

**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 1m² HECHO DE TUBOS
VERTICALES DE PLÁSTICO Y OTRO DE COBRE, EN LA
CIUDAD DE CHACHAPOYAS, REGIÓN AMAZONAS, 2018.**

Autor: Marlith Ordoñez Serván

Asesor: Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón

Registro: (.....)

CHACHAPOYAS – PERÚ

2022

DATOS DEL ASESOR

Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón

DNI: 17969339

Registro ORCID: 0000-0002-4200-4101

<https://orcid.org/0000-0002-4200-4101>

Doctor en Ciencias e ingeniería

Campo de la Investigación y el Desarrollo según la Organización para la Cooperación y el
Desarrollo Económico (OCDE)

1.05.00 - Ciencias de la tierra, Ciencias Ambientales

1.05.08- Ciencias del medio ambiente

DEDICATORIA

A Dios, por darme salud para poder cumplir todas mis metas que me propuse para el desarrollo de la presente investigación.

A mi madre, por su paciencia, dedicación y consejos durante toda mi carrera profesional.

A mis hermanos, por sus consejos que me brindaron y su apoyo durante el desarrollo de la tesis.

Marlith

AGRADECIMIENTO

A mi madre, por su enorme esfuerzo, apoyo y dedicación para la construcción de las termas solares.

A mi hermano, por su apoyo incondicional para la construcción e instalación de las termas solares.

A mi asesor de tesis Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón, por sus consejos y orientaciones durante el desarrollo del presente estudio.

Al Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES), de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, por brindarme los datos meteorológicos para desarrollar el presente estudio.

Marlith

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

DR. POLICARPIO CHAUCA VALQUI
Rector

DR. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN
Vicerrector Académico

DRA. FLOR TERESA GARCÍA HUAMÁN
Vicerrectora de Investigación

Ph.D. RICARDO EDMUNDO CAMPOS RAMOS
Decano (e) de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS



UNTRM

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

ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

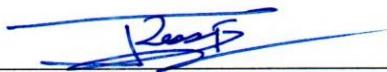
El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (x)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Comparación de la eficiencia de la termia solar con un colector de 1m² hecho de tubos verticales de plástico y otro de cobre, en la ciudad de Chachapoyas, Región Amazonas, 2018; del egresado Marlith Ordoñez Serván 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 2022


Firma y nombre completo del Asesor

JURADO EVALUADOR



Mg. JEFFERSON FITZGERALD REYES FARJE
PRESIDENTE



M.Sc. GINO ALFREDO VERGARA MEDINA
SECRETARIO



Mg. WILDOR GOSGOT ANGELES
VOCAL

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



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:

Comparación de la eficiencia de la termografía con un colector de 1m² hecho de tubos verticales de plástico y atraca cobre, en la Ciudad Chachapoyas, Región Amazonas, 2018,
presentada por el estudiante () /egresado (x) *Marlith Ordoñez Serván*
de la Escuela Profesional de *Ingeniería Ambiental*
con correo electrónico institucional *0610160122@untrm.edu.pe*

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

- La citada Tesis tiene *24* % 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.
- 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, *23* de *agosto* del *2022*

SECRETARIO

Ing. Gino Vergara Medina M.Sc.

PRESIDENTE

Ing. Jefferson F. Reyes Farje

VOCAL

Ing. Wildor Gosgot Angeles

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 3-5

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 19 de Septiembre del año 2022, siendo las 16:00 horas, el aspirante: Ordoñez Serván Marlith, defiende en sesión pública presencial (X) / a distancia () la Tesis titulada: Comparación de la Eficiencia de una terma solar con un Colector de 1m² hecho de tubos verticales de plástico (PVC) y otro de Cobre, en la ciudad de Chachapoyas, Amazonas 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: Mg. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje

Secretario: M.Sc. Gino Alfredo Vergara Medina

Vocal: Mg. Wildor Gasgot Angeles

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 (X) por Unanimidad (X)/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 17:20 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

[Firma]
SECRETARIO

[Firma]
PRESIDENTE

[Firma]
VOCAL

OBSERVACIONES:

ÍNDICE

DATOS DEL ASESOR	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS.....	v
VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS.....	vi
JURADO EVALUADOR.....	vii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS.....	viii
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS.....	ix
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii
I. INTRODUCCIÓN	18
II. MATERIAL Y MÉTODOS	20
2.1. Ubicación del lugar de estudio	20
2.2. Diseño de la investigación.....	20
2.3. Construcción de las termas solares.....	21
2.3.1. Criterios establecidos para la construcción de las termas solares	21
2.3.2. Construcción de la terma solar con un colector de 1m ² hecho de tubos verticales de plástico.....	22
2.3.2.1. Colector solar.....	22
a) Parrilla de tubos.....	22
b) Plancha metálica.....	23
c) Caja del colector solar	24
d) Soporte del colector.....	26
e) Ensamble del colector solar	27

2.3.2.2. Tanque de almacenamiento de agua caliente	27
a) Caja del tanque de almacenamiento del agua caliente	30
b) Soporte de la caja del tanque de almacenamiento	31
c) Controlador de nivel de agua	33
2.3.2.3. Sistemas de tuberías	33
2.3.3. Construcción de la terma solar con un colector de 1m ² hecho de tubos verticales de cobre	34
a) Parrilla de tubos.....	35
2.4. Evaluación de las termas solares	36
a) Llenado de la terma solares.....	36
b) Registro de datos experimentales.....	36
c) Eficiencia de la terma solar	37
III. RESULTADOS	39
3.1. Eficiencia térmica de la terma solar con un colector de 1m ² hecho de tubos verticales de plástico.....	39
3.1.1. Días soleados	39
3.1.2. Días combinados.....	42
3.1.3. Días nublados	44
3.2. Eficiencia térmica de la terma solar con un colector de 1m ² hecho de tubos verticales de cobre	47
3.2.1. Días soleados	47
3.2.2. Días combinados.....	49
3.2.3. Días nublados	52
3.3. Comparación de la eficiencia térmica de las termas solares	54
IV. DISCUSIÓN	56
V. CONCLUSIONES.....	58

VI. RECOMENDACIONES	59
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
Anexo 1. Datos experimentales de evaluación de la terma solar con un colector de 1m² hecho de tubos verticales de plástico y otra de cobre	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos experimentales promedio de evaluación del calentador solar hecho de tubos verticales de plástico en días soleados	62
Tabla 2. Datos experimentales promedio de evaluación del calentador solar hecho de tubos verticales de plástico en días combinados	63
Tabla 3. Datos experimentales promedio de evaluación del calentador solar hecho de tubos verticales de plástico en días nublados	64
Tabla 4. Datos experimentales promedio de evaluación del calentador solar hecho de tubos verticales de cobre en días soleados	65
Tabla 5. Datos experimentales promedio de evaluación del calentador solar hecho de tubos verticales de cobre en días combinados	66
Tabla 6. Datos experimentales promedio de evaluación del calentador solar hecho de tubos verticales de cobre en días nublados	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del distrito de Chachapoyas.	20
Figura 2. Diseño de la investigación.....	21
Figura 3. Esquema de instalación de la terma solar.....	22
Figura 4. Dimensiones finales de la parrilla de tubos de ½”..	23
Figura 5. Plancha metálica fijada en la parrilla de tubos del colector.	24
Figura 6. Armado de la caja del colector.	25
Figura 7. Dimensiones del soporte del colector.....	26
Figura 8. Ensamblaje del colector solar.....	27
Figura 9. Tanque de almacenamiento construido.	28
Figura 10. Forrado del tanque de almacenamiento.....	29
Figura 11. Orificios de la tapa del tanque.	29
Figura 12. Dimensiones de la caja del tanque..	30
Figura 13. Caja del tanque.	31
Figura 14. Medidas del soporte para la caja del tanque.	32
Figura 15. Soporte de la caja del tanque.....	32
Figura 16. Controlador de nivel de agua.	33
Figura 17. Aislamiento térmico del sistema de tuberías.....	34
Figura 18. Dimensiones de la parrilla de tubos de cobre para el colector solar..	35
Figura 19. Registrando los datos experimentales según el tipo de día (soleado, combinado y nublado)	37
Figura 20. Temperaturas y radiación solar según el tiempo de evaluación de la terma solar en días soleados.	40
Figura 21. Cálculo de la radiación solar en kWh/m ² , para días soleados aplicando método del área de los rectángulos debajo de la curva.....	41
Figura 22. Temperaturas y radiación solar según el tiempo de evaluación de la terma solar en días combinados.....	42
Figura 23. Cálculo de la radiación solar en kWh/m ² , para días combinados aplicando método del área de los rectángulos debajo de la curva.....	43

Figura 24. Temperaturas y radiación solar según el tiempo de evaluación de la terma solar en días nublados.	45
Figura 25. Cálculo de la radiación solar en kWh/m ² , para días nublados aplicando método del área de los rectángulos debajo de la curva.	46
Figura 26. Temperaturas y radiación solar según el tiempo de evaluación de la terma solar en días soleados.	47
Figura 27. Cálculo de la radiación solar en kWh/m ² , para días soleados aplicando método del área de los rectángulos debajo de la curva.	48
Figura 28. Temperaturas y radiación solar según el tiempo de evaluación de la terma solar en días combinados.	50
Figura 29. Cálculo de la radiación solar en kWh/m ² , para días combinados aplicando método del área de los rectángulos debajo de la curva.	51
Figura 30. Temperaturas y radiación solar según el tiempo de evaluación de la terma solar en días nublados.	52
Figura 31. Cálculo de la radiación solar en kWh/m ² , para días nublados aplicando método del área de los rectángulos debajo de la curva.	53
Figura 32. Comparación de la eficiencia térmica con colector hecho de CPVC y otro de cobre según el tipo de día (soleado, nublado y combinado).	54

RESUMEN

En el presente estudio, se comparó la eficiencia térmica de una terma solar con un colector hecho de tubos verticales de plástico y otra de cobre, en la provincia de Chachapoyas, departamento Amazonas, ubicada a una altitud de 2350 msnm. Para realizar esta comparación se construyó dos termas solares una con colector hecho de tubos verticales de plástico y otra de cobre. Ambas termas tuvieron un tanque de 80 litros aproximadamente donde se almacenó el agua caliente. Se evaluó cada terma solar según la temperatura del agua en el tanque, tipo de día y la radiación solar. Se registró los datos durante el periodo de un mes desde las 8:00 hasta las 16:00 horas con una frecuencia de 30 minutos. La eficiencia térmica para cada terma se calculó como el cociente entre la energía térmica útil y la energía solar recibida; para la terma solar con colector hecho de tubos verticales de plástico se obtuvo según los diferentes tipos de días: soleados 39%, combinados 35% y nublados 30 % y para la terma solar con colector hecho de tubos verticales de cobre se obtuvo para días: soleados 38%, combinados 33% y nublados 28 %. En conclusión, de la comparación de la eficiencia de ambos calentadores, el calentador solar con un colector hecho de tubos verticales de plástico fue más eficiente que la otra de cobre.

Palabras clave: terma solar, agua caliente, radiación solar y eficiencia térmica.

ABSTRACT

In the present study, the thermal efficiency of a solar water heater was compared with a collector made of vertical plastic pipes and another of copper, in the province of Chachapoyas, department of Amazonas, located at an altitude of 2350 meters above sea level. To make this comparison, two solar thermal baths were built, one with a collector made of vertical plastic tubes and the other made of copper. Both hot springs had a tank of approximately 80 liters where the hot water was stored. Each solar thermal bath was evaluated according to the temperature of the water in the tank, type of day and solar radiation. The data was recorded during the period of one month from 8:00 a.m. to 4:00 p.m. with a frequency of 30 minutes. The thermal efficiency for each thermal bath was calculated as the ratio between the useful thermal energy and the solar energy received; for the solar water heater with a collector made of vertical plastic tubes, it was obtained according to the different types of days: sunny 39%, combined 35% and cloudy 30% and for the solar water heater with a collector made of vertical copper tubes, it was obtained for days: sunny 38%, combined 33% and cloudy 28%. In conclusion, from the comparison of the efficiency of both heaters, the solar heater with a collector made of vertical plastic tubes was more efficient than the one made of copper.

Keywords: solar thermal, hot water, solar radiation and thermal efficiency.

I. INTRODUCCIÓN

El calentamiento de agua alcanza un uso energético muy importante en una vivienda en donde tiene varios usos dentro de un hogar. Se realizaron diversos estudios sobre la medida del uso, estableciendo que el uso promedio es de 40 litros en un día y por persona. Dentro de los países que están en desarrollo, el uso energético para obtener agua caliente sanitaria (ACS) se establece entre el 30 y el 40% en una vivienda. Este porcentaje se incrementó en aquellos países más desarrollados donde el uso energético para obtener agua caliente sanitaria (ACS) fue considerado en un 26% del uso total en un hogar. En los últimos años, el uso del agua caliente empezó a incrementar en las zonas de frío (Maarten, Mwesigye & Huan, 2017).

El incremento de la demanda energética doméstica por el consumo del agua caliente sanitaria afecta al medio ambiente. Durante estos últimos años pocas empresas están optando por la utilización de fuentes renovables como sistemas solares térmicos para cubrir dicha demanda (Torres, 2017). Los sistemas solares térmicos son una alternativa que contribuyen en la disminución del uso energético dentro de los sectores residenciales. Esto consiste en sustituir las duchas eléctricas por las termas solares; por lo tanto, esto aportará reduciendo la emisión de los gases de efecto invernadero (Maarten, Mwesigye & Huan, 2017).

Las termas solares son equipos térmicos utilizados para proveer de agua caliente en las viviendas y funcionan mediante el efecto termosifón (Alfaro y Crespo, 2019). Según la tecnología y materiales implementados estos equipos alcanzan una mayor eficiencia captando la energía solar. Se componen principalmente de un colector que absorbe la radiación solar y de un tanque que sirve para acumular el agua. Estos equipos dependen del ángulo en que está orientado el colector solar con respecto a la superficie terrestre y su ubicación con respecto a la trayectoria del sol, para su mejor funcionamiento (Maarten et al., 2017).

Los colectores solares están elaborados con la finalidad de absorber, transferir y transportar energía solar por circulación de un fluido a través de tuberías (Torres, 2017). La duración de los materiales empleados en estos colectores, ya sean metálicos o poliméricos, darán como producto la disminución o incremento de su vida útil. Existen diversos tipos de colectores

para calentar agua en el hogar, los más utilizados a nivel mundial son los colectores de placa plana (Diamantino, Carvalho, Nunes, e Ferreira, 2016).

El costo de los calentadores solares para su operación es menor con respecto a las duchas eléctricas. En algunos países, estos equipos se convirtieron en una tecnología muy económica. Según, los materiales utilizados para construir una terma aumentan o disminuye su tiempo de vida útil (15 años aproximadamente) (Gamio, 2014). Son muy eficientes según las condiciones meteorológicas, las cuales influyen de manera directa sobre el sistema (Rodríguez, López, Araiza, Olvera y Dorrbercker, 2016).

En el caso de Perú, existen diversos climas en todo el país, por esta razón es beneficioso instalar una terma solar en una vivienda por la reducción del consumo de la energía utilizado para el calentamiento del agua. La reducción del costo llega desde 50% - 75% aproximadamente o llega a un 100% al reemplazar totalmente por las duchas convencionales, contribuyendo así en la eliminación del uso de gas licuado de petróleo o electricidad (Alfaro y Crespo, 2019). Dentro del país, su uso no está muy difundido por su desconocimiento en algunos sectores y la falta de propuestas de bajo costo que estén al alcance de la población para producir agua caliente (Torres, 2017).

