

**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**

**EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE UNA TERMA SOLAR
CON COLECTOR TIPO ESPIRAL BAJO LAS
CONDICIONES CLIMÁTICAS DE CHACHAPOYAS**

Autor: Bach. Henry Orosco Tuesta

Asesor: Mg. Wildor Gosgot Angeles

Registro.....

CHACHAPOYAS – PERÚ

2023

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM



UNTRM

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

ANEXO 3-H

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

1. Datos de autor 1

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): Orosco Tuesta Henry
DNI N°: 70821245
Correo electrónico: henryoroscotuesta@gmail.com
Facultad: Ingeniería Civil y Ambiental
Escuela Profesional: Ingeniería Ambiental

Datos de autor 2

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): _____
DNI N°: _____
Correo electrónico: _____
Facultad: _____
Escuela Profesional: _____

2. Título de la tesis para obtener el Título Profesional

Evaluación Energética de una termo solar con colector Tipo espiral bajo las condiciones climáticas de Chachapoyas.

3. Datos de asesor 1

Apellidos y nombres: Gossot Angeles Wildor
DNI, Pasaporte, C.E N°: 70156443
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) <https://orcid.org/0000-0002-7301-2809>

Datos de asesor 2

Apellidos y nombres: _____
DNI, Pasaporte, C.E N°: _____
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) _____

4. Campo del conocimiento según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos- OCDE (ejemplo: Ciencias médicas, Ciencias de la Salud-Medicina básica-Inmunología)

https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html
Ciencias de la Tierra, ciencias Ambientales - Ciencias del Medio Ambiente

5. Originalidad del Trabajo

Con la presentación de esta ficha, el(la) autor(a) o autores(as) señalan expresamente que la obra es original, ya que sus contenidos son producto de su directa contribución intelectual. Se reconoce también que todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal.

6. Autorización de publicación

El(los) titular(es) de los derechos de autor otorga a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), la autorización para la publicación del documento indicado en el punto 2, bajo la *Licencia creative commons* de tipo BY-NC: Licencia que permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial por lo que la Universidad deberá publicar la obra poniéndola en acceso libre en el repositorio institucional de la UNTRM y a su vez en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación-RENATI, dejando constancia que el archivo digital que se está entregando, contiene la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador.

Chachapoyas, 11 Julio, 2023

Firma del autor 1

Firma del Asesor 1

Firma del autor 2

Firma del Asesor 2

DEDICATORIA

A Dios, por darme salud y la fuerza necesaria para la realización de todas mis metas en especial para poder cumplir el desarrollo de la presente investigación.

A mis padres, por su apoyo incondicional, dedicación y por hacerme un hombre de bien.

A mis hermanas, por contar con su apoyo en todo momento y sus consejos que me brindaron durante el desarrollo de la tesis.

AGRADECIMIENTO

A mis padres Francisco Orosco Tuesta, Ayde Tuesta Vargas; por su apoyo incondicional y dedicación para la elaboración de este proyecto.

A mis hermanas Marlith y Lesly, por su comprensión y confianza, por su apoyo emocional y económico, el cual me brindaron en todo momento en mi formación académica.

A mi compañera de vida, Jimena Barrera Quispe, por darme mucho amor, por darme siempre fuerzas y no dejarme caer, por apoyarme siempre y darme aliento para poder culminar esta investigación.

A mi asesor de tesis Mg. Wildor Gosgot Angeles, por sus consejos, enseñanzas y orientaciones durante el desarrollo del presente estudio.

Al Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón por compartir su sabiduría y conocimiento para la construcción de la terma solar.

A Magaly Bailon MSN y a la Mg. Sc Elizabeth Natividad Terán Reátegui, integrantes de la fundación Eco Verde, por haber contribuido económicamente para la ejecución del proyecto. Asimismo, se agradece al Mg. Eli Morales Rojas por haber contribuido desinteresadamente en la gestión del proyecto.

Al Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDESCES), de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, por brindarme los datos meteorológicos para llevar a cabo esta investigación.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Ph.D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA

Rector

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

Vicerrector Académico

Dra. MARÍA NELLY LUJAN ESPINOZA

Vicerrectora de Investigación

Ph.D. RICARDO EDMUNDO CAMPOS RAMOS

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS



ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (x)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Evaluación Energética De una Terma solar con colector tipo espiral bajo las condiciones Climáticas de Chachapoyas;

del egresado Henry Oroscu Tuesta

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 observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.



Chachapoyas, 17 de Junio de 2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Wildor Cosgott Angeles'.

Firma y nombre completo del Asesor

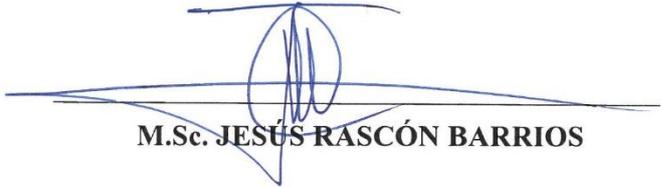
Wildor Cosgott Angeles

JURADO EVALUADOR DE LA TESIS



Dr. FERNANDO ISAAC ESPINOZA CANAZA

Presidente



M.Sc. JESÚS RASCÓN BARRIOS

Secretario



Dr. ERICK STEVINSON ARELLANOS CARRIÓN

vocal

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



ANEXO 3-Q

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

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

Evaluación Energética de una Terma Solar con Colector
Tipo Espiral Bajo las Condiciones Climáticas de Chachapoyas.

presentada por el estudiante ()/egresado (X) Henry Oroscotuesta

de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

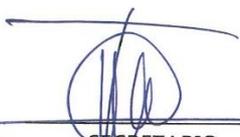
con correo electrónico institucional henryoroscotuesta@gmail.com

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

- a) La citada Tesis tiene 18 % 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 el 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 corregida para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 19 de Junio del 2023


SECRETARIO


PRESIDENTE


VOCAL

OBSERVACIONES:

.....
.....

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



UNTRM

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

ANEXO 3-S

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 03 de JULIO del año 2023, siendo las 12:50 horas, el aspirante: OROSCO TUESTA, HENRY, asesorado por WILDORE GÓGGOT ANGELES defiende en sesión pública presencial () / a distancia () la Tesis titulada: EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE UNA TERMA SOLAR CON COLECTOR TIPO ESPIRA) BAJO LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS DE CHACHAPOYAS, 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: FERNANDO ISAAC ESPINOZA CANAZA

Secretario: JESÚS RASCÓN BARRIOS

Vocal: FRICK STEVENSON ARRIANOS CARRION

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 () por Unanimidad () / Mayoría () 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 13:00 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:

.....

ÍNDICE

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS	v
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS	vii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS	viii
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS	ix
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
I. INTRODUCCIÓN.....	16
II. MATERIAL Y MÉTODOS	19
2.1. Ubicación del lugar de estudio.....	19
2.2. Diseño y construcción de la terma solar en espiral.....	19
2.2.1. Diseño para la construcción de la terma solar en espiral.....	19
2.2.2. Construcción de la terma solar con un colector en espiral de 1.25 m ² hecho de tubos de PVC.....	21
2.2.2.1. Colector solar.....	21
a) Parrilla de tubos.....	21
b) Plancha metálica	22
c) Caja de colector solar.....	23
2.2.2.2. Soporte del colector	25
a) Ensamble del colector solar en espiral.....	26
2.2.2.3. Tanque de almacenamiento de agua caliente.....	28
a) Instalación de accesorios	29
2.2.2.4. Sistema de tuberías y sensores.....	30
2.3. Evaluación de la terma solar.....	31
a) Llenado de terma solar.....	31
b) Registro de datos meteorológicos	32
c) Eficiencia de la terma solar.....	33
d) Análisis de varianza (ANOVA).....	34
III. RESULTADOS	35
3.1. Implementación y funcionamiento de la terma solar en espiral	35

3.2.	Energía solar durante la prueba experimental.....	36
3.3.	Temperaturas del sistema de la terma solar y parámetros meteorológicos.....	36
3.4.	Eficiencia de la terma solar en espiral	39
3.4.1.	Eficiencia térmica cuando se utilizó el agua en el día.....	39
3.4.2.	Eficiencia térmica cuando se utilizó el agua en la noche.	40
3.4.3.	Eficiencia térmica cuando no se utilizó el agua.	41
3.5.	Análisis de varianza (ANOVA)	41
IV.	DISCUSIÓN.....	43
V.	CONCLUSIONES.....	47
VI.	RECOMENDACIONES	48
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
VIII.	ANEXOS.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Promedio de temperaturas registrada por los 4 sensores.....	37
Tabla 2. Análisis de varianza entre los tres grupos según su uso del agua.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la terma solar.....	19
Figura 2. Diseño de terma solar en espiral.	20
Figura 3. Diseño de la parrilla de tubos.....	21
Figura 4. (A) Armado de parrilla de tubos, (B) Pintado de parrilla.	22
Figura 5. (A) Pintado de calaminas, (B) Colocación de calamina y fijación de parrilla	23
Figura 6. (A) Diseño de caja de colector, (B) Fijación de triplay, (C) Pintado de la base de triplay.....	24
Figura 7. (A) Colocación de tecnopor, (B) Forrado con papel aluminio.	25
Figura 8. (A) Dimensiones del soporte del colector (B) Lijado y pintado del soporte ..	26
Figura 9. (A) Fijación de calamina y tubería (B) Fijación de calamina en la parte superior.....	27
Figura 10. (A) Ensamblaje del colector solar, (B) Sellado de los bordes con silicona.	27
Figura 11. (A) Diseño del tanque de almacenamiento, (B) Abertura de orificios.....	28
Figura 12. (A) Instalación de accesorios, (B) Instalación de válvula de llenado automático.	29
Figura 13. (A) Forrado con tecnopor, (B) Forrado con polifón de 3 mm y film (C) Forrado con lona microperforada (material reciclado).....	30
Figura 14. Forrado de tuberías externas.	31
Figura 15. Llenado de agua de la terma solar.....	31
Figura 16. (A) Módulo arduino UNO, con sus 4 sensores de temperatura digital DS18B20 (B) Implementación de módulo arduino para registro de datos.....	32
Figura 17. Ubicación de los 4 sensores de temperatura.	33
Figura 18. Implementación de terma solar en espiral.....	35
Figura 19. Energía solar diaria	36
Figura 20. Comportamiento de las temperaturas del agua en los cuatro puntos en función de la energía solar diaria.....	38
Figura 21. Temperaturas ambiente y precipitación en el periodo evaluado.....	38
Figura 22. Eficiencia Térmica diaria.	39
Figura 23. Eficiencia térmica cuando se utilizó el agua en el día.	40
Figura 24. Eficiencia térmica cuando se utilizó el agua en la noche.....	40
Figura 25. Eficiencia térmica cuando no se utilizó el agua.	41
Figura 26. Grafica de análisis de varianza entre los tres grupos según su uso del agua	42

RESUMEN

La necesidad de energía para calentar fluidos se viene cubriendo con energía solar térmica. Por ello, la investigación se centró en determinar la eficiencia de una terma solar de 1.25 m², con colector de tubos de PVC de 1/2" en forma de espiral para uso doméstico, ubicado en la orientación norte-sur con un ángulo de inclinación de 30° y tanque de almacenamiento de 80 litros de capacidad en la ciudad de Chachapoyas, Amazonas. Para la medición y recolección de datos de temperatura se utilizó una placa módulo arduino con cuatro sensores digitales instalados en los siguientes puntos: entrada de agua fría al colector, en medio de la parrilla de tubería del colector, salida de agua caliente del colector hacia el tanque de almacenamiento y dentro del tanque de almacenamiento. Los datos se registraron por 30 días seguidos, en un intervalo de un minuto, desde las 7:00 hasta las 19:00 horas. Los datos de radiación solar fueron brindados por estación meteorológica del INDES- CES. El cálculo de la eficiencia térmica se determinó en tres tipos de ocasiones: cuando se utilizó el agua en el día, cuando se utilizó el agua por las noches y cuando no se utilizó el agua, dando como resultado 27.71 %, 26.22 % y 28.70 %, respectivamente. Concluyendo que la eficiencia térmica obtenida fue entre los 25 y 30 %, considerando que el clima en el periodo evaluado no fue el más adecuado por frecuentes precipitaciones y por la poca presencia de radiación solar.

Palabras claves: uso doméstico, eficiencia térmica, radiación solar, Amazonas.

ABSTRACT

The need for energy to heat fluids has been covered with solar thermal energy. For this reason, the investigation, focused on determining the efficiency of a 1.25 m² solar thermal, with 1/2" PVC pipe collector in spiral form for domestic use, located in the north-south orientation with an inclination angle of 30° and a storage tank with a capacity of 80 liters in the city of Chachapoyas, Amazonas. For the measurement and collection of temperature data, an arduino module board was used with four digital sensors installed in the following points: cold water inlet to collector, in the middle of the manifold pipe grill, hot water outlet from the collector to the storage tank and inside the storage tank. The data was recorded for 30 consecutive days, in a minute interval, from 7:00 a.m. to 7:00 p.m. Solar radiation data was provided by the INDES-CES weather station. The calculation of the thermal efficiency was determined in three types of occasions: when the water was used on the day, when the water was used at night and when the water was not used, resulting in 27.71%, 26.22% and 28.70%, respectively. Concluding that the thermal efficiency obtained was between 25 and 30%, considering that the climate in the evaluated period was not the most appropriate due to frequent rainfall and the low presence of solar radiation.

Keywords: domestic use, thermal efficiency, solar radiation, Amazonas

I. INTRODUCCIÓN

La actividad humana viene aprovechando diferentes fuentes de energías renovables tales como: la energía solar, la energía hidráulica y la energía eólica (Merino, 2007). Sin embargo, con el paso del tiempo el hombre descubrió el petróleo impulsando las actividades productivas en base a la energía fósil, lo que desplazó a las energías renovables (Rice, 2015). El uso de combustible fósil, ha incrementado la contaminación ambiental a nivel mundial ocasionando el aumento de la temperatura promedio de +1,1 °C (IPCC, 2023.), generando impactos negativos dentro del entorno, por lo que, se viene buscando la neutralidad de emisión de gases de efecto invernadero, a través del uso de las energías limpias y creando soluciones innovadoras (Laborde y Williams, 2016). Una de estas es la energía solar que se presenta como una buena alternativa favoreciendo al desarrollo sostenible (Machado y Lussón, 2015).

