del INDES- CES.

## 2.5. Evaluación energética

### 2.5.1. Eficiencia térmica

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 considera la irradiancia solar ( $W/m^2$ ), temperatura en el interior de tanque de almacenamiento ( $^{\circ}C$ ) y el volumen masico del agua, estos parámetros se utilizan en las siguientes ecuaciones (Espinoza, 2017).

El cálculo de la eficiencia térmica del sistema, se basa en la ecuación (1)

$$\eta_T = \frac{\text{Energía térmica ganada o útil}}{\text{Energía solar recibida}} \dots\dots\dots(1)$$

La energía térmica ganada se obtiene mediante la ecuación (2)

$$E_T = m \cdot c_p \cdot \Delta T \dots\dots\dots(2)$$

En la cual, **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. $^{\circ}C$ ) y  $\Delta T$  = temperatura de salida-temperatura de entrada al recipiente de agua ( $^{\circ}C$ )

La energía solar recibida se calcula través de la ecuación (3) y (4)

$$E_S = b \cdot \frac{h_1+h_2}{2} + b \cdot \frac{h_2+h_3}{2} + b \cdot \frac{h_3+h_4}{2} + \dots\dots\dots(3)$$

En la cual, **b** es la base (en horas) y **h<sub>1</sub>** y **h<sub>2</sub>** son alturas (irradiancia solar  $W/m^2$ ).

$$E_S = E_S \cdot A \dots\dots\dots(4)$$

Donde, **E<sub>S</sub>**, 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  $m^2$

### La regla del trapecio compuesto

También llamado regla de los trapecios, es una representación de aproximación integral definida aplicando “n” trapecios. En la formulación de esta metodología se asume que  $f(x)$  es continua y positiva en el intervalo [a, b] (Peña Marin, 2015).

### 2.5.2. Coeficiente de rendimiento

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 (ecuación 4):

$$\text{Coeficiente de rendimiento} = \frac{\text{Potencia real o acumulada Wh}}{\text{Potencia nominal Wh}} \dots\dots\dots 4$$

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 (ecuación 5).

$$\text{Potencia real o acumulada} = V_{oc} \cdot I_{sc} \dots\dots\dots 5$$

En donde, **V<sub>oc</sub>**: Tensión máxima en circuito abierto (V) y **I<sub>sc</sub>**: 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 (Irradiancia de 800 W/m<sup>2</sup>, temperatura ambiente de 20 °C, velocidad del viento de 1 m/s).

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Datos climatológicos

En la Tabla 2, se muestra el promedio de los datos climatológicos 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  $mm/m^2$ .

**Tabla 2.** Datos climatológicos de los 11 días

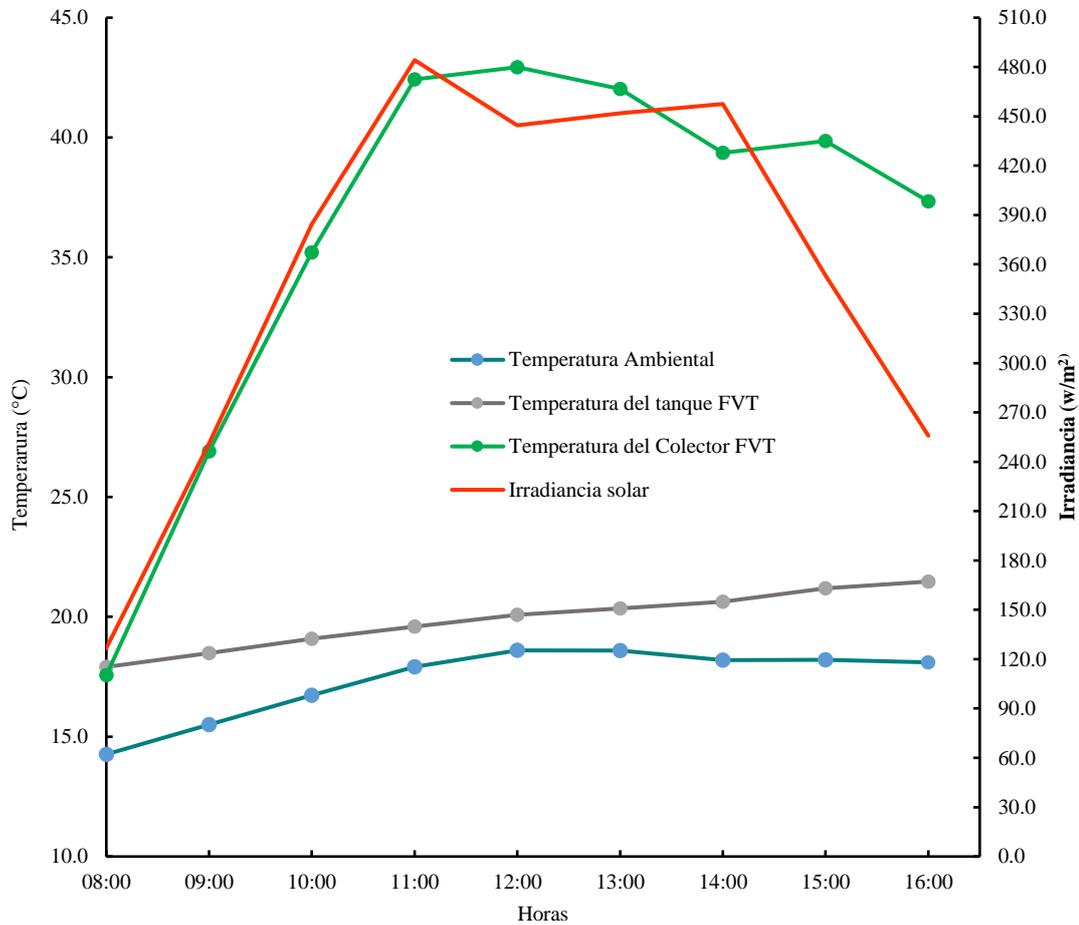
Horas	Temperatura	Irradiancia	Velocidad del Viento (m/s)	Precipitación ( $mm/m^2$ )
	Ambiental ( $^{\circ}C$ )	solar ( $W/m^2$ )		
08:00	14.3	126.7	0.5	1.0
09:00	15.5	251.3	0.5	0.1
10:00	16.7	384.4	0.7	0.1
11:00	17.9	484.2	0.9	0.1
12:00	18.6	444.5	1.2	0.2
13:00	18.6	451.8	1.4	0.2
14:00	18.2	457.5	1.7	0.2
15:00	18.2	353.3	1.7	0.2
16:00	18.1	255.9	1.5	0.1
<b>Promedio</b>	<b>17.3</b>	<b>356.6</b>	<b>1.1</b>	<b>0.2</b>

