



Universidad  
Nacional  
de Loja

# Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos

Naturales o Renovables

Carrera de Ingeniería Electromecánica

**Análisis comparativo de dos calentadores solares de  
diferente tipo de construcción para las condiciones climatológicas  
y aplicaciones en la ciudad de Loja.**

Trabajo de Titulación previo a  
la obtención del título de  
Ingeniero Electromecánico

**AUTOR:**

Mario Antonio Vásquez Espinosa

**DIRECTOR:**

Ing. Thuesman Estuardo Montaña Peralta Mg, Sc

Loja – Ecuador

2023

## Certificación

Loja, 11 de septiembre de 2023

Ing. Thuesman Estuardo Montaña Peralta, Mg. Sc.  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Análisis comparativo de dos calentadores solares de diferente tipo de construcción para las condiciones climatológicas y aplicaciones en la ciudad de Loja**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Electromecánico**, de la autoría del señor **Mario Antonio Vásquez Espinosa** con **cédula de identidad Nro. 1104967144**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.


Digitally signed by THUESMAN  
ESTUARDO MONTANO PERALTA  
Date: 2023.09.11 20:48:50 COT

Ing. Thuesman Estuardo Montaña Peralta, Mg. Sc.  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Mario Antonio Vásquez Espinosa**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mí Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**



**CI:** 114967144

**Fecha:** 21 de noviembre del 2023

**Correo electrónico:** mavasqueze@unl.edu.ec

**Teléfono :** 0980254569

**Carta de autorización por parte del autor, para la consulta de reproducción parcial o total, y/o publicación electrónica del texto completo del Trabajo de Titulación.**

Yo, **Mario Antonio Vásquez Espinosa**, declaro ser el autor del Trabajo de Titulación denominado: **Análisis comparativo de dos calentadores solares de diferente tipo de construcción para las condiciones climatológicas y aplicaciones en la ciudad de Loja**; como requisito para optar por el título de Ingeniero Electromecánico; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja, para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar su contenido, de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad. La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los veintiun días del mes de noviembre de dos mil veintitres.

**Firma:**



**Autor:** Mario Antonio Vásquez Espinosa

**Cédula:** 1104967144

**Dirección:** Loja (Ramón Pinto y Colón)

**Correo electrónico:** [mavasqueze@unl.edu.ec](mailto:mavasqueze@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 0980254569

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director de Trabajo de Titulación:** Ing. Thuesman Estuardo Montaña Peralta Mg, Sc

## **Dedicatoria**

El presente **Trabajo de Titulación** va dedicado a mis padres Mario y Fanny, quienes me formaron como una persona de bien, siempre estuvieron presentes brindándome sus consejos y amor, apoyándome de manera incondicional durante toda mi vida.

De igual manera a mis hermanos Maria y Erick, que me han acompañado durante toda mi vida recibiendo su apoyo incondicional y ejemplo de perseverancia.

Finalmente, mi hijo Justine que siempre ha estado conmigo gracias por haber sido parte importante durante mi proceso de formación académica.

*Mario Antonio Vásquez Espinosa*

## **Agradecimientos**

Primeramente, agradezco a Dios, por brindarme salud y entendimiento para poder cumplir todos los deberes y metas propuestas.

Reiterando mi agradecimiento a mi familia quienes me brindaron motivación, consejos y amor permitiendo culminar con mis estudios.

Al personal docente y administrativo de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables de la Universidad Nacional de Loja, quienes aportaron para mi formación académica brindado su conocimiento, experiencias y apoyo durante esta formación profesional. De igual manera expreso mi gratitud a mi tutor del Trabajo de Titulación el Ing. Thuesman Estuardo Montaña Peralta, quien me ha guiado y brindado su asesoría para concretar el presente proyecto.

***Mario Antonio Vásquez Espinosa***

## Índice de Contenidos

<b>Portada</b> .....	I
<b>Certificación</b> .....	II
<b>Autoría</b> .....	III
<b>Carta de autorización</b> .....	IV
<b>Dedicatoria</b> .....	V
<b>Agradecimientos</b> .....	VI
<b>Índice de contenidos</b> .....	VII
Índice de tablas .....	X
Índice de figuras.....	XI
Índice de anexos .....	XIII
Simbología .....	XIV
<b>1. Título</b> .....	1
<b>2. Resumen</b> .....	2
Abstract .....	3
<b>3. Introducción</b> .....	4
<b>4. Marco teórico</b> .....	6
4.1. El sol como fuente de energía .....	6
4.1.1. Energía Solar .....	6
4.1.2. Radiación Solar .....	6
4.1.3. Unidades de radiación solar .....	8
4.2. Radiación Solar en el Ecuador .....	8
4.3. Calentadores solares de agua .....	9
4.3.1. Partes de un sistema de calentamiento de agua .....	10

4.4. Colectores solares .....	10
4.4.1. Colectores de tubos de vacío.....	10
4.4.2. Colectores CPC estacionarios .....	12
4.4.3. Colectores de placa plana con cubierta.....	13
4.5. Sistema termosifón.....	16
4.6. Fundamentos de Transferencia de Calor.....	17
4.6.1. Transferencia de calor por conducción.....	17
4.6.2. Transferencia de calor por convección .....	18
4.6.3. Transferencia de calor por radiación.....	21
4.7. Balance de energía en el calentador solar .....	21
4.8. Eficiencia del colector solar.....	21
4.8.1. Eficiencias de placas absorbentes de chapas conformadas y soldadas .....	23
4.8.2. Eficiencias de placas absorbentes de parrilla de tubos y aletas .....	23
4.8.3. Comparación de eficiencia de colectores solares respecto al diseño de la placa absorbente.....	24
4.9. Pruebas de rendimiento térmico de colectores solares .....	25
4.9.1. Pruebas de rendimiento termico de acuerdo a la NEC .....	25
4.9.2. Pruebas de rendimiento termico de acuerdo a ASHRAE 93 .....	25
<b>5. Metodología .....</b>	<b>27</b>
5.1. Materiales.....	27
5.2. Métodos.....	28
5.2.1. Área de trabajo.....	28
5.3. Procedimiento .....	28
5.3.1. Primer objetivo.....	28
5.3.2. Segundo objetivo .....	32

5.3.3. Tercer objetivo .....	34
<b>6. Resultados</b> .....	<b>36</b>
6.1. Monitoreo y validación funcional de los sistemas de medición térmica .....	36
6.1.1. Pruebas experimentales.....	36
6.2. Resultado de mediciones colector 1 .....	36
6.2.1. Día soleado.....	36
6.2.2. Día combinado (soleado-nublado).....	38
6.2.3. Día nublado.....	39
6.3. Resultado de mediciones colector 2.....	41
6.3.1. Día soleado.....	41
6.3.2. Día combinado (soleado-nublado).....	42
6.3.3. Día nublado.....	43
6.4. Análisis de los resultados.....	45
6.4.1. Comparación de temperaturas de la placa absorbadora entre colectores.....	45
6.4.2. Comparación del calor útil entre colectores.....	46
6.4.3. Comparacion de la Eficiencia entre colectores .....	47
6.5. Obtención de la curva de eficiencia óptica .....	48
6.5.1. Curva de eficiencia colector 1.....	49
6.5.2. Curva de eficiencia colector 2.....	50
<b>7. Discusión</b> .....	<b>53</b>
<b>8. Conclusiones</b> .....	<b>56</b>
<b>9. Recomendaciones</b> .....	<b>58</b>
<b>10. Bibliografía</b> .....	<b>59</b>
<b>11. Anexos</b> .....	<b>68</b>

## Índice de Tablas:

<b>Tabla 1.</b> Conductividad térmica de algunos metales, solidos no metálicos, líquidos y gases	18
<b>Tabla 2.</b> Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección .....	20
<b>Tabla 3.</b> Comparación de la eficiencia de calentadores solares de placa plana .....	24
<b>Tabla 4.</b> Características físicas y geométricas del colector solar en estudio.....	30
<b>Tabla 5.</b> Características físicas y geométricas del colector solar en estudio.....	31
<b>Tabla 6.</b> Temperatura de la placa absorbadora del colector 1 y 2 durante el periodo de evaluación. ....	45
<b>Tabla 7.</b> Comparación de calor útil entre colectores.....	46
<b>Tabla 8.</b> Comparación de la eficiencia entre colectores.....	47
<b>Tabla 9.</b> Datos de mediciones para obtener la curva de eficiencia colector 1 .....	49
<b>Tabla 10.</b> Datos de mediciones para obtener la curva de eficiencia colector 2. ....	51

## Índice de Figuras:

<b>Figura 1.</b> Componentes de la radiación solar terrestre. Nota: Tipos de radiación solar. ....	7
<b>Figura 2.</b> Mapa de Insolación Global anual promedio del Ecuador. Nota: Zonas con mayor insolación en el Ecuador. Fuente: Tomada de (CONELEC, 2008) .....	8
<b>Figura 3.</b> Partes de un calentador solar de tubos al vacío. ....	9
<b>Figura 4.</b> Colector solar de tubos de vacío de flujo directo. ....	11
<b>Figura 5.</b> Colector solar de tubos de vacío sistema Heat-Pipe.....	12
<b>Figura 6.</b> Tubo de vacío del tipo Heat-Pipe. ....	12
<b>Figura 7.</b> Colector solar tipo CPC estacionario. ....	12
<b>Figura 8.</b> Colector de placa plana con cubierta.....	13
<b>Figura 9.</b> Colector solar de placas planas. ....	13
<b>Figura 10.</b> Superficies absorbentes. Nota: Tipos de superficie de placa absorbente. ....	14
<b>Figura 11.</b> Funcionamiento del colector solar plano.....	15
<b>Figura 12.</b> Sistema termosifón. Nota: a) Para facilitar el efecto termosifón b) Minimiza el riesgo que se produzca una circulación en sentido inverso al deseado.....	16
<b>Figura 13.</b> Perfil de velocidad y temperatura para transferencia de calor por convección de una placa calentada con flujo sobre su superficie. ....	19
<b>Figura 14.</b> Distribución de la velocidad y temperatura para convección natural sobre una placa plana, calentada e inclinada a un ángulo $\beta$ con respecto a la horizontal .....	19
<b>Figura 15.</b> Curva de eficiencia del colector. ....	22
<b>Figura 16.</b> Formas de disposición de tubos en la placa. ....	23
<b>Figura 17.</b> Formas de disposición de tubos en la aleta. ....	23
<b>Figura 18.</b> Ejemplo de curvas de eficiencia térmica. ....	25
<b>Figura 19.</b> Vista aérea de las instalaciones de la vivienda sustentable. ....	28
<b>Figura 20.</b> Metodología propuesta para el desarrollo del primer objetivo.....	29