Por ello, el estudio tuvo un objetivo general que fue comparar la eficiencia de un calentador solar con colector de 1m² hecho de tubos verticales de plástico y otro de cobre, en el Distrito de Chachapoyas, Región Amazonas, 2018 para lo que se construyó un calentador con colector solar de tubos verticales de CPVC de ½” y otra con tubos de cobre de ½”; así como evaluar la eficiencia térmica para cada terma solar instalada en días soleados, combinados y nublados.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Ubicación del lugar de estudio

Esto fue realizado en la ciudad de Chachapoyas, capital de la Región Amazonas, ubicada a una altitud de 2350 msnm. Sus coordenadas son de 6°13'01" Latitud S y 77°51'00" Longitud O.

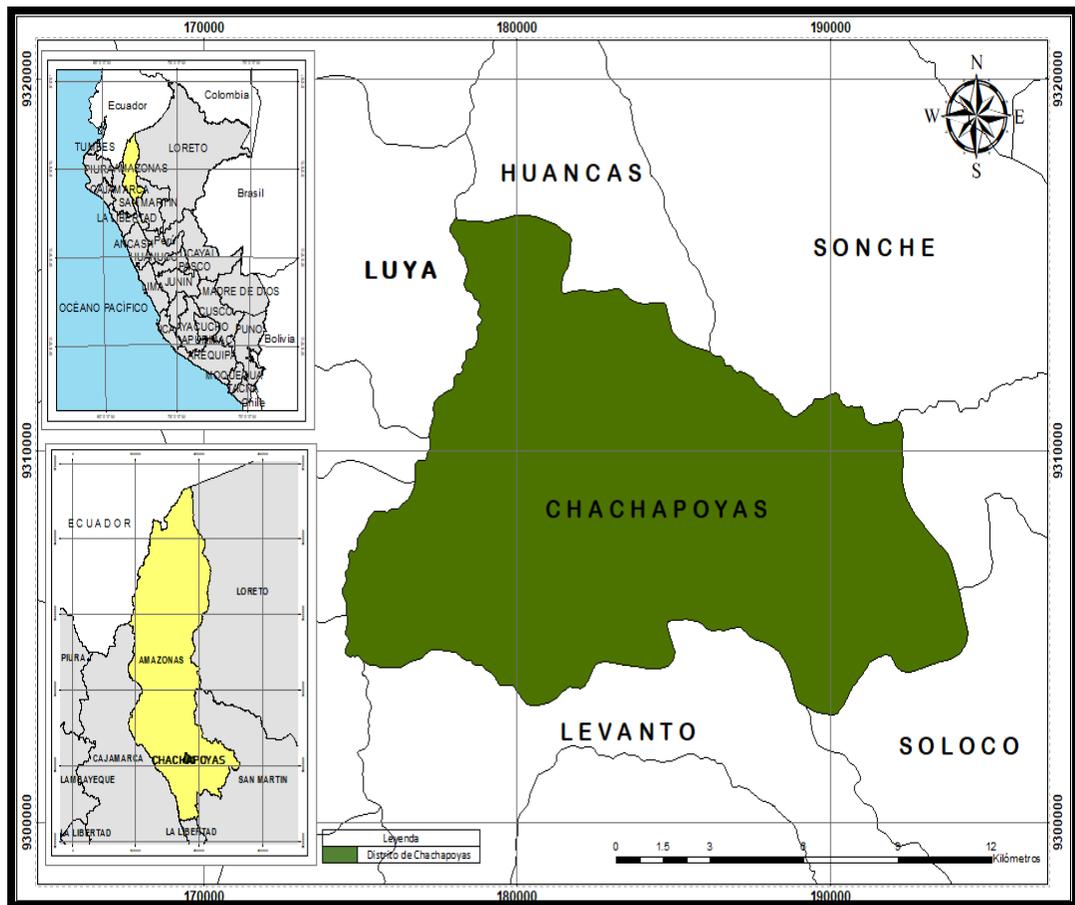


Figura 1. Mapa de ubicación del distrito de Chachapoyas.

2.2. Diseño de la investigación

Determinamos la eficiencia térmica de dos termas solares mediante la radiación solar del lugar (Distrito de Chachapoyas), esto determinó tanto el tipo de día: soleado (mayor a 800 W/m²), combinado (600 a 800 W/m²) y nublado (0 a 600 W/m²) como la temperatura del agua en el tanque (°C), según los datos obtenidos se evaluó la

eficiencia de cada terma. Finalmente, se realizó la comparación de la eficiencia térmica entre ambos sistemas y se fundamentó la eficiencia térmica de cada uno de ellos según los materiales utilizados en el colector solar.

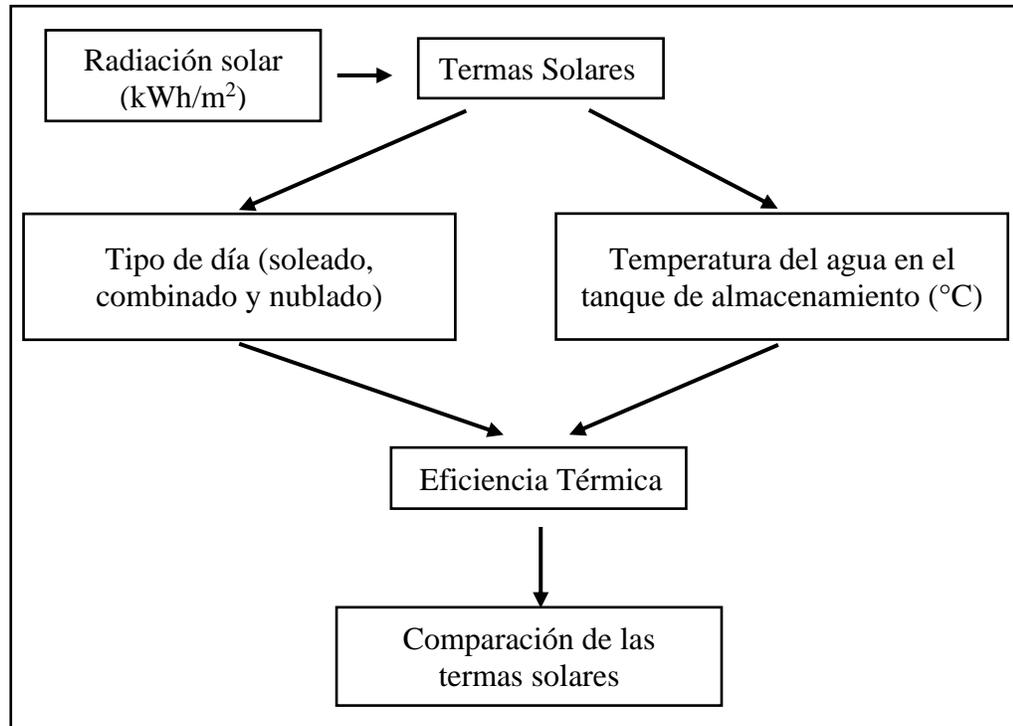


Figura 2. *Diseño de la investigación.*

2.3. Construcción de las termas solares

2.3.1. Criterios establecidos para la construcción de las termas solares

Se construyeron dos termas solares una con un colector de 1m² hecho de tubos verticales de plástico y otra de cobre en el Distrito de Chachapoyas, de acuerdo a los criterios establecidos por (Huanes, De la Cruz y Barrena, 2015), como se puede observar en la Figura 3.

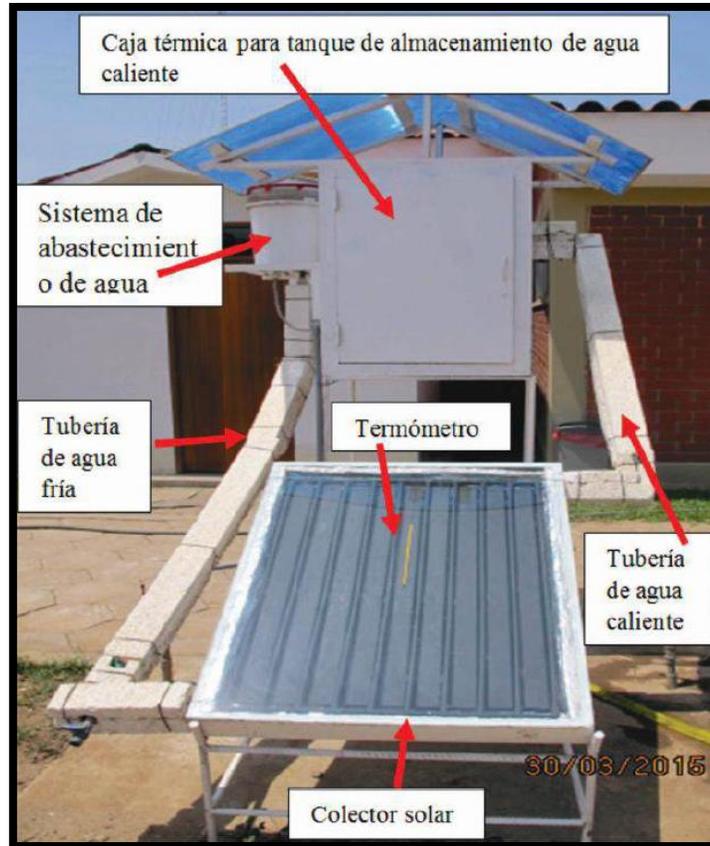


Figura 3. Esquema de instalación de la terma solar. Fuente: (Huanes, et al., 2015).

2.3.2. Construcción de la terma solar con un colector de 1m² hecho de tubos verticales de plástico

2.3.2.1. Colector solar

a) Parrilla de tubos

Las dimensiones de la parrilla fueron de 74 cm x 104 cm (Figura 4). Esta se construyó con 10 tubos de CPVC de 1/2" x 1 m de largo. Estos fueron unidos en ambos extremos con: 18 tes de CPVC, 2 codos de 90° CVPC y 18 niples de CPVC de 6 cm, utilizando el pegamento Oatey para tubería de CPVC. Para el ingreso del agua hacia la parrilla se pegó a la te un niple de PVC de 1/2" x 15

cm de largo y a su extremo se colocó una unión universal de 1/2". Para la salida del agua del colector hacia el tanque se pegó a la te un niple de PVC de 1/2"x 15 cm de largo y a su extremo se pegó un codo de 90°. Cuando secó completamente se utilizó una manguera para probar que no tenga fuga. Luego se pintó la parrilla con esmalte negro mate.

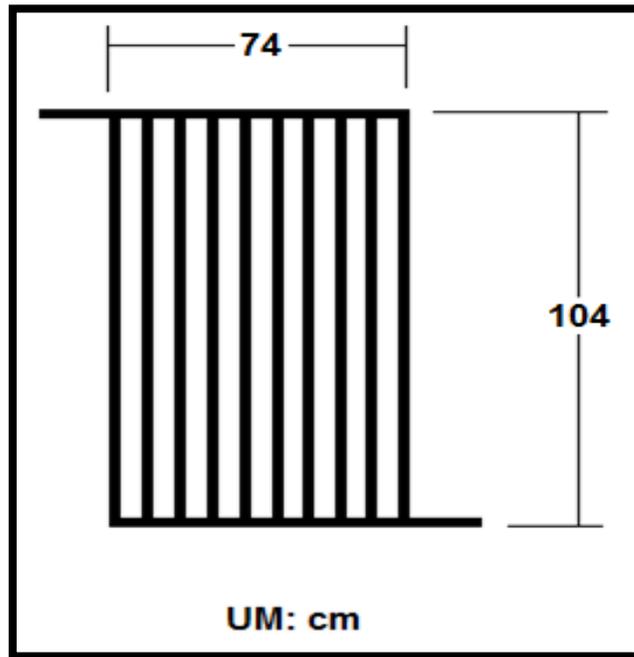


Figura 4. Dimensiones finales de la parrilla de tubos de 1/2". Fuente: (Fernández y Tuesta, 2014).

b) Plancha metálica

Para esto utilizamos plancha de calamina galvanizada con 0.22mm de espesor con medidas de 0.80 m x 3.60 m. Se cortó la calamina midiendo con una cinta métrica el interior de la caja del colector tanto como su largo y ancho para que entre exactamente dentro de este. Para pintar la plancha utilizamos el mismo esmalte que se utilizó en la parrilla, esto sirvió para que absorba mejor tanto la radiación solar directa como difusa, encima de este fijamos la parrilla, para ello se amarró en tres puntos con alambre galvanizado para que se aseguré bien la parrilla de tubos (Figura 5).



Figura 5. *Plancha metálica fijada en la parrilla de tubos del colector.*

c) Caja del colector solar

El marco de la caja se construyó con regla de aluminio de 4 cm x 8 cm, sus dimensiones fueron de 114 cm x 84 cm, con un taladro se hizo dos orificios con 1/2" de grosor, se hizo una para la entrada del agua fría (esquina inferior derecha) y la otra para la salida del agua caliente (en la esquina superior izquierda). Encima de éste se ubicó la plancha de triplay con 4 mm de espesor. Sobre este acomodamos una plancha de tecnopor de 1" y también en las caras laterales del interior de la caja. Donde se colocó el tecnopor se forró con papel de aluminio para que sirva como aislante térmico. Sobre el fondo se colocó una plancha de calamina pintada fijada a la parrilla de tubos ambos pintados con esmalte negro mate (Figura 6).



Figura 6. Armado de la caja del colector.

d) Soporte del colector

Este soporte se construyó de varillas rectangulares de acero de 3/4". Las dimensiones de este se muestran en la Figura 7. Además, se pintó con pintura esmalte brillante de color blanco.

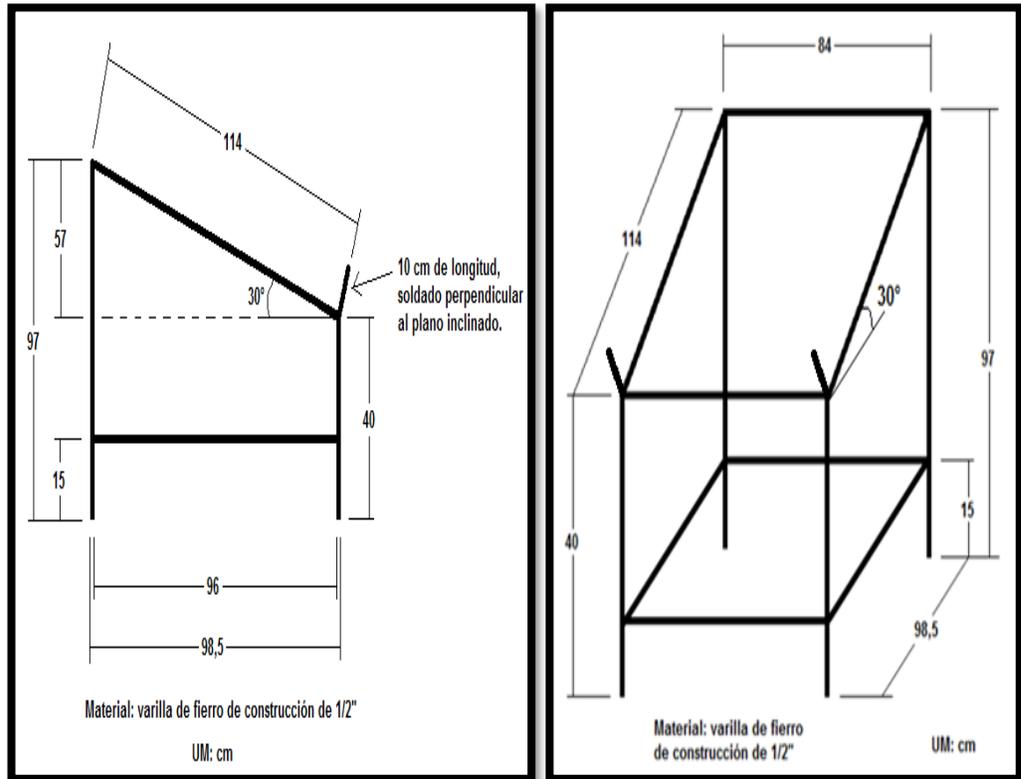


Figura 7. Dimensiones del soporte del colector. Fuente: (Fernández y Tuesta, 2014).