#### 3.2. Evaluación térmica

##### 3.2.1. Temperaturas del FVT

Los datos que se muestra en la Figura 15, 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

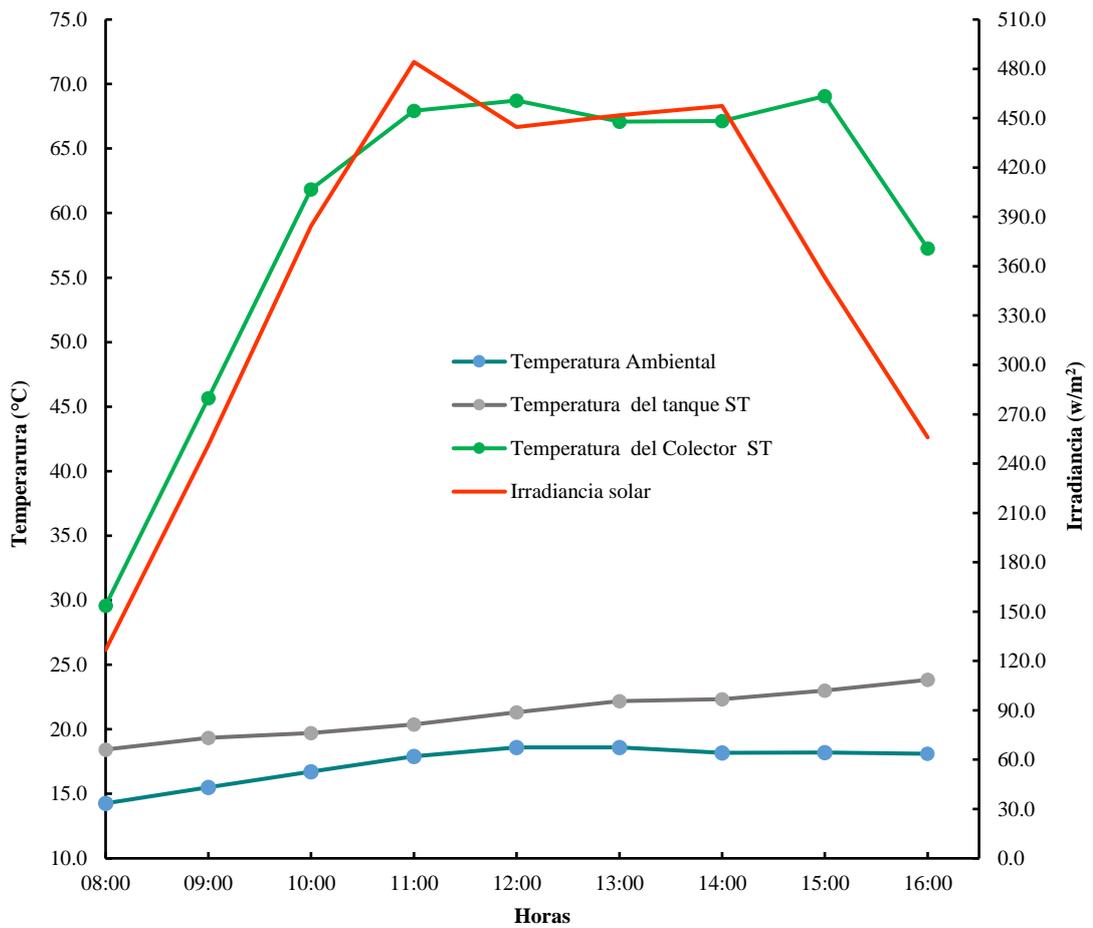
promedio de 42.9 °C. La temperatura de incremento del agua dentro del tanque de las 8:00 a 16:00 horas es de 3.6°C, con un incremento de tendencia positivo.