La energía del sol es una fuente con un enorme potencial considerado un recurso inagotable (Aparicio, 2010), por lo cual su aprovechamiento es una alternativa sostenible de generación de energía que ayuda a reducir la dependencia de los combustibles fósiles y por ende los impactos negativos al medio ambiente, un claro ejemplo es el uso de paneles y termas solares (Spiegeler y Cifuentes, 2015). La función de las termas solares es calentar el agua mediante la radiación solar para luego ser almacenadas en un tanque y ser usadas cuando sea necesario (Montenegro, 2013).

En ese contexto, el uso de las termas solares se ha aplicado en distintos lugares (López, 2014), como es el caso de la ciudad de Chachapoyas, el cual tiene una temperatura promedio de 14-15 °C y la máxima de 20-21 °C, que no está siendo aprovechada para combatir el friaje que se registra en la ciudad, pero asimismo, la temperatura mínima llegó hasta los 4 °C en el mes de noviembre lo que lo hace ideal para la adaptación del sistema (SENAMHI, 2022), por lo cual la construcción de una terma solar de tipo espiral casera es ideal (Amaya, 2017). Por consiguiente, minimizará el uso de las termas eléctricas, en contraste con ello reduciría el consumo eléctrico en los hogares (Porras, 2019), debido al alza de precio de la energía eléctrica, además de la mínima disponibilidad de esta, ya que con el pasar de los años habrá una gran demanda para poder reemplazar la energía eléctrica (Ñawparisun, 2021).

Tomando en consideración lo expresado, se tiene investigaciones previas de termas solares con otros tipos de material y orientación de tuberías como es el caso de Fernández y Tuesta (2014), que determinaron la eficiencia de una terma solar con acumulador de 1 m² con tuberías verticales de cobre hecho en la ciudad de Chachapoyas. Evaluaron en días nublados, soleados, combinados y sin cambiar en agua de la terma. Concluyendo que los días donde más temperatura se alcanzó fueron en los días soleados y los días en el cual no se cambió el agua. Asimismo, Huanes et al. (2015), determinaron la eficiencia de una terma solar con un acumulador de 1 m² con tuberías verticales de cobre en la ciudad de Trujillo, Perú. Llegaron a la conclusión que en los días soleados la máxima temperatura del agua en el tanque fue de 42°C, manteniendo así una eficiencia del 31%, con una radiación solar de 6,0 kWh/ m².

Por otro lado, Espinoza (2017) determinó la eficiencia de un acumulador solar de 1 m² con tubería de CPVC en la ciudad de Chachapoyas, Perú. Usó cuatro sensores y un módulo Arduino para la medición y registro de datos, evaluando en días nublados, combinados y soleados, obtuvo una eficiencia de 35,64%; 38,51% y 44,57% respectivamente, llegando a la conclusión que la eficiencia del colector estuvo entre el 30 y 50%. De igual forma, Barrena Gurbillón et al, (2020), evaluaron la eficiencia de una terma solar con diferentes tipos de colectores de un 1,5 m², uno plano de tubos y accesorios de policloruro de vinilo (CPVC) y otro similar de tubos y accesorios de cobre, conectados paralelamente en dirección de norte – sur en la ciudad Tarma, Perú. Afirman que el colector que ganó más temperatura y el cual producirá más agua caliente fue el colector de CPVC.

También tenemos estudios que se elaboraron con material reciclado, como, por ejemplo: Mendoza y Rituay (2015), evaluaron la eficiencia de una terma solar domestica elaborada con botellas plásticas que fueron pintadas con esmalte color negro mate, evaluando en días soleados, combinados y nublados, obteniendo una eficiencia del 41%, 39% y 37 % respectivamente. De forma similar, Torres (2017), diseñó y evaluó una terma solar a base de latas de aluminio de bebidas gaseosas pintadas de color mate, para la superficie del colector solar, como resultado preliminar alcanzó una eficiencia del 46%, ,concluyendo que la eficiencia de la terma solar construida con los materiales mencionados es comparable con las termas convencionales de placa plana hechas en fábricas, también menciona la ventaja de su sistema por el bajo costo de construcción y la contribución del reúso de materiales que están clasificados como residuos sólidos.

Fraisse et al. (2020) Desarrollaron un nuevo tipo de colector solar térmico, en forma de árbol en tres dimensiones, para ello primero describieron el modelo numérico del árbol solar térmico, luego realizaron la comparación de los resultados experimentales y numéricos, basados en ecuaciones, y finalmente optimizaron los criterios múltiples. En este árbol termo solar evaluaron eficiencia térmica y caída de presión a partir de parámetros, obteniendo un diseño del árbol termo solar con un área de 4 m², con una eficiencia térmica del 58%. De otra forma Fathabadi (2020), realizó la comparación entre un colector solar de cilindro parabólico con colectores solares de placa plana comerciales, su eficiencia térmica del primero fue de 76,3% y su costo de construcción fue de 370 euros en comparación con el comercial que fue de 74,9% que su costo de construcción fue de 1120 euros, también evaluó la densidad de producción de energía del colector solar, siendo de 908,33 W/m-2, el cual hace que la relación entre el precio y la potencia sea de 0,4467 euros/W, lo que es significativamente menor a la de los colectores comerciales. Concluyeron que el sistema es más rentable económicamente y ambientalmente.

Esta investigación tiene como objetivo evaluar la eficiencia energética de una terma solar con colector de 1,25 m² con tubos en espiral de PVC para aprovechar al máximo la energía radiante y adquirir agua caliente para uso doméstico en Chachapoyas. Por ello se diseñó y construyó un prototipo de terma solar con colector de tipo espiral, se analizaron las principales variables climatológicas. Se evaluó la eficiencia térmica en tres tipos de ocasiones: cuando se utilizó el agua en el día, cuando se utilizó el agua en la noche y cuando no se utilizó el agua. En definitiva, se espera que la siguiente investigación coopere con la propagación del uso de energías renovables, el ahorro de energía eléctrica y sobre todo ayude a combatir el friaje existente en la ciudad.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Ubicación del lugar de estudio.

La terma solar con colector en espiral fue instalada en la vivienda del tesista, ubicada en el Jr. triunfo N° 1580 en la ciudad de Chachapoyas, con coordenadas UTM 181587.87 E y 9310393.90 S, a una altitud de 2373 m.s.n.m. El monitoreo de la eficiencia de la terma se realizó desde el 10 de febrero hasta el 12 de marzo del 2023, cuya temperatura promedio ambiente fue de 15,14 °C y precipitación acumulada de 262.40 mm de acuerdo a la estación meteorológica DAVIS modelo Vantage CONNECT que se encuentra ubicado en campus de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.



Figura 1. Mapa de ubicación de la terma solar.

2.2. Diseño y construcción de la terma solar en espiral

2.2.1. Diseño para la construcción de la terma solar en espiral

La terma solar se construyó tomando en cuenta el diseño propuesto por Espinoza (2017), cuyos componentes son: tanque de almacenamiento, soporte, colector solar y sistema de tuberías. Para la investigación, se modificó la configuración del colector solar con tubos de PVC de forma espiral y se adicionó una placa metálica de

calamina por encima de los tubos para obtener mayor calor térmico dentro del sistema (Figura 2). El funcionamiento de la terma solar consiste en que este sistema recibe la radiación solar directa y difusa en el colector calentando las planchas de calamina y la parrilla de tubos de PVC, generando el incremento de la temperatura del agua en los tubos, lo cual ocasiona la disminución de la densidad y fluye creando un ciclo repetitivo, acumulando el agua caliente en la parte superior del tanque de almacenamiento, este proceso es conocido como efecto termosifón.

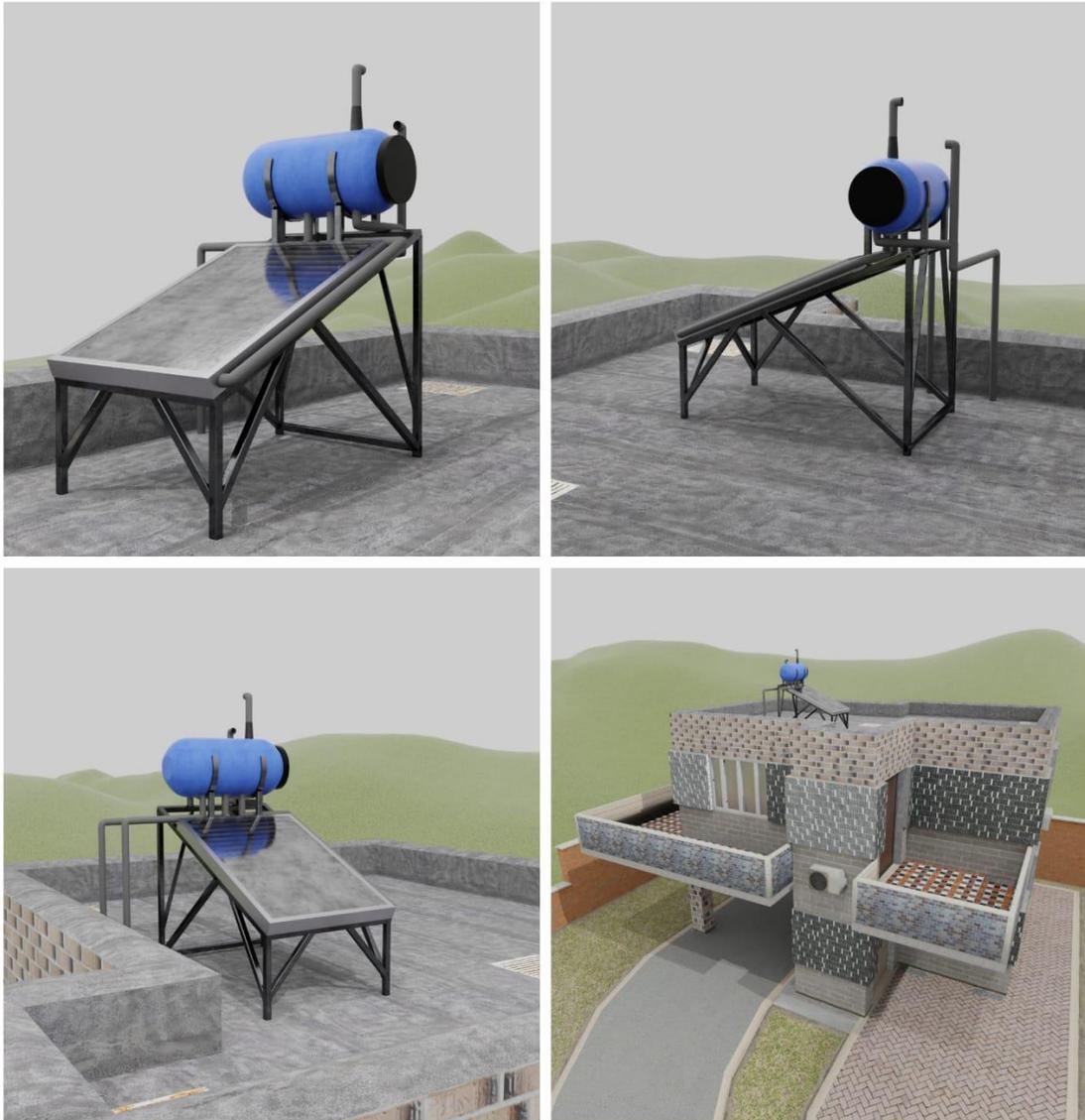


Figura 2. Diseño de terma solar en espiral.

2.2.2. Construcción de la terma solar con un colector en espiral de 1.25 m² hecho de tubos de PVC.

2.2.2.1. Colector solar.

a) Parrilla de tubos.

Las medidas de la parrilla de tubos fueron de 84 cm x 124 cm, construida con 16 tubos de 78 cm, 1 tubo de 92 cm y 1 tubo de 32 cm, todo el material mencionado fue de PVC de 1/2", que se unieron en los extremos con codos de 90° de 1/2" y 17 niples de 4.5 cm, la unión se hizo con pegamento oatey para tubería de PVC. Para el ingreso de agua fría del tanque de almacenamiento al colector se utilizó tubos externos de 120 cm, 24 cm y 14 cm de PVC que se unió con una unión universal con rosca de 1/2". Para el ingreso de agua caliente del colector hacia el tanque se utilizó tubos de 12 cm y 10 cm de PVC con una unión universal con rosca de 1/2", esto se colocó para no tener dificultades al momento del mantenimiento al sistema (Figura 3).

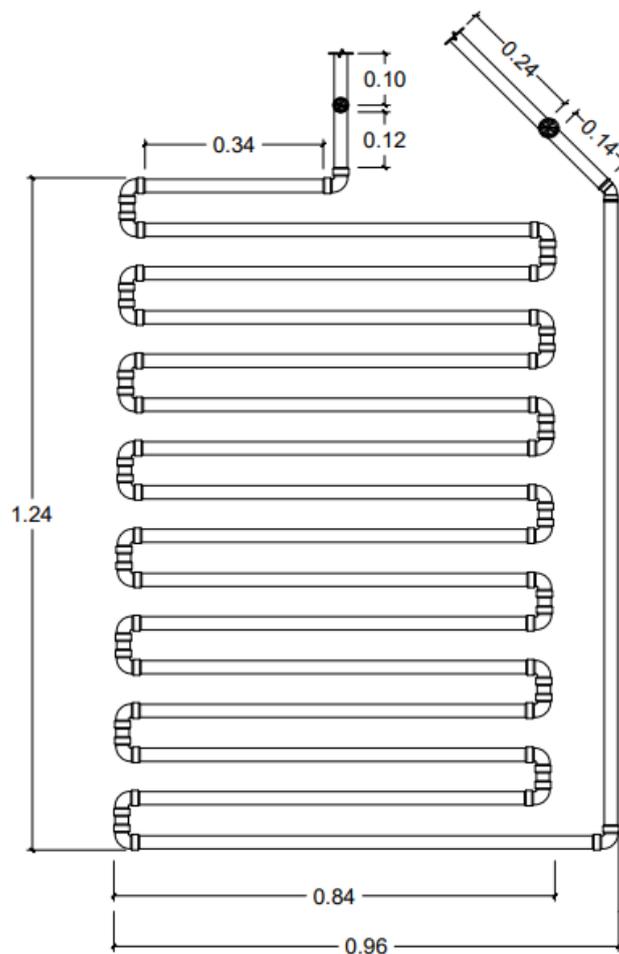


Figura 3. Diseño de la parrilla de tubos

Una vez armado, pegado y secado todo el sistema de tuberías se procedió a verificar que no tenga fuga de agua utilizando una manguera conectada a la red de agua potable. Por último, se pintó toda la parrilla con esmalte color negro mate (Figura 4).