El colector fue ubicado en la línea norte-sur, con un ángulo de inclinación de 30° para que captará mejor el sol durante la evaluación. La parte extrema más baja del colector se colocó a 40 cm del suelo. Por otro lado, el tanque fue ubicado detrás del colector, con una altura de 35 cm del extremo superior del colector, lo cual evitó que este le haga sombra. El colector se colocó encima de una estructura hecha de varillas de hierro de 3/4", lo cual fue pintado con esmalte brillante de color blanco.

e) **Ensamble del colector solar**

Cuando la caja estuvo armada en el medio de cada parrilla se amarró en dos puntos con alambre de cobre un termómetro de vidrio de -10°C a 150°C , mostrando los números para poder tomar los datos de la temperatura. Después, se hecho silicona alrededor del extremo superior de la caja y colocamos encima de esto la plancha de vidrio con 4 mm de espesor (Figura 8).



Figura 8. *Ensamblaje del colector solar.*

2.3.2.2. **Tanque de almacenamiento de agua caliente**

Utilizamos un tanque de forma cilíndrica de polietileno, su capacidad fue de 80 litros, este sirvió para acumular el agua caliente que llega del colector. Para ello se le realizó un orificio de $1/2''$ a los 15 cm de la base, esto se utilizó tanto para el ingreso del agua hacia el tanque asimismo sirvió para el agua que sale del tanque hasta el colector, donde ubicamos un tubo de $1/2'' \times 30$ cm. Sin embargo, para el segundo orificio $1/2''$ se realizó de a los 20 cm del borde superior del

tanque que sirvió para el ingreso del agua caliente a la ducha. El tercer orificio se realizó a los 3 cm más abajo del segundo orificio que sirvió para el ingreso del agua que está caliente, lo cual viene del colector al tanque. Para realizar todas estas conexiones se utilizaron: niples de 1/2" de 12 cm de largo, empaquetadura de jebe microporoso de 1/4", tuercas y contratuercas (media unión universal de PVC de 1/2" con rosca) (Figura 9).



Figura 9. *Tanque de almacenamiento construido.*

Luego pegamos cada conexión verificando que no tenga ninguna fuga y se procedió a forrar con tecnoport de 1". Para poder forrarlo se midió la medida del largo y ancho del tanque con una cinta métrica. Después de esto se utilizó un cúter para realizar mínimos cortes cada de 10 cm por la parte del ancho del tecnoport para facilitar el forrado. Se procedió a envolver el tanque con el tecnoport utilizando una cinta de embalaje por todo su alrededor (Figura 10).

Después de forrar el tanque se realizó cinco orificios en su tapa del tanque con un clavo caliente para que salga el vapor (Figura 11).



Figura 10. *Forrado del tanque de almacenamiento.*



Figura 11. *Orificios de la tapa del tanque.*

a) Caja del tanque de almacenamiento del agua caliente

Esto fue construido mediante las medidas que se señalan en la Figura 12. Se utilizó tanto listones de madera como planchas de triplay. Dentro de este se colocó dos planchas de tecnoport 1" una encima de la otra. Dicha caja tiene una puerta de triplay donde se le colocó una bisagra roller cash shapito para que este más seguro el tanque. Además, se hizo el techo hecho con listones de madera y calamina, este se sujetó a la caja con clavos (Figura 13).

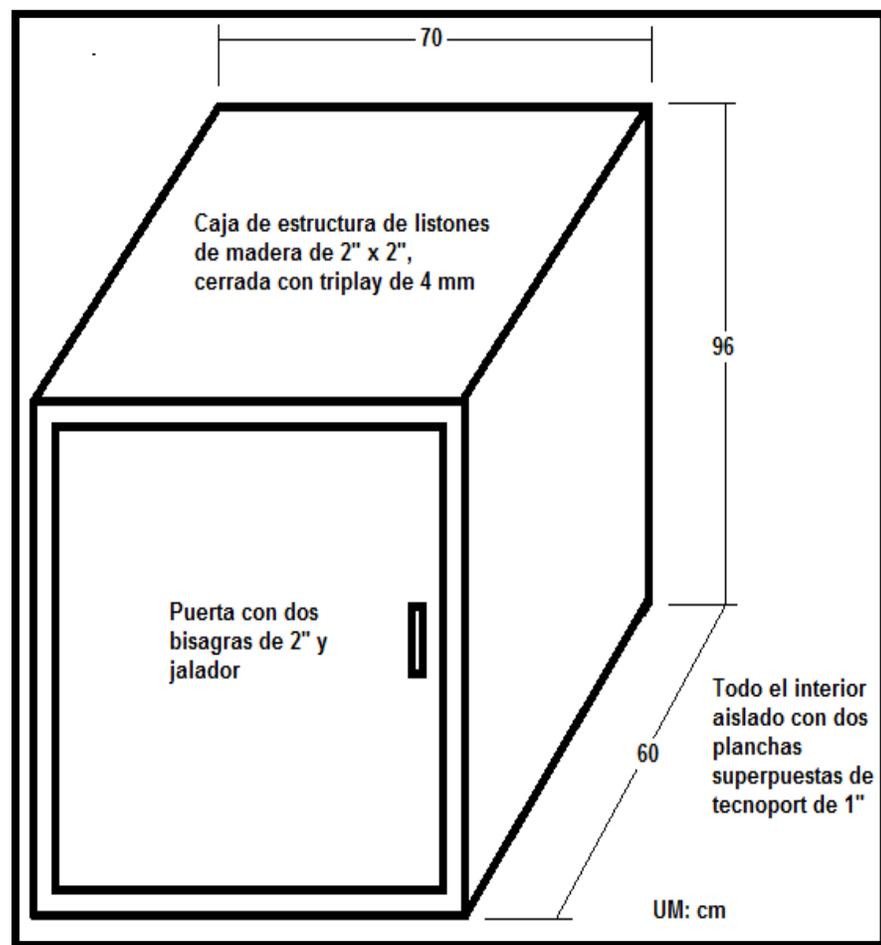


Figura 12. Dimensiones de la caja del tanque. Fuente: (Fernández y Tuesta, 2014).



Figura 13. *Caja del tanque.*

b) Soporte de la caja del tanque de almacenamiento

Este soporte fue construido por varillas rectangulares (acero de 3/4") (Figura 14). Las medidas de este se señalan en la Figura 8. Se pintó dicho soporte con esmalte brillante de color blanco y este se ubicó a los 35 cm por encima del colector. Encima de este se ubicó la caja utilizando pernos para asegurarlo bien a la estructura de este (Figura 15).

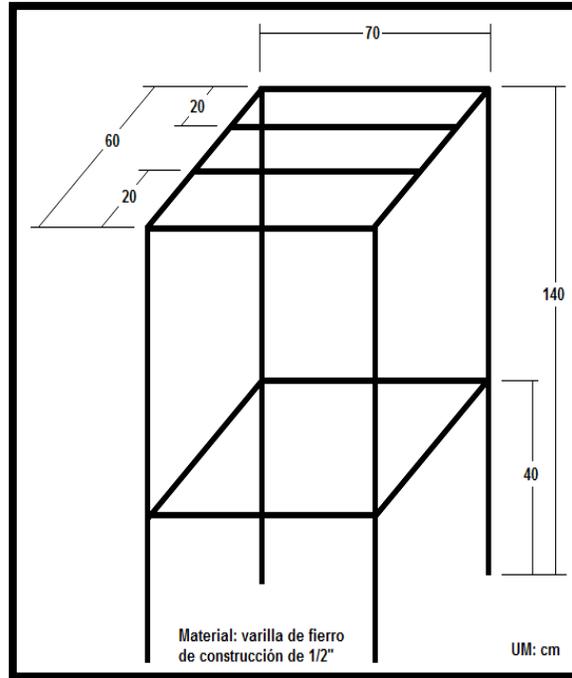


Figura 14. Medidas del soporte para la caja del tanque. Fuente: (Fernández y Tuesta, 2014).



Figura 15. Soporte de la caja del tanque.

c) Controlador de nivel de agua

Al lado derecho de la caja del tanque ubicamos la repisa de madera a una altura apropiada y así mantener el nivel del agua dentro del tanque para esto se utilizó pernos para asegurarlo bien y sostenga al controlador. Además, este se constituyó por una válvula de tanque de wáter. Esta válvula se instaló dentro de un balde de plástico de 18 litros que se colocó encima de la repisa (Figura 16).



Figura 16. *Controlador de nivel de agua.*

2.3.2.3. Sistemas de tuberías

Las tuberías y accesorios que se utilizaron fueron de PVC pesado de 1/2", para que circule el agua fría y el agua caliente. La tubería que conduce el agua fría se inició utilizando una unión universal, después una te con 90° de costado para unir a un niple de 1/2" de PVC que se une con otra te de 90° y en la rama libre se conectó un respirador de 50 cm aproximadamente. Después, se utilizó un codo con 90° y seguidamente una te de 90° y en su rama libre se conectó el termómetro (-10 a 150 °C) introducido dentro de un tapón macho que sirvió para tomar los datos de la temperatura del agua que viene de la red de abastecimiento antes que ingrese al colector. Para conducir al agua caliente se empezó con codo de 90°, luego una te con 90° y en su rama libre conectamos

otro termómetro, esto ayudó a determinar la temperatura del agua que sale del colector, enseguida lo unimos con el codo de 90° y luego con la unión universal se acopló en el tanque. Luego de comprobar que no tenga fuga todo el sistema se procedió a forrar las tuberías para esto se utilizó 6 bloques de tecnopor de 0.30 x 0.5 x 1.5 m, en donde se realizaron 3 cortes por el lado donde media 0.30 m, luego a cada una de estas se cortaron longitudinalmente en dos partes las cuales fueron enumeradas (cada una con su par). A las dos partes finales de cada una se le realizó un corte en V a todo lo largo para que entren dentro de este las tuberías, lo cual sirvió como aislamiento térmico. Encima de estas se envolvió con cinta masking de 3/4" para asegurar bien ambas partes (Figura 17).



Figura 17. Aislamiento térmico del sistema de tuberías.

2.3.3. Construcción de la terma solar con un colector de 1m² hecho de tubos verticales de cobre

Para construir esta terma se realizó casi el mismo procedimiento de la terma de plástico sólo se diferenció en la parrilla de tubos, lo cual se describe:

a) Parrilla de tubos

Las dimensiones de la parrilla fueron de 74 cm x 104 cm (Figura 19). Esta se construyó con 10 tubos de cobre de 1/2" x 1 m de largo. Para unir ambos extremos se utilizaron: 18 tes de cobre, 2 codos de 90° cobre y 18 niples de cobre de 6 cm, utilizando soldadura. Para el ingreso del agua hacia la parrilla soldamos a la te un niple de PVC de 1/2"x 15 cm de largo y a la otra parte extrema soldamos un adaptador de bronce de 1/2", donde se conectó a una unión universal de 1/2". Para la salida del agua del colector hacia el tanque se soldó a la te un niple de PVC de 1/2"x 15 cm de largo y a su extremo también soldamos otro adaptador donde se conectó a una unión universal de 1/2". Después que se unió todas las conexiones se utilizó una manguera para probar que no hubiera fuga. Luego se pintó la parrilla con esmalte negro mate (Figura 18).

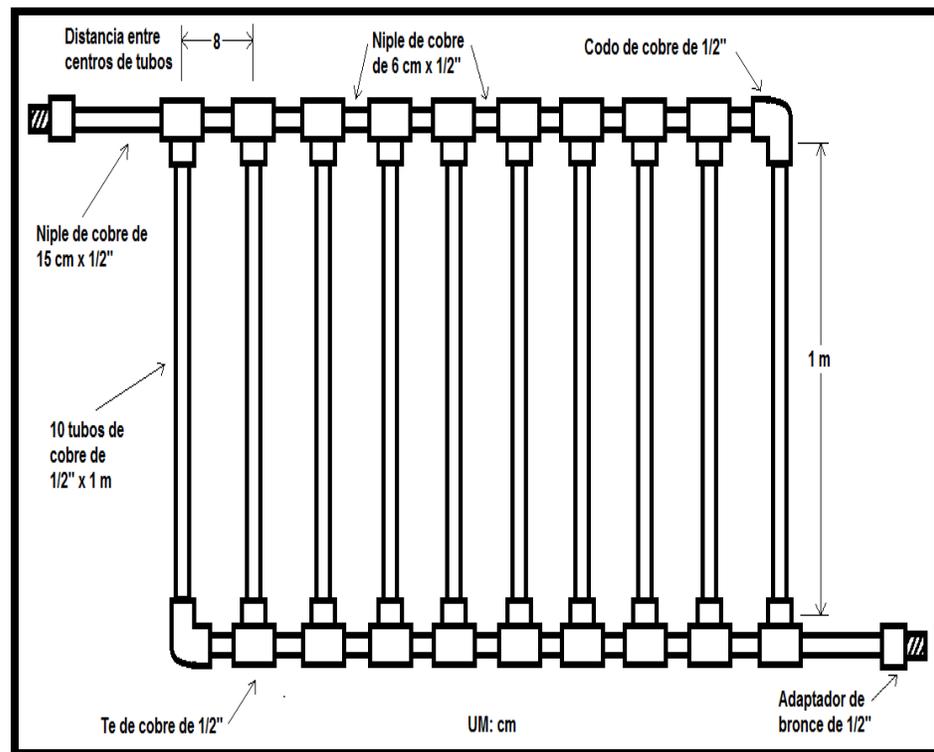


Figura 18. Dimensiones de la parrilla de tubos de cobre para el colector solar.
Fuente: (Fernández y Tuesta, 2014).