<b>Figura 21.</b> Metodología propuesta para el desarrollo del segundo objetivo. ....	32
<b>Figura 22.</b> Módulo ESP32. ....	32
<b>Figura 23.</b> Sistema de medición térmica.....	33
<b>Figura 24.</b> Metodología propuesta para el desarrollo del tercer objetivo. ....	34
<b>Figura 25.</b> Temperaturas del agua a la entrada del colector, temperatura del agua a la salida .....	36
<b>Figura 26.</b> Temperatura del agua al interior del tanque para un día soleado.....	37
<b>Figura 27.</b> Temperaturas del agua a la entrada del colector, temperatura del agua a la salida .....	38
<b>Figura 28.</b> Temperatura del agua al interior del tanque para un día combinado. ....	39
<b>Figura 29.</b> Temperaturas del agua a la entrada del colector, temperatura del agua a la salida .....	39
<b>Figura 30.</b> Temperatura del agua al interior del tanque para un día nublado. ....	40
<b>Figura 31.</b> Temperatura del agua a la entrada del colector, temperatura del agua a la salida	41
<b>Figura 32.</b> Temperatura del agua al interior del tanque para un día soleado.....	42
<b>Figura 33.</b> Temperatura del agua a la entrada del colector, temperatura del agua a la salida	42
<b>Figura 34.</b> Temperatura del agua al interior del tanque para un día combinado. ....	43
<b>Figura 35.</b> Temperaturas del agua a la entrada del colector, temperatura del agua a la salida	44
<b>Figura 36.</b> Temperatura del agua al interior del tanque para un día nublado. ....	44
<b>Figura 37.</b> Comparación de temperaturas de la placa absorbadora entre colectores. ....	46
<b>Figura 38.</b> Comparación de calor útil entre colectores. ....	47
<b>Figura 39.</b> Comparación de eficiencia entre colectores.....	48
<b>Figura 40.</b> Curva de eficiencia colector 1.....	49
<b>Figura 41.</b> Curva de eficiencia colector 2.....	51

## **Índice de Anexos:**

<b>Anexo 1.</b> Temperatura del agua de la red del sector de la F.E.I.R.N.N.R. durante el periodo de evaluación. ....	68
<b>Anexo 2.</b> Datos de flujo másico de los calentadores solares Datos de flujo másico de los calentadores solares. ....	69
<b>Anexo 3.</b> Tablas de monitoreo para análisis de los colectores solares. ....	71
<b>Anexo 4.</b> Datos de radiación, temperatura ambiente, temperatura del agua a la salida del colector, temperatura de la placa de absorción, temperatura del agua al interior del tanque, calor útil y eficiencia durante todo el periodo de evaluación. ....	83
<b>Anexo 5.</b> Código de programación para el sistema de medición térmica. ....	84
<b>Anexo 6.</b> Certificación de traducción del resumen.....	86

## Simbología:

$A_c$ :	Área del colector	$m^2$
$C_p$ :	Calor específico del agua	$J/Kg^\circ C$
$F_R$ :	Factor de remoción	<i>Adimensional</i>
$\beta$ :	Ángulo de inclinación del módulo solar	$^\circ$
$k_a$ :	Conductividad térmica del aislante	$W/mK$
$G$ :	Radiación solar	$W/m^2$
$h_c$ :	Coef. transf. de calor por convección	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
$k$ :	Conductividad térmica	$W/mK$
$k_a$ :	Conductividad térmica del aislante	$W/mK$
$\eta_c$ :	Eficiencia del colector	$\%$
$v$ :	Velocidad del viento	$m/s$
$\varepsilon_c$ :	Emisividad de Cubierta	<i>Adimensional</i>
$\varepsilon_p$ :	Emisividad de Placa Absorbedora	<i>Adimensional</i>
$T_a$ :	Temperatura ambiente	$^\circ C$
$T_c$ :	Temperatura cubierta	$^\circ C$
$T_e$ :	Temperatura entrada	$^\circ C$
$T_p$ :	Temperatura placa	$^\circ C$
$T_s$ :	Temperatura salida	$^\circ C$
$\rho$ :	Densidad	$kg/m^3$
$\sigma$ :	Constante de Stefan-Boltzman	$W/(m^2 \cdot K^4)$
$\tau$ :	Transmitancia de la cubierta	<i>Adimensional</i>
$\alpha$ :	Absortancia de la placa	<i>Adimensional</i>
$U_L$ :	Coef. global de pérdidas térmicas	$W/(m^2 \cdot K)$
$\dot{m}$ :	Flujo másico del fluido de trabajo	$Kg/s$
$Q_u$ :	Calor útil	$W$
$q_c$ :	Calor por convección	$W$
$q_k$ :	Calor por conducción	$W$
$q_r$ :	Calor por radiación	$W$

## **1. Título**

**Análisis comparativo de dos calentadores solares de diferente tipo de construcción para las condiciones climatológicas y aplicaciones en la ciudad de Loja**

## 2. Resumen

La presente investigación hace énfasis en la evaluación térmica de dos calentadores solares de placa plana de distinto tipo de construcción de  $1,44 \text{ m}^2$  de área efectiva de captación. En la parte experimental se usa los colectores solares de placa plana de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja, en la cual mediante la implementación de un sistema de medición térmica en cada colector permite la recolección de datos de temperatura del agua a la entrada del colector, temperatura del agua a la salida del colector, temperatura de la placa absorbadora, temperatura de la cubierta de vidrio, temperatura agua al interior del tanque, temperatura ambiente y humedad relativa; adicionalmente, los datos de velocidad del viento y radiación solar se obtuvieron de la Estación Meteorológica 50001- Facultad de la Energía. Durante el lapso de monitoreo bajo las condiciones climatológicas de la ciudad de Loja se presentaron días soleados, combinados (soleado-nublado) y nublados, donde para el mes de julio se obtuvo que la eficiencia del colector con placa absorbadora de tubos de cobre arreglados a las aletas de aluminio es un 2,74 % mayor que la eficiencia del colector con placa absorbadora de zinc galvanizado con tubos de cobre encajados a la placa de captación. En base a este estudio se puede afirmar que en climas cálidos templados la topología constructiva de una placa absorbente de tubos de cobre arreglados a las aletas de aluminio es más ventajosa a efectos de calor absorbido y eficiencia térmica.

*Palabras claves: balance energético, colector solar, sistema de medición térmica, eficiencia térmica, eficiencia óptica.*

## Abstract

The present investigation emphasizes the thermal evaluation of two solar heaters of flat plate of different type of construction with  $1.44 \text{ m}^2$  of effective collection area. In the part experimentally, the flat plate solar collectors of the Faculty of Energy, Industries are used and the Non-Renewable Natural Resources of the National University of Loja, in which through The implementation of a thermal measurement system in each collector allows the collection of water temperature data at the inlet of the collector, water temperature at the outlet of the collector, absorber plate temperature, glass cover temperature, temperature water inside the tank, ambient temperature and relative humidity; Additionally, the data of wind speed and solar radiation were obtained from Meteorological Station 50001- Faculty of Energy. During the monitoring period under the weather conditions of the city of Loja had sunny, combined (sunny-cloudy) and cloudy days, where for the month July it was obtained that the efficiency of the collector with an absorber plate of copper tubes arranged to the aluminum fins is 2.74% higher than the efficiency of the collector with an absorber plate galvanized zinc with copper tubes fitted to the collection plate. Based on this study It can be stated that in warm temperate climates the construction topology of an absorbent plate of copper tubes fixed to aluminum fins is more advantageous for the purposes of absorbed heat and thermal efficiency

**Keywords:** *energy balance, solar collector, thermal measurement system, thermal efficiency, optical efficiency.*

### 3. Introducción

Desde tiempos remotos la forma de calentar agua ha sido un tema importante para la humanidad, la cual ha evolucionado con mayor énfasis en los últimos años, partiendo desde el uso de la leña, avanzando tiempo después con el consumo del keroseno, hasta continuar con el gas licuado, para hoy en día emplear la energía eléctrica como uno de los métodos más usados en los hogares (Sáenz, 2022). El creciente interés que existe a nivel mundial por el uso de las energías renovables ha llegado a tener una amplia motivación para su estudio e investigación, tratando así de obtener nuevas formas para aprovechar este tipo de recurso inagotable (Puma, 2022).

Según Forson et al. (2003), concluye que, por su ubicación en la región del sur del Ecuador, específicamente en Loja se posee un recurso energético de gran potencial, la radiación solar expresada como brillo solar o heliofanía, la cuál puede ser aprovechada para el calentamiento de agua para uso doméstico y así aplicar un sistema que sea amigable con el ambiente y promover el uso de energía renovable. Algunos de los equipos de aprovechamiento solar son los colectores solares de placas planas los cuales se definen como intercambiadores de calor que aprovechan la radiación solar global (directa y difusa) para calentar un fluido, acondicionamiento de aire y en procesos de secado para aplicaciones agrícolas e industriales, usualmente a bajas temperaturas (373K) (Forson et al., 2003).

Esta tesis tiene como objetivo principal un análisis comparativo de dos colectores solares de diferente tipo de construcción que aprovecha la energía solar térmica, de modo que se pueda obtener datos precisos y actualizados de la rapidez de calentamiento del agua en función de las condiciones climáticas de la ciudad de Loja. Para ello, se tendrá en cuenta diversas variables determinantes para un análisis más preciso.

Una vez determinado el material y tipo de construcción de los dos colectores se realizará el análisis comparativo y validación de los datos obtenidos, se ejecuta la implementación de un sistema de medición térmica que permitirá la evaluación de las condiciones térmicas y eficiencia del colector, de manera que pueda usarse como herramienta educativa y de trabajo para el diseño y caracterización de estos modelos con el propósito de hallar la rapidez de calentamiento del agua a la salida del colector tomando en cuenta las variaciones de diferentes parámetros de entrada.

Los colectores solares de placa plana, fueron construidos por los investigadores de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la carrera de

Ingeniería Electromecánica, con el propósito de emplearlos en procesos que demanden de agua caliente a temperaturas moderadas, tales como suministro de ACS o para proceso de calefacción, climatización de piscinas, producción de calor en procesos industriales y en sistemas de refrigeración de ahí que nace la necesidad de realizar el presente proyecto para cumplir con objetivos propuestos:

#### Objetivo Principal

- Evaluación térmica de dos calentadores solares de placa plana de distinto tipo de construcción.