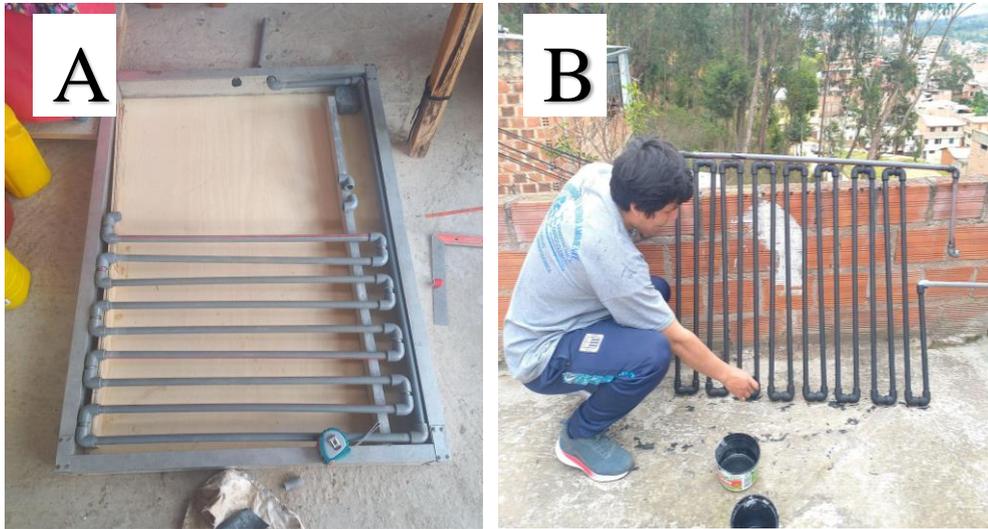


Figura 4. (A) Armado de parrilla de tubos, (B) Pintado de parrilla.

b) Plancha metálica

Se utilizaron dos calaminas galvanizadas de 0.22 mm de espesor con medidas de 80 cm x 360 cm. Se cortaron las calaminas siguiendo las medidas de la parrilla de tubos de manera horizontal para poder encajar la parrilla en los canales de esta. Para pintar las calaminas utilizamos el mismo esmalte color negro mate, se colocó las calaminas tanto en la parte posterior y superior de la parrilla, esto sirvió para obtener más calor en el sistema mediante la radiación solar, la parrilla fue fijada con abrazaderas de 1/2" en ambos lados (Figura 5).



Figura 5. (A) Pintado de calaminas, (B) Colocación de calamina y fijación de parrilla

c) Caja de colector solar

La caja para el colector se construyó con placas de aluminio de 4cm x 8 cm, sus dimensiones fueron de 134 cm x 94 cm, se hizo un orificio de 1/2" de grosor utilizando un taladro para la entrada de agua caliente del colector al tanque y para el ingreso de agua fría del tanque al colector, por encima de este se colocó un triplay de 8 mm fijándolo con tornillos por todo el marco. (Figura 6).

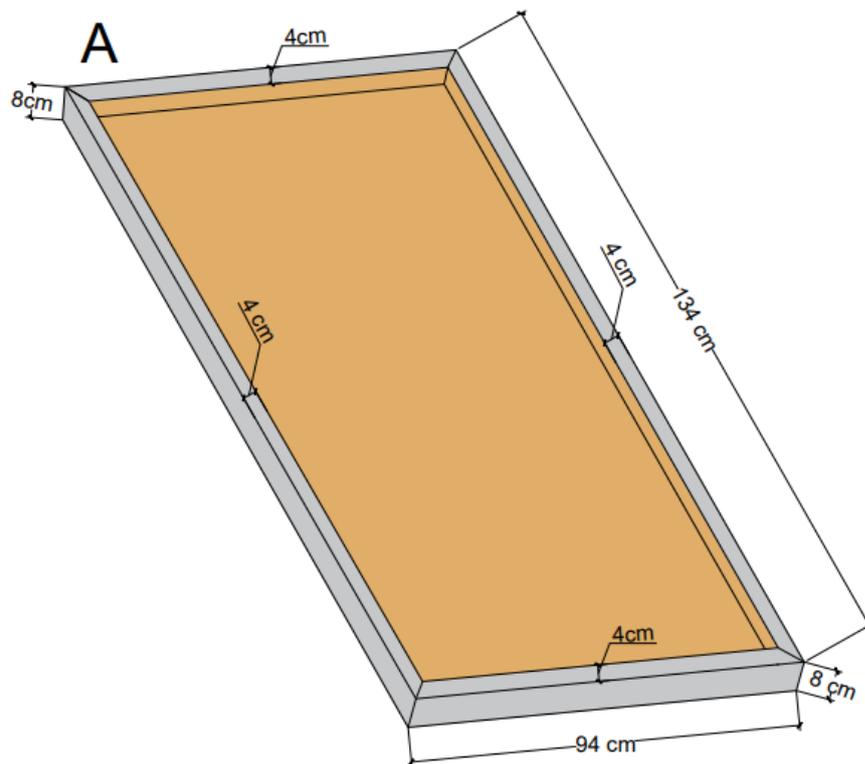


Figura 6. (A) Diseño de caja de colector, (B) Fijación de triplay, (C) Pintado de la base de triplay.

De acuerdo a las medidas del interior de la caja del colector se cortó las planchas de tecnopor para luego ser colocadas al interior de la base, seguidamente se forró con papel aluminio como se muestra en la imagen (Figura 7).



Figura 7. (A) Colocación de tecnopor, (B) Forrado con papel aluminio.

2.2.2.2. Soporte del colector

El soporte del colector se construyó con varillas de hierro con esquineros de 1" con un ángulo de inclinación de 30° , posteriormente fue lijado y pintado con esmalte color negro mate. Las dimensiones se muestran en la siguiente figura 8.

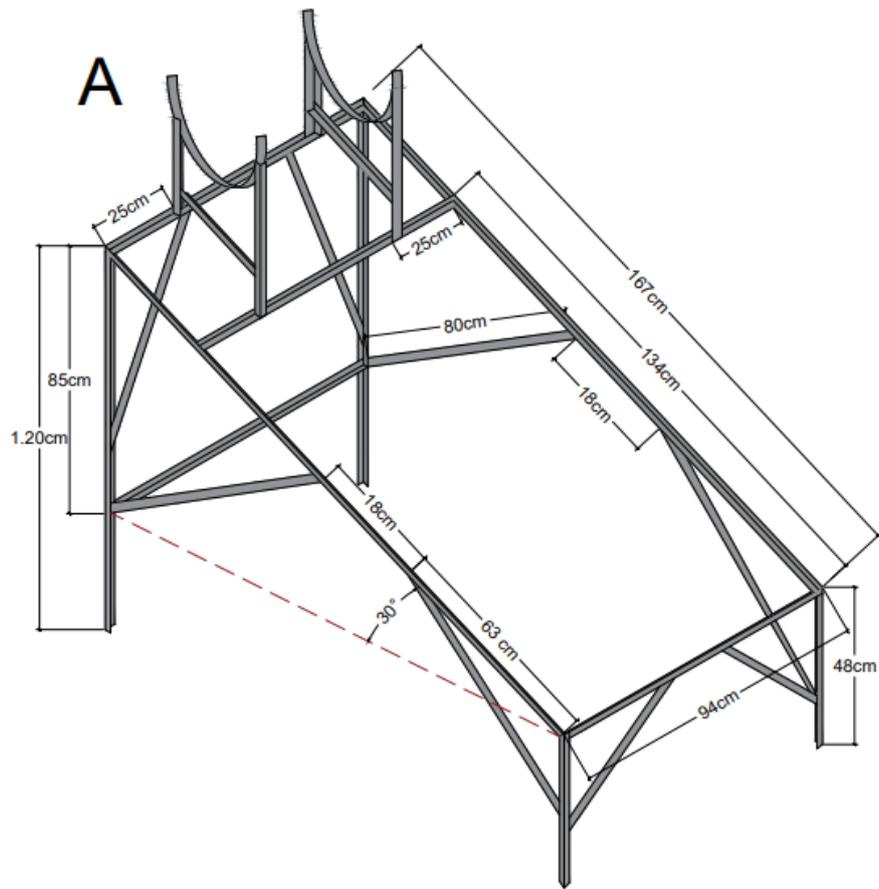


Figura 8. (A) Dimensiones del soporte del colector (B) Lijado y pintado del soporte

a) Ensamble del colector solar en espiral

Luego de haber armado la caja del colector, forrado su interior con tecnopor y papel aluminio, se procedió en poner al interior una plancha de calamina pintada,

después la parrilla de tubos y por último otra plancha de calamina encima (Figura 9).

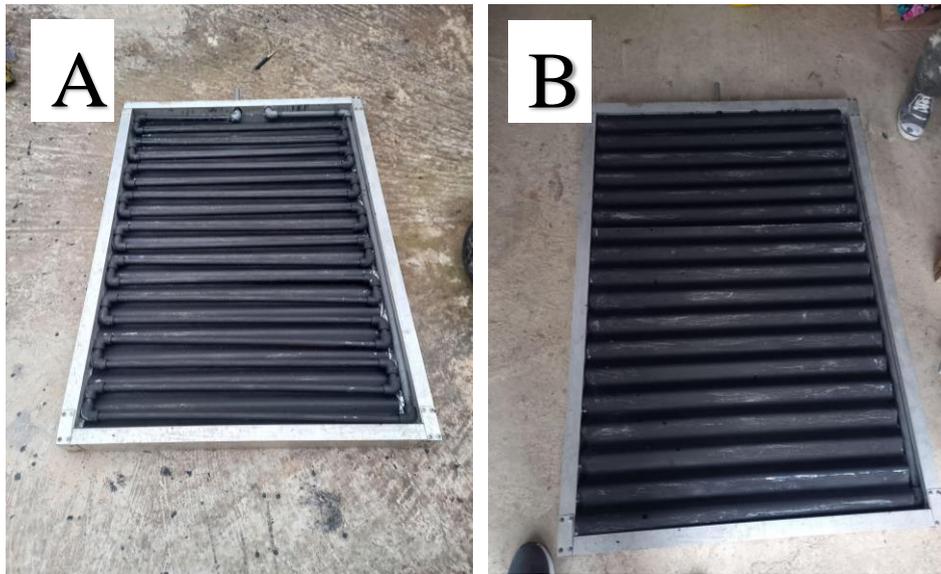


Figura 9. (A) Fijación de calamina y tubería (B) Fijación de calamina en la parte superior.

Finalizado el armado del colector se procedió a ensamblar al soporte de fierro, para luego colocar una plancha de vidrio transparente de 134 cm por 94 cm de 6 mm de grosor. Por último, se fijó con silicona color negro en todo el borde del colector para evitar fuga de calor en el sistema (Figura 10).

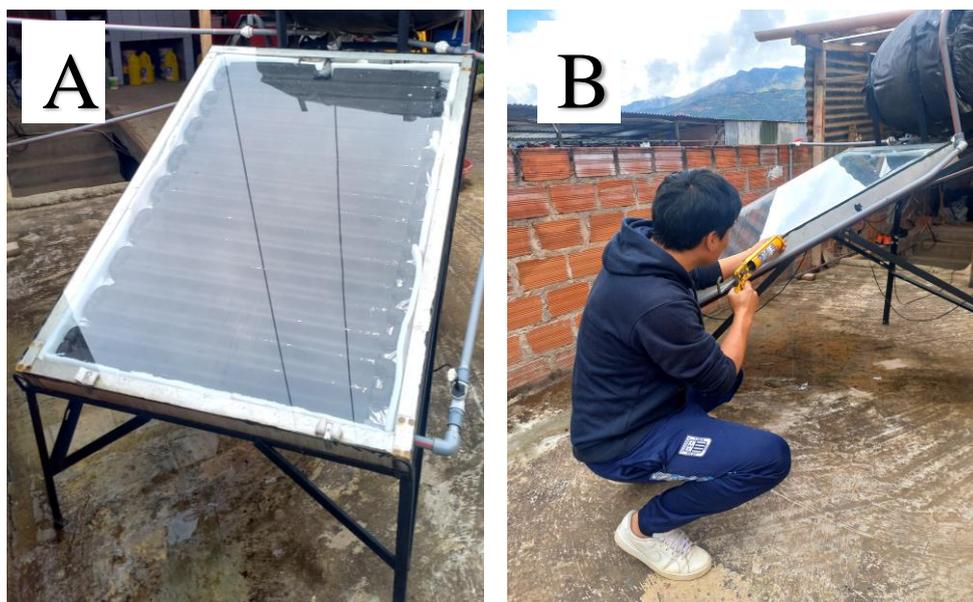


Figura 10. (A) Ensamblaje del colector solar, (B) Sellado de los bordes con silicona.

2.2.2.3. Tanque de almacenamiento de agua caliente

Se utilizó como tanque de almacenamiento un recipiente tipo bidón de material polietileno de alta densidad con una capacidad de 80 litros. Se hizo 5 orificios de 1/2" para los siguientes puntos de instalación: entrada de agua fría de la red potable al tanque, salida de agua fría del tanque al colector, entrada de agua caliente del colector al tanque, salida de agua caliente hacia la ducha y por último un orificio para el respirador del tanque de almacenamiento. Se perforó un orificio de 15 cm de diámetro en la parte superior del tanque para tener acceso al sistema para el mantenimiento posterior (Figura 11).