**Figura 15.** Comportamiento de temperaturas y radiación solar, del sistema FVT.

### 3.2.2. Temperaturas del ST

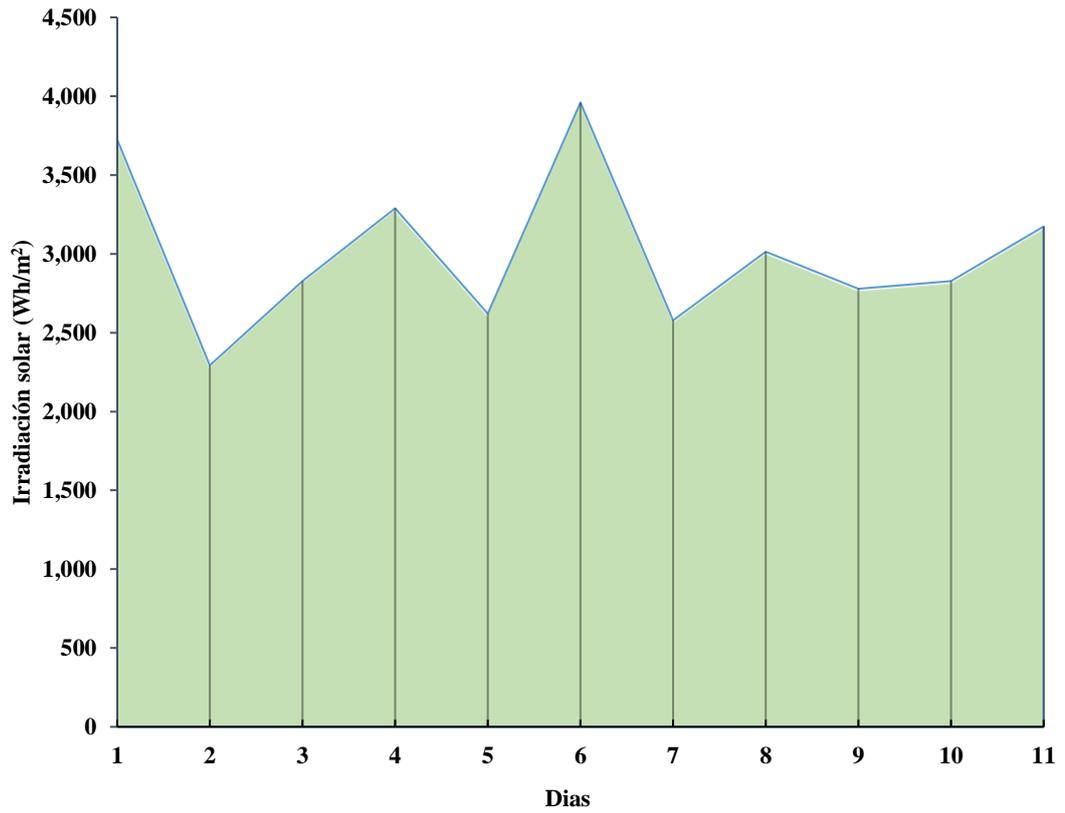
En la Figura 16, se muestran los datos del promedio por hora de los 11 días evaluados. La máxima irradiancia promedio fue de 464.5 W/m<sup>2</sup> a las 11:00 horas, la tendencia de irradiancia solar para ser aprovechada es entre las 10:00 y 15:00 horas. En este horario la temperatura ambiente tiene un comportamiento similar a la irradiancia, teniendo un valor máximo promedio de 18.6°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 °C. La temperatura de incremento del agua dentro del tanque ST de las 8:00 a 16:00 horas es de 5.4°C, con un incremento de tendencia positivo.



**Figura 16.** Comportamiento de temperaturas e irradiancia solar, del sistema ST.

### 3.2.3. Eficiencia térmica

En la Figura 17, 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.



**Figura 17.** Determinación del área bajo la curva.

En la Tabla 3, se muestra el resultado de la eficiencia térmica del sistema FVT, obtenido a partir de la variación de temperaturas en el interior del tanque de almacenamiento de agua ( $\Delta T$  °C), energía útil (**EU**), área bajo la curva diaria (**es**), energía solar recibida (**ES**), área del colector fotovoltaico/térmico (**m<sup>2</sup>**) y la eficiencia térmica (**n**). En la Tabla 3, se muestra los datos del resultado de la eficiencia térmica del sistema Solar Térmico, calculado de acuerdo a lo anterior.

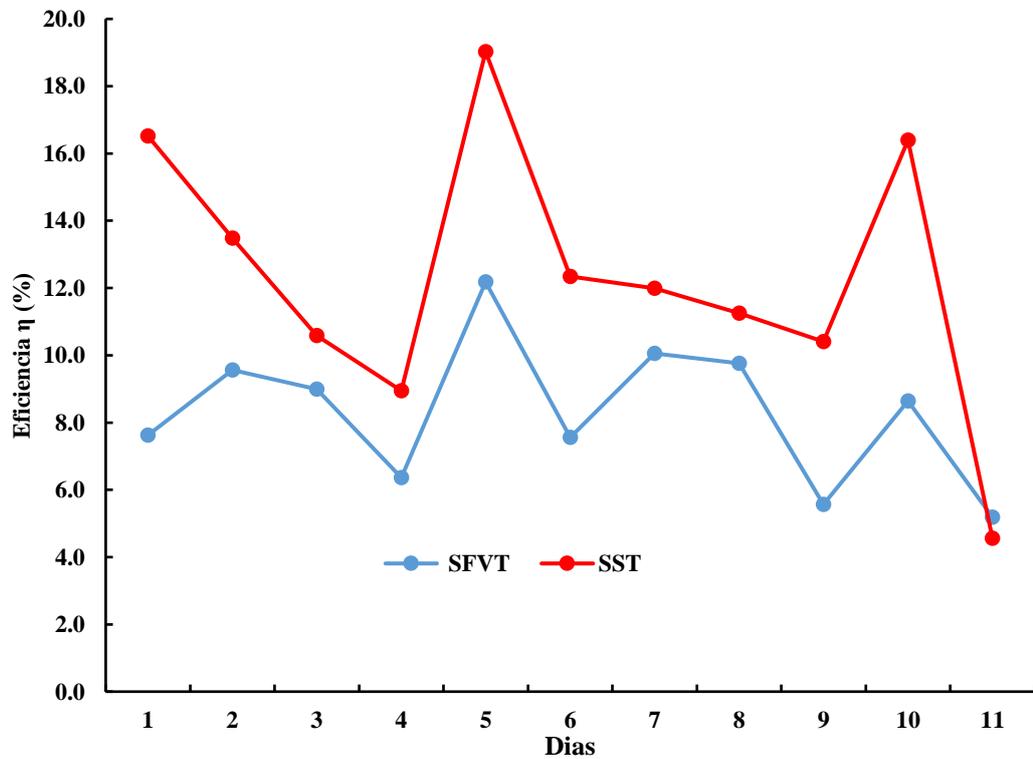
**Tabla 3.** Eficiencia del sistema FVT en 11 días evaluados.