#### Objetivos específicos

- Determinar el material y tipo de construcción.
- Implementar un sistema de medición térmica.
- Evaluar las condiciones térmicas, eficiencia y rapidez de calentamiento.

Para cumplir con los objetivos descritos es necesario seguir la metodología planteada en el proyecto: como primera parte, el marco teórico que abarca la teoría fundamental en transferencia de calor y de colectores solares de placa plana, seguido de la metodología que describe el procedimiento ejecutado, caracterización de los colectores solares, implementación de un sistema de medición térmica, y evaluación las condiciones térmicas.

## 4. Marco Teórico

### 4.1. El sol como fuente de energía

#### 4.1.1. *Energía Solar*

La energía solar consiste en el aprovechamiento de la energía obtenida del sol, que se aprovecha para generar calor, puede ser utilizada para cubrir las necesidades de energía térmica (calentamiento de agua, calefacción, refrigeración por absorción, etc.). La energía térmica obtenida puede ser pasiva o activa, sin embargo, la energía pasiva se basa en el principio de la arquitectura bioclimática, es decir el propio edificio actúa como colector solar y debe estar diseñado con materiales, orientación, colores, tipos de cubierta para que gocen de las condiciones ambientales del entorno (Rey et al., 2018).

##### 4.1.1.1. **Energía solar activa**

La energía solar activa necesita de colectores solares para captar la radiación solar y poder aprovecharla, se clasifica generalmente en base al margen de temperatura que se requiera, de baja, media y alta temperatura.

- **Sistemas de baja temperatura**

Se usan en aplicaciones cuyo rango máximo de temperatura está por debajo del punto de ebullición del agua (100 °C). Son sistemas sin concentración de la radiación solar y tiene mayor aplicación en la producción de agua caliente sanitaria y climatización de piscinas.

- **Sistemas de media temperatura**

Son sistemas con concentración lineal y se utilizan en aplicaciones que requieren temperaturas entre los (100 °C y 300 °C); proporcionar calor en procesos industriales, suministros de vapor, etc.

- **Sistemas de alta temperatura**

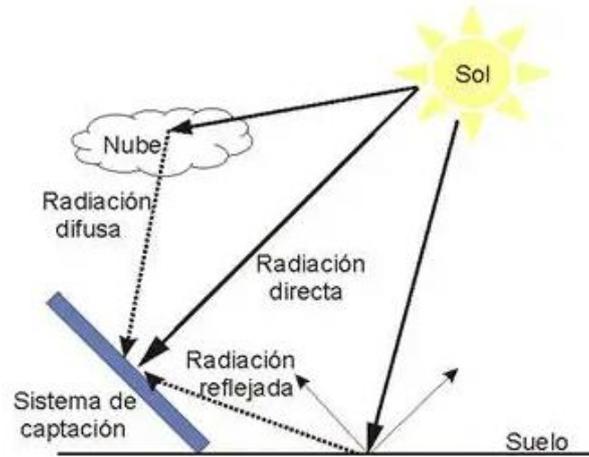
Son sistemas con concentración puntual y son empleados en aplicaciones que necesitan temperaturas superiores a (300 °C), producción de vapor, generación de energía eléctrica en centrales térmicas solares, entre otras (Martínez & Amo, 2016).

#### 4.1.2. *Radiación Solar*

Es la energía que emite el sol en forma de ondas electromagnéticas en todas las direcciones del espacio. En el borde exterior de la atmósfera, los rayos solares tienen una incidencia permanente, denominada constante solar y tiene un valor de aproximadamente 1367

$W/m^2$ , con una desviación máxima de  $\pm 7 W/m^2$ , esta variación depende de la actividad solar (ciclos solares) y debido a la excentricidad de la órbita terrestre (Martínez, 2010).

Se distinguen tres tipos de radiación solar en función de cómo inciden los rayos del sol sobre la tierra (**Figura 1**):



**Figura 1.** Componentes de la radiación solar terrestre. Nota: Tipos de radiación solar.  
Fuente: Tomada de (ARQUITECTURA EFICIENTE, 2014)

- *Radiación directa:* es recibida desde el sol sin que se desvíe en su paso por la atmósfera.
- *Radiación Difusa:* es la que sufre cambios en su dirección principalmente debidos a la reflexión y difusión en la atmósfera.
- *Radiación Albedo o reflejada:* es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas.
- *Radiación global:* es la sumatoria de los tipos de radiaciones (Aparicio, 2010).

De entre los tres tipos, la radiación directa es la mayor y más importante en las aplicaciones fotovoltaicas y fototérmicas.

Aunque en días nublados (por cuestiones meteorológicas) en las cuales no se recibe radiación directa (o debido a otro obstáculo), se continúa recibiendo radiación solar sobre la superficie debido a la radiación difusa.

En consecuencia, la radiación solar total, será:  $Radiación\ Total = Radiación\ directa + Radiación\ difusa + Radiación\ de\ albedo$

Comentar que, debido a las propiedades direccionales de la radiación, en consecuencia, el valor de la radiación difusa dependerá del ángulo (debido a los factores geográficos) de los sistemas de captación utilizados. (Pareja, 2010, pág. 14)

### 4.1.3. Unidades de radiación solar

Para los cálculos de dimensionamiento se debe dar un valor de radiación solar, y sus unidades son los KW/m<sup>2</sup>, aunque en algunos documentos se utilizan la otra unidad de potencia, los KJ/ m<sup>2</sup>.

**Irradiancia:** se define como el flujo de radiación solar que incide sobre una unidad de superficie en un tiempo dado. Se expresa normalmente en W/m<sup>2</sup>, aunque también se expresa en kW/m<sup>2</sup>.

**Irradiación:** Se define como la energía por unidad de superficie a lo largo de un periodo de tiempo. Se expresa en julios (energía) por metro cuadrado (J/m<sup>2</sup>), aunque también se expresa en KWh/m<sup>2</sup> (potencia), mediante la conversión de unidades. (Pareja, 2010).

## 4.2. Radiación Solar en el Ecuador

La energía solar puede ser aprovechada en cualquier parte del mundo, pero no con la misma eficiencia que en las zonas tropicales, y más todavía en la línea ecuatorial. La eficiencia y la capacidad para aprovechar la captación solar, depende de factores como: latitud, altitud y condiciones de transparencia de la atmósfera. (Albarracin, 2016).

Por esta razón se menciona a Ecuador, como uno de los países con capacidad para el desarrollo de la energía solar debido a su ubicación geográfica, en donde la incidencia de la radiación solar es mucho mayor que en otros países ( Calle & Tinoco, 2018).

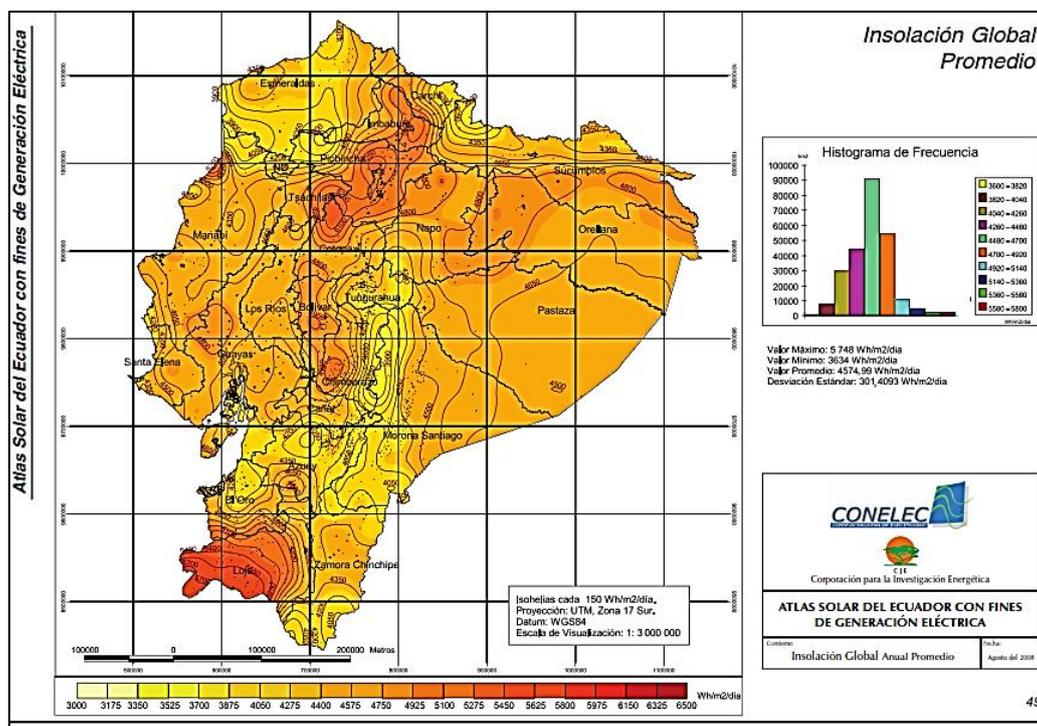


Figura 2. Mapa de Insolación Global anual promedio del Ecuador. Nota: Zonas con mayor insolación en el Ecuador. Fuente: Tomada de (CONELEC, 2008)

Los valores máximos de radiación global bajo condiciones de cielo claro, se encuentran al este de la provincia de Loja y en otras zonas con valores altos de elevación del terreno sobre el nivel del mar, mientras los mínimos aparecen en los sectores más bajos, fundamentalmente hacia el oeste de la provincia de Loja. En el estudio se demuestra que los meses de octubre y marzo presentan los valores más elevados de radiación global en condiciones de cielo despejado, mientras junio es el mes que recibe menor cantidad de radiación global. Los valores deben ser menores considerando la nubosidad media para cada mes y año, así como aquellos de pendiente y orientación; sin embargo, se establece una primera aproximación a la radiación solar global en la provincia de Loja. (Álvarez et al., 2014).

El Ecuador a través del ex Consejo Nacional de Electricidad - CONELEC desarrolló el Atlas solar con fines de generación eléctrica. Los datos presentados en la **Figura 2**, representan la energía solar global promedio de los valores diarios de insolación total (directa y difusa), expresados en Wh/m<sup>2</sup>/día. En esta figura pueden observarse las zonas con mayor insolación en el país y, por tanto, con mayor potencial para generación fotovoltaica como el caso de las provincias de Loja, Imbabura y Carchi. El valor medio aproximado de la radiación solar global en el Ecuador es de 4.575 Wh/m<sup>2</sup> /día. (Vizhñay et al., 2018)

### 4.3. Calentadores solares de agua

Un calentador solar de agua (CSA) **Figura 3**, es un sistema que calienta el agua solamente con la energía solar, sin necesidad de gas o electricidad. Un sistema típico de CSA consta básicamente de tres componentes:

- Colector solar
- Termotanque
- Sistema de tuberías y válvulas (Sáenz, 2022).