2.4. Evaluación de las termas solares

a) Llenado de la terma solares

Se empezó abriendo las llaves de la entrada del agua de la red, así inició la circulación del agua ingresando al balde mediante la válvula de wáter, después este circuló por los tubos de PVC de 1/2" hasta la parte más profunda del tanque y luego se dirigió a la parte más baja del colector, antes del ingreso del agua hacia el colector se colocó un termómetro de -10°C a 150°C para medir la temperatura del agua fría. Debido al calor en colector el agua ascendió por la parrilla de tubos y luego ingresó al tanque aislado para su almacenamiento, antes del ingreso del agua hacia el tanque se colocó un termómetro de -10°C a 150°C para medir el agua caliente. Al llenarse cada tanque se cerró la entrada de agua debido al uso del controlador, por lo que ambas termas quedaron listas para su funcionamiento y se empezó a registrar los datos de las temperaturas.

b) Registro de datos experimentales

Para las dos termas solares se midieron las temperaturas con termómetros de vidrio de -10°C a 150°C . La temperatura del agua de cada calentador fue medida en cuatro puntos: en el interior de cada colector, en la alimentación al colector, en la salida de cada colector y también en cada uno de los tanques. Estos datos se registraron según el tipo de día (soleado, combinado y nublado) desde las 8:00 hasta las 16:00 horas, cada 30 minutos, por el período de un mes. Para tomar los registros se tomó en cuenta lo siguiente:

- Soleados: intervalo de tiempo durante el día evaluado con presencia del sol (mayores a 800 W/m^2).
- Combinados: intervalo de tiempo durante el día evaluado con poca presencia del sol (600 a 800 W/m^2)

- Nublados: intervalo de tiempo durante el día con ausencia total del sol (0 a 600 W/m²).

Por otro, para obtener los datos en los días evaluados de la radiación solar y también de la temperatura ambiente solicitamos a los del personal del INDES-CES que tienen a su cargo la Estación Meteorológica de la UNTRM, puesto que se encontraba cerca al lugar donde se ubicaron las termas evaluadas. (Figura 21).



Figura 19. Registrando los datos experimentales según el tipo de día (soleado, combinado y nublado)

c) Eficiencia de la terma solar

Para determinar su eficiencia de cada terma según el tipo de día, se utilizó la misma fórmula que ha sido empleada en investigaciones sobre terma solar en la UNTRM-A (Vigo y Trigo, 2012; Montenegro, 2013), la cual fue la siguiente:

ηE = Energía térmica útil o ganada/ energía solar recibida

Energía térmica útil: $E_T = m \cdot c \cdot \Delta T$

Donde:

m: masa de agua en la terma: 100 L = 1×10^5 g

c: calor específico del agua = 4,18 J/g. °C

ΔT = Temperatura máxima del agua (a las 4:00 pm) – Temperatura del agua en el tanque al inicio (a las 8:00 am) en °C.

Energía solar recibida: $E_S = e_s \cdot A$

Donde:

e_s : Es el área bajo la curva de la radiación solar vs los intervalos de tiempo, calculada mediante el método del área de los rectángulos debajo la curva.

A: Área del colector solar en m^2 .

III. RESULTADOS

El sol generó la radiación solar tanto directa como difusa provocando de esa manera el efecto invernadero en la parte interna de los colectores solares. Este calor absorbido transfirió a las planchas metálicas y a las parrillas de tubos. La parrilla de tubos al calentarse generó un incremento de temperatura en el agua contenida dentro de estas, provocando una disminución en la densidad del agua, generando de esta manera el efecto termosifón. Entonces, el agua que se calentó fluyó a la parte más alta de las parrillas de tubos y ahí se dirigió hasta el tanque; así el ciclo se siguió repitiendo continuamente en el transcurso de las horas hasta el momento en donde la temperatura del agua que salía del colector llegue a ser la misma que la temperatura del agua caliente en el interior del tanque. Para realizar cada evaluación se cambiaba el agua completamente de ambas termas. Los datos que se registraron en el período de evaluación fueron agrupados según el tipo de día: soleado, combinado y nublado. Cada día que se evaluó las termas solares se realizó desde las 8:00 am hasta las 16:00 pm por cada 30 minutos. Los resultados para cada terma fueron obtenidos calculando la eficiencia según el tipo de día evaluado. Según estos resultados se realizó la comparación de la eficiencia térmica entre ambas termas.

3.1. Eficiencia térmica de la terma solar con un colector de 1m² hecho de tubos verticales de plástico

3.1.1. Días soleados

Fueron considerados aquellos días donde hubo presencia del sol en el período que se evaluó. Durante esos días la terma obtuvo mayores temperaturas del agua dentro del tanque, alcanzando a 47°C. Se obtuvieron los resultados durante el promedio de 10 días donde hubo sol permanente, los cuales se pueden observar en la figura 20. Además, los datos que se registraron se encuentran en la tabla I.

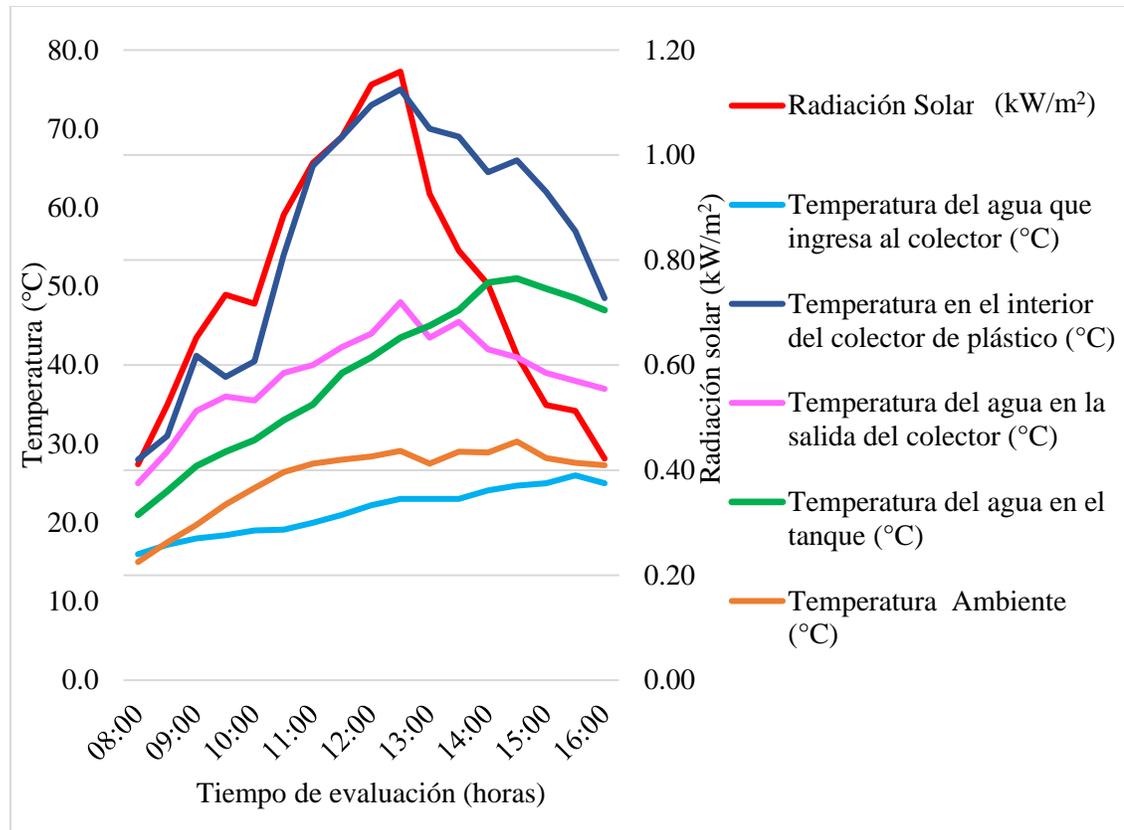


Figura 20. *Temperaturas y radiación solar según el tiempo de evaluación de la terna solar en días soleados.*

A partir de las 8:00 de la mañana la temperatura ambiente llegó 15°C, luego al transcurrir de las horas dicha temperatura empezó a aumentar y llegó hasta 29.1°C a las 13:30 horas. La radiación solar a las 8:00 horas obtuvo un valor de 0,411 kW/m² y este llegó hasta 1,159 kW/m² a la 12:30 horas. Dentro del colector la temperatura empezó a aumentar a partir de 28 °C hasta llegar a los 75°C siendo las 12:30 horas, después de esta hora dicha temperatura comenzó a disminuir.

Cada que se iniciaba la evaluación el día que se terminaba la evaluación se vaciaba el tanque y al día siguiente se llenaba nuevamente el agua dentro la terna, por lo que el agua se encontraba en un promedio de 21°C. También, se pudo observar el aumento casi continuo de la temperatura del agua en el interior del tanque en el día evaluado, obteniendo la diferencia de la temperatura de 47 - 21= 26°C.

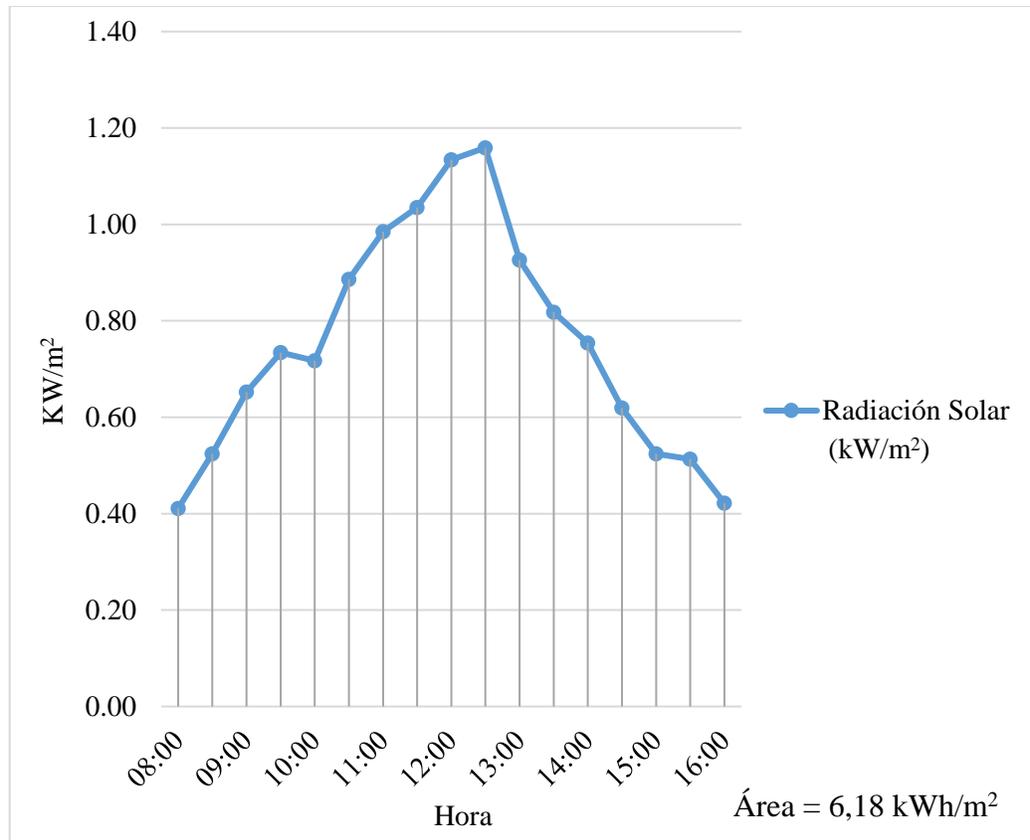


Figura 21. Cálculo de la radiación solar en kWh/m², para días soleados aplicando método del área de los rectángulos debajo de la curva.

Se utilizó la fórmula de la eficiencia:

$\eta_E = \text{Energía térmica útil o ganada} / \text{energía solar recibida}$

Energía térmica útil: $E_T = m \cdot c \cdot \Delta T$

$$E_T = (8 \times 10^4 \text{ g}) \times (4,18 \text{ J/g } ^\circ\text{C}) \times (47^\circ\text{C} - 21^\circ\text{C})$$

$$E_T = 8,69 \times 10^6 \text{ J}$$

$$E_S = e_s \cdot A$$

Para calcular la radiación solar recibida (e_s) se utilizó la metodología que se muestra en la figura 21; el resultado fue de 6,18 kWh/m².

$$E_S = \left(6,18 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\right) \times \frac{10^3 \text{ J/s}}{1 \text{ kW}} \times \frac{3,6 \times 10^3 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$E = 22,25 \times 10^6 \text{ J/m}^2 \times 1 \text{ m}^2$$

$$E = 22,25 \times 10^6 \text{ J}$$

Por lo tanto: $\eta_E = \frac{8,69 \times 10^6 \text{J}}{22,25 \times 10^6 \text{J}} = 0,39$

La eficiencia en días soleados en porcentaje fue de un 39%.

3.1.2. Días combinados

Para estos días se consideraron aquellos donde hubo una menor presencia del sol en los días evaluados. Durante esos días se obtuvieron temperaturas medias del agua dentro del tanque entre 18°C a 34°C. Para obtener estos resultados se realizó en un promedio de 10 días combinados, los cuales se pueden observar en la figura 22. El registro de estos datos están en la tabla 2.

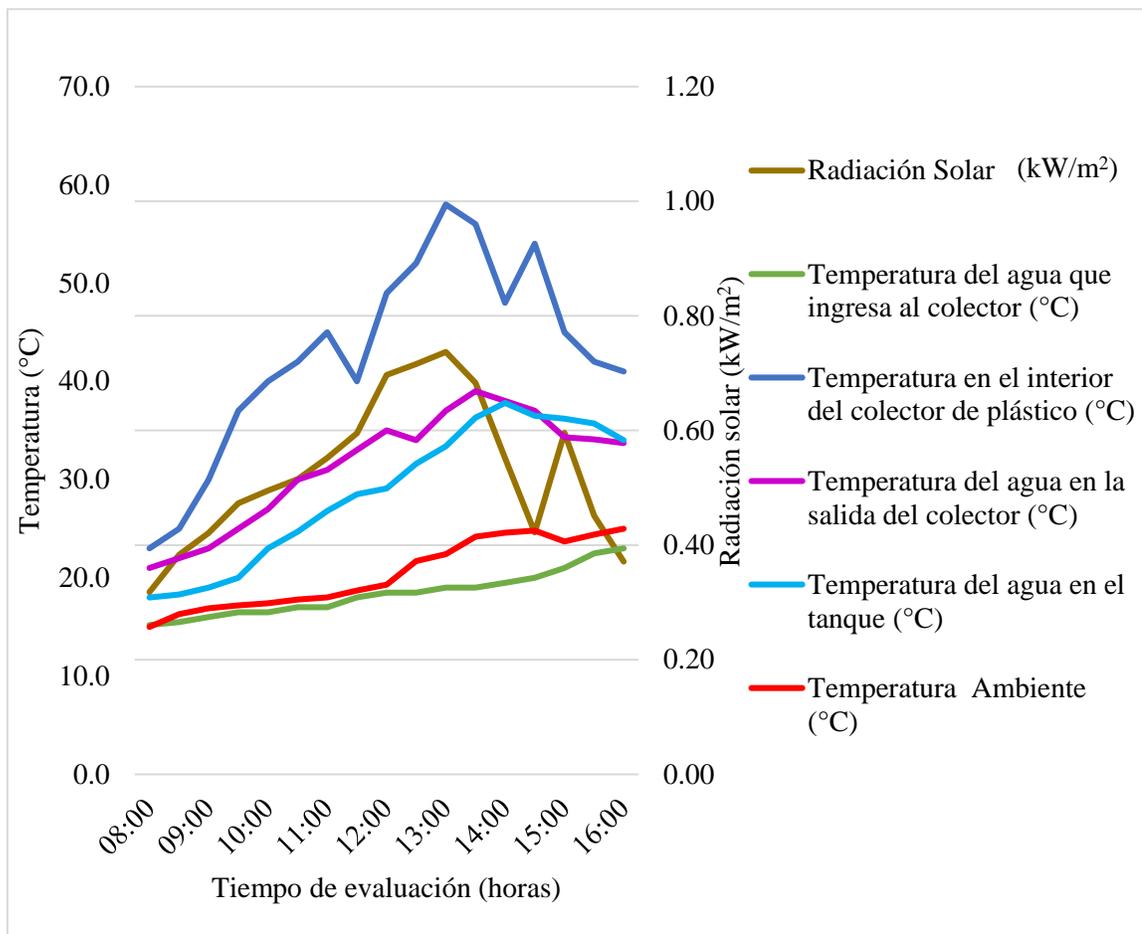


Figura 22. Temperaturas y radiación solar según el tiempo de evaluación de la terma solar en días combinados.