Día	$\Delta T$ (°C)	$EU=m*cp*\Delta T$	es=Área bajo la curva	$ES=es*A$	A (m <sup>2</sup> )	$n = \frac{EU}{ES}$ (%)
1	5.7	1,667,820.0	3,725.0	21,858,300.0	1.6	7.6
2	4.4	1,287,440.0	2,293.5	13,458,258.0	1.6	9.6
3	5.1	1,492,260.0	2,827.0	16,588,836.0	1.6	9.0
4	4.2	1,228,920.0	3,289.5	19,302,786.0	1.6	6.4
5	6.4	1,872,640.0	2,620.5	15,377,094.0	1.6	12.2
6	6.0	1,755,600.0	3,960.0	23,237,280.0	1.6	7.6
7	5.2	1,521,520.0	2,578.5	15,130,638.0	1.6	10.1
8	5.9	1,726,340.0	3,013.5	17,683,218.0	1.6	9.8
9	3.1	907,060.0	2,779.5	16,310,106.0	1.6	5.6
10	4.9	1,433,740.0	2,827.5	16,591,770.0	1.6	8.6
11	3.3	965,580.0	3,174.0	18,625,032.0	1.6	5.2
<b>Promedio:</b>						<b>8.3</b>

**Tabla 4.** Eficiencia del sistema ST en 11 días de evaluación.

Día	$\Delta T$ (°C)	$EU=m*cp*\Delta T$	es=Área bajo la curva	$ES=es*A$	A (m <sup>2</sup> )	$n = \frac{EU}{ES}$ (%)
1	12.4	3,610,880.0	3,725.0	21,858,300.0	1.6	16.5
2	6.2	1,814,120.0	2,293.5	13,458,258.0	1.6	13.5
3	6.0	1,755,600.0	2,827.0	16,588,836.0	1.6	10.6
4	5.9	1,726,340.0	3,289.5	19,302,786.0	1.6	8.9
5	10.0	2,926,000.0	2,620.5	15,377,094.0	1.6	19.0
6	9.8	2,867,480.0	3,960.0	23,237,280.0	1.6	12.3
7	6.2	1,814,120.0	2,578.5	15,130,638.0	1.6	12.0
8	6.8	1,989,680.0	3,013.5	17,683,218.0	1.6	11.3
9	5.8	1,697,080.0	2,779.5	16,310,106.0	1.6	10.4
10	9.3	2,721,180.0	2,827.5	16,591,770.0	1.6	16.4
11	2.9	848,540.0	3,174.0	18,625,032.0	1.6	4.6
<b>Promedio:</b>						<b>12.3</b>

En la Figura 18, se muestra el comportamiento de las curvas de tendencia de eficiencias del sistema fotovoltaico/térmico y del sistema solar térmico, 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 %, finalmente el sistema ST presenta mayor eficiencia térmica, con una diferencia del 7 %, para el calentamiento de agua durante el horario de 8:00 am hasta 4:00 pm.



**Figura 18.** Comportamiento de la eficiencia térmica del sistema FVT y del ST.

### 3.3. Rendimiento eléctrico

#### 3.3.1. Evaluación del sistema FV

En la Tabla 4, se muestra los datos de los días evaluados de temperaturas promedio del panel solar ( $^{\circ}\text{C}$ ), irradiación solar diaria ( $\text{Wh}/\text{m}^2$ ), potencia nominal o teórica ( $\text{W}$ ), potencia promedio acumulada ( $\text{W}$ ), relación de potencias ( $\text{Pa}/\text{Pn}$ ), horas de irradiación solar, datos con los que se determinó el coeficiente de rendimiento (%) del panel fotovoltaico.

**Tabla 5.** Datos de resultados de la evaluación del sistema FV

<b>Día</b>	<b>Temperatura del panel (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Irradiación (<math>\text{Wh}/\text{m}^2</math>)</b>	<b>Potencia nominal (<math>\text{W}</math>)</b>	<b>Potencia acumulada (<math>\text{W}</math>)</b>	<b>(<math>\text{Pa}/\text{Pn}</math>)</b>	<b>Horas</b>	<b>Coeficiente de rendimiento (%)</b>
1	19.5	3,725	232.3	176.3	0.8	4.7	16.3
2	18.3	2,294	232.3	373.6	1.6	2.9	56.1
3	17.8	2,827	232.3	212.6	0.9	3.5	25.9
4	19.1	3,290	232.3	239.9	1.0	4.1	25.1
5	20.6	2,621	232.3	487.4	2.1	3.3	64.0
6	19.5	3,960	232.3	264.4	1.1	5.0	23.0
7	21.7	2,579	232.3	498.8	2.1	3.2	66.6
8	17.9	3,014	232.3	280.9	1.2	3.8	32.1
9	16.7	2,780	232.3	258.3	1.1	3.5	32.0
10	17.0	2,828	232.3	293.9	1.3	3.5	35.8
11	15.6	3,174	232.3	249.8	1.1	4.0	27.1
<b>Promedio</b>							<b>36.7</b>