**Figura 3.** Partes de un calentador solar de tubos al vacío.  
Fuente: Tomado de (Termas Solares Luxxol, 2011)

#### **4.3.1. Partes de un sistema de calentamiento de agua**

Un sistema de calentamiento de agua por energía solar está formado por:

- **Sistema de captación:** está formado por captadores solares conectados entre sí, cuya función es exponerse a la radiación solar, captarla y mediante un proceso transformar esa energía en calor, aumentando la temperatura del fluido que circula por la instalación.
- **Sistema de acumulación:** Consiste en almacenar la energía térmica en un depósito de acumulación para su posterior utilización. En aplicaciones de ACS o calefacción la demanda no siempre coincide con el momento en el que hay suficiente radiación, por tanto, si se quiere aprovechar al máximo las horas del Sol por lo que será necesario acumular la energía para luego utilizarla cuando se produzca la demanda.
- **Sistema de distribución:** en este sistema se engloban todos los elementos destinados a la distribución y acondicionamiento para el consumo como: control, tuberías, juntas de expansión, bombas, purgadores, válvulas, etc. También forma parte de este la distribución de un sistema auxiliar basado en energías convencionales (Puma, 2022).

#### **4.4. Colectores solares**

Los colectores solares son dispositivos utilizados para coleccionar, absorber y transferir energía solar a un fluido, que puede ser agua o aire. La energía solar, puede ser utilizada para calentar agua, para sistemas de calefacción o para climatización de piscinas (Placco et al., 2020). Un colector solar es muy diferente de muchos intercambiadores de calor convencionales, usualmente logra un intercambio fluido a fluido con alta velocidad de transferencia de calor y con la radiación como un factor de alta importancia. El flujo de la incidencia de radiación es la mejor, aproximadamente  $1100\text{W/m}^2$  (sin concentración óptica) y es variable. El rango de longitud de onda es de 0.3 a 3  $\mu\text{m}$ , donde es considerablemente más corta que la radiación emitida de la mayoría de superficies de absorbedor de energía (Duffie & Beckam, 2013, pág. 288).

##### **4.4.1. Colectores de tubos de vacío**

Estos colectores se componen de un conjunto de tubos de vacío, cada uno de los cuales contienen un absorbedor que recoge la energía solar y la transfiere a un fluido portador. Debido a las propiedades aislantes del vacío, se reduce la pérdida de calor y las temperaturas pueden alcanzar el rango de  $77^\circ\text{C}$  a  $177^\circ\text{C}$ . Como tales, los colectores de este tipo son particularmente adecuados para aplicaciones de alta temperatura y debido a su forma cilíndrica, aprovechan la radiación de manera más eficiente que los colectores planos, al permitir que los rayos de sol

incidan de forma perpendicular sobre los tubos durante la mayor parte del día. Estos colectores son hasta unos 30% más eficientes que los colectores de placa plana, pero son bastante caros, suelen costar aproximadamente el doble que un colector de placa plana (Placco et al., 2020).

#### **4.4.1.1. Colector solar de tubos de vacío de flujo directo**

Estos sistemas consisten en un conjunto de tubos de vidrio, dentro de cada uno de los cuales hay una aleta de aluminio (absorbedor), conectada a un tubo de metal (normalmente cobre) o tubo de vidrio (**Figura 4**). La aleta posee un recubrimiento selectivo que absorbe la radiación solar, e inhibe la pérdida de calor radiactivo (Placco et al., 2020). Su sencillez en el montaje, permite reducir gastos de mano de obra ya que es posible montar el colector sobre el tejado sin la necesidad de grúas, además de ofrecer un mayor alcance de temperaturas y mejor captación solar en días nublados (Amordad Group, 2015).



**Figura 4.** *Colector solar de tubos de vacío de flujo directo.*  
Fuente: Tomada de (Amordad Group, 2015)

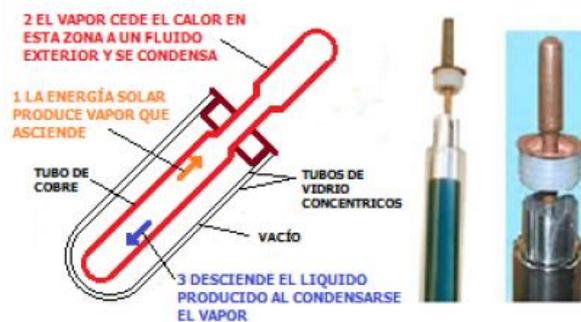
#### **4.4.1.2. Colector solar de tubos de vacío sistema Heat-Pipe**

En este sistema los tubos de vacío llevan un fluido vaporizante que no puede salir del interior del tubo y que permite el transporte de calor (**Figura 5**). Este fluido se evapora por efecto de la radiación solar, asciende hasta el extremo superior del tubo que se encuentra a temperatura inferior, esto hace que el vapor se condense, ceda su energía y retorne a su estado líquido cayendo por acción de la gravedad a la parte inferior del tubo, donde al recibir más radiación, vuelve a evaporarse y comienza un nuevo ciclo (Amordad Group, 2015).



**Figura 5.** *Colector solar de tubos de vacío sistema Heat-Pipe.*  
*Fuente:* Tomado de (Amordad Group, 2015).

En la **Figura 6**, se observa que, en el interior del tubo vaciado existe un tubo cerrado, el cual funciona como herramienta de succión y en cuyo interior hay un fluido caliente a una presión adecuada para que este evapore y condense en un cierto rango de temperaturas (Martínez, Nocento, & Suárez, 2013).



**Figura 6.** *Tubo de vacío del tipo Heat-Pipe.*  
*Fuente:* Tomado de (Martínez et al., 2013)

#### 4.4.2. *Colectores CPC estacionarios*

Estos colectores poseen un sistema de concentración de radiación solar tipo Concentradores Parabólicos Compuestos, para obtener temperaturas más elevadas y un mayor rendimiento (**Figura 7**). Estas características se deben a que el área de pérdidas es menor al área de colección logrando una minimización de las pérdidas y alcanzando un rendimiento cercano al 50% (Placco et al., 2020).



**Figura 7.** *Colector solar tipo CPC estacionario.*  
*Fuente:* Tomado de (Placco et al., 2020)

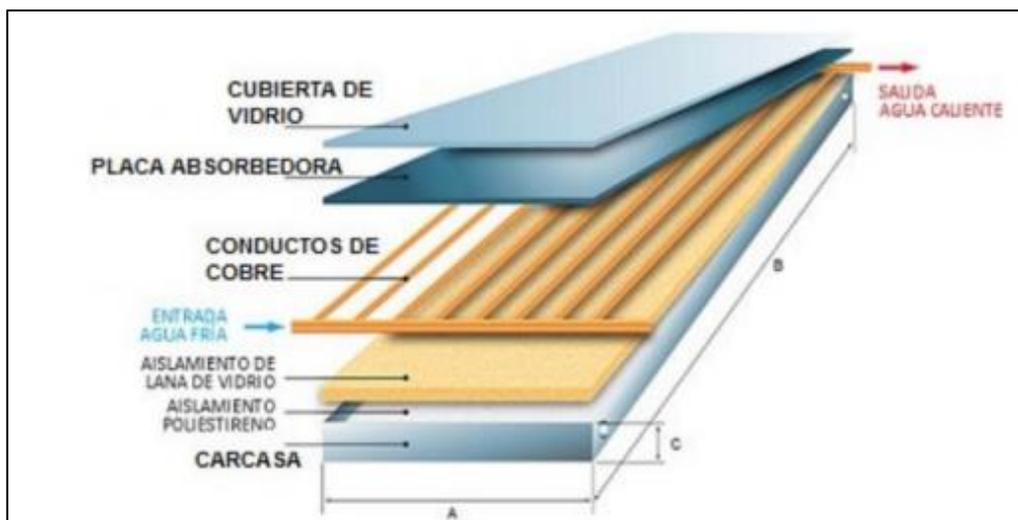
#### 4.4.3. Colectores de placa plana con cubierta

Los colectores de placa plana constan de una placa absorbedor que se ubica en una caja rectangular (carcasa), de una cubierta de vidrio y de aislante básicamente, dicho sistema aprovecha la radiación directa y difusa, además no sigue la trayectoria del sol, son fáciles de fabricar, por ello tienen un bajo costo (**Figura 8**). Su capacidad calorífica es relativamente alta y su principal ventaja es que requieren poco mantenimiento (Perez & Ramirez, 2019).



**Figura 8.** Colector de placa plana con cubierta.  
Fuente: Tomado de (REFORMASTER, 2021)

Según Peña (2016), define las partes de un colector de placa plana, como un panel metálico que tiene una superficie plana llamado absorbente y capta la radiación. Dicho colector plano está sostenido de chapa galvanizada por el perímetro y la parte inferior. La **Figura 9** ilustra las partes del colector solar plano y son los siguientes: marco de aluminio (carcasa), cubierta transparente, placa absorbente, aislante térmico (p.15).



**Figura 9.** Colector solar de placas planas.  
Fuente: Tomado de (Salcedo, 2016)

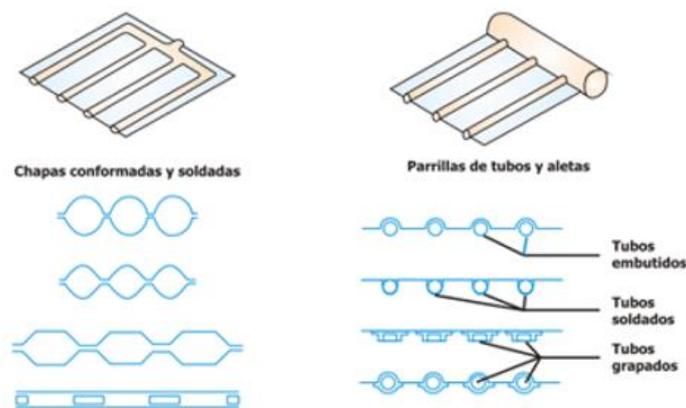
##### 4.4.3.1. Placa absorbente

Tiene el objetivo de captar la radiación solar, transformarla en calor y transmitir esta forma de energía a un fluido caloportador. Se acostumbra a construir de cobre, acero negro o

inoxidable, aluminio, etc. Con el fin de conseguir aumentar la capacidad de absorción, la placa se cubre con pintura negra. La capa de pintura, sin embargo, será lo más delgada posible, ya que en general las pinturas son materiales aislantes o malos conductores de calor. La película de recubrimiento debe ser mate, para evitar los fenómenos de reflexión.