Por otro lado, la temperatura ambiente a partir de las 8:00 de la mañana empezó desde 15 °C, esto siguió aumentando y llegó hasta 24,8°C a las 14:30 horas, luego esto empezó a descender. La radiación solar a las 8:00 horas obtuvo un valor de 0,318 kW/m² y este llegó hasta 0,737 kW/m² a la 13:00 horas. A partir de los 23°C en la parte interna del colector la temperatura llegó a aumentar hasta alcanzar los 58°C a la 1:00 de la tarde.

Cada que se iniciaba la evaluación siempre se cambió toda el agua del sistema, por lo que el agua se encontraba en un promedio de 16°C. En el transcurso del día llegó a incrementar constantemente la temperatura del agua en el tanque, por lo tanto, la diferencia de temperatura fue de 34 - 18 = 16°C.

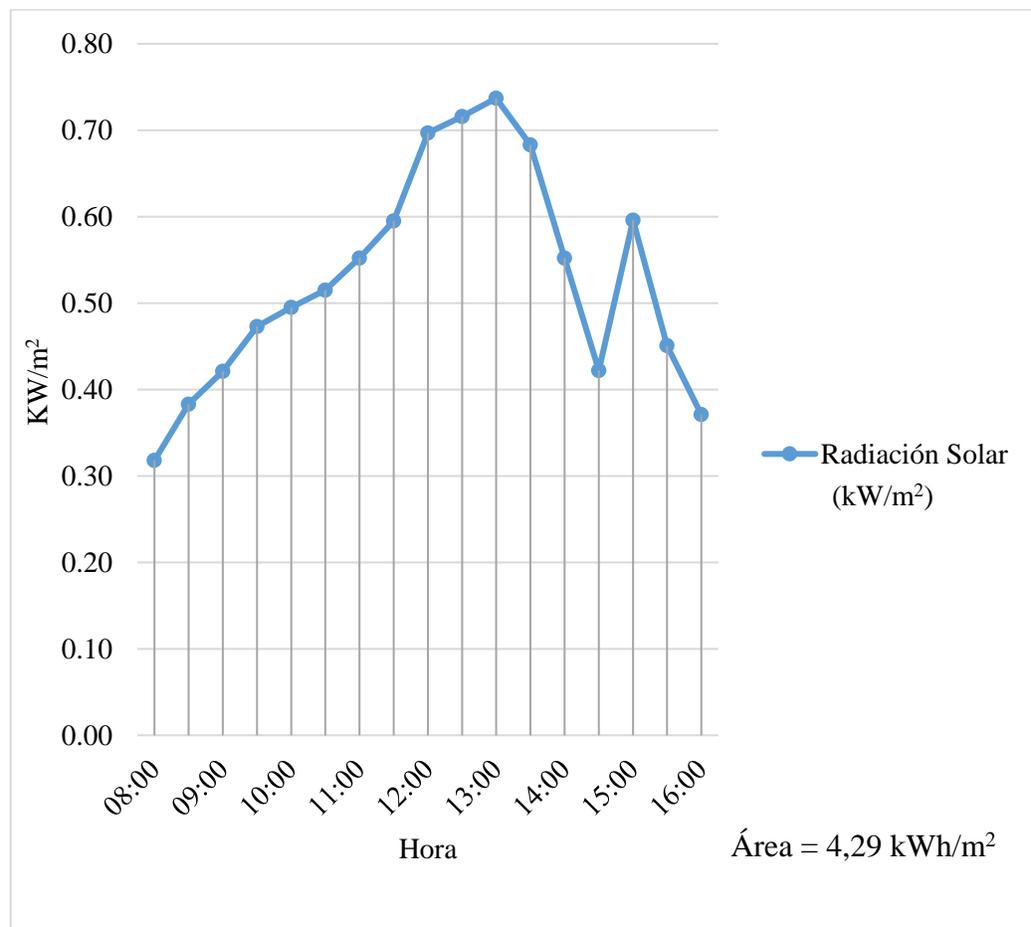


Figura 23. Cálculo de la radiación solar en kWh/m², para días combinados aplicando método del área de los rectángulos debajo de la curva.

Para calcular la eficiencia se aplicó la siguiente fórmula:

$\eta_E = \text{Energía térmica útil o ganada} / \text{energía solar recibida}$

Energía térmica útil: $E_T = m \cdot c \cdot \Delta T$

$$E_T = (8 \times 10^4 \text{ g}) \times (4,18 \text{ J/g } ^\circ\text{C}) \times (34^\circ\text{C} - 18^\circ\text{C})$$

$$E_T = 5,35 \times 10^6 \text{ J}$$

$$E_S = e_s \cdot A$$

Para calcular la radiación solar recibida (e_s) se utilizó el método que se muestra en la figura 23; el resultado fue de 4,29 kWh/m².

$$E_S = \left(4,29 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\right) \times \frac{10^3 \text{ J/s}}{1 \text{ kW}} \times \frac{3,6 \times 10^3 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$E = \frac{15,44 \times 10^6 \text{ J/m}^2 \times 1 \text{ m}^2}{\text{s}}$$

$$E = \frac{15,44 \times 10^6 \text{ J}}{\text{s}}$$

$$\text{Por lo tanto: } \eta_E = \frac{5,35 \times 10^6 \text{ J}}{15,44 \times 10^6 \text{ J}} = 0,35$$

La eficiencia en días combinados en porcentaje fue de un 35 %.

3.1.3. Días nublados

Para estos días fueron considerados aquellos que tuvieron ausencia visible del sol y con nubosidad durante la evaluación. La terma solar en estos días se obtuvo las temperaturas más bajas temperaturas del agua en el tanque desde 16°C hasta 28°C. El resultado se obtuvo en un promedio de 10 días nublados, los cuales se logran observar dentro de la figura 24 y los datos registrados están en la tabla 3.

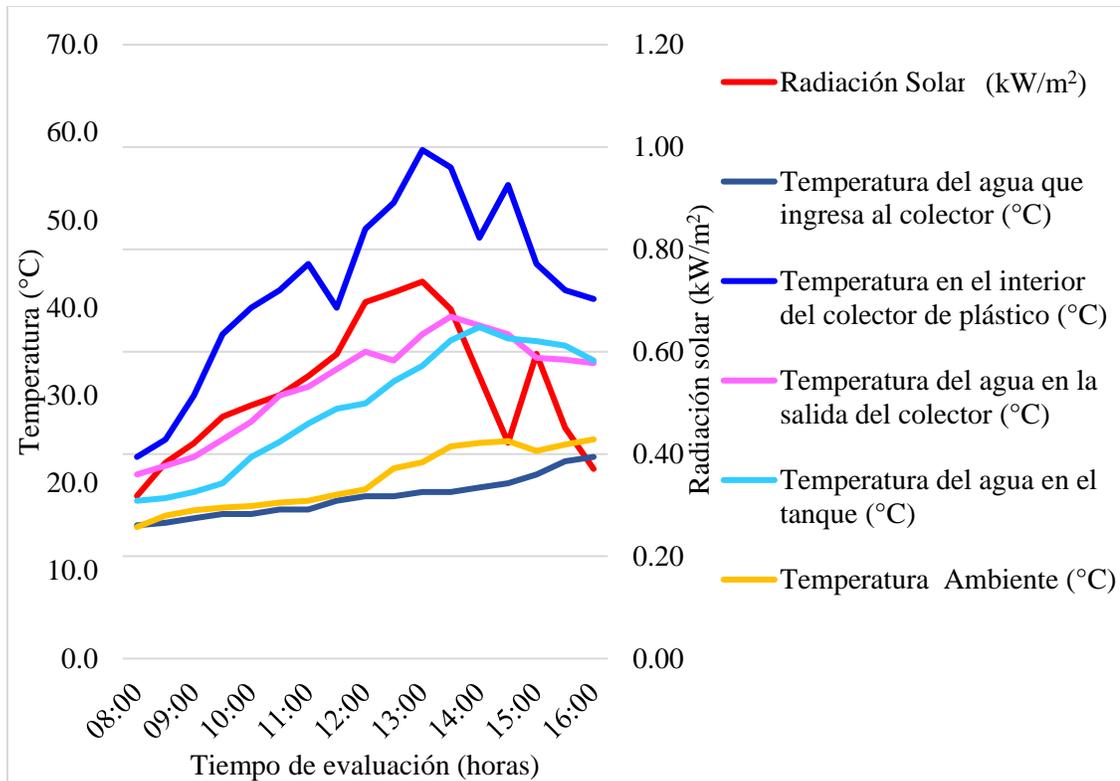


Figura 24. Temperaturas y radiación solar según el tiempo de evaluación de la terma solar en días nublados.

A partir de las 8:00 de la mañana la radiación solar obtuvo un valor de 0,134 kW/m², este alcanzó el pico más alto a las 13:30 horas hasta 0,541 kW/m², luego este empezó a descender hasta llegar a 0,210 kW/m² a las 16:00 horas. Por otro lado, la temperatura ambiente a las 8:00 horas fue de 14°C, luego esto aumentó y llegó hasta 19°C a las 13:30 horas y empezó a descender hasta llegar a 16°C a las 16:00 horas. La temperatura dentro del colector aumentó a partir de 21°C hasta llegar a 49°C a las 13:00 horas. Luego de esta hora la temperatura comenzó a disminuir.

Para comenzar a evaluar siempre cambiamos toda el agua en la terma. El agua se encontraba en un promedio de 16°C. Se logró observar un incremento en la temperatura del agua fue casi continuo. Sin embargo, obtuvo una diferencia de temperatura de $27 - 16 = 11^{\circ}\text{C}$.

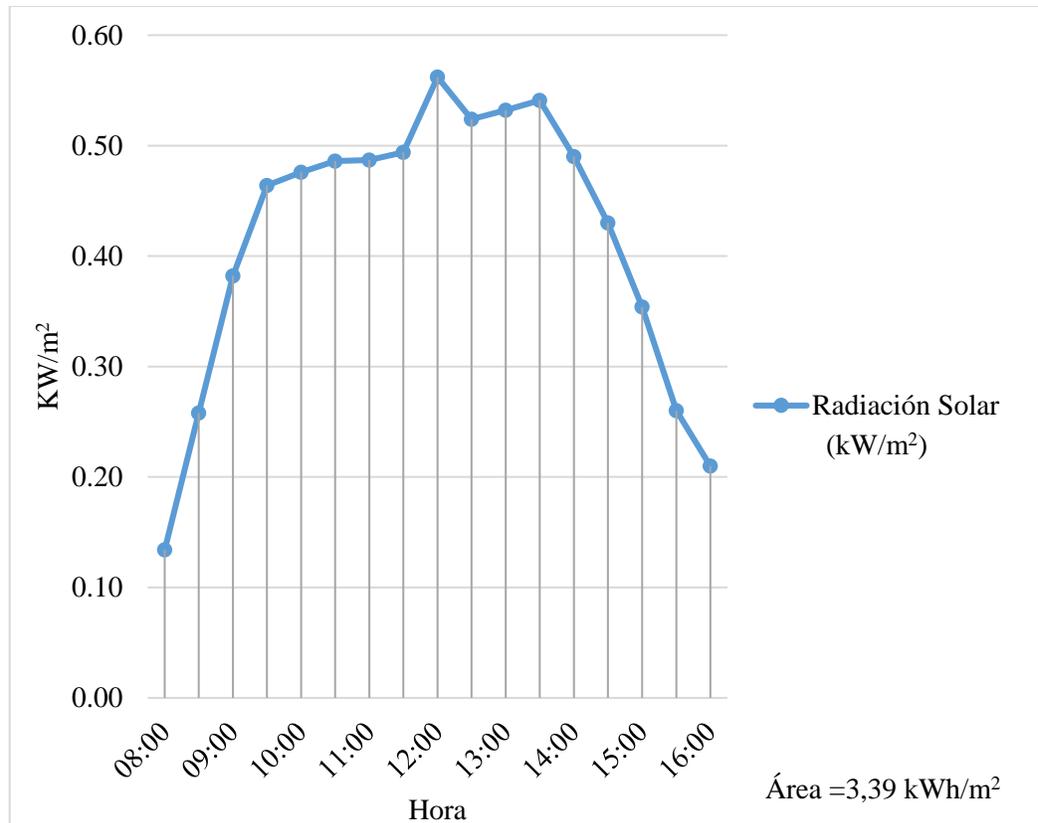


Figura 25. Cálculo de la radiación solar en kWh/m², para días nublados aplicando método del área de los rectángulos debajo de la curva.

Se aplicó la siguiente fórmula para determinar la eficiencia:

$\eta_E = \text{Energía térmica útil o ganada} / \text{energía solar recibida}$

Energía térmica útil: $E_T = m \cdot c \cdot \Delta T$

$$E_T = (8 \times 10^4 \text{ g}) \times (4,18 \text{ J/g } ^\circ\text{C}) \times (27^\circ\text{C} - 16^\circ\text{C})$$

$$E_T = 3,68 \times 10^6 \text{ J}$$

$$E_S = e_s \cdot A$$

Para calcular la radiación solar recibida (e_s) se aplicó el método que se muestra en la figura 25; obteniendo 3,39 kWh/m².

$$E_S = \left(3,39 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right) \times \frac{10^3 \text{ J/s}}{1 \text{ kW}} \times \frac{3,6 \times 10^3 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$E_S = 12,20 \times 10^6 \text{ J/m}^2 \times 1 \text{ m}^2$$

$$E_S = 12,20 \times 10^6 \text{ J}$$

$$\text{Entonces: } \eta_E = \frac{3,68 \times 10^6 \text{ J}}{12,20 \times 10^6 \text{ J}} = 0,30$$

La eficiencia en días nublados en porcentaje fue de un 30 %.

3.2. Eficiencia térmica de la terma solar con un colector de 1m² hecho de tubos verticales de cobre

3.2.1. Días soleados

Igual que el anterior calentador solar sólo consideramos aquellos días donde hubo presencia visible del sol en el tiempo que fue evaluado. Para estos días el sistema llegó a obtener los resultados más altos de temperaturas del agua dentro del tanque alcanzando a 46°C. Para obtener los siguientes resultados se realizaron un promedio de 10 días donde hubo sol lo cual se puede observar mediante la figura 26 y los datos están dentro de la tabla 4.