### 3.3.2. Evaluación del sistema FVT

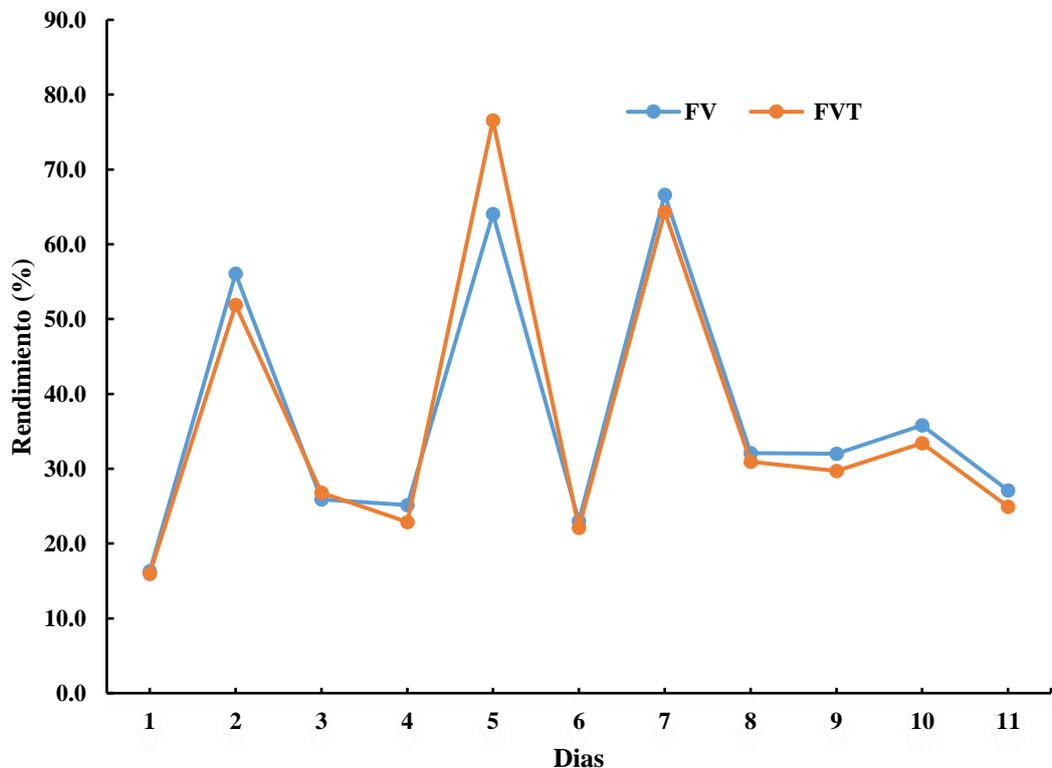
En la Tabla 5, se muestra los datos de los días evaluados de temperaturas promedio del panel solar ( $^{\circ}\text{C}$ ), irradiación solar diaria ( $\text{Wh}/\text{m}^2$ ), potencia nominal o teórica ( $\text{W}$ ), potencia promedio acumulada ( $\text{W}$ ), relación de potencias ( $\text{Pa}/\text{Pn}$ ), horas de irradiación solar, datos con los que se determinó el coeficiente de rendimiento (%) del panel fotovoltaico/térmico.

**Tabla 6.** Datos de resultados de la evaluación del sistema FVT.

Día	Temperatura del panel ( $^{\circ}\text{C}$ )	Irradiación ( $\text{Wh}/\text{m}^2$ )	Potencia nominal ( $\text{W}$ )	Potencia acumulada ( $\text{W}$ )	( $\text{Pa}/\text{Pn}$ )	Horas	Coeficiente de rendimiento (%)
1	37.4	3,725.0	232.3	172.8	0.7	4.7	16.0
2	35.2	2,293.5	232.3	345.6	1.5	2.9	51.9
3	26.5	2,827.0	232.3	219.9	0.9	3.5	26.8
4	34.6	3,289.5	232.3	218.5	0.9	4.1	22.9
5	39.2	2,620.5	232.3	582.7	2.5	3.3	76.6
6	28.3	3,960.0	232.3	254.1	1.1	5.0	22.1
7	41.5	2,578.5	232.3	481.4	2.1	3.2	64.3
8	27.6	3,013.5	232.3	270.5	1.2	3.8	30.9
9	27.3	2,779.5	232.3	239.6	1.0	3.5	29.7
10	29.4	2,827.5	232.3	274.3	1.2	3.5	33.4
11	28.5	3,174.0	232.3	229.7	1.0	4.0	24.9
						Promedio	36.3

### 3.4. Comparación de rendimientos de sistemas

En la Figura 19, 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.



*Figura 19.* Comparación del comportamiento del coeficiente de rendimiento del panel FV y del panel FVT.

#### IV. DISCUSIÓN

En los días evaluados la irradiancia fue menor a  $600 \text{ W/m}^2$  (Figura 15), 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  $800 \text{ W/m}^2$ ), combinados ( $600$  a  $800 \text{ W/m}^2$ ), y nublados ( $0$  a  $600 \text{ W/m}^2$ ). 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  $356.6 \text{ W/m}^2$ . 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), simularon la eficiencia térmica de un sistema híbrido, modificando valores de temperatura y radiación solar, que alcanzo 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  $3,960 \text{ Wh/m}^2$  (Tabla 2). Mientras que el sistema solar térmico presento una eficiencia entre el 4.6% al 19.0% (Tabla 3). 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  $21^\circ\text{C}$  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 (Figura 18), 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.