Respecto al diseño de la superficie de la placa absorbente, aunque se han hecho diversos en el pasado, actualmente tan sólo existen dos tipologías en el mercado, con diferencias en la forma y geometría (**Figura 10**):

- De planchas conformadas y soldadas, que acostumbran a ser de acero y con unas dimensiones de  $2m^2$ .
- Un sistema de aletas y tubos embutidos, soldados o grapados, mayoritariamente de cobre, con unas dimensiones aproximadas de  $1,7 m^2$  (Fernández, 2008).

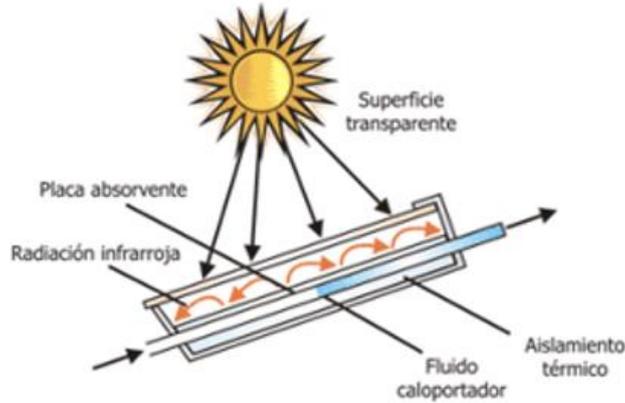


**Figura 10.** Superficies absorbentes. Nota: Tipos de superficie de placa absorbente.  
Fuente: Tomada de (Fernández, 2008)

#### 4.4.3.2. Cubierta transparente

Se trata de una superficie transparente que se coloca sobre la placa absorbente y produciendo así el efecto invernadero, al mismo tiempo que la protege de los agentes atmosféricos y reduce las pérdidas. Este elemento, si bien deja pasar la radiación solar, es opaco para las radiaciones emitidas por la placa absorbente que se sitúan dentro de la franja de los infrarrojos (Lopez, 2000).

El espacio libre aconsejado entre la placa absorbente y la cubierta transparente es del orden de 25-40 mm. Aunque se han comercializado colectores con más de una cubierta y otros fabricados de materiales plásticos, lo más habitual es que sea una única superficie de vidrio, ya que resulta lo más económico y resistente (Sánchez, 2014). De esta sencilla forma, se consigue que la superficie absorbente del colector alcance temperaturas notablemente superiores a las que se obtendrían en una cubierta sin vidrio (**Figura 11**).



**Figura 11.** *Funcionamiento del colector solar plano.*  
*Fuente:* Tomado de (Sánchez, 2014)

#### 4.4.3.3. Carcasa

Su función es de proteger y soportar todos los componentes del colector solar, generalmente suele ser de aluminio, con algún tratamiento anticorrosión (anodizado). Se puede construir la caja absorbente de cualquier material que se desee, ya sea madera, metal o fibra de vidrio. Tomando en cuenta de que la caja estará por un largo tiempo a la intemperie y dependiendo del material de que esté hecha, se la debe tratar de una manera muy delicada (Peña H. , 2018).

#### 4.4.3.4. Aislamiento térmico

Es el material que recubre los laterales y la parte posterior del colector y se encarga de minimizar las pérdidas térmicas a través de la carcasa. Para atrapar el calor que el absorbente radia, es necesario aislar la caja en el fondo y por los lados con al menos dos pulgadas de aislante, esto dependiendo de qué tipo de aislante se utilice, de igual manera todos los tubos que vayan al tanque de almacenamiento. Esto con el fin de conservar la eficiencia del calentador tan alta como se pueda debido a la naturaleza de la energía que se está usando (Méndez et al., 2008).

Las características que deben tener son:

- Resistencia a altas temperaturas sin deteriorarse.
- Resistencia a la humedad que pueda producirse en el interior del colector.
- Mínimo desprendimiento de vapores al descomponerse por el calor.
- Nula degradación por envejecimiento y contar con un coeficiente de dilatación que sea compatible con el resto de los componentes del colector (Vallejo & Salazar, 2014).

#### 4.5. Sistema termosifón

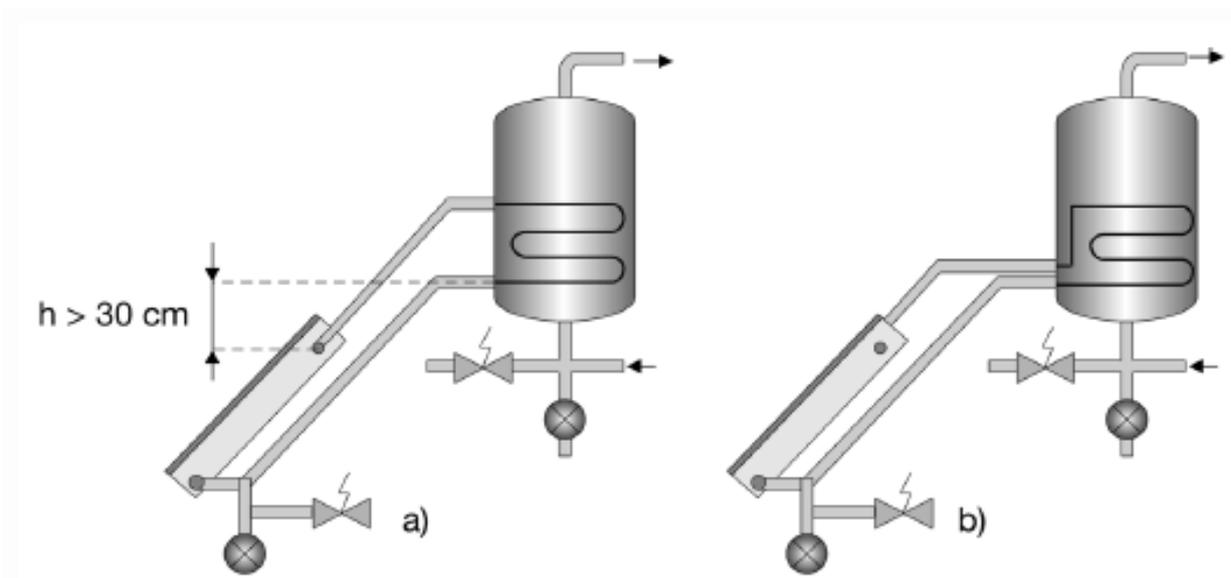
En este sistema el agua se mueve por la diferencia de temperaturas entre el agua fría del acumulador y el fluido caliente del colector, para lograr la circulación entre el colector y el dispositivo acumulador. El fluido en el interior del colector calentado por el sol disminuye su densidad y por tanto su peso.

El diseño e instalación en estos sistemas deberá estar supeditado al fácil flujo del fluido caliente, este flujo ascendente de fluido caloportador caliente se deberá a dos factores:

- Diferencia media de densidad, es decir, de temperaturas entre el fluido caliente que sale del colector y el frío de la parte baja del acumulador ( $\Delta T$ ).
- Diferencia de altura ( $h$ ) entre el depósito acumulador y el colector.

Esta suma de factores se denomina carga hidráulica del sistema, que nos proporciona la energía existente para el movimiento del fluido, siendo este movimiento más fácil cuando mayores sean las diferencias entre la temperatura ( $\Delta T$ ) y menor sea la altura ( $h$ ).

En instalaciones por termosifón se evitará tuberías largas y estrechas, recorridos tortuosos, cambios bruscos de sección o excesivos accesorios, ya que provocarán una reducción del caudal, aunque tengamos altos valores de  $\Delta T$  reduciendo el calor recogido (Eficiencia Energética, 2015).



**Figura 12.** Sistema termosifón. Nota: a) Para facilitar el efecto termosifón b) Minimiza el riesgo que se produzca una circulación en sentido inverso al deseado.

Fuente: Tomado (Eficiencia Energética, 2015)

En la **Figura 12**, se observa como usualmente se tiene dos posiciones para el termosifón, en a) para facilitar el efecto termosifón conviene que  $h$  sea superior a 30 cm, en b) esta disposición es preferible, pues, al quedar la mayor parte del tramo ascendente de la tubería de ida dentro del propio acumulador y por tanto, aislado térmicamente del exterior, se minimiza

el riesgo de que, debido a un posible enfriamiento de dicho tramo, se produzca una circulación en sentido inverso al deseado (Eficiencia Energética, 2015).

#### **4.6. Fundamentos de Transferencia de Calor.**

El calor, en esencia, se transporta o se mueve, mediante un gradiente de temperatura fluye o se transfiere de una región de alta temperatura a una de baja temperatura. Es decir, el calor es un fenómeno transitorio, el calor se transfiere del primer sistema al segundo hasta que se establece el equilibrio de temperatura. La comprensión de este proceso y sus diferentes mecanismos requiere que se conecten los principios de la termodinámica y del flujo de fluidos con los de la transferencia de calor. El calor se transfiere por tres mecanismos distintos: conducción, convección y radiación (Kreith et al., 2012).

##### **4.6.1. Transferencia de calor por conducción.**

Siempre que exista un gradiente de temperatura en un medio sólido, líquido o gases, el calor fluirá de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura. La velocidad a la que el calor se transfiere por conducción,  $q_k$ , es proporcional al gradiente de temperatura  $dT/dx$  por el área a través de la que se transfiere el calor **Ecuación (1)**:

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

En esta relación,  $T(x)$  es la temperatura local y  $x$  es la distancia en la dirección del flujo de calor. La velocidad real del flujo de calor depende de la conductividad térmica  $k$ , que es una propiedad física del medio. Entonces para la conducción a través de un medio homogéneo, la tasa de transferencia de calor está representada por la ecuación. El signo menos es consecuencia de la segunda ley de la termodinámica, que requiere que el flujo de calor debe fluir en dirección de una temperatura mayor a una menor (Kreith et al., 2012).

En la **Tabla 1** se encuentran los valores de la conductividad térmica para varios materiales. Observe que los mejores conductores son los metales puros y los peores son los gases. Entre ellos se encuentran las aleaciones, los sólidos no metálicos y los líquidos (Kreith et al., 2012, pág. 14).