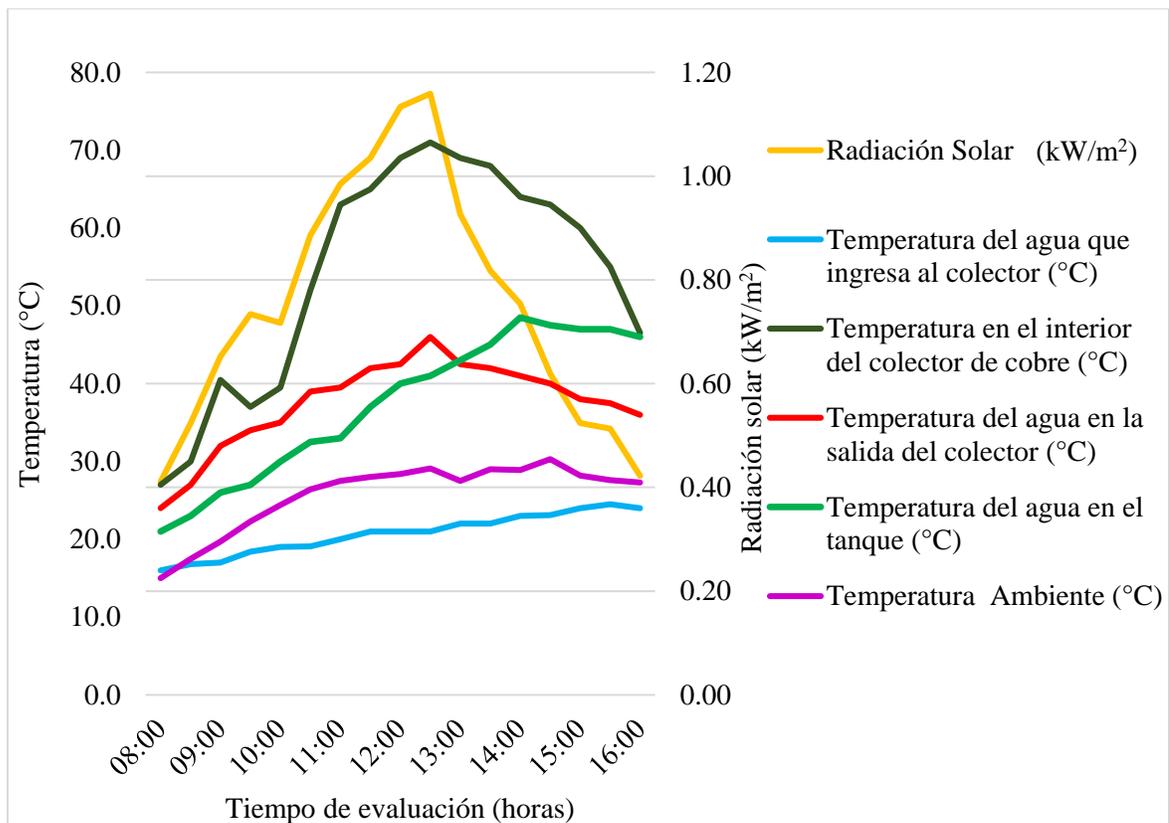


Figura 26. Temperaturas y radiación solar según el tiempo de evaluación de la terma solar en días soleados.

A partir de las 8:00 de la mañana la radiación solar obtuvo un valor de 0,411 kW/m², este alcanzó el pico más alto a las 13:00 horas hasta 1,159 kW/m², luego este empezó a descender hasta llegar a 0,422 kW/m² a las 16:00 horas. Por otro lado, la temperatura ambiente a las 8:00 horas fue de 15°C, esto aumentó obtuvo un valor de 29,1°C a las 12:30 horas, luego de esta hora la temperatura empezó a descender. La parte interna del colector empezó a incrementar su temperatura a partir de los 27°C hasta llegar a los 71°C a las 12:30 horas, luego de esta hora empezó a disminuir la temperatura hasta llegar a 46.5°C a las 16:00 horas.

Cada que se iniciaba la evaluación siempre se cambió toda el agua del sistema, por lo que el agua se encontraba en un promedio de 21°C. Se logró observar el crecimiento de la temperatura del agua fue casi regular. Por lo tanto, alcanzó una diferencia de temperatura de $46 - 21 = 25^{\circ}\text{C}$.

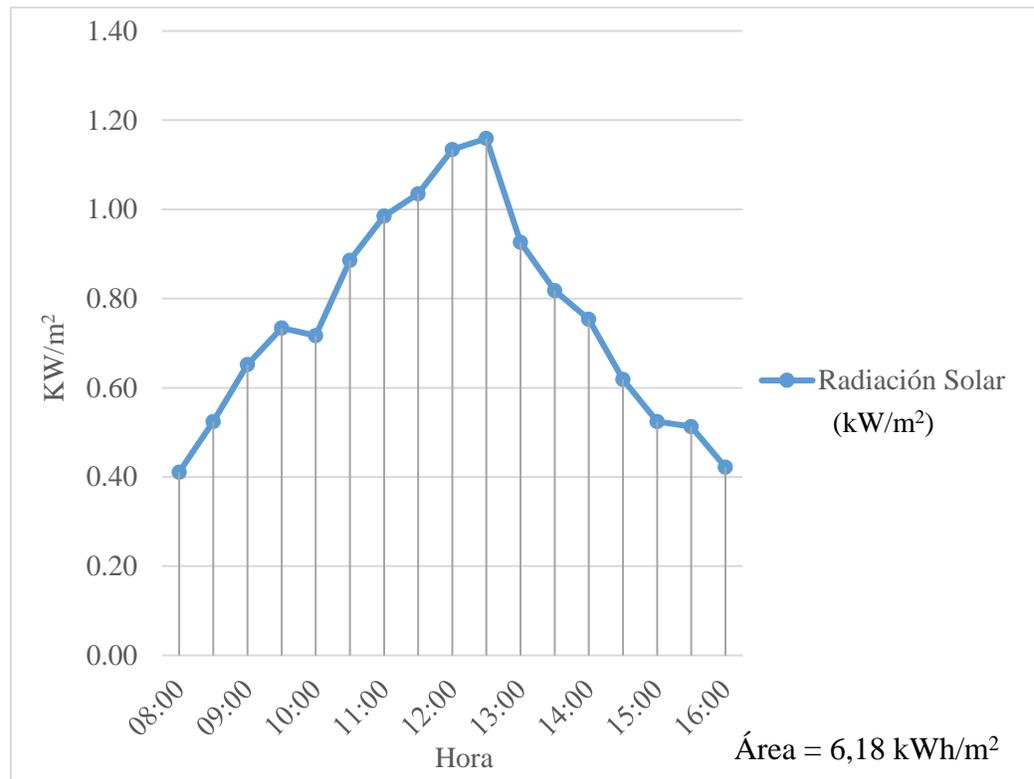


Figura 27. Cálculo de la radiación solar en kWh/m², para días soleados aplicando método del área de los rectángulos debajo de la curva.

Para calcular la eficiencia se aplicó la siguiente la fórmula:

$\eta_E = \text{Energía térmica útil o ganada} / \text{energía solar recibida}$

Energía térmica útil: $E_T = m \cdot c \cdot \Delta T$

$$E_T = (8 \times 10^4 \text{ g}) \times (4,18 \text{ J/g } ^\circ\text{C}) \times (46^\circ\text{C} - 21^\circ\text{C})$$

$$E_T = 8,36 \times 10^6 \text{ J}$$

$$E_S = e_s \cdot A$$

Para calcular la radiación solar recibida (e_s) aplicamos el método que se muestra en la figura 27; obteniendo $6,18 \text{ kWh/m}^2$.

$$E_S = \left(6,18 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\right) \times \frac{10^3 \text{ J/s}}{1 \text{ kW}} \times \frac{3,6 \times 10^3 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$E_S = 22,25 \times 10^6 \text{ J/m}^2 \times 1 \text{ m}^2$$

$$E_S = 22,25 \times 10^6 \text{ J}$$

$$\text{Entonces: } \eta_E = \frac{8,36 \times 10^6 \text{ J}}{22,25 \times 10^6 \text{ J}} = 0,38$$

La eficiencia en días soleados en porcentaje fue de un 38%.

3.2.2. Días combinados

Para estos días igual que el otro calentador solar consideramos aquellos que tenían presencia parcial del sol en el período que fue evaluado. En esos días el calentador obtuvo temperaturas medias del agua dentro del tanque desde 18°C hasta los 33°C . Los resultados para estos días se obtuvieron en un promedio de 10 días los cuales se pueden observar en la figura 28 y estos datos se encuentran en la tabla 5.

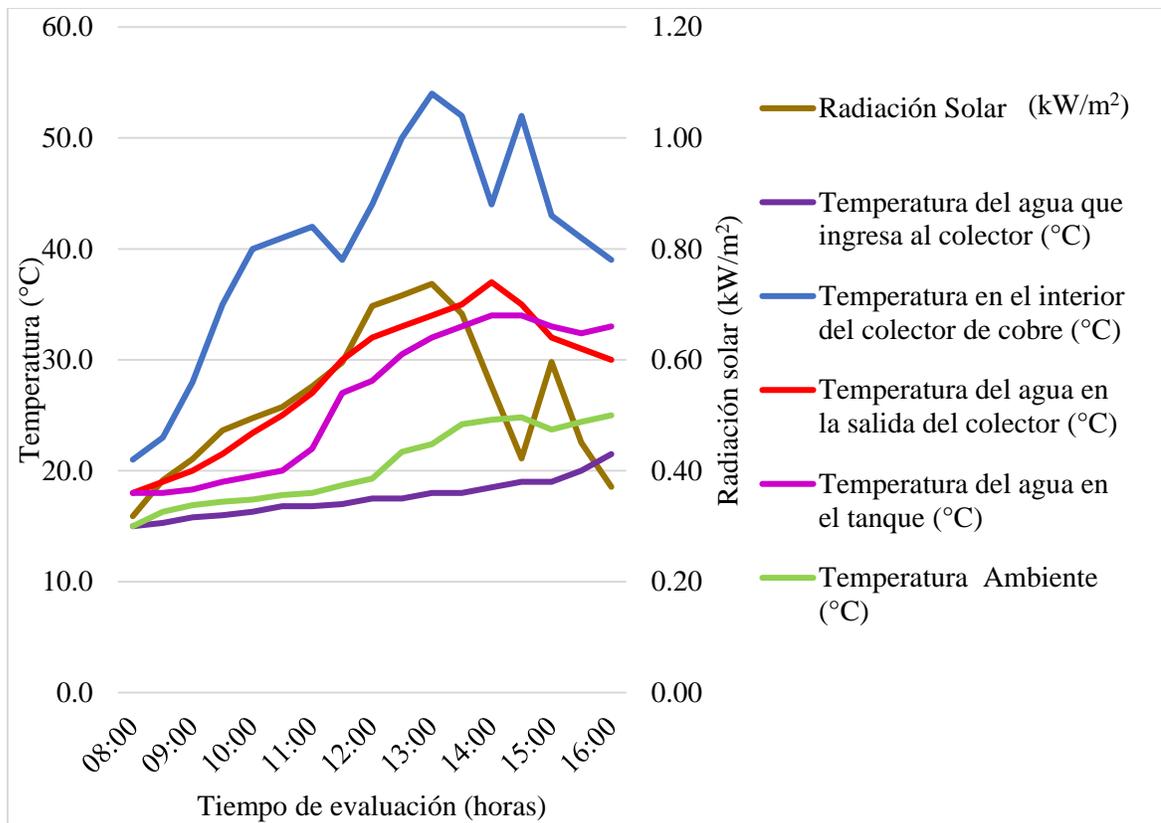


Figura 28. *Temperaturas y radiación solar según el tiempo de evaluación de la terma solar en días combinados*

A partir desde las 8:00 horas la radiación solar obtuvo un valor de $0,318 \text{ kW/m}^2$ y este llegó hasta $0,737 \text{ kW/m}^2$ a la 13:00 horas. Por otro lado, en esa misma hora la temperatura ambiente fue de 15°C , esto aumentó en el transcurso de las horas y llegó hasta $24,8^\circ\text{C}$. La temperatura en la parte interna del colector aumentó a partir de los 21°C hasta 54°C a las 13:00 horas.

Cada que se iniciaba la evaluación siempre se cambió toda el agua del sistema, por lo que el agua se encontraba en un promedio de 18°C . en el transcurso del día se logró observar un aumento continuo de la temperatura del agua en el tanque, llegando con una diferencia de temperatura de $33 - 18 = 15^\circ\text{C}$.

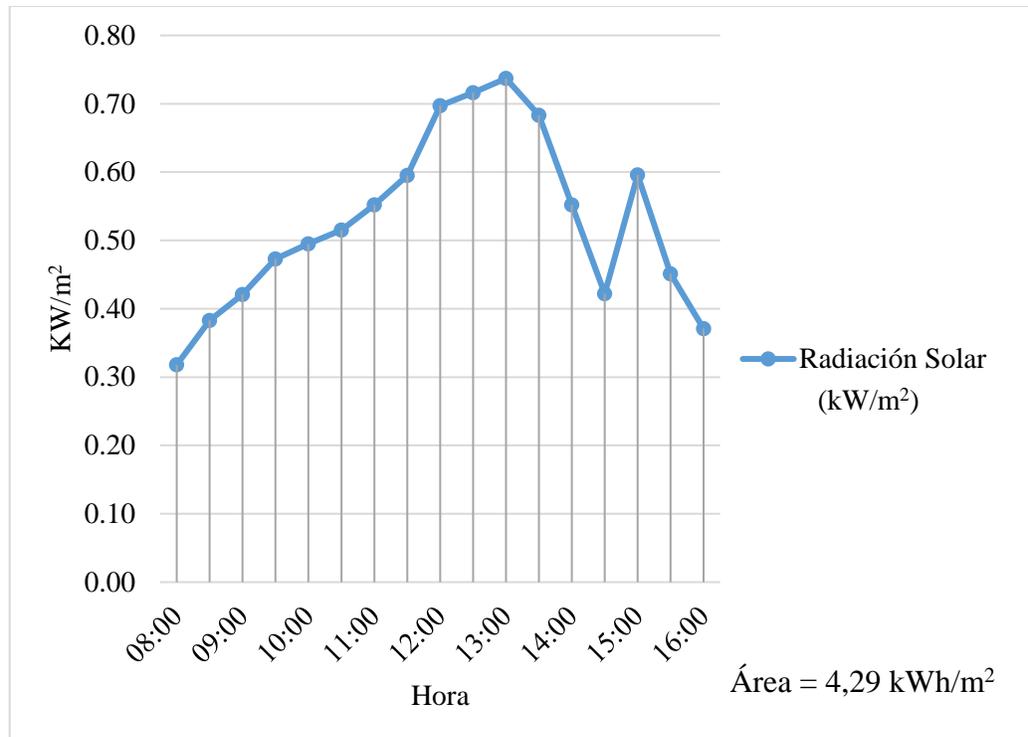


Figura 29. Cálculo de la radiación solar en kWh/m², para días combinados aplicando método del área de los rectángulos debajo de la curva.