En este estudio se muestra que 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

- ✓ En el estudio realizado se diseñó, construyó y comparó el sistema fotovoltaico/térmico de 315 W y el sistema solar térmico, ambos sistemas acoplados de un colector de 1.62 m<sup>2</sup> bajo las condiciones climáticas de Chachapoyas, este comportamiento energético depende de tiempo atmosférico en que son operados estos sistemas, debido a que, la radiación solar y la temperatura ambiental influyen directamente en la eficiencia térmica y en el rendimiento eléctrico del sistema fotovoltaico/térmico
- ✓ La mejor eficiencia térmica fue del sistema solar térmico con 19.0%, esto debido a que cobertura de vidrio propicia el efecto invernadero dentro de la colectora por lo que gana mayor calor en comparación con panel solar, mientras que el sistema híbrido fotovoltaico/térmico logró alcanzar una eficiencia térmica de 12.2%.
- ✓ El rendimiento eléctrico del sistema híbrido fotovoltaico/térmico fue mayor con 76.6% en comparación con el panel fotovoltaico que fue del 66.6%. Esto debido a que a que la absorción de calor por la superficie del panel y colector del sistema FVT se concentra y este calor es absorbido por el agua óptimamente, que actúa como un sistema de enfriamiento, mientras que en el panel FV ocasiona disminución en el voltaje y pérdidas en la eficiencia por efecto de la temperatura.
- ✓ Los sistemas termosolares evaluados tuvieron comportamientos similares, sin embargo, 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, así como también acoplarse fácilmente al diseño arquitectónico de las viviendas en las zonas altoandinas aprovechando eficazmente las condiciones meteorológicas

## **VI. RECOMENDACIONES**

- ✓ Es necesario realizar también la evaluación durante épocas de verano y por más tiempo en días o meses, para determinar la eficiencia térmica del sistema híbrido FVT.
- ✓ La instalación del sistema híbrido FVT y de los demás sistemas que sirven como control, debe realizarse en un lugar que facilite el permanente seguimiento y monitoreo del evaluador.
- ✓ Contar con equipos y materiales (medidor de voltaje, amperaje, etc) adecuados, para la evaluación y monitoreo de los datos eléctricos.
- ✓ Promocionar en la población el uso del sistema híbrido FVT a nivel domiciliario, ya que este sistema genera electricidad y agua caliente de forma simultánea.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Cui, T., Xuan, Y., y Li, Q. (2016). Design of a novel concentrating photovoltaic–thermoelectric system incorporated with phase change materials. *Energy Conversion and Management*, 112, 49-60. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.01.008>
- Duffie, J. A., y Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes* (Cuarta). <https://b-ok.lat/book/2156105/8fedff>
- Dupeyrat, P., Ménézoz, C., y Fortuin, S. (2014). Study of the thermal and electrical performances of PVT solar hot water system. *Energy and Buildings*, 68, 751-755. <https://doi.org/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 posgrado, Universidad Nacional "Toribio Rodríguez de Mendoza"]. <http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1471>
- Fine, J. P., Dworkin, S. B., y Friedman, J. (2019). A methodology for predicting hybrid solar panel performance in different operating modes. *Renewable Energy*, 130, 1198-1206. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.08.082>
- Mukhtar, A., y Sabiu, B. M. (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*, 8(3), 1-8.
- Nasir, F. H. M., y Husaini, Y. (2018). MATLAB Simulation of Photovoltaic and Photovoltaic/Thermal Systems Performance. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 341, 012019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/341/1/012019>

- Osinermin. (2017). *La industria de la energía renovable en el Perú* (Primera). GRÁFICA BIBLIOS S.A.
- Pang, W., Cui, Y., Zhang, Q., Yu, H., Zhang, X., Zhang, Y., y Yan, H. (2019). Comparative investigation of performances for HIT-PV and PVT systems. *Solar Energy*, 179, 37-47. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.12.056>
- Peña Marin, C. A. (2015). *La integración Numérica como recurso para el cálculo de la integral definida* [Tesis posgrado, Unirsidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/56152>
- Rascón, J., Gosgot Angeles, W., Oliva, M., Quiñones Huatangari, L., y Barrena Gurbillón, M. Á. (2020). Determinación de las épocas lluviosas y secas en la ciudad de Chachapoyas para el periodo de 2014-2018. *Revista de Climatología*, 20, 14.
- Rawat, P., Debbarma, M., Mehrotra, S., Sudhakar, K., y Kumar, P. (2014). *Performance Evaluation of Solar Photovoltaic/Thermal Hybrid Water Collector. 1*, 268-275. [https://www.researchgate.net/publication/280111307\\_Performance\\_Evaluation\\_of\\_Solar\\_PhotovoltaicThermal\\_Hybrid\\_Water\\_Collector](https://www.researchgate.net/publication/280111307_Performance_Evaluation_of_Solar_PhotovoltaicThermal_Hybrid_Water_Collector)
- Rawat, P., y Kumar, P. (2015). Performance Evaluation of Solar Photovoltaic / Thermal (PV/T) System. *International Journal of Science and Research*, 4(8), 1466-1472.
- Santiago, I., Esquivel-Martin, J., Trillo-Montero, D., Real-Calvo, R., y Pallares-lopez, V. (2021). Classification of Daily Irradiance Profiles and the Behaviour of Photovoltaic Plant Elements: The Effects of Cloud Enhancement. *Applied Sciences*, 11, 5230. <https://doi.org/10.3390/app11115230>
- Sawicka, P., Sibiński, M., Cholewa, M., Klein, M., Znajdek, K., y Cenian, A. (2018, diciembre 21). Tests and theoretical analysis of a pvt hybrid collector operating under various insolation conditions.

[https://www.researchgate.net/profile/Adam\\_Cenian](https://www.researchgate.net/profile/Adam_Cenian),

62-74.