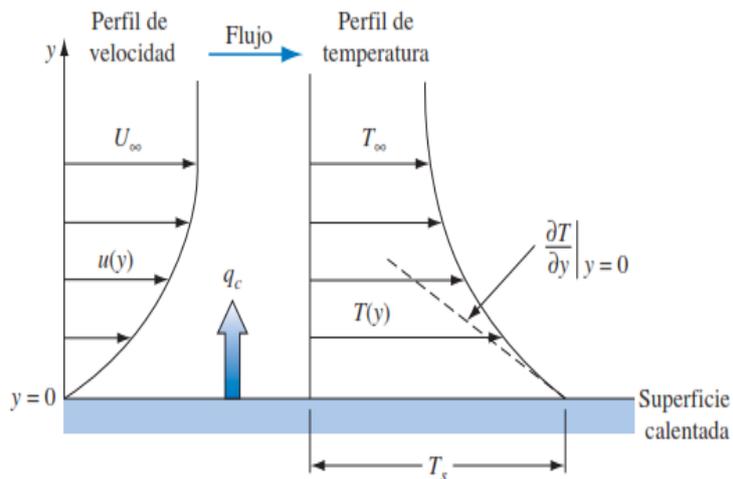
**Tabla 1.***Conductividad térmica de algunos metales, solidos no metálicos, líquidos y gases*

<b>Conductividad térmica a 300K (540 °R)</b>		
<b>Material</b>	<b>W/mK</b>	<b>Btu/h ft °F</b>
Cobre	399	231
Aluminio	237	137
Acero al carbono, 1% C	43	25
Vidrio	0.81	0.47
Plásticos	0.2-0.3	0.12 – 0.17
Agua	0.6	0.35
Etileno glicol	0.26	0.15
Aceite para motores	0.15	0.09
Freón (líquido)	0.07	0.04
Hidrogeno	0.18	0.10
Aire	0.026	0.02

Fuente: Tomado de (Kreith et al., 2012)

#### **4.6.2. Transferencia de calor por convección**

El modo de transferencia de calor por convección en realidad consiste en dos mecanismos que operan de manera simultánea. El primero es la transferencia de energía generada por el movimiento molecular, es decir, entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. Superpuesta a este modo se encuentra la transferencia de energía por el movimiento macroscópico de fracciones de fluido. El movimiento de fluido es un resultado de fracciones de fluido, donde cada una consiste en una gran cantidad de moléculas, que se mueven por la acción de una fuerza externa. Esta fuerza extraña puede ser el resultado de un gradiente de densidad, como en la convección natural, o por una diferencia de presión generada por una bomba o un ventilador, o posiblemente por una combinación de las dos (Kreith et al., 2012).

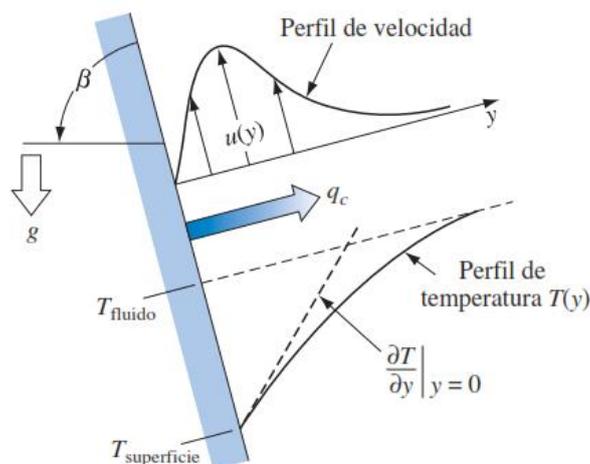


**Figura 13.** Perfil de velocidad y temperatura para transferencia de calor por convección de una placa calentada con flujo sobre su superficie.  
Fuente: Tomada de (Kreith et al., 2012)

En la **Figura 13**, se muestra una placa a una temperatura superficial  $T_s$  y un fluido a una temperatura  $T_\infty$  que fluye paralelo a la placa. Como resultado de las fuerzas viscosas la velocidad del fluido será cero en la pared y aumentará a  $U_\infty$  como se muestra. Dado que el fluido no se mueve en la interfaz, el calor se transfiere en esa ubicación sólo por conducción.

El gradiente de temperatura en la interfaz fluido-placa depende de la naturaleza del campo de flujo, en particular de la velocidad de corriente libre  $U_\infty$ .

La situación es muy similar en la convección natural. La diferencia principal es que en la convección forzada la velocidad lejos de la superficie se aproxima al valor de corriente libre impuesto por una fuerza externa, en tanto que en la convección natural la velocidad al principio aumenta con el aumento de la distancia desde la superficie de transferencia de calor y después disminuye, como se muestra en la **Figura 14**.



**Figura 14.** Distribución de la velocidad y temperatura para convección natural sobre una placa plana, calentada e inclinada a un ángulo  $\beta$  con respecto a la horizontal  
Fuente: Tomada de (Kreith et al., 2012)

La transferencia de calor por convección depende de la densidad, viscosidad, y velocidad del fluido, así como de sus propiedades térmicas (conductividad térmica y calor específico). Mientras que en la convección forzada la velocidad suele imponerse en el sistema por una bomba o un ventilador y se puede especificar directamente, en la convección natural la velocidad depende de la diferencia de temperatura entre la superficie y el fluido, el coeficiente de dilatación térmica del fluido (que determina el cambio de densidad por diferencia de la temperatura unitaria) y el campo de fuerza del cuerpo, que en sistemas ubicados en la tierra es simplemente la fuerza gravitatoria.

Independientemente de los detalles del mecanismo, la tasa de transferencia de calor por convección entre una superficie y un fluido se puede calcular a partir de la relación como se muestra en la **Ecuación (2)**.

$$q_c = \bar{h}_c A \Delta T \quad (2)$$

Donde:

$q_c$ : tasa de transferencia de calor por convección, [W] o [Btu/h]

$A$ : área de transferencia de calor, [m<sup>2</sup>]

$\Delta T$ : diferencia entre la temperatura superficial  $T_s$  y una temperatura de fluido  $T_\infty$

$\bar{h}_c$ : coef. transf. de calor por convección promedio sobre el  $A$ . [W/m<sup>2</sup>K]

En la **Tabla 2** se muestran los valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección libre y forzada, entre ellos se encuentran de líquidos y gases (Cengel, 2007).

**Tabla 2.**

*Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección*

<b>Tipo de convección</b>	<b>h, W/m<sup>2</sup>·°C*</b>
Convección libre de gases	2 - 25
Convección libre de líquidos	10 - 1000
Convección forzada de gases	25 - 250
Convección forzada de líquidos	50 - 20000
Ebullición y condensación	2500 - 1000000

Fuente: Tomado de (Cengel, 2007)

#### 4.6.3. *Transferencia de calor por radiación*

La cantidad de energía que sale de una superficie como calor radiante depende de la temperatura absoluta y de la naturaleza de la superficie. Un radiador perfecto, al cual se le refiere como cuerpo negro, \* emite energía radiante de su superficie a una tasa dada por la tasa de transferencia de calor  $q_r$  estará en watts (W) si el área superficial  $A$ , está en metros cuadrados ( $m^2$ ) y la temperatura superficial  $T_1$  está en kelvin (K);  $\sigma$  es una constante dimensional con un valor de  $5.67 \times 10^{-8} W/m^2K$ . La constante  $\sigma$  es la constante de Stefan Boltzmann; nombrada así en honor de los científicos austriacos, J. Stefan, quien en 1879 descubrió la **Ecuación (3)** de manera experimental y L. Boltzmann, quien en 1884 la derivó en forma teórica. (Kreith et al., 2012).

$$q_r = \sigma A_1 T_1^4 \quad (3)$$

#### 4.7. **Balance de energía en el calentador solar**

El propósito del balance de energía es calcular la cantidad de calor útil transferido al agua con el fin de determinar la eficiencia del calentador solar. De esta manera el balance se basa en que a energía que entra al colector es igual a la energía que sale del colector, dicho en otros términos semejantes:

***Energía útil = Energía solar absorbida por la placa – Pérdidas de energía calorífica.***

La energía útil  $Q_u$ [W] es la cantidad de energía en términos de calor añadida al fluido que circula a través de la placa de absorción (Duffie & Beckam, 2013). Esta se calcula utilizando la **Ecuación (4)**:

$$Q_u = \dot{m}C_p(T_s - T_e) \quad (4)$$

Donde:

$\dot{m}$ : *flujo másico, Kg/s*

$C_p$ : *calor específico del fluido, KJ/Kg°C*

$T_s$ : *temperatura del fluido a la salida del colector, °C*

$T_e$ : *temperatura del fluido a la entrada del colector, °C*

#### 4.8. **Eficiencia del colector solar**

La eficiencia representa la relación entre la energía que ingresa al sistema y la energía que produce. En el caso del colector solar, su fuente de energía es la radiación solar, mientras que la energía que se obtiene es la cantidad de calor útil  $Q_u$ . La eficiencia del colector para

condiciones específicas de radiación, temperatura entrada y salida (Duffie & Beckam, 2013). Esta se calcula utilizando la **Ecuación (5)**:

$$\eta_c = \frac{Q_u}{A_c G} \quad (5)$$

Donde:

$Q_u$ : energía útil,  $W$

$A_c$ : área del colector,  $m^2$

$G$ : radiación solar,  $W/m^2$

En la practica la eficiencia se determina experimentalmente en un intervalo finito de tiempo, para fines de diseño el periodo de evaluación puede ser de un día o un tiempo mayor.