Para determinar la eficiencia se aplicó la siguiente fórmula:

$$\eta_E = \text{Energía térmica útil o ganada} / \text{energía solar recibida}$$

$$\text{Energía térmica útil: } E_T = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$E_T = (8 \times 10^4 \text{ g}) \times (4,18 \text{ J/g } ^\circ\text{C}) \times (33^\circ\text{C} - 18^\circ\text{C})$$

$$E_T = 5,02 \times 10^6 \text{ J}$$

$$E_S = e_s \cdot A$$

Para determinar la radiación solar recibida (es) aplicamos el método que se muestra en la figura 29; obteniendo 4,29 kWh/m².

$$E_S = \left(4,29 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\right) \times \frac{10^3 \text{ J/s}}{1 \text{ kW}} \times \frac{3,6 \times 10^3 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$E = 15,44 \times 10^6 \text{ J/m}^2 \times 1 \text{ m}^2$$

$$E = 15,44 \times 10^6 \text{ J}$$

$$\text{Entonces: } \eta_E = \frac{5,02 \times 10^6 \text{ J}}{15,44 \times 10^6 \text{ J}} = 0,33$$

La eficiencia en días combinados en porcentaje fue de un 33%.

3.2.3. Días nublados

Al igual que el otro calentador solar consideramos aquellos días donde hubo ausencia visible del sol y con nubosidad durante el tiempo evaluado. En estos días se obtuvo las más bajas temperaturas del agua dentro del tanque desde los 16°C hasta los 27°C. Para obtener estos resultados se realizó en un promedio de 10 días nublados los cuales podemos observar en la figura 30 y los datos registrados están en la tabla 6.

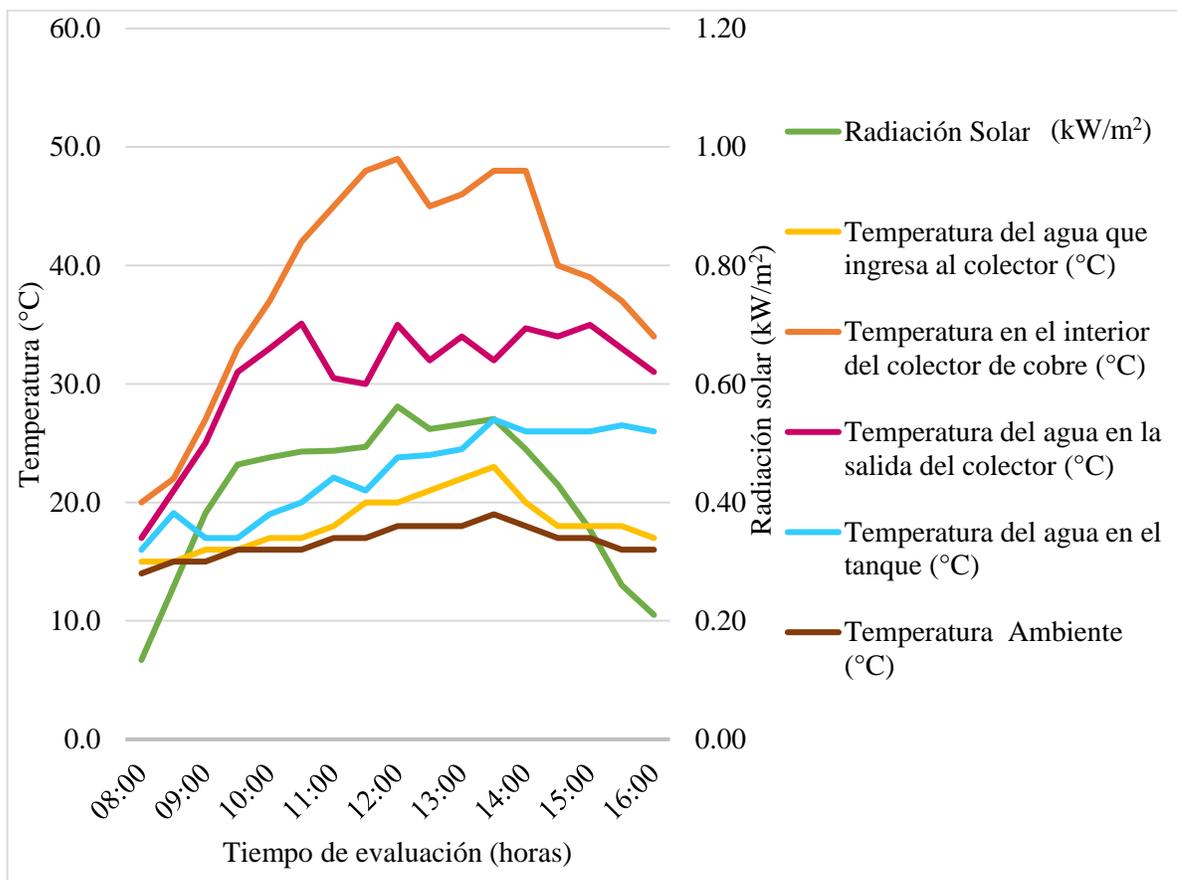


Figura 30. Temperaturas y radiación solar según el tiempo de evaluación de la terma solar en días nublados.

La temperatura ambiente a las 8:00 horas fue de 14°C, esto aumentó llegando hasta 19°C a las 13:30 horas, luego esto empezó a descender hasta llegar a 16°C. La radiación solar a las 8:00 horas obtuvo un valor de 0,134 kW/m² y este llegó hasta 0,541 kW/m² a la 13:30 horas. La temperatura dentro del colector aumentó a partir de los 22°C y llegó a los 48°C a las 13:30 horas.

Cada que se iniciaba la evaluación siempre se cambió toda el agua del sistema, por lo que el agua se encontraba con 16°C en promedio. La temperatura del agua dentro del tanque fue incrementando continuamente en transcurso del día, obteniendo una diferencia de temperatura de 26 - 16 = 10°C.

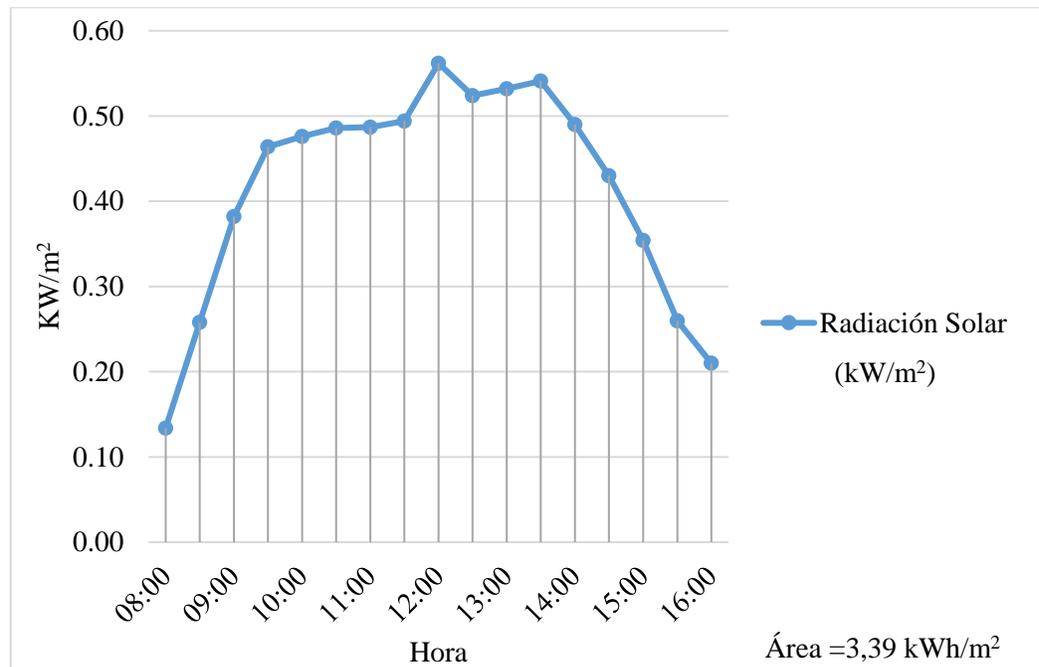


Figura 31. Cálculo de la radiación solar en kWh/m², para días nublados aplicando método del área de los rectángulos debajo de la curva.

Aplicando la fórmula de la eficiencia:

$$\eta_E = \text{Energía térmica útil o ganada} / \text{energía solar recibida}$$

$$\text{Energía térmica útil: } E_T = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$E_T = (8 \times 10^4 \text{ g}) \times (4,18 \text{ J/g } ^\circ\text{C}) \times (26^\circ\text{C} - 16^\circ\text{C}) = 3,34 \times 10^6 \text{ J}$$

$$E_s = e_s \cdot A$$

La radiación solar recibida (e_s) fue calculado mediante la aplicación del método que se muestra en la figura 31; lo cual se obtuvo $3,39 \text{ kWh/m}^2$.

$$E_s = \left(3,39 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right) \times \frac{10^3 \text{J/s}}{1 \text{kW}} \times \frac{3,6 \times 10^3 \text{s}}{1 \text{h}}$$

$$E = 12,20 \times 10^6 \text{ J/m}^2 \times 1 \text{m}^2$$

$$E = 12,20 \times 10^6 \text{ J}$$

$$\text{Por lo tanto: } \eta_E = \frac{3,34 \times 10^6 \text{J}}{12,20 \times 10^6 \text{J}} = 0,28$$

La eficiencia en días nublados en porcentaje fue de un 28%.

3.3. Comparación de la eficiencia térmica de las termas solares

Para el colector construido con tubos de CPVC la eficiencia según el tipo de día fue: 39% soleado, 35% combinado y 30% nublado. Por otro lado, la eficiencia del colector que se construyó con tubos de cobre fue: 38% soleado, 33% combinado y 28% nublado.

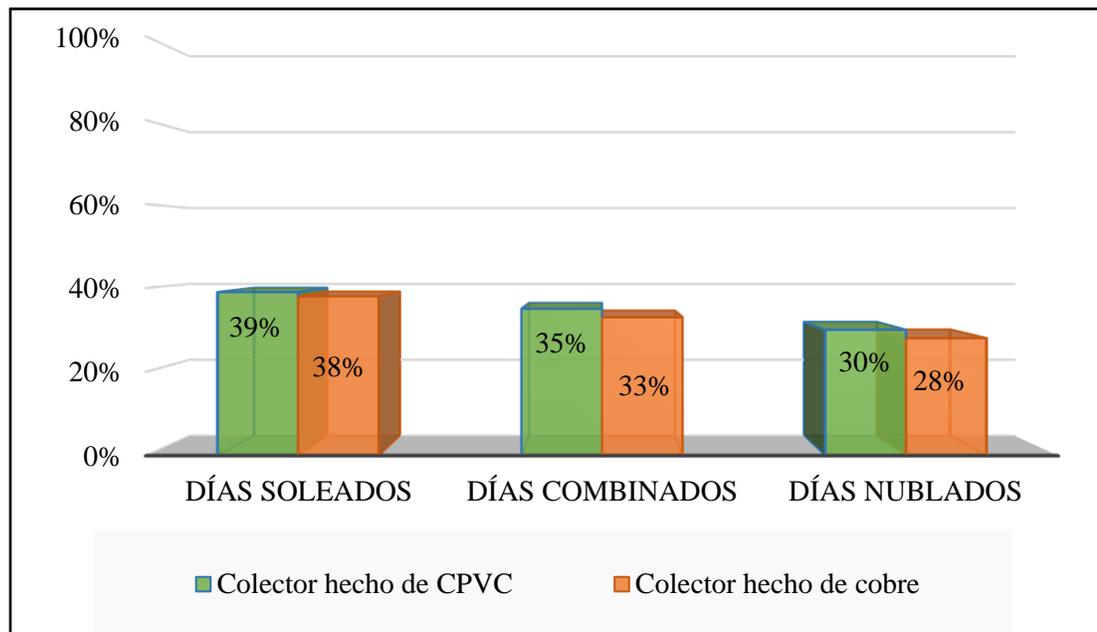


Figura 32. Comparación de la eficiencia térmica con colector hecho de CPVC y otro de cobre según el tipo de día (soleado, nublado y combinado).

Para los días soleados la eficiencia térmica entre ambos calentadores (CVPC y cobre) tuvo una diferencia de 1%, siendo el más eficiente el colector de CPVC. Sin embargo, en los días combinados y nublados los colectores de CPVC fueron mayores que los de cobre en un 2%. Por lo tanto, para los tres tipos de días (soleados, combinados y nublados) el colector de cobre obtuvo una menor eficiencia que el de CVPC.

IV. DISCUSIÓN

Para este estudio, comparamos la eficiencia entre un calentador con colector hecho con tubos verticales de plástico y otro de cobre. La evaluación de ambas termas se realizó en un período de 30 días. Los datos experimentales se agruparon según el tipo de día: soleados, combinados y nublados; donde la radiación solar fue de 6,18 kWh/m², 4,29 kWh/m² y 3,39 kWh/m², respectivamente. La radiación solar que se obtuvo de presente estudio fue menor en los días: combinados y nublados a las que fueron reportadas por Fernández y Tuesta (2014), habiendo sido la radiación solar para días: soleados (6,13 kWh/m²), combinados (4,46 kWh/m²) y nublados (3,81 kWh/m²). Se puede observar que la presente investigación tiene mayor radiación solar en los días soleados que de Fernández y Tuesta (2014), esto se debe que en el mes de evaluación hubo una mayor presencia visible del sol en ese tipo de día.

La eficiencia térmica del presente estudio, con colector plano hecho de tubos verticales de cobre fue para días: soleados (38 %), combinados (33%) y nublados (28%). La eficiencia que se obtuvo del presente estudio fue mayor tanto días: soleados, combinados y nublados a las que fueron reportadas por Fernández y Tuesta (2014), en su evaluación de un calentador con colector de 1m² de tubos verticales de cobre, la eficiencia fue como se menciona en porcentajes para días: soleados (33,3%), combinado (31,2%), nublado (24,4%) y sin cambiar el agua del calentador solar (38,5%). Por lo tanto, se puede observar que en el presente estudio la eficiencia térmica es mayor que la eficiencia del calentador solar realizado por Fernández y Tuesta (2014), a pesar que ambas fueron evaluadas en los mismos tipos de días; se verifica que la descendencia de la eficiencia térmica se relaciona directamente con la radiación solar, debido a que fue menor durante ese tiempo de evaluación.

Espinoza (2017), evaluó la eficiencia de un calentador solar hecho con tubos verticales de PCV de 3/4". Los datos en esta evaluación se registraron durante 31 días; donde la eficiencia en los días soleados, combinados y nublados fue de: 44,57%, 38,51% y 35,64%, respectivamente. Sin embargo, en la presente investigación del calentador solar con colector plano de 1m² hecho de tubos verticales de CPVC de 1/2", la eficiencia que se obtuvo fue menor para días: soleados (39%), combinados (35%) y nublados (30%), respectivamente. Por lo tanto, la menor eficiencia en los tres tipos de días se debió a que en el mes de la evaluación

las condiciones climáticas no fueron las mismas y se verifica que la radiación solar fue mucho menor.

El diámetro interno del tubo de cobre es de 15mm, teniendo un valor mayor que el tubo de CPVC (12.42mm). Entonces, la eficiencia del estudio se relaciona con el diámetro interno de los tubos utilizados para las parrillas del colector y esto se debe que a mayor sea el diámetro de las tuberías estas tardan más tiempo en calentar el agua. A pesar de la diferencia en el diámetro interno ambas cumplen la función de calentar el agua en el sistema.