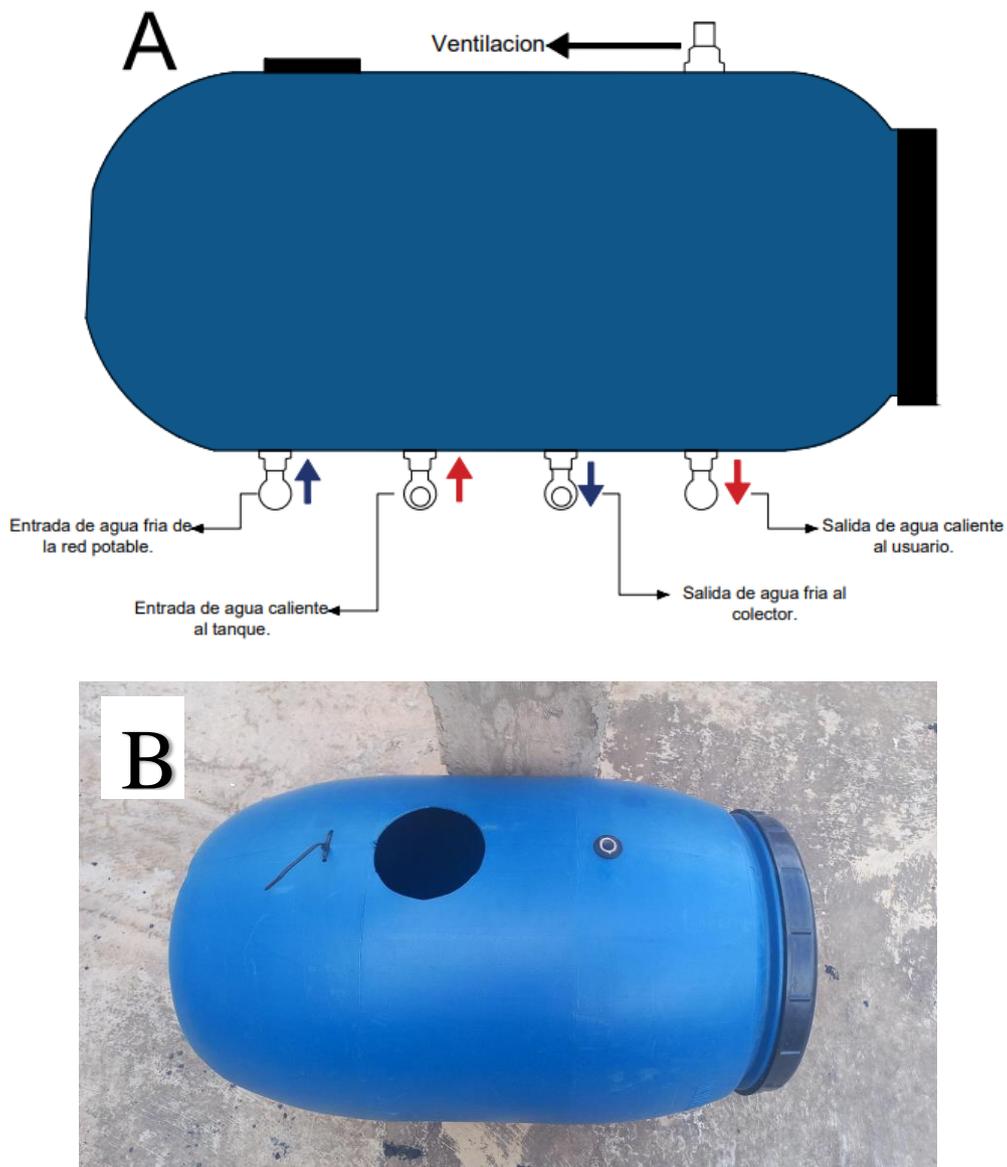


Figura 11. (A) Diseño del tanque de almacenamiento, (B) Abertura de orificios.

a) Instalación de accesorios

La instalación de accesorios se hizo en 5 puntos: entrada de agua de la red potable al tanque ,mediante un llenado automático utilizando una válvula y flotador de 1/2", se instaló a una altura de 30 cm partiendo de la base con un tubo PVC de 1/2"; salida de agua fría del tanque al colector; entrada de agua caliente del colector al tanque de almacenamiento donde se colocó un tubo de 10 cm de altura; salida de agua caliente hacia la ducha donde también se colocó un tubo de 12 cm y por último se puso un tubo de 1/2" de PVC de 40 cm como respirador. Para realizar todas estas conexiones se utilizaron los siguientes materiales: 4 nipples de 1/2" de 12 cm de largo con rosca, empaquetadura de jebe (cámara de llanta), 4 codos de 1/2" con rosca, 4 adaptadores de 1/2" con rosca, 4 uniones universales de 1/2" con rosca y 2 llaves de paso de 1/2" PVC (Figura 12).



Figura 12. (A) Instalación de accesorios, (B) Instalación de válvula de llenado automático.

Una vez pegado todos los accesorios, se forraron con tecnopor de 1/2" cortando este en planchas delgadas de 12 cm para tener más facilidad al forrar y poder fijarlo con cinta de embalaje y film, después se cubrió con polifón de 3mm. Finalmente, para protegerlo del sol y la humedad se forro con una capa de lona microperforada (material reciclado) luego de ser pintadas de negro (Figura 13).



Figura 13. (A) Forrado con tecnopor, (B) Forrado con polifón de 3 mm y film (C) Forrado con lona microperforada (material reciclado)

2.2.2.4. Sistema de tuberías y sensores

Los accesorios que se utilizó fueron tubos para agua fría PVC de 1/2", se empezó por la instalación del punto de salida de agua fría al colector uniendo dos niples de 14 cm y 24 con una unión universal, después se unió un tubo de 120 cm con un codo de 45° hasta llegar a la entrada del colector, en esta conexión se instaló una tee de 1/2" con tapón macho para instalar el primer sensor de temperatura, a continuación en el centro de la parrilla de tubos se instaló el segundo sensor de temperatura, luego para la conexión de salida de agua caliente hacia el tanque se utilizó dos niples de 12 cm y 10 cm unidos con una tee de 1/2" con tapón macho en la cual se instaló el tercer sensor, el cuarto sensor se ubicó dentro del tanque usando un pequeño trozo de tecnopor como flotador. Y finalmente se pegó un

tubo de 1/2" de 40 cm como respirador en la parte superior del tanque, también se comprobó que no tenga fuga las tuberías externas del colector y se procedió a forrar con tecnopor y polifón para que sirva como aislador térmico. Se aseguró el forro con alambre de amarre (Figura 14).



Figura 14. Forrado de tuberías externas.

2.3. Evaluación de la terma solar

a) Llenado de terma solar

El llenado se hizo directamente de la red de agua potable, la cual se instaló con tubos de PVC de 1/2" así el agua ingresó al tanque y posteriormente a todo el circuito de la terma solar. Como ya se mencionó anteriormente se instaló una válvula de llenado automático, una vez que llega a la capacidad de 80 litros, esta deja de ingresar agua al tanque (Figura 15).



Figura 15. Llenado de agua de la terma solar.

b) Registro de datos meteorológicos

Los datos se registraron con un módulo arduino UNO, con 4 sensores de temperatura digital DS18B20, se instaló el programa arduino en una laptop para el registro de datos desde las 7:00 hasta las 19:00 horas, cada minuto, por 30 días seguidos (Figura 16).

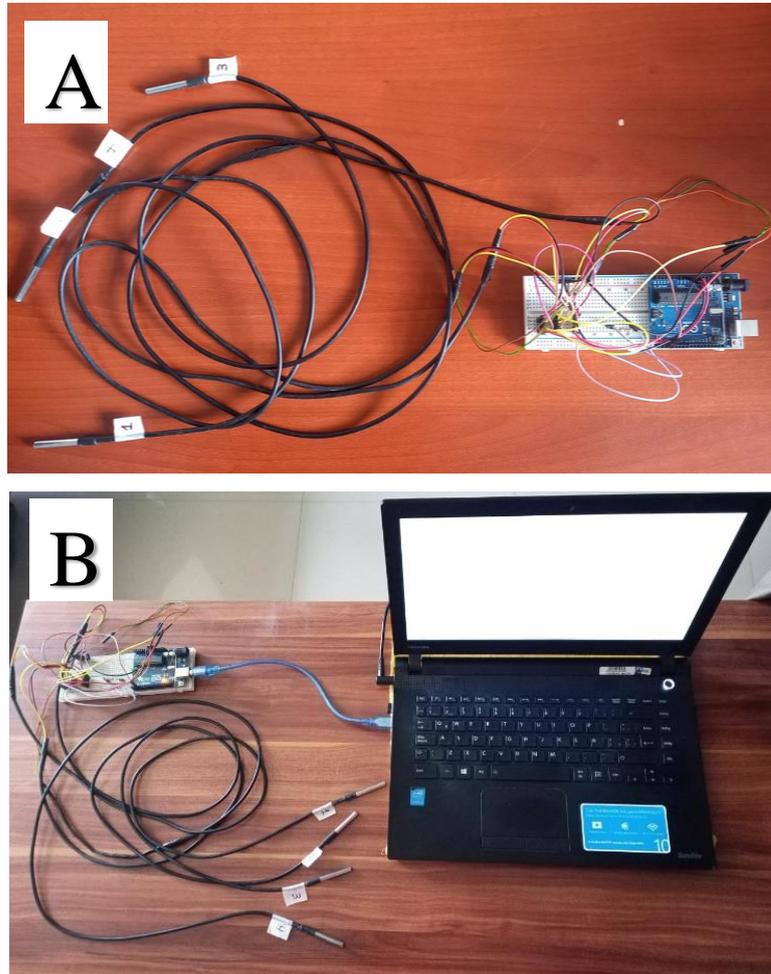


Figura 16. (A) Módulo arduino UNO, con sus 4 sensores de temperatura digital DS18B20 (B) Implementación de módulo arduino para registro de datos.

El sistema módulo arduino se instaló en la parte inferior del colector cubierto con un recipiente de plástico. Los 4 sensores de temperatura fueron colocados en los siguientes puntos: entrada de agua fría al colector, en medio de la parrilla de tubería del colector, salida de agua caliente del colector hacia el tanque de almacenamiento y dentro del tanque de almacenamiento (Figura 17). Una vez registrado los datos de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), se exportó al programa Excel para posteriormente ser procesado junto a los datos de radiación solar (W/m^2), precipitación ($\text{mm}/\text{día}$), temperatura promedio, máxima y mínima que fueron

brindados por la estación meteorológica INDES – CES, ubicada dentro de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.



Figura 17. Ubicación de los 4 sensores de temperatura.

c) Eficiencia de la terma solar

Se determinó la eficiencia de la terma solar según su uso diario tomando en cuenta la radiación solar diaria en tres tipos de situaciones: cuando se utilizó el agua en el transcurso del día, cuando se utilizó el agua en la noche y cuando no se utilizó el agua. Se usó la fórmula que ha sido empleada por (Espinoza, 2017), la cual fue la siguiente:

$$nE = \frac{\text{Energía térmica (Et)}}{\text{Energía solar recibida (Es)}}$$

Energía térmica: $ET = m \cdot c \cdot \Delta T$

Donde:

m: masa de agua en la terma: $80 \text{ L} = 0.8 \times 10^5 \text{ g}$

c: calor específico del agua = $4,18 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$

ΔT = Temperatura máxima del agua (a las 7:00 pm) – Temperatura de entrada de agua fría (a las 7:00 am) en $^\circ\text{C}$

Energía solar recibida: $ES = es \cdot A$

Donde:

es: Energía solar recibida. Es el área bajo la curva de la radiación solar vs los intervalos de tiempo, calculada mediante el método de aproximación trapezoidal.

A: Área del colector solar en m^2

Método o regla del trapecio

Consiste en la sumatoria total de los datos registrados de radiación solar de 7:00 hasta las 19:00 horas, multiplicado por el intervalo de tiempo que fue de un minuto, luego se convirtió el resultado obtenido de Wmin/m^2 a Kwh/m^2 de la siguiente manera (Peña, 2015).

$$\frac{\text{Wmin}}{\text{m}^2} \times \frac{1\text{h}}{60 \text{ min}} \times \frac{1\text{Kw}}{1000\text{w}} = \frac{\text{Kwh}}{\text{m}^2}$$

d) Análisis de varianza (ANOVA)

Se realizó un análisis de varianza para ver si hay diferencias significativas entre las tres muestras: cuando se utilizó el agua en el transcurso del día, cuando se utilizó el agua en la noche y cuando no se utilizó el agua. Se empleó el programa Excel y SPSS.

III. RESULTADOS

3.1. Implementación y funcionamiento de la terma solar en espiral

A continuación, se muestra en la Figura 18 la terma solar en espiral ya implementada donde se indican las partes: colector solar, tanque de almacenamiento, soporte y sistema de tuberías cubierta con aislante térmico (Tecnopor y polifón) con la finalidad de minimizar la transferencia de calor al ambiente. El funcionamiento consiste en el ingreso de agua fría al tanque de almacenamiento, una vez este llega a su capacidad de 80 litros, el agua fría ingresa hacia el colector llenando todo el sistema de tuberías y con la radiación solar directa y difusa, se calienta las planchas de calamina, la parrilla de tubos de PVC, generando el incremento de la temperatura del agua y disminuyendo su densidad y por efecto del termosifón el agua caliente se acumula en la parte superior del tanque de almacenamiento.