Para calcular la eficiencia del colector solar también se puede utilizar la **Ecuación (6)** para determinar las condiciones ópticas y las perdidas térmicas del colector.

$$\eta_c = F_R(\tau \alpha) - F_R U_L \frac{T_e - T_a}{G} \quad (6)$$

Donde:

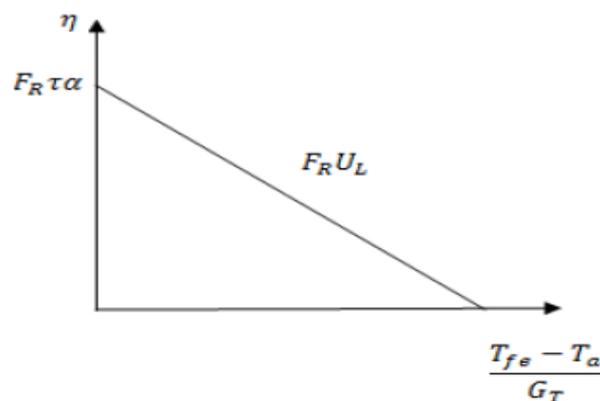
$F_R$ : factor de remoción de calor, (adimensional)

$(\tau \alpha)$ : constante que contiene pérdidas ópticas y pérdidas por absorción

$U_L$ : coeficiente global de pérdidas térmicas,  $W/m^2 \cdot ^\circ C$

$G$ : radiación solar,  $W/m^2$

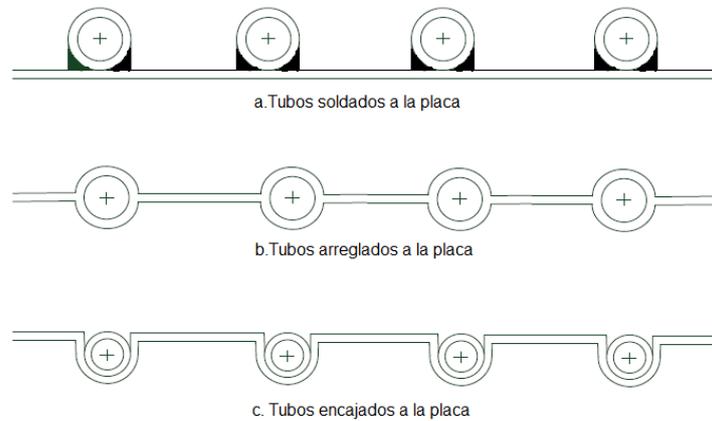
El primer término de la **Ecuación (6)** nos da una información sobre la calidad óptica del colector, es decir cuanta radiación solar es aprovechada; mientras que el segundo termino nos indica las pérdidas térmicas en el colector, estos parámetros son graficados como una función de  $(T_e - T_a)/G$  como se muestra en la **Figura 15**.



**Figura 15.** Curva de eficiencia del colector.  
Fuente: Tomada de (Duffie & Beckam, 2013)

#### 4.8.1. Eficiencias de placas absorbentes de chapas conformadas y soldadas

En la **Figura 16**, se representa la unión de una única placa absorbente que puede ser de cualquier material como: cobre, aluminio o zinc galvanizado. Con el fin de aumentar el área de contacto con los tubos que conforman la parrilla.



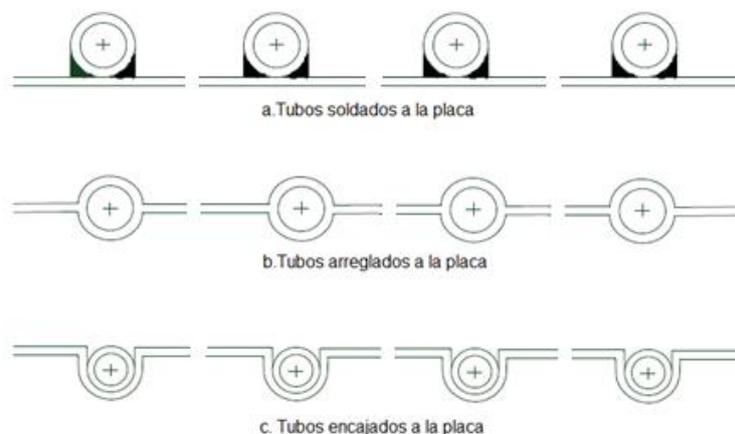
**Figura 16.** Formas de disposición de tubos en la placa.  
Fuente: Adaptado de (Paccha & Samaniego, 2009).

Calentador solar con placa absorbente de zinc galvanizada de  $2 \text{ m}^2$  de área efectiva de captación, con tubos de cobre en paralelo, encajados a la placa como se muestra en el caso (c) de la **Figura 16**, llega hasta el 44% de eficiencia del colector (González et al., 2014).

Calentador solar con placa absorbente de cobre de  $0,6 \text{ m}^2$  de área efectiva de captación, con tubos del mismo material en paralelo, encajados a la placa como se muestra en el caso (c) de la **Figura 16**, llega hasta el 50% de eficiencia del colector (Veintimilla & León, 2011).

#### 4.8.2. Eficiencias de placas absorbentes de parrilla de tubos y aletas

En la **Figura 17**, cada tubo de la parrilla dispone de una aleta que puede encajar o estar unida por soldadura al tubo.



**Figura 17.** Formas de disposición de tubos en la aleta.  
Fuente: Adaptado de (Paccha & Samaniego, 2009)

Calentador solar con placa absorbente de tubos y aletas de cobre de  $1,9 \text{ m}^2$  de área efectiva de captación, tubos de cobre unida por soldadura a la aleta del mismo material como se muestra en el caso (a) de la **Figura 17**, llega hasta el 56,20% de eficiencia del colector (González A. , 2009).

Calentador solar con placa absorbente de tubos y aletas de aluminio de  $1.5 \text{ m}^2$  de área efectiva de captación, tubos de aluminio arreglados a la aleta del mismo material como se muestra en el caso (b) de la **Figura 17**, llega hasta el 51,09% de eficiencia del colector (Burbano et al., 2006).

Calentador solar con placa absorbente de tubos de cobre y aletas de aluminio de  $3 \text{ m}^2$  de área efectiva de captación, tubo de cobre unido por soldadura a la aleta de aluminio como se muestra en el caso (a) de la **Figura 17**, llega hasta 47,50% de eficiencia del colector (Larreta, 2015).

#### **4.8.3. Comparación de eficiencia de colectores solares respecto al diseño de la placa absorbente**

La eficiencia de colectores solares varía de acuerdo al diseño de la placa absorbente como se muestra en la **Figura 16** y **Figura 17**, los distintos tipos de diseño que se pueden implementar para su construcción. En la siguiente **Tabla 3**, se muestra de manera simplificada, la comparación de la eficiencia de calentadores solares de placa plana.

**Tabla 3.**

*Comparación de la eficiencia de calentadores solares de placa plana*

<b>Autor</b>	<b>Material del absorbedor</b>	<b>Área (<math>\text{m}^2</math>)</b>	<b>Eficiencia (%)</b>
(González et al., 2014)	Placa absorbente de zinc galvanizada	2	44
(Veintimilla & León, 2011)	Placa absorbente de cobre	0,6	50
(González A. , 2009)	Placa absorbente de tubos y aletas de cobre	1,9	56,20
(Burbano et al., 2006)	Placa absorbente de tubos y aletas de aluminio	1,5	51,09
(Larreta, 2015)	Placa absorbente de tubos de cobre y aletas de aluminio	3	47,50

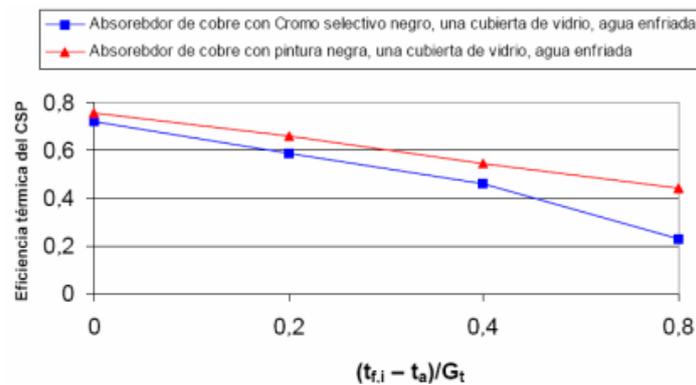
Fuente: El Autor

#### 4.9. Pruebas de rendimiento térmico de colectores solares

A nivel mundial existen diferentes normativas para evaluar el comportamiento de los colectores solares, según las condiciones de cada país. Para obtener una gráfica como se muestra en la **Figura 15**, se puede considerar las pruebas según la NEC o también se puede considerar las pruebas de acuerdo a ASHRAE 93.

##### 4.9.1. Pruebas de rendimiento térmico de acuerdo a la NEC

Para determinar la eficiencia instantánea del colector solar y garantizar su comportamiento bajo un amplio rango de temperaturas de operación NTE INEN 2507-2009, se debe obtener una representación semejante a la curva de eficiencia, como se indica en la **Figura 18**. Para ello se debe tomar valores de radiación incidente, temperatura ambiente y temperatura del agua a la entrada del colector solar (NEC, 2020).



**Figura 18.** Ejemplo de curvas de eficiencia térmica.  
Fuente: Tomada de (NEC, 2020)

##### 4.9.2. Pruebas de rendimiento térmico de acuerdo a ASHRAE 93

Se requiere una serie de condiciones ambientales mínimas para realizar pruebas bajo esta norma que permitan determinar las curvas de eficiencia térmica cuando son realizadas en el exterior. Dentro de estas condiciones se encuentran niveles mínimos de cambios de radiación, rangos de temperatura ambiente y variaciones del viento (Duffie & Beckam, 2013).

- Los niveles mínimos de radiación solar sobre el área de estudio no deben ser menor de  $790 \text{ W/m}^2$ .
- La radiación difusa sobre el área de apertura del colector, no deberá ser mayor al 20% de la radiación hemisférica total sobre el mismo plano.
- El valor de la temperatura ambiente deberá ser menor a los  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- La velocidad del viento deberá estar entre 2,2 y 4,5 m/s por un minuto de 10 minutos o dos constantes de tiempo justo antes de empezar un periodo de prueba.

- El valor del flujo másico del fluido de trabajo se debe establecer para todas las pruebas en 0,002 kg/s por cada  $m^2$  de área de apertura.

Para realizar las pruebas de rendimiento térmico se puede tomar 5 distintas pruebas de acuerdo a la norma ASHRAE 93.

## 5. Metodología

### 5.1. Materiales

Los medios destinados para el desarrollo del presente trabajo se describen a través de la siguiente lista:

#### **Materiales de oficina:**

- Computadora.
- Material bibliográfico.
- Libros de termodinámica, física y calentadores solares.
- Informes de trabajo de titulación.
- Revistas científicas.
- Artículos de investigación.
- Páginas web.

#### **Equipos de medición:**

- Sensores de temperatura (Termocuplas DS18B20).
- Sensor de radiación (ML8511).
- Módulos ESP32 (Adquisición y guardado de datos).
- Sensor digital de temperatura y humedad relativa (DHT22).
- Fuente de alimentación externa para modulo ESP32 (3.5V).
- Caja protectora para módulos ESP32.