<http://dx.doi.org/10.32933/ActaInnovations.26.7>

- Shah, R., y Srinivasan, P. (2018). Hybrid Photovoltaic and Solar Thermal Systems (PVT): Performance Simulation and Experimental Validation. *Materials Today: Proceedings*, 5(11, Part 2), 22998-23006. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.11.028>
- Wu, J., Zhang, X., Shen, J., Wu, Y., Connelly, K., Yang, T., Tang, L., Xiao, M., Wei, Y., Jiang, K., Chen, C., Xu, P., y Wang, H. (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, 839-854. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.063>
- Wu, Y., Wu, S., y Xiao, L. (2015). Performance analysis of photovoltaic–thermoelectric hybrid system with and without glass cover. *Energy Conversion and Management*, 93, 151-159. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.01.013>
- Zhang, J., Xuan, Y., y Yang, L. (2014). Performance estimation of photovoltaic–thermoelectric hybrid systems. *Energy*, 78, 895-903. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.10.087>

## ANEXOS

### ANEXO 1. Radiación solar y temperaturas

Fecha	Hora	Temperatura Ambiental	Precipitación diaria	Radiación solar	Temperatura del FV	Temperatura del tanque FVT	Temperatura del tanque ST	Temperatura del colector ST	Temperatura del colector FVT
12/01/2021	08:00	14.5	0	230	18.5	16.7	17.1	35.8	18.3
	09:00	16.3	0	509	22.5	18.6	20.4	71.2	37.6
	10:00	18.6	0	637	24.9	19.5	21.4	92.3	50.9
	11:00	19.9	0	810	22.3	20.7	24.2	70.3	55.9
	12:00	19.6	0	397	26.7	21.2	26.2	103.5	59.0
	13:00	19.5	0	542	21.2	22.1	29.2	65.0	51.6
	14:00	15.3	0	167	17.2	21.9	29.0	49.3	28.9
	15:00	17.1	0	349	22.1	21.9	29.0	75.1	42.0
	16:00	17.8	0	398	18.9	22.4	29.5	63.3	42.3
13/01/2021	08:00	13.7	0	75	14.7	16.1	16.4	27.9	18.1
	09:00	14.2	0	110	14.6	18.2	20.1	29.6	20.9
	10:00	14.7	0	119	16.1	18.3	20.0	38.1	21.9
	11:00	16.6	0	496	19.6	18.9	20.8	73.9	42.0
	12:00	15.6	0	333	16.9	19.3	21.1	50.7	28.4
	13:00	17.1	0	394	22.1	19.7	21.5	93.1	53.6
	14:00	16.7	0	363	17.5	20.0	22.1	58.1	38.1
	15:00	17.6	0	291	19.2	20.3	22.3	53.1	35.3
	16:00	17.7	0	300	18.2	20.5	22.6	53.3	33.9
14/01/2021	08:00	14.2	0	87	15.8	15.8	15.9	28.9	18.6
	09:00	15.4	0	203	18.5	18.4	19.4	47.7	28.7
	10:00	16.8	0	449	21.2	19.0	20.0	84.8	43.3
	11:00	18.5	0	769	24.9	20.0	21.1	102.6	59.3
	12:00	17.8	0	364	17.5	20.6	21.8	54.2	37.9
	13:00	16.1	0	235	18.1	20.5	21.6	58.9	27.8
	14:00	16	0	342	18.2	20.6	21.7	50.2	27.0
	15:00	17.1	0	281	18.2	20.7	21.7	47.9	29.9
	16:00	17.9	0	281	19.6	20.9	21.9	49.4	33.1
15/01/2021	08:00	13.9	0	59	14.8	16.9	17.4	23.1	16.1
	09:00	14.9	0	117	16.9	18.1	19.3	33.5	21.8
	10:00	15.7	0	282	19.6	18.4	19.5	56.4	32.3
	11:00	18.2	0.4	694	17.6	18.8	19.9	46.4	31.0
	12:00	19.4	0.8	661	17.2	18.9	19.9	44.7	24.1
	13:00	17.4	0.6	275	19.6	18.5	20.2	59.9	36.7
	14:00	18.9	0.4	325	22.1	19.3	20.9	94.6	49.3
	15:00	20	0.8	773	22.8	20.3	21.8	83.2	55.7
	16:00	18.1	0.8	266	23.0	21.1	23.3	73.9	50.9

Fecha	Hora	Temperatura Ambiental	Precipitación diaria	Radiación solar	Temperatura del FV	Temperatura del tanque FVT	Temperatura del tanque ST	Temperatura del colector ST	Temperatura del colector FVT
16/01/2021	08:00	15.9	0	190	15.2	17.1	17.4	27.8	15.9
	09:00	16.9	0.4	316	18.6	19.3	18.8	53.1	28.7
	10:00	18.9	0.4	537	20.0	19.7	19.2	60.4	35.7
	11:00	18.4	0.8	423	20.0	20.2	19.6	54.1	35.6
	12:00	18.7	0.6	367	23.2	20.7	20.1	81.1	46.4
	13:00	17.6	0.6	370	24.6	21.6	21.0	92.4	56.4
	14:00	16.2	0.4	236	25.6	22.5	22.0	105.0	61.8
	15:00	16.6	0.4	199	26.8	23.5	24.8	97.8	67.4
	16:00	16.5	0.2	155	22.1	23.8	27.4	52.2	45.2
17/01/2021	08:00	14.2	0.2	212	19.0	17.4	17.3	36.1	21.1
	09:00	16.3	0.2	362	23.0	20.1	22.9	70.0	39.8
	10:00	17.6	0.2	517	25.4	22.1	23.5	93.9	54.4
	11:00	18.1	0.2	387	28.8	22.2	24.3	112.5	66.9
	12:00	19.7	0.4	430	25.1	23.4	26.5	75.3	61.7
	13:00	20.6	0.2	607	21.0	22.6	25.9	35.5	35.1
	14:00	21.1	0.4	1027	20.8	22.2	26	34.5	29.5
	15:00	19.9	0	401	23.0	22.3	27	53.8	36.6
	16:00	19.4	0.2	246	18.4	22.1	27.1	37.4	28.7
18/01/2021	08:00	14.2	0	116	18.1	16.3	16.7	37.9	20.4
	09:00	15.2	0.2	267	15.5	17.5	19.2	29.3	21.6
	10:00	16.6	0	330	17.3	17.5	19.2	43.1	24.8
	11:00	17.4	0.2	369	19.5	17.9	19.6	67.3	38.2
	12:00	18.8	0.2	433	24.7	18.5	20.2	111.3	60.0
	13:00	19.6	0.4	569	23.1	19.2	22.4	88.6	54.1
	14:00	17.4	0.2	333	22.8	19.9	21.1	95.4	52.2
	15:00	15.9	0	107	24.8	20.8	22.2	102.6	57.7
	16:00	16.7	0	225	23.9	21.5	22.9	86.7	49.9
19/01/2021	08:00	14.2	0	129	16.1	16.5	16.6	32.3	17.8
	09:00	15.8	0	261	18.6	18.4	18.6	46.1	26.0
	10:00	17	0.2	505	19.9	19.6	18.9	64.4	37.7
	11:00	18	0.2	349	18.9	19.9	18.9	60.5	38.8
	12:00	19.4	0.2	392	17.8	20	19.8	46.2	30.9
	13:00	18.5	0	377	20.0	20	20.1	66.5	37.1
	14:00	19.5	0.2	714	19.6	20.3	20.1	79.3	46.2
	15:00	18.9	0	296	19.5	22.3	20.7	54.7	35.7
	16:00	17.8	0	110	17.5	22.4	23.4	40.0	27.9