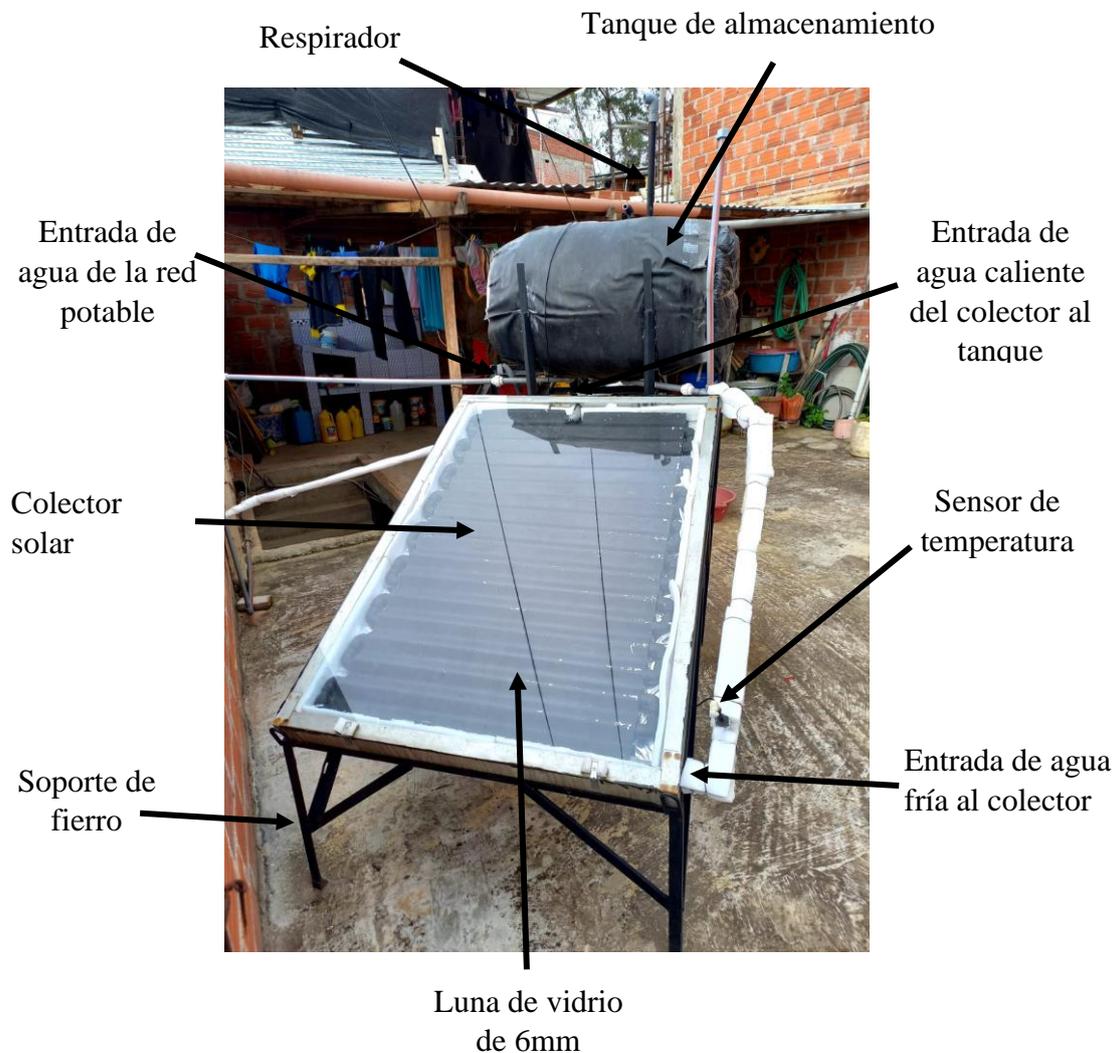


Figura 18. Implementación de terma solar en espiral.

3.2. Energía solar durante la prueba experimental.

En la Figura 19, se indica la energía solar diaria durante el periodo experimental de 7:00 horas hasta las 19:00 horas durante los 30 días evaluados. Los días con mayor energía solar fueron el 17 de febrero y el 6 de marzo del 2023, el cual superaron los 6.0 kwh/m². El día 8 de marzo no se consideró los datos de radiación solar, ya que no se registró datos de temperaturas en la terma solar por temas de mantenimiento del sistema.

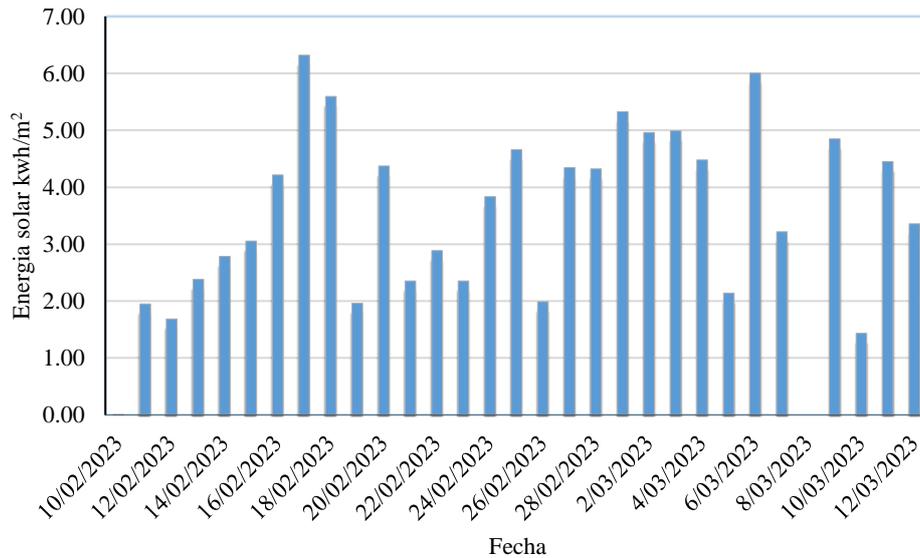


Figura 19. Energía solar diaria

3.3. Temperaturas del sistema de la terma solar y parámetros meteorológicos

En la Tabla 1, se indica la temperatura promedio diaria del periodo de medición desde las 7:00 hasta las 19:00 horas, cada minuto, durante 30 días seguidos en los cuatro puntos donde fueron colocados los sensores de temperatura. El 18 de febrero se alcanzó las temperaturas promedio más altas 26.5 °C, 43.6 °C, 43.4 °C y 37.5 °C, respectivamente.

Tabla 1. Promedio de temperaturas registrada por los 4 sensores.

Fecha	Entrada de agua fría /sensor 1	Colector/ sensor 2	Entrada de agua caliente/sensor 3	Tanque de almacenamiento/ sensor 4
10/02/2023	18.3	28.7	28.3	24.2
11/02/2023	16.7	25.0	24.3	22.9
12/02/2023	15.0	22.9	22.0	17.7
13/02/2023	17.2	28.9	27.3	18.7
14/02/2023	17.9	28.8	26.4	20.8
15/02/2023	19.5	29.4	28.6	24.8
16/02/2023	21.3	33.1	32.8	27.4
17/02/2023	24.9	40.2	40.3	33.5
18/02/2023	26.5	43.6	43.4	37.5
19/02/2023	17.3	24.1	23.9	19.1
20/02/2023	22.4	33.7	32.9	25.6
21/02/2023	20.5	30.7	29.8	27.1
22/02/2023	16.4	25.9	24.7	23.7
23/02/2023	16.5	26.1	25.1	21.7
24/02/2023	20.9	35.7	36.8	27.3
25/02/2023	24.6	38.4	38.3	32.2
26/02/2023	18.7	25.9	25.1	27.4
27/02/2023	21.7	35.2	35.7	25.0
28/02/2023	19.8	33.8	33.2	25.5
1/03/2023	20.0	33.6	32.6	26.1
2/03/2023	21.0	35.5	34.6	27.8
3/03/2023	23.2	38.5	38.0	32.3
4/03/2023	21.8	33.9	33.0	27.0
5/03/2023	16.4	27.2	23.8	22.6
6/03/2023	19.6	32.9	31.7	23.2
7/03/2023	18.5	29.4	29.4	23.9
9/03/2023	21.6	32.7	32.1	28.2
10/03/2023	16.5	23.2	22.0	24.1
11/03/2023	21.9	33.3	32.3	27.7
12/03/2023	19.7	30.1	29.1	27.4

En la figura 20, se indica el comportamiento de las temperaturas del agua en los cuatro puntos donde se instalaron los sensores de temperatura módulo arduino, en función de la energía solar diaria. Los valores de temperatura de agua en la entrada de agua fría al colector están en un intervalo entre los 14°C y 24°C, en medio del colector las temperaturas están en un intervalo de 22°C y 43°C, en la salida de agua caliente del

colector al tanque las temperaturas varían entre los 21°C y 43°C y por último en el tanque de almacenamiento las temperaturas están en un intervalo de 17°C a 37°C. Además, en el grafico se muestra la precipitación acumulada por día, temperatura máxima, media y mínima (Figura 21).

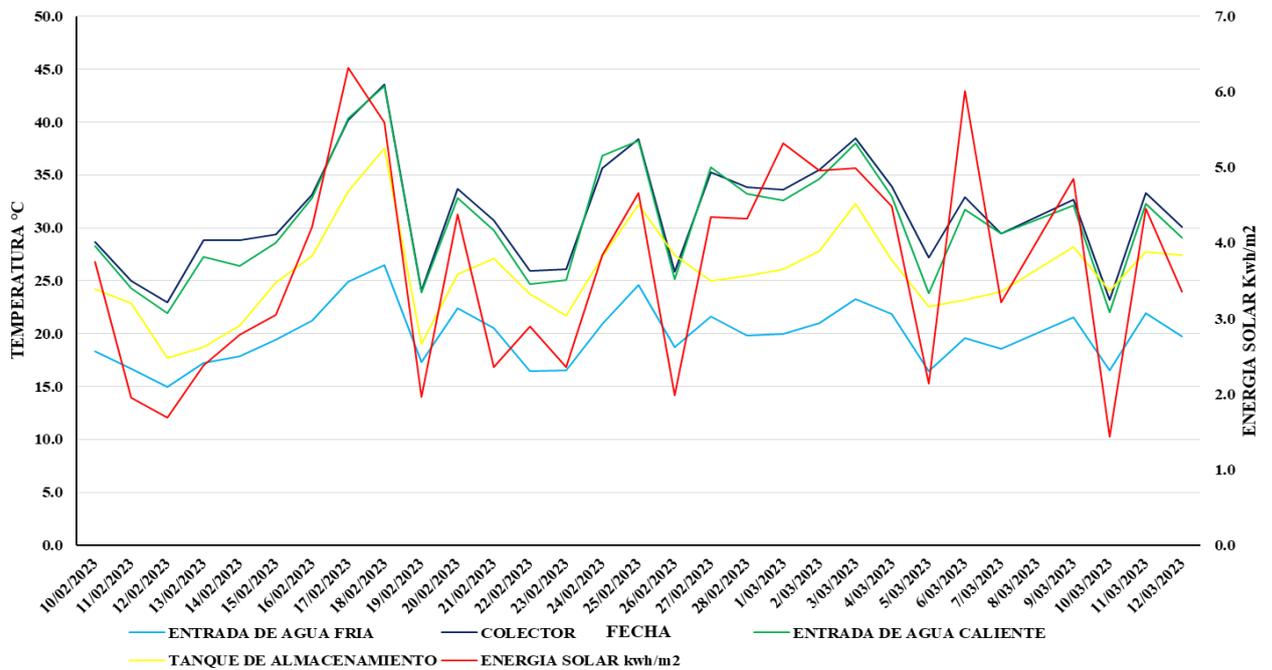


Figura 20. Comportamiento de las temperaturas del agua en los cuatro puntos en función de la energía solar diaria.

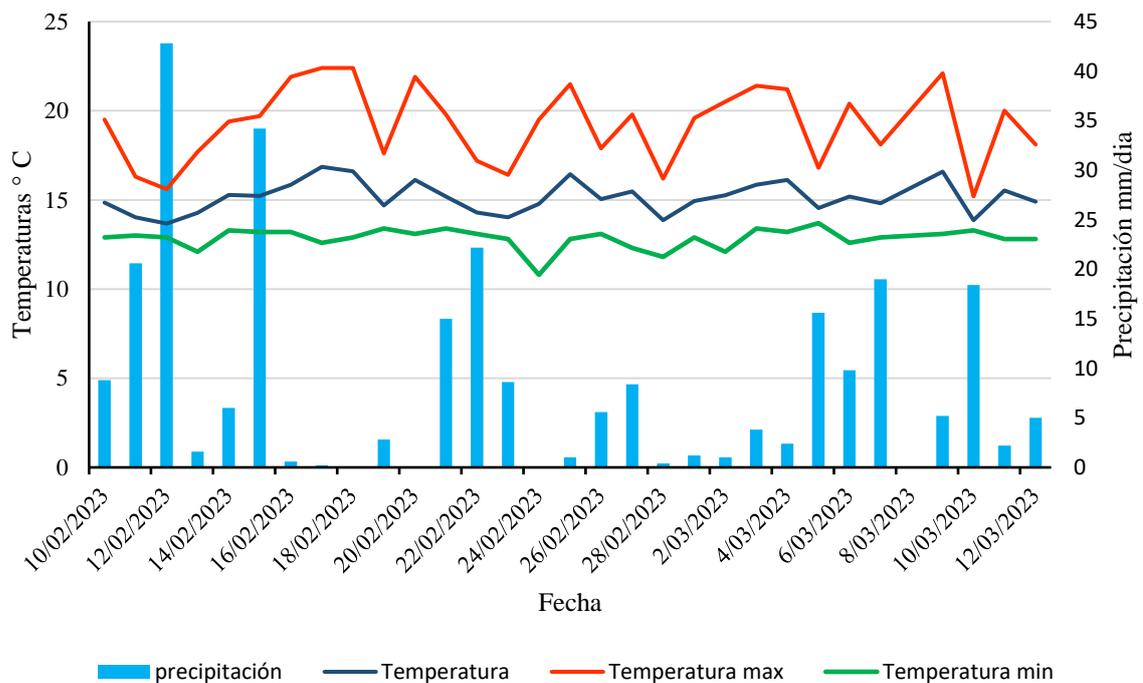


Figura 21. Temperaturas ambiente y precipitación en el periodo evaluado.