El calentador solar hecho de tubos de cobre, tiene un valor de 1,550.00 soles; sin embargo, el calentador solar hecho de tubos de CVPC tiene un valor de 1,480.00 soles. El costo para ambos calentadores solares no incluye la mano de obra del mecánico para la construcción de los soportes y del armado de la parrilla de cobre. Siendo el calentador de plástico mucho más económico, esto se debe que para el unir los tubos y demás accesorios de la parrilla se utilizó pegamento Oatey, mientras que, para el de cobre utilizamos soldadura y hubo un consumo mayor de energía eléctrica. Sin embargo, ambos calentadores al estar instalados nos ayudarán a reducir el consumo energético en el hogar y el costo para su construcción es accesible en los hogares tanto de zona urbana o rural.

Además, los calentadores solares son amigables con el medio ambiente, pues el empleo de estos equipos para obtener agua caliente en los hogares disminuirá el uso de los combustibles fósiles, esto conlleva a disminuir aquellas emisiones de gases de efecto invernadero.

V. CONCLUSIONES

- ✓ La evaluación de este estudio, fue realizado por un período de 30 días. Los calentadores solares tuvieron un tanque de 80 litros, estos fueron evaluados en tres tipos de días: soleados, combinados y nublados. En estos días la eficiencia para el colector con CPVC fue de: 39%, 35% y 30%, respectivamente. Sin embargo, el colector de cobre obtuvo una eficiencia menor en los tres tipos de días siendo para días: soleados (38%), combinados (33%) y nublados (28%). La eficiencia en días soleados tuvo una diferencia de 1%, obteniendo el de más alto valor el de CPVC. Por otro lado, en los días nublados y combinados la diferencia de la eficiencia entre ambas termas fue en 2%, donde la terma de cobre obtuvo los menores valores.
- ✓ Ambas termas fueron construidas con las mismas dimensiones la única diferencia fue en la parrilla de tubos una fue de CPVC y la otra de cobre. Además, se puede asegurar que para cada tipo de día ambos colectores captaron la misma radiación solar. Sin embargo, la terma de plástico fue más eficiente que el de cobre. Esto se debe a que los tubos y accesorios de CPVC, están diseñados para que su conductividad térmica sea menor y permita conservar la energía manteniéndolo por mayor tiempo la temperatura del agua dentro de la tubería. Además, tiene una mayor eficiencia energética que los sistemas metálicos, debido a que estas ya tienen un aislante térmico natural. Por otro lado, su diámetro interno es menor que el de cobre; por lo tanto, calienta el agua con mayor facilidad.
- ✓ Además, la eficiencia se relaciona con la radiación solar intervino en la temperatura del interior de los colectores solares tanto de CPVC y cobre, debido a que cuando aumenta la radiación solar también se incrementa la temperatura en los colectores evaluados y viceversa, cuando disminuye la radiación solar las temperaturas en los colectores también se reducen.

VI. RECOMENDACIONES

- Para obtener óptimos resultados para el cálculo de eficiencia de la terma se debe utilizar sensores de temperatura para tener un menor margen de error en la recopilación de datos de las temperaturas.
- La capacidad máxima de cada tanque es para tres personas en un hogar, por lo tanto, si se desea instalar para una familia con más integrantes su volumen debe ser mayor.
- Antes de la instalación del calentador solar se debe considerar el clima del lugar, puesto que este sistema en lugares donde hay mucha lluvia no es muy recomendable, porque su eficiencia es menor.
- La parrilla de tubos de CPVC al ser pintada con esmalte mate negro no debe ser colocada al sol, esta debe secarse al aire libre para evitar que se doblen.
- El material de los soportes (colector y el tanque) lo más recomendable es utilizar varillas rectangulares de acero, porque al utilizar madera en tiempos de lluvia se va deteriorar más rápido y su tiempo de vida útil será menor.
- Para amarrar con tecnopor el sistema de tuberías se debe utilizar cordón de cable luz, porque la cinta masking al estar expuesta a la intemperie se empieza a despegar con mayor facilidad.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, J., y Crespo, J. (Octubre de 2019). Estudio térmico-fluido dinámico de un prototipo nivel laboratorio de un calentador solar que reutiliza botellas de plástico. *Acta Universitaria*, 29, 1-15. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2147>
- Diamantino, T., Carvalho, M., Nunes, A., e Ferreira, C. (Março de 2016). Durabilidade de coletores solares térmicos: inspeção e análise de falha em função da corrosividade ambiental. *Corros. Prot. Mater*, 35(1), 15-20. <https://doi.org/10.19228/j.com.2016.35.02>
- Espinoza, C. F. (2017). *Eficiencia energética de colectores solares con tubos verticales de PVC en termas solares* (tesis de maestría). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Amazonas.
- Fernández, K., y Tuesta, G. (2014). *Eficiencia y capacidad de una terma solar con un colector de 1 m² de tubos verticales de cobre* (tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Perú.
- Huanes, M., De la Cruz, H., y Barrena, M. (2015). Eficiencia de una terma solar con colector de tubos verticales. *Pueblo continene*, 26(2), 505–513. <https://doi.org/10.25127/aps.20192.489>
- Maarten, A., Mwesigye, A., & Huan, Z. (February de 2017). Optimal slope angle selection of an evacuated tube collector for domestic solar water heating Inner tube. *Journal of Energy in Southern Africa*, 28(1), 104-119. <https://doi.org/10.17159/2413-3051/2016/v28i1a1621>
- Montenegro, Z. N. (2013). *Determinación de la eficiencia y capacidad de una terma solar con dos colectores en serie de 1m² cada uno* (tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Perú.
- Rodríguez, J., López, F., Araiza, M., Olvera, C., y Dorrbercker, S. (2016). Diseño de un colector solar de placa plana. *Ingeniería Energética*, 37(1), 15-24. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/3291/329145581003.pdf>
- Torres, M. H. (2017). *Construcción y evaluación experimental de un colector solar con absorbedor de latas de aluminio para calentar agua de uso doméstico en Tacna* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.
- Vigo, L., y Trigoso, R. (2012). *Eficiencia térmica de un calentador solar de agua de 80 litros con colector de 1 m²* (tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Perú.

ANEXO 1

DATOS EXPERIMENTALES DE EVALUACIÓN DE LA TERMA SOLAR CON UN COLECTOR DE 1m² HECHO DE TUBOS VERTICALES DE PLÁSTICO Y OTRA DE COBRE

Tabla 1

Datos experimentales promedio de evaluación del calentador solar hecho de tubos verticales de plástico en días soleados

Tiempo (horas)	Temperatura del agua que ingresa al colector (°C)	Temperatura en el interior del colector de plástico (°C)	Temperatura del agua a la salida del colector (°C)	Temperatura del agua en el tanque (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Radiación Solar (kW/m²)
08:00	16.0	28.0	25.0	21.0	15.0	0.411
08:30	17.2	31.0	29.0	24.0	17.5	0.524
09:00	18.0	41.2	34.2	27.2	19.7	0.652
09:30	18.4	38.5	36.0	29.0	22.3	0.734
10:00	19.0	40.5	35.5	30.5	24.4	0.717
10:30	19.1	54.0	39.0	33.0	26.4	0.886
11:00	20.0	65.3	40.0	35.0	27.5	0.985
11:30	21.0	69.0	42.3	39.0	28.0	1.035
12:00	22.2	73.0	44.0	41.0	28.4	1.134
12:30	23.0	75.0	48.0	43.5	29.1	1.159
13:00	23.0	70.0	43.5	45.0	27.5	0.926
13:30	23.0	69.0	45.5	47.0	29.0	0.818
14:00	24.1	64.5	42.0	50.5	28.9	0.754
14:30	24.7	66.0	41.0	51.0	30.3	0.619
15:00	25.0	62.0	39.0	49.7	28.2	0.524
15:30	26.0	57.0	38.0	48.5	27.6	0.513
16:00	25.0	48.5	37.0	47.0	27.3	0.422

Tabla 2

Datos experimentales promedio de evaluación del calentador solar hecho de tubos verticales de plástico en días combinados

Tiempo (horas)	Temperatura del agua que ingresa al colector (°C)	Temperatura en el interior del colector de plástico (°C)	Temperatura del agua a la salida del colector (C)	Temperatura del agua en el tanque (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Radiación Solar (kW/m²)
08:00	15.2	23	21.0	18.0	15.0	0.318
08:30	15.5	25	22.0	18.3	16.3	0.383
09:00	16.0	30	23.0	19.0	16.9	0.421
09:30	16.5	37	25.0	20.0	17.2	0.473
10:00	16.5	40	27.0	23.0	17.4	0.495
10:30	17.0	42	30.0	24.7	17.8	0.515
11:00	17.0	45	31.0	26.8	18.0	0.552
11:30	18.0	40	33.0	28.5	18.7	0.595
12:00	18.5	49	35.0	29.1	19.3	0.697
12:30	18.5	52	34.0	31.6	21.7	0.716
13:00	19.0	58	37.0	33.4	22.4	0.737
13:30	19.0	56	39.0	36.3	24.2	0.683
14:00	19.5	48	38.0	37.8	24.6	0.552
14:30	20.0	54	37.0	36.5	24.8	0.422
15:00	21.0	45	34.3	36.2	23.7	0.596
15:30	22.5	42	34.1	35.7	24.4	0.451
16:00	23.0	41	33.7	34.0	25.0	0.371

Tabla 3

Datos experimentales promedio de evaluación del calentador solar hecho de tubos verticales de plástico en días nublados

Tiempo (horas)	Temperatura del agua que ingresa al colector (°C)	Temperatura en el interior del colector de plástico (°C)	Temperatura del agua a la salida del colector (°C)	Temperatura del agua en el tanque (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Radiación Solar (kW/m²)
08:00	15.0	21.0	18.0	16.0	14.0	0.134
08:30	16.0	23.0	22.0	19.0	15.0	0.258
09:00	16.0	29.0	26.1	19.2	15.0	0.382
09:30	17.0	34.0	34.7	20.0	16.0	0.464
10:00	17.0	38.0	35.0	20.5	16.0	0.476
10:30	18.0	43.0	36.1	21.0	16.0	0.486
11:00	19.0	46.0	36.3	21.5	17.0	0.487
11:30	19.0	49.0	36.7	22.0	17.0	0.494
12:00	21.0	51.0	39.0	26.0	18.0	0.562
12:30	22.0	48.0	38.0	23.4	18.0	0.524
13:00	22.0	47.0	37.0	24.8	18.0	0.532
13:30	22.0	49.0	38.0	28.0	19.0	0.541
14:00	21.0	43.0	37.0	27.5	18.0	0.490
14:30	20.0	40.0	36.0	27.2	17.0	0.430
15:00	20.0	39.0	36.0	27.1	17.0	0.354
15:30	19.0	38.0	35.0	27.0	16.0	0.260
16:00	18.0	36.0	33.0	27.0	16.0	0.210

Tabla 4

Datos experimentales promedio de evaluación del calentador solar hecho de tubos verticales de cobre en días soleados

Tiempo (horas)	Temperatura del agua que ingresa al colector (°C)	Temperatura en el interior del colector de cobre (°C)	Temperatura del agua a la salida del colector (°C)	Temperatura del agua en el tanque (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Radiación Solar (kW/m²)
08:00	16.0	27.0	24.0	21.0	15.0	0.411
08:30	16.8	30.0	27.0	23.0	17.5	0.524
09:00	17.0	40.5	32.0	26.0	19.7	0.652
09:30	18.4	37.0	34.0	27.0	22.3	0.734
10:00	19.0	39.5	35.0	30.0	24.4	0.717
10:30	19.1	52.0	39.0	32.5	26.4	0.886
11:00	20.0	63.0	39.5	33.0	27.5	0.985
11:30	21.0	65.0	42.0	37.0	28.0	1.035
12:00	21.0	69.0	42.5	40.0	28.4	1.134
12:30	21.0	71.0	46.0	41.0	29.1	1.159
13:00	22.0	69.0	42.5	43.0	27.5	0.926
13:30	22.0	68.0	42.0	45.0	29.0	0.818
14:00	23.0	64.0	41.0	48.5	28.9	0.754
14:30	23.1	63.0	40.0	47.5	30.3	0.619
15:00	24.0	60.0	38.0	47.0	28.2	0.524
15:30	24.5	55.0	37.5	47.0	27.6	0.513
16:00	24.0	46.5	36.0	46.0	27.3	0.422

Tabla 5

Datos experimentales promedio de evaluación del calentador solar hecho de tubos verticales de cobre en días combinados

Tiempo (horas)	Temperatura del agua que ingresa al colector (°C)	Temperatura en el interior del colector de cobre (°C)	Temperatura del agua a la salida del colector (°C)	Temperatura del agua en el tanque (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Radiación Solar (kW/m²)
08:00	15.0	21	18.0	18.0	15.0	0.318
08:30	15.3	23	19.0	18.0	16.3	0.383
09:00	15.8	28	20.0	18.3	16.9	0.421
09:30	16.0	35	21.5	19.0	17.2	0.473
10:00	16.3	40	23.4	19.5	17.4	0.495
10:30	16.8	41	25.0	20.0	17.8	0.515
11:00	16.8	42	27.0	22.0	18.0	0.552
11:30	17.0	39	30.0	27.0	18.7	0.595
12:00	17.5	44	32.0	28.1	19.3	0.697
12:30	17.5	50	33.0	30.5	21.7	0.716
13:00	18.0	54	34.0	32.0	22.4	0.737
13:30	18.0	52	35.0	33.0	24.2	0.683
14:00	18.5	44	37.0	34.0	24.6	0.552
14:30	19.0	52	35.0	34.0	24.8	0.422
15:00	19.0	43	32.0	33.0	23.7	0.596
15:30	20.0	41	31.0	32.4	24.4	0.451
16:00	21.5	39	30.0	33.0	25.0	0.371

Tabla 6

Datos experimentales promedio de evaluación del calentador solar hecho de tubos verticales de cobre en días nublados

Tiempo (horas)	Temperatura del agua que ingresa al colector(°C)	Temperatura en el interior del colector de cobre (°C)	Temperatura del agua a la salida del colector (°C)	Temperatura del agua en el tanque (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Radiación Solar (kW/m²)
08:00	15.0	20.0	17.0	16.0	14.0	0.134
08:30	15.0	22.0	21.0	19.1	15.0	0.258
09:00	16.0	27.0	25.0	17.0	15.0	0.382
09:30	16.0	33.0	31.0	17.0	16.0	0.464
10:00	17.0	37.0	33.0	19.0	16.0	0.476
10:30	17.0	42.0	35.1	20.0	16.0	0.486
11:00	18.0	45.0	30.5	22.1	17.0	0.487
11:30	20.0	48.0	30.0	21.0	17.0	0.494
12:00	20.0	49.0	35.0	23.8	18.0	0.562
12:30	21.0	45.0	32.0	24.0	18.0	0.524
13:00	22.0	46.0	34.0	24.5	18.0	0.532
13:30	23.0	48.0	32.0	27.0	19.0	0.541
14:00	20.0	47.0	34.7	26.0	18.0	0.490
14:30	18.0	40.0	34.0	26.0	17.0	0.430
15:00	18.0	39.0	35.0	26.0	17.0	0.354
15:30	18.0	37.0	33.0	26.5	16.0	0.260
16:00	17.0	34.0	31.0	26.0	16.0	0.210