Fecha	Hora	Temperatura Ambiental	Precipitación diaria	Radiación solar	Temperatura del FV	Temperatura del tanque FVT	Temperatura del tanque ST	Temperatura del colector ST	Temperatura del colector FVT
20/01/2021	08:00	13.8	0.2	81	13.2	17.6	17.5	17.0	13.4
	09:00	14.6	0	195	15.7	18.8	17.7	35.7	21.1
	10:00	15.1	0	227	16.3	19.0	17.8	38.2	25.1
	11:00	16.6	0.2	316	15.7	19.1	18.0	37.5	24.8
	12:00	17.9	0	396	16.7	19.3	18.1	42.0	26.0
	13:00	19.3	0.2	718	17.7	19.4	18.3	55.5	32.2
	14:00	18.8	0.2	303	18.1	19.8	18.5	58.8	33.2
	15:00	19.2	0.2	449	19.8	20.4	21.0	68.9	42.4
	16:00	19.4	0	270	19.2	20.7	23.3	57.0	36.3
21/01/2021	08:00	14.1	0.2	73	15.0	16.3	16.5	31.7	19.0
	09:00	15.3	0	200	17.5	17.7	18.9	48.3	29.5
	10:00	16.2	0	250	20.2	18.4	19.4	72.1	39.8
	11:00	17.2	0.2	362	22.3	19.3	20.0	82.1	49.3
	12:00	18.8	0.2	528	24.7	20.3	22.7	84.3	64.7
	13:00	19.4	0.2	428	20.0	21.0	25.3	67.7	45.2
	14:00	19.8	0.2	625	19.8	21.2	25.6	74.5	42.8
	15:00	17.6	0	283	19.3	21.2	25.7	73.7	32.3
22/01/2021	16:00	17.9	0.2	230	15.9	21.2	25.8	38.2	24.0
	08:00	14.2	0	142	11.8	16.3	16.1	27.0	14.5
	09:00	15.6	0	224	13.5	18.3	17.7	37.7	20.3
	10:00	16.8	0.2	375	13.8	18.5	17.8	36.5	21.4
	11:00	18.2	0.2	351	14.7	18.5	17.9	40.1	24.8
	12:00	18.9	0.2	477	17.4	18.8	18.2	62.6	33.2
	13:00	19.4	0.2	455	15.4	19.2	18.6	54.8	32.4
	14:00	20.4	0.2	597	15.3	19.2	18.6	38.7	24.0
15:00	20.3	0	457	16.0	19.4	18.7	48.9	29.6	
	16:00	19.9	0.2	334	19.6	19.6	19.0	78.5	38.5

**ANEXO 2. Voltaje y amperaje del 12 al 22 de enero del 2021.**

<b>Hora</b>	<b>Panel FV</b>		<b>Panel FVT</b>	
	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Amperaje (A)</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Amperaje (A)</b>
08:00	39.1	3.0	38.9	2.9
13:00	36.1	1.0	35.4	1.0
16:00	36.2	0.7	35.5	0.6
08:00	37.8	1.4	37.6	1.3
13:00	38.8	6.9	38.9	6.4
16:00	37.8	1.5	37.0	1.3
08:00	37.8	1.3	37.6	1.3
13:00	38.7	2.7	38.0	3.0
16:00	37.1	1.6	36.6	1.6
08:00	37.5	1.0	37.5	1.0
13:00	37.8	2.0	37.7	2.0
16:00	37.3	3.4	35.8	3.0
08:00	38.8	2.8	39.1	3.0
13:00	37.1	7.2	35.8	9.8
16:00	37.6	3.0	36.6	3.1
08:00	38.2	3.6	38.2	3.5
13:00	37.5	1.9	36.9	2.0
16:00	37.6	1.5	37.0	1.4
08:00	38.3	2.6	38.2	3.5
13:00	36.7	3.7	35.2	3.0
16:00	38.9	6.8	38.4	6.4
08:00	38.3	4.3	37.7	4.1
13:00	37.8	2.5	37.0	2.5
16:00	36.8	0.6	36.6	0.6
08:00	37.1	0.9	37.7	0.9
13:00	38.2	4.3	37.4	4.0
16:00	36.8	1.7	36.4	1.6
08:00	38.2	2.0	38.0	2.0
13:00	37.9	4.1	36.8	3.8
16:00	38.1	1.6	37.5	1.6
08:00	38.7	1.7	38.7	1.7
13:00	38.3	2.3	37.4	2.1
16:00	37.9	2.6	37.3	2.3