3.4. Eficiencia de la terma solar en espiral

En la Figura 22, se indica el comportamiento de la eficiencia térmica diaria durante el periodo de evaluación de 7:00 horas a 19:00 horas durante los 30 días. La mayor eficiencia evaluada fue el 26 de febrero del 2023 con 44.71%.

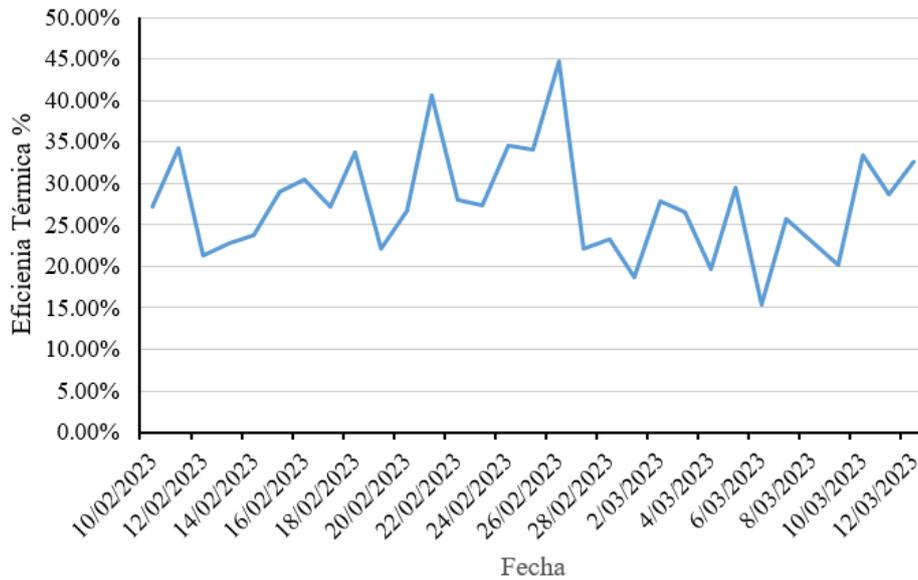


Figura 22. Eficiencia Térmica diaria.

3.4.1. Eficiencia térmica cuando se utilizó el agua en el día

En la Figura 23, se indica el comportamiento de la eficiencia diaria durante el periodo de evaluación de 7:00 horas a 19:00 horas, en los días donde se utilizó el agua en el día. La eficiencia térmica más alta fue el día 21 de febrero del 2023 con 40.53% y la eficiencia promedio fue 27.71%. Hubo una pérdida promedio de temperatura en el tanque de almacenamiento de 1.62 °C cada vez que se utilizó el agua debido a que automáticamente ingresaba agua fría al tanque.

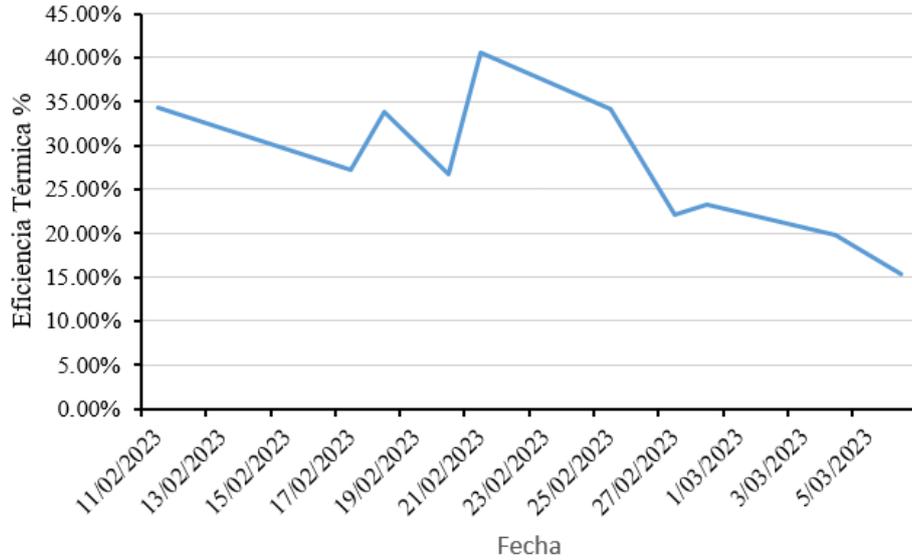


Figura 23. Eficiencia térmica cuando se utilizó el agua en el día.

3.4.2. Eficiencia térmica cuando se utilizó el agua en la noche.

En la figura 24, se indica el comportamiento de la eficiencia diaria durante el periodo de evaluación de 7:00 horas a 19:00 horas, en los días donde se utilizó el agua por las noches. La eficiencia térmica más alta fue el día 26 de febrero del 2023 con 44.71% y la eficiencia promedio fue de 26.22%. Hubo una pérdida promedio de temperatura en el tanque de almacenamiento de 1.73 °C cada vez que se utilizó el agua debido a que automáticamente ingresaba agua fría al tanque.

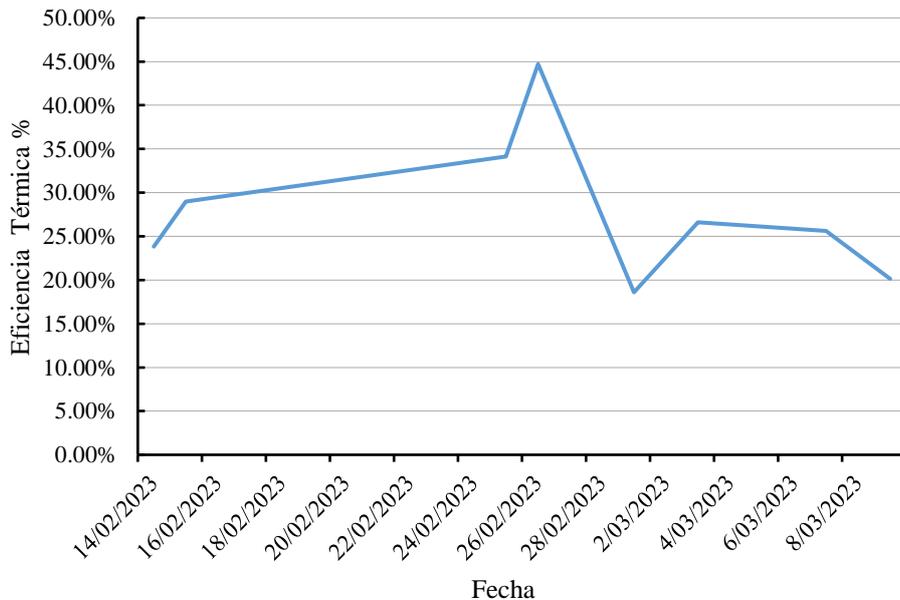


Figura 24. Eficiencia térmica cuando se utilizó el agua en la noche.

3.4.3. Eficiencia térmica cuando no se utilizó el agua.

En la figura 25, se indica el comportamiento de la eficiencia térmica diaria durante el periodo de evaluación de 7:00 horas a 19:00 horas, en los días donde no se utilizó el agua. La eficiencia térmica más alta fue el 24 de febrero del 2023 con 34.50% y la eficiencia promedio es de 28.70%. La pérdida promedio de temperatura de un día para otro fue de 4 °C.

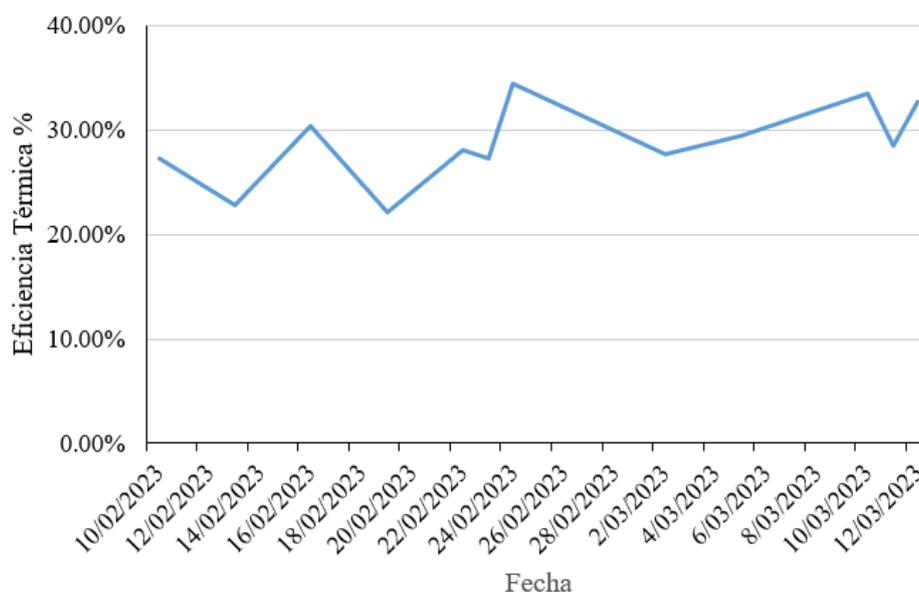


Figura 25. Eficiencia térmica cuando no se utilizó el agua.

3.5. Análisis de varianza (ANOVA)

En la tabla 2, se indica el análisis de varianza de los tres grupos: cuando se utilizó el agua en el día, cuando se utilizó el agua en la noche y cuando no se utilizó el agua.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Día	10	2.7709	0.2771a	0.0062
Noche	8	2.0979	0.2622a	0.0068
Sin uso	12	3.4446	0.2870a	0.0014

Tabla 2. Análisis de varianza entre los tres grupos según su uso del agua.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.00295515	2	0.00147758	0.34	0.72	3.35
Dentro de los grupos	0.11886989	27	0.00440259			
Total	0.12182505	29				

H₀= Las medias del factor de uso diario son iguales (no hay diferencia significativa)

H_a= las medias no todas son iguales (hay diferencia significativa entre grupos)

Se acepta la **H₀**. Existe evidencia estadística que los promedios de los tres grupos son iguales (**P**= 0.72 mayor que 0.05, Anova)

En la figura 26 se muestra que los tres grupos se intersectan, lo cual indica que no hay diferencias significativas entre ellas.

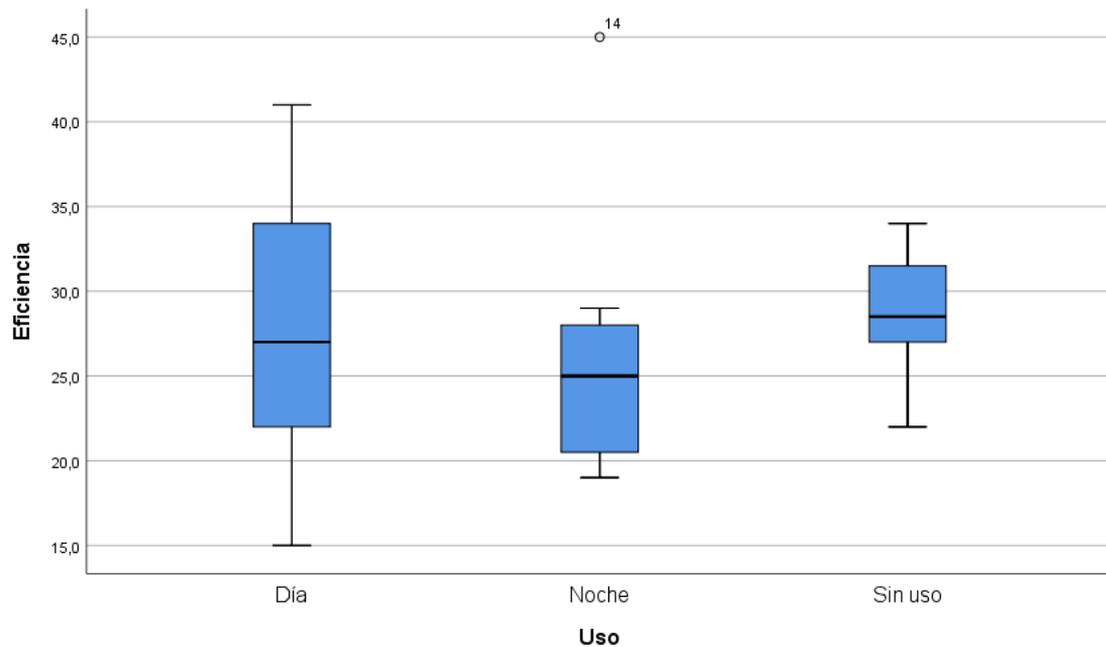


Figura 26. Grafica de análisis de varianza entre los tres grupos según su uso del agua.

IV. DISCUSIÓN

Se realizó el diseño, construcción y operación de un sistema termosolar para calentar agua en un tanque de polietileno de 80 litros cubierto con tecnopor, polifón (derivado del polietileno) y lona microperforada, para mantener la temperatura ganada del agua. A este tanque se integró un colector plano en el interior se instaló una capa aislante (Tecnopor cubierto con papel aluminio), doble plancha de calamina para absorber el calor de la radiación solar y un sistema de tuberías de PVC de 1/2" en forma de espiral para la conducción del agua.

El diseño realizado se basó a lo que indica (Water Research Foundation, 2016), una ducha de agua caliente consume 68.3 litros, lo cual es un exceso y desperdicio del agua. En consecuencia, la capacidad del termotanque es de 80 litros para abastecer hasta tres duchas diarias como afirma Ordoñez (2018), en base a un promedio de 26.6 litros de agua que utiliza una persona. Además, este diseño se asemeja a lo presentado por Negri et al. (2020), en el tipo de aislamiento del termotanque y en el colector plano, sin embargo, en el sistema de tuberías es de forma vertical.

Por otro lado, el sistema termosolar evaluado en el estudio es de circuito abierto, es decir, el agua gana calor directamente de la radiación solar; mientras que, en un circuito cerrado, el agua se calienta a través de un intercambiador de calor por la transferencia de temperatura de fluido caloportador (glicol- agua), como explica Saeed et al. (2023). Todos los dispositivos que calientan agua tienen que trabajar mediante radiación solar directa y difusa (Alvarado, 2020). Entonces se demuestra que es posible construir una terma solar casera con materiales comerciales y de circuito abierto de forma modular y versátil.

Los registros de datos de temperatura se hicieron por 30 días continuos, con un intervalo de 1 minuto, desde las 7:00 hasta las 19:00 horas para abordar el mayor tiempo posible donde una persona se ducha y poder registrar datos cuando el agua es utilizada. Se empleó un módulo arduino con 4 sensores digitales tal como lo hizo en su investigación Espinoza (2017), pero a diferencia que los datos registrados lo hicieron en intervalo de tiempo de 15 minutos, de 8:00 hasta las 16 horas. En la investigación, la toma de datos fue en un intervalo más corto de tiempo, ya que se buscó una mayor precisión en la variación de la temperatura del agua y por consiguiente obtener resultados de eficiencia térmica con más exactitud.

El uso de sistemas automáticos de registro de datos como es el módulo arduino con sensores digitales presenta muchas ventajas como, obtener mayor precisión en la medición de datos, no es necesario que sea monitoreada todo el tiempo por una persona y es muy versátil sencillo y confiable (Azua-Barrón et al., 2017). También hay modelos alternativos de bajo costo como por ejemplo el de Panagopoulos & Argiriou(2022), diseñados para colectores solares, facilitando las pruebas experimentales. Los 4 sensores digitales proveen medidas entre un intervalo de $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Saavedra, 2019), para la investigación se instalaron en los siguientes puntos: entrada de agua fría al colector, dentro del colector, entrada de agua caliente al tanque y dentro del tanque de almacenamiento; con el fin de registrar las temperaturas en el transcurso del día automáticamente, para luego ser analizadas.

El colector de 1.25 m^2 a base tubos de PVC de $1/2''$ en forma de espiral, alcanzó una temperatura máxima en el tanque de $43,06$, con una radiación de $5,6\text{ kWh/ m}^2$ a comparación de Huanes et al. (2015), que evaluaron una terma con colector a base de tubos verticales de cobre, obteniendo una temperatura máxima del agua en el tanque fue de 42°C , con una radiación solar de $6,0\text{ kWh/ m}^2$. Siendo la mas alta la terma en espiral justamente por el tipo de material (Barrena Gurbillón et al, 2020), la orientación de los tubos, donde hay más recorrido del agua y también por la placa adicional instalada.

Por otra parte Cancapa y Coyla.(2021), diseñaron y construyeron un colector solar semiesférico de forma espiral con tubo corrugado, un motor impulsador y tanque de almacenamiento de 100 litros para uso doméstico en la ciudad de Juliaca, Puno. Midieron temperaturas por 40 días, de 6:00 hasta las 17:00 horas en dos puntos: entrada de agua fría al colector y salida de agua caliente al tanque. La máxima temperatura alcanzada de la salida de agua caliente fue de $58.45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Por lo que, comparando con el colector en espiral con tubos de PVC, que alcanzó una temperatura máxima de $67.19\text{ }^{\circ}\text{C}$, superó $8.74\text{ }^{\circ}\text{C}$ de diferencia, por lo tanto, se determinó que el prototipo de colector solar en espiral de PVC tuvo un mejor rendimiento, sin embargo, se justifica el resultado ya que el clima en Juliaca es frio y el de chachapoyas es templado.

La eficiencia térmica se evaluó en tres tipos de situaciones, cuando se utilizó el agua por las noches, cuando se utilizó el agua en el día y cuando no se utilizó el agua; para saber que tan eficiente es el prototipo en espiral para uso doméstico, así como evaluó (Ahmad, 2014) indicando que su investigación dio resultados favorables y aceptables para uso doméstico tal como muestran los resultados de la terma solar con colector con tubos de

PVC en forma espiral. La eficiencia térmica de colectores planos con materiales similares normalmente su eficiencia bordea los 40 % a 60 % (Valera ,2007), como por ejemplo el estudio de Muro et al., (2019) que construyó su colector a base tubos de riego tecnificado donde alcanzó el 46,8% de eficiencia. Con este nuevo prototipo de colector solar en espiral de PVC se alcanzó una eficiencia positiva y aceptable para uso doméstico en condiciones adversas (días nublados).

El análisis final arrojó como resultado que en los días que no hubo actividad la eficiencia térmica fue del 28.70% siendo esta la más alta, esto debido a que no hubo pérdida de temperatura al no ingresar agua fría al tanque. En cambio, cuando se utilizó el agua en el día y la noche se tuvo eficiencias más bajas del 27.71% y 26.22% respectivamente. Esto se debió al ingreso de agua fría al tanque (Marino et al ,2011), ocasionando una pérdida de temperatura de 1.62 ° C en el día y 1.73 ° C en la noche.

La pérdida de temperatura en el tanque de almacenamiento de un día para otro fue de un promedio de 4 °C a diferencia de Vigo y Trigos (2012) que su pérdida de temperatura fue de 8 °C, esto debido a que utilizó solo tecnopor y una caja de triplay para aislar su tanque de almacenamiento, en cambio en nuestra investigación se obtuvo menos pérdida de temperatura por las tres cubiertas que se hizo a este (Tecnopor, polifón y lona microperforada). Ya que los dos primeros materiales mencionados son de baja conductividad y alta resistencia térmica (Palomo, 2017).

La eficiencia térmica estuvo entre los 25 y 30%, lo cual no fue el resultado esperado, ya que se tuvo una precipitación acumulada de 262.40 mm en 27 días de los 30 días evaluados, sin embargo, aun así, se puede afirmar que la terma solar de PVC fue eficiente para uso doméstico y la más adecuada para viviendas como afirma Calderón (2019) que diseñó un colector similar de CPVC en forma de serpentín.

Para ver si hay diferencias significativas entre grupos de una sola variable, se realizó un análisis de varianza (Dagnino ,2014) para las tres situaciones evaluadas: cuando se utilizó el agua por las noches, cuando se utilizó el agua en el día y cuando no se utilizó el agua. Se encontró que no hubo diferencias significativas estadísticamente entre las tres muestras, esto debido a que las pérdidas de temperatura en el tanque fueron mínimas y solo hubo una diferencia aritmética de 1% de eficiencia térmica entre los grupos lo que es similar a lo evaluado por Condor (2016), con la diferencia de que este autor realizó una comparación de eficiencias en dos meses diferentes, utilizando la prueba de Duncan.

La probabilidad fue de 0.72 y es mayor a 0.05, en consecuencia, se acepta la hipótesis nula que dice que todas las muestras son iguales, por lo tanto, se puede afirmar que el uso del agua ya sea en la noche, en el día o cuando no se utiliza el agua, no influye en la eficiencia térmica de la terma solar. Finalmente, los resultados de esta investigación evidencian que estos sistemas se pueden utilizar en distintas condiciones atmosféricas, contribuyendo de esta manera a cuidar el medio ambiente y la sostenibilidad.

V. CONCLUSIONES

- ❖ Se diseñó un sistema termosolar modular y versátil de circuito abierto para uso doméstico y se construyó con materiales comerciales y accesibles. Los componentes del sistema son un tanque de polietileno de 80 litros que ha sido cubierto con material aislante, el cual se acopló a un colector plano en donde se instaló un sistema de tubería de PVC en forma espiral para la conducción del agua dentro del colector y facilitar la transferencia de calor.
- ❖ El prototipo de terma solar con colector de PVC realizado en forma de espiral alcanzó temperaturas similares y más altas en comparación a las convencionales con tubos PVC, por lo que, es una opción viable en uso a nivel doméstico u otras aplicaciones.
- ❖ La eficiencia de la terma solar se evaluó en tres tipos de situaciones: cuando se utilizó el agua en el día, cuando se utilizó el agua por las noches y cuando no se utilizó el agua y el resultado fue 27.71 % 26.22 % 28.70%, respectivamente. Por lo tanto, demuestra ser óptimo para uso doméstico teniendo en cuenta que funcionó correctamente en días nublados.

VI. RECOMENDACIONES

- ❖ Instalar una llave mezcladora en el usuario ya que la temperatura del agua en el tanque de almacenamiento sobrepasa los 40 °C.
- ❖ Para la instalación de accesorios en los 4 puntos del tanque de almacenamiento se recomienda utilizar codos de material galvanizado para una mayor seguridad y evitar fugas de agua.
- ❖ La capacidad del tanque es de 80 litros, donde máximo pueden ducharse hasta 3 personas, si la familia es más numerosa se recomienda utilizar un tanque de más capacidad.
- ❖ Tener mucho cuidado al dejar expuesto al sol la parrilla de tubos una vez que estén pintados porque estos tienden a doblarse.
- ❖ El tanque de almacenamiento para mayor tiempo de durabilidad se debería techarlo, ya que queda muy expuesto al sol y la humedad.
- ❖ Se recomienda la instalación de este sistema de terma solar en hogares, que a pesar del mal clima este es eficiente.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado. (2020). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman. Facultad de Ingeniería. *Construcción y mantenimiento de una terma solar por termosifón para producir agua caliente sanitaria, utilizando materias plásticas en Tacna*. Recuperado el 22 de noviembre del 2022, desde http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/4161/1862_2020_alvarado_banchero_cj_fain_ingenieria_mecanica.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Amaya, D. (2017). Universidad Nacional Tecnológica De Lima Sur. *Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, I*.
- ANÁLISIS DE VARIANZA - Revista Chilena de Anestesia. (2014.). Retrieved July 11, 2023, from <https://revistachilenadeanestesia.cl/analisis-de-varianza/>
- Ahmad, O. K. (2014). Effect of the Shape Surface of Absorber Plate on Performance of Built-in-Storage Solar Water Heater. *Journal of Energy and Natural Resources*, 3(5), 58. <https://doi.org/10.11648/J.JENR.20140305.11>
- Azúa-Barrón, M., Vázquez-Peña, M. A., Arteaga-Ramírez, R., Hernández-Saucedo, R., Azúa-Barrón, M., Vázquez-Peña, M. A., Arteaga-Ramírez, R., & Hernández-Saucedo, R. (2017). Sistema de adquisición de datos de bajo costo con la plataforma arduino. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(1), 1–12. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V8I1.67>
- Barrena Gurbillón, M. Á., Lobato Calderón, G. R., Gamarra Torres, O. A., Ordinola Ramírez, C. M., & Medina Castro, D. (2020). Eficiencia de una terma solar con un colector de cobre y otro de CPVC. *TAYACAJA*, 3(1). <https://doi.org/10.46908/RICT.V3I1.79>
- Calderón. (2019). *Universidad Nacional del Centro del Perú*, Recuperado el 13 de junio del 2023 desde https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5990/T010_200876_18_D.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cancapa, E. A., & Coyla, H. (2021). Universidad Peruana Unión. *Colector solar semiesférico de plástico para la obtención de agua caliente en condiciones*

altoandinas. Recuperado el 13 de junio del 2023, desde https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/4957/Erick_Tesis_Licenciatura_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Condor, Diana. (2018). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Evaluación del panel solar con HPDE articulado para la obtención de agua temperada de uso doméstico en la ciudad de Huaraz - 2016. Recuperado el 11 de julio del 2023; desde http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2460/T033_42372428_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Eficiencia energética en edificaciones urbanas, Ica. (2021). *Ñawparisun - Revista de Investigación Científica*, 3(Vol. 3, Num. 3), 31–36. <https://doi.org/10.47190/NRIC.V3I3.4>

Eficiencia térmica de un calentador solar doméstico de agua hecho con botellas plásticas, Chachapoyas, Amazonas - 2014. Retrieved June 6, 2022, from <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/261>

Eficiencia y capacidad de una terma solar con un colector de 1 m² de tubos verticales de cobre en Chachapoyas, Amazonas - 2014. Retrieved June 6, 2022, from <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/769>

Espinoza, F. (2017). Eficiencia de colectores solares con tubos verticales de PVC en termas solares, Amazonas, 2017 (Tesis de posgrado). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Amazonas, Perú.

Fathabadi, H. (2020). Novel low-cost parabolic trough solar collector with TPCT heat pipe and solar tracker: Performance and comparing with comercial flat-plate and evacuate tub solar collectors. *Solar Energy*, 195, 210-222.

Fraisse, G., Merlin, G., Pailha, M., Cloet, D. & Bernard, L. (2020) New concept of 3D bio-inspired solar termal collector. *Solar Energy*, 195, 329-339.

Huanes, M., Barrena, M. & De la Cruz, H. (2015). Eficiencia de una terma solar con colector de tubos verticales. *Semantic Scholar*, 26(2), 505-513.

Jean, B. Saavedra Villalta, P. A. (2019). *Universidad Nacional De Piura “Diseño,*

Implementación y Prueba De Un Sistema Para El Cálculo De La Eficiencia Térmica De Un Colector Solar De Placa Plana Para El Centro De Energías Renovables De La Escuela Ing. Electrónica y Eelecomunicaciones-unp Perú. 2019” Recuperado el 01 de junio del 2023, desde <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/2598/IEYT-SAA-VILL-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

La historia de los combustibles fósiles (The Story of Fossil Fuels) - William B. Rice - Google Libros. (2015). Retrieved November 18, 2022, from <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=hlEuDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=uso+de+combustibles+fosiles+en+el+tiempo&ots=aMJAKLy1mt&sig=FjBX9PI7zHjoo2eon4hhq56CuZ0#v=onepage&q&f=false>

Marino et al.,(2011). *Evaluación térmica solar de bajo costo construido con tubos de polietileno negro, según protocolo de ensayo PMI*. Recuperado el 04 de abril del 2023, desde <https://core.ac.uk/download/pdf/328878777.pdf>

Merino.(2007). Energías Renovables para todos - Energías Renovables https://www.energias-renovables.com/ficheroenergias/productos/pdf/cuaderno_GENERAL.pdf

Miguel A. Laborde & Roberto J.J. Williams. (2016). *Energía Solar (1a edición especial)*. Editorial-ANCEFN. <https://docplayer.es/34446199-Energia-solar-editores-miguel-a-laborde-roberto-j-j-williams.html>

Montenegro. (2013). Universidad Nacional Toribio Rodriguez de Mendoza de Amazonas. *Determinación de la eficiencia y capacidad de una terma solar con dos colectores en serie de 1m² cada uno*. Recuperado el 13 de junio del 2023, desde https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/997/FIA_125.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Muro, H. T., Bravo, C. P., Paredes, J. A., & Masco, L. C. (2019). Universidad Nacional Jorde Basadre Grohaman. *Evaluación De Una Terma Solar Construida Con Superficie Absorbadora De Latas De Aluminio*. *Ciencias*, 1(1), 60–65. <https://doi.org/10.33326/27066320.2017.1.837>

Negri, B. R., César, M., Soares, P., Carlos, A., Lisboa, L., & Bartoli, J. R. (2020). Low-

Cost Solar Heating Reservoir Manufactured by Double-Coating a Water Tank with Polymeric Materials. *Materials Proceedings 2020, Vol. 2, Page 14, 2(1), 14.*
<https://doi.org/10.3390/CIWC2020-06784>

Ordoñez.(2018). *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 Comparación De La Eficiencia De La Terma Solar Con Un Colector De 1m 2 Hecho De Tubos Verticales De Plástico y Otro De Cobre, En La.* Retrieved June 9, 2023, from
[https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/2967/Ordo%
c3%b1ez%20Serv%c3%a1n%20Marlith.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/2967/Ordo%c3%b1ez%20Serv%c3%a1n%20Marlith.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Palomo (2017). Universidad Politécnica de Madrid. Aislantes térmicos. Criterios de selección por requisitos energéticos. Recuperado el 09 de julio del 2023; desde https://oa.upm.es/47071/1/TFG_Palomo_Cano_Marta.pdf

Panagopoulos, O., & Argiriou, A. A. (2022). Low-Cost Data Acquisition System for Solar Thermal Collectors. *Electronics 2022, Vol. 11, Page 934, 11(6), 934.*
<https://doi.org/10.3390/ELECTRONICS11060934>

Pedro, B., López Marchán, H., & De Administración, C. (2012). *Facultad De Negocios. Estudio De Prefactibilidad Para La Implementación De Una Empresa Comercializadora De termas Solares En Trujillo y Victor Larco.* recuperado el 2012, desde [https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/6386/L%
c3%b3pez%20March%c3%a1n%2c%20Pedro.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/6386/L%c3%b3pez%20March%c3%a1n%2c%20Pedro.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Peña Marín, C. A. (2015). La Integración Numérica como recurso para el cálculo de la integral definida. Colombia.

Porras. (2019). Universidad Continental. Facultad de Ingeniería. Efecto de la eficiencia del colector plano de las termas solares Sol y Vida al adaptar una placa aislante tipo colmena de Abeja - Alto selva Alegre - Arequipa 2018. Recuperado el 03 de abril del 2023, desde [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repositoriodemo.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/5605/2/IV_FIN_107_TE_Porras_Cunyas_2019.pdf](http://repositoriodemo.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/5605/2/IV_FIN_107_TE_Porras_Cunyas_2019.pdf)

- Radiación solar y su aprovechamiento energético - Miguel Pareja Aparicio - Google Libros. (2010). Retrieved November 18, 2022, from <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=YkxOEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=energia+del+sol+aparicio+2020&ots=r8Ze8LKmcr&sig=qxigik5PgnUaT4x1Rj2qpxRfUuQ#v=onepage&q=energia del sol aparicio 2020&f=false>
- Saeed, Mahmood, H. Nazir et al.,(2023). Evaluación del rendimiento de un sistema colector de placa plana evacuado para aplicaciones de agua caliente sanitaria. Recuperado el 15 de junio del 2023, desde <https://asmedigitalcollection.asme.org/solarenergyengineering/article-abstract/145/5/051006/1156480/Performance-Evaluation-of-an-Evacuated-Flat-Plate>
- Seguidor Solar, optimizando el aprovechamiento de la energía solar. (2015). Retrieved November 18, 2022, from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012015000200008
- SENAMHi - Amazonas. (2022). Retrieved November 18, 2022, from <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=amazonas&p=estaciones>
- Spiegeler, C., & Cifuentes, J. (2015). Definición e Información de Energías Renovables. Escuela de Estudios de PostGrado, 11(2).
- Torres, H., Polo, C., Agreda, J. & Cáceres, L. (2019). Evaluación de una terma solar construida con superficie absorbadora de latas de aluminio. Ciencias, 1(1), 60-65.
- Trisos (south Africa,), Romero, J., Dodman, D., Geden ; Bronwyn, O., & Pörtner, H. ; H.-O. (2023.). Kaj-Ivar van der Wijst (The Netherlands), Gundula Winter (The Netherlands/Germany), Maximilian Witting (Germany) Review Editors: Paola Arias (Colombia), Mercedes Bustamante (Brazil), Ismail Elgizouli (Sudan), Gregory Flato (Canada), Mark Howden (Australia), Carlos Méndez (Venezuela). *Diriba Korecha Dadi*.
- Valera, P. A. (2007). Energía Solar II. Lima: Asamblea Nacional de Rectores -ANR. Lima, Perú.
- Vigo Cruz, Lady y Valle, Roymer. (2012). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de

Mendoza de Amazonas. *Eficiencia termica de un calentador solar de agua de 80 litros con colector de 1m²*. Recuperado el 13 de junio del 2023, desde https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/516/FIA_101.pdf?sequence=1

Water Research Foundation. (2016). *Residential end uses of water , Versión 2. Executive Report*. Recuperado el 15 de junio del 2023, desde https://www.circleofblue.org/wp-content/uploads/2016/04/WRF_REU2016.pdf

VIII. ANEXOS

Anexo 1

Tabla de precipitación acumulada por día, temperatura máxima, media y mínima correspondientes a los 30 días.

Fecha	Temperatura promedio ° C	Temperatura Max ° C	Temperatura Min ° C	Precipitación mm/ día
10/02/2023	14.8	19.5	12.9	8.8
11/02/2023	14.0	16.3	13.0	20.6
12/02/2023	13.7	15.6	12.9	42.8
13/02/2023	14.3	17.7	12.1	1.6
14/02/2023	15.3	19.4	13.3	6.0
15/02/2023	15.2	19.7	13.2	34.2
16/02/2023	15.9	21.9	13.2	0.6
17/02/2023	16.9	22.4	12.6	0.2
18/02/2023	16.6	22.4	12.9	0.0
19/02/2023	14.7	17.6	13.4	2.8
20/02/2023	16.1	21.9	13.1	0.0
21/02/2023	15.2	19.8	13.4	15.0
22/02/2023	14.3	17.2	13.1	22.2
23/02/2023	14.0	16.4	12.8	8.6
24/02/2023	14.8	19.5	10.8	0.0
25/02/2023	16.4	21.5	12.8	1.0
26/02/2023	15.1	17.9	13.1	5.6
27/02/2023	15.5	19.8	12.3	8.4
28/02/2023	13.9	16.2	11.8	0.4
1/03/2023	14.9	19.6	12.9	1.2
2/03/2023	15.3	20.5	12.1	1.0
3/03/2023	15.9	21.4	13.4	3.8
4/03/2023	16.1	21.2	13.2	2.4
5/03/2023	14.5	16.8	13.7	15.6
6/03/2023	15.2	20.4	12.6	9.8
7/03/2023	14.8	18.1	12.9	19.0
9/03/2023	16.6	22.1	13.1	5.2
10/03/2023	13.9	15.2	13.3	18.4
11/03/2023	15.5	20.0	12.8	2.2
12/03/2023	14.9	18.1	12.8	5.0

Anexo 2

Tabla general de evaluación de eficiencia térmica, correspondiente a los 30 días.

Fecha	Energía solar diaria /kwh/ m ²	Energía solar recibida/ kwh	Gradiente de temperatura/ °C	Masa del agua/g ramos	Coficiente/joule	Cantidad de energía absorbida	Eficiencia térmica
10/02/2023	3.75	4.73	13.87	80000	4.18	1.29	27.24%
11/02/2023	1.95	2.46	9.06	80000	4.18	0.84	34.27%
12/02/2023	1.69	2.12	4.87	80000	4.18	0.45	21.30%
13/02/2023	2.38	3.00	7.37	80000	4.18	0.68	22.82%
14/02/2023	2.79	3.51	9.00	80000	4.18	0.84	23.82%
15/02/2023	3.05	3.85	12.00	80000	4.18	1.11	28.99%
16/02/2023	4.22	5.31	17.37	80000	4.18	1.61	30.39%
17/02/2023	6.32	7.96	23.25	80000	4.18	2.16	27.14%
18/02/2023	5.60	7.05	25.63	80000	4.18	2.38	33.78%
19/02/2023	1.96	2.47	5.87	80000	4.18	0.55	22.08%
20/02/2023	4.37	5.51	15.87	80000	4.18	1.47	26.77%
21/02/2023	2.35	2.97	12.94	80000	4.18	1.20	40.53%
22/02/2023	2.89	3.64	11.00	80000	4.18	1.02	28.07%
23/02/2023	2.36	2.97	8.74	80000	4.18	0.81	27.35%
24/02/2023	3.83	4.83	17.94	80000	4.18	1.67	34.50%
25/02/2023	4.66	5.87	21.56	80000	4.18	2.00	34.12%
26/02/2023	1.99	2.51	12.06	80000	4.18	1.12	44.71%
27/02/2023	4.34	5.47	13.00	80000	4.18	1.21	22.07%
28/02/2023	4.32	5.45	13.68	80000	4.18	1.27	23.33%
1/03/2023	5.32	6.71	13.43	80000	4.18	1.25	18.60%
2/03/2023	4.96	6.25	18.68	80000	4.18	1.74	27.76%
3/03/2023	4.99	6.29	18.00	80000	4.18	1.67	26.59%
4/03/2023	4.48	5.65	11.99	80000	4.18	1.11	19.73%
5/03/2023	2.14	2.69	8.56	80000	4.18	0.80	29.52%
6/03/2023	6.01	7.57	12.50	80000	4.18	1.16	15.34%
7/03/2023	3.22	4.05	11.18	80000	4.18	1.04	25.64%
9/03/2023	4.85	6.11	13.24	80000	4.18	1.23	20.13%
10/03/2023	1.43	1.80	10.50	80000	4.18	0.98	33.48%
11/03/2023	4.45	5.61	17.25	80000	4.18	1.60	28.58%
12/03/2023	3.36	4.23	14.88	80000	4.18	1.38	32.67%

Anexo 3

Tabla de evaluación de eficiencia térmica cuando se utilizó el agua en el día

Fecha	Energía solar diaria /kwh/ m ²	Energía solar recibida/kwh	Gradiente de temperatura/ °C	Masa del agua/g ramos	Coficiente/joule	Cantidad de energía absorbida	Eficiencia
11/02/2023	1.95	2.46	9.06	80000	4.18	0.84	34.27%
17/02/2023	6.32	7.96	23.25	80000	4.18	2.16	27.14%
18/02/2023	5.60	7.05	25.63	80000	4.18	2.38	33.78%
20/02/2023	4.37	5.51	15.87	80000	4.18	1.47	26.77%
21/02/2023	2.35	2.97	12.94	80000	4.18	1.20	40.53%
25/02/2023	4.66	5.87	21.56	80000	4.18	2.00	34.12%
27/02/2023	4.34	5.47	13.00	80000	4.18	1.21	22.07%
28/02/2023	4.32	5.45	13.68	80000	4.18	1.27	23.33%
4/03/2023	4.48	5.65	11.99	80000	4.18	1.11	19.73%
6/03/2023	6.01	7.57	12.50	80000	4.18	1.16	15.34%
							Promedio 27.71%

Anexo 4

Tabla de evaluación de eficiencia térmica cuando se utilizó el agua en las noches

Fecha	Energía solar diaria /kwh/ m ²	Energía solar recibida/kwh	Gradiente de temperatura/ °C	Masa del agua/g ramos	Coficiente/joule	Cantidad de energía absorbida	Eficiencia
12/02/2023	1.7	2.1	4.87	80000	4.18	0.45	21.30%
14/02/2023	2.8	3.5	9.00	80000	4.18	0.84	23.82%
15/02/2023	3.1	3.8	12	80000	4.18	1.11	28.99%
26/02/2023	2.0	2.5	12.06	80000	4.18	1.12	44.71%
1/03/2023	5.3	6.7	13.43	80000	4.18	1.25	18.60%
3/03/2023	5.0	6.3	18.00	80000	4.18	1.67	26.59%
7/03/2023	3.2	4.1	11.18	80000	4.18	1.04	25.64%
9/03/2023	4.8	6.1	13.24	80000	4.18	1.23	20.13%
							Promedio 26.22%

Anexo 5

Tabla de evaluación de eficiencia térmica cuando no se utilizó el agua.

Fecha	Energía solar diaria /kwh/ m ²	Energía solar recibida/ kwh	Gradiente de temperatura/ °C	Masa del agua/g ramos	Coficiente/joule	Cantidad de energía absorbida	Eficiencia
10/02/2023	3.8	4.7	13.87	80000	4.18	1.29	27.24%
13/02/2023	2.4	3.0	7.37	80000	4.18	0.68	22.82%
16/02/2023	4.2	5.3	17.37	80000	4.18	1.61	30.39%
19/02/2023	2.0	2.5	5.87	80000	4.18	0.55	22.08%
22/02/2023	2.9	3.6	11.00	80000	4.18	1.02	28.07%
23/02/2023	2.4	3.0	8.74	80000	4.18	0.81	27.35%
24/02/2023	3.8	4.8	17.94	80000	4.18	1.67	34.50%
2/03/2023	5.0	6.3	18.68	80000	4.18	1.74	27.76%
5/03/2023	2.1	2.7	8.56	80000	4.18	0.80	29.52%
10/03/2023	1.4	1.8	10.50	80000	4.18	0.98	33.48%
11/03/2023	4.5	5.6	17.25	80000	4.18	1.60	28.58%
12/03/2023	3.4	4.2	14.88	80000	4.18	1.38	32.67%
							Promedio 28.70%