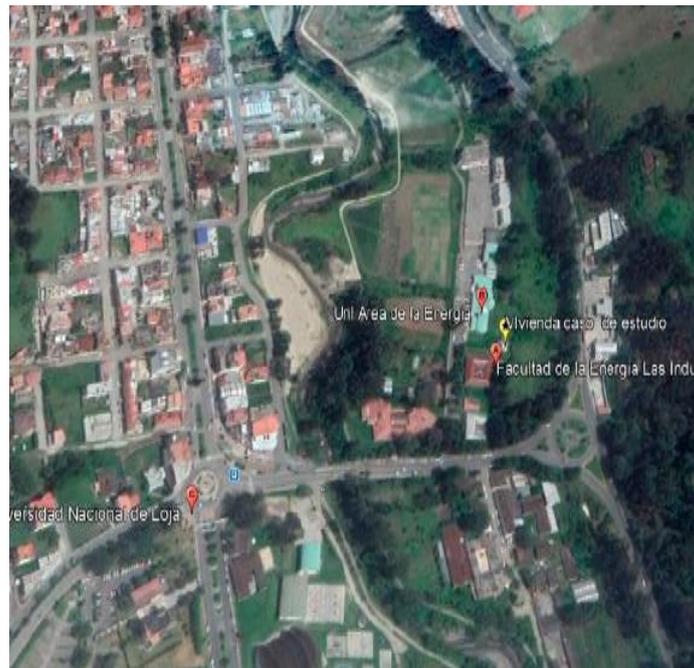
#### **Software**

- Arduino Nano (Adquisición de datos)-
- Excel 2019.
- Ubidots.

## 5.2. Métodos

### 5.2.1. Área de trabajo

Los colectores solares se ubicaron en los predios de la vivienda sustentable de la FEIRNNR de la Universidad Nacional de Loja, situado a 2140 metros sobre el nivel del mar y sus coordenadas geográficas son latitud  $04^{\circ}01'50''S$ , longitud  $79^{\circ}11'58''W$ . En la **Figura 19**, se muestran las instalaciones de la vivienda sustentable, cuyo terreno está destinado al desarrollo de tecnologías mediante el uso de recursos renovables, en este caso, el aprovechamiento de la energía solar.

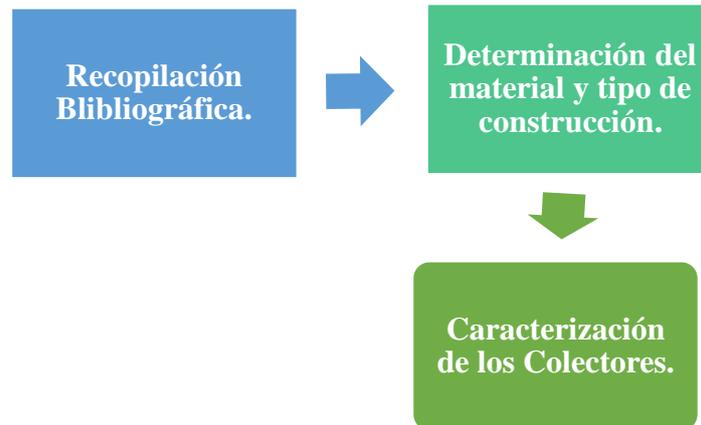


**Figura 19.** Vista aérea de las instalaciones de la vivienda sustentable.

## 5.3. Procedimiento

### 5.3.1. Primer objetivo

Para cumplir con el **primer objetivo**: Determinar el material y tipo de construcción. Se realizó las siguientes actividades que muestra la **Figura 20**, donde se obtiene la caracterización de los colectores solares.



**Figura 20.** Metodología propuesta para el desarrollo del primer objetivo.

### 5.3.1.1. Recopilación bibliográfica de colectores solares

Se realizó una búsqueda minuciosa de información sobre los calentadores solares de agua, los mismos que son sistemas que calientan el agua solamente con la radiación del sol, sin necesidad de energía eléctrica ni gas, además se buscó información sobre sus características de construcción, tipos de calentadores que existen para tener referencia de los diseños analizados.

### 5.3.1.2. Caracterización de los colectores solares

Los colectores solares de placa plana, fueron construidos por los investigadores de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la carrera de Ingeniería Electromecánica, con el propósito de emplearlos en procesos que demanden de agua caliente a temperaturas moderadas, tales como suministro de ACS o para proceso de calefacción, climatización de piscinas, producción de calor en procesos industriales y en sistemas de refrigeración. En las siguientes fichas técnicas **Tabla 4** y **Tabla 5**, se puede observar todos los datos que caracterizan el colector solar de placa plana.

Se considerará desde aquí en adelante como colector 1: calentador solar con placa absorbente de tubos de cobre arreglados a las aletas de aluminio de  $1,44 \text{ m}^2$  de área efectiva de captación, como se muestra en la ficha técnica (**Tabla 4**) y como colector 2: calentador solar con placa absorbente de zinc galvanizada con tubos de cobre encajados a la placa de  $1,44 \text{ m}^2$  de área efectiva de captación, como se muestra en la ficha técnica (**Tabla 5**).

**Tabla 4.** Características físicas y geométricas del colector solar en estudio

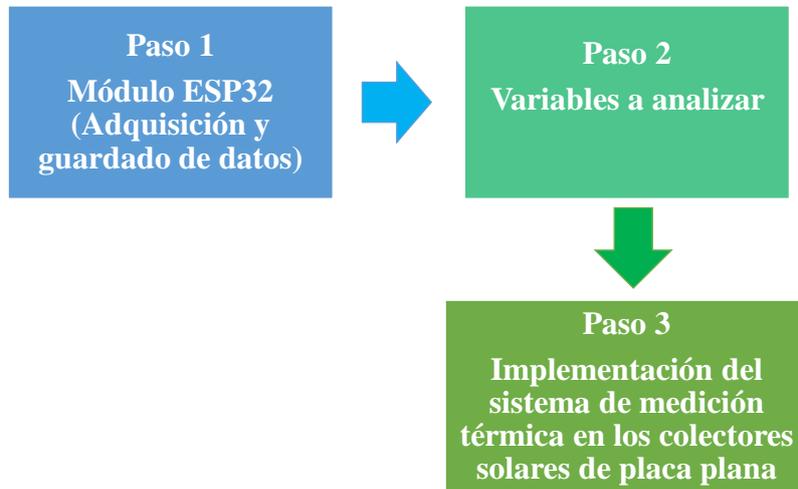
<b>Ficha Técnica del Colector Solar de placa plana</b>							
	<p>Colector solar de placa plana, está fabricado con materiales adecuados para que permita la absorción de la radiación solar permitiendo cierto rendimiento térmico, para generación de ACS o para procesos de calefacción.</p>						
	<p><b>Características técnicas Básicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carcasa de zinc galvanizada, especialmente resistente a las condiciones climáticas no favorables (humedad elevada).</li> <li>• Aislamiento perimetral (50 mm lana de vidrio), minimiza las pérdidas térmicas en lugares con estaciones y periodos de bajas temperaturas.</li> <li>• Absorbedor con tubos de cobre, arreglados a las aletas de aluminio, recubierto con pintura negra. Los tubos aseguran un flujo continuo de agua a cierta velocidad siguiendo una trayectoria en paralelo.</li> <li>• Las tuberías de cobre de los tramos verticales de la placa absorbadora es de ½ " y para las tuberías transversales destinados tanto para la entrada y salida de agua es de ¾".</li> </ul>						
Modelo	Medidas (m)	Superficie Total (m <sup>2</sup> )	Superficie Neta (m <sup>2</sup> )	Peso (kg)	Fluido	Absorbedor	
Colector de Placas Planas	1,85 x 0,90 x 0,15	1,66	1,44	42	Agua	90 %	10 %
<b>Características técnicas</b>							
Absorbedor	Aluminio						
Absorción térmica	90 %						
Perdidas térmicas	10 %						
Espesor del absorbedor	1 mm						
Recubrimiento	Pintura negra						
Emisividad. $\epsilon_p$	0.98						
<b>Características de los tubos</b>							
Diámetro	12.7 mm						
Altura	1700 mm						
Material	Cobre						
Conexión	Tuberías en paralelo						
<b>Carcasa</b>							
Material	Zinc Galvanizado						
Aislamiento base	Lana de vidrio 50 mm de espesor						
Aislamiento lateral	Lana de vidrio 50 mm de espesor						
<b>Cubierta</b>							
Material	Vidrio						
Espesor	3 mm						
Estanqueidad	Silicón blanco						
Emisividad. $\epsilon_c$	0.92						
<b>Estructura Soporte</b>							
Las características de la estructura del soporte del colector esta echo de tubos galvanizados con una inclinación de 14°.							
<b>Termotanque</b>							
Tanque de plástico, capacidad de 120 litros con aislamiento térmico en toda su superficie exterior con 50 mm de poliestireno expandido.							

**Tabla 5. Características físicas y geométricas del colector solar en estudio**

<b>Ficha Técnica del Colector Solar de placa plana</b>							
		<p>Colector solar de placa plana, está fabricado con materiales adecuados para permitir la absorción de la radiación solar permitiendo cierto rendimiento térmico para generación de ACS o para procesos de calefacción.</p>					
		<p><b>Características técnicas Básicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carcasa de zinc galvanizado, especialmente resistente a las condiciones climáticas no favorables.</li> <li>• Aislamiento perimetral (50 mm lana de vidrio), minimiza las pérdidas térmicas en lugares con climas muy variados.</li> <li>• Absorbedor de zinc galvanizado con tuberías de cobre, encajados a la placa, recubiertos con pintura negra. Los tubos aseguran un flujo continuo de agua a cierta velocidad siguiendo una trayectoria en paralelo.</li> <li>• Las tuberías de cobre de los tramos verticales de la placa absorbadora es de ½ " y para las tuberías transversales destinados tanto para la entrada y salida de agua es de ¾".</li> </ul>					
Modelo	Medidas (m)	Superficie Total (m <sup>2</sup> )	Superficie Neta (m <sup>2</sup> )	Peso (kg)	Fluido	Absorbedor	
Colector de Placa Plana	1,85 x 0,90 x 0,15	1,66	1,44	40	Agua	80 %	20 %
<b>Características técnicas</b>							
Absorbedor	Zinc						
Absorción térmica	80 %						
Pérdidas térmicas	20 %						
Espesor de absorbedor	1 mm						
Recubrimiento	Pintura negra						
Emisividad. $\epsilon_p$	0.82						
<b>Características de los tubos</b>							
Diámetro	12.70 mm						
Altura	1700 mm						
Material	Cobre						
Conexión	Tuberías en paralelo						
<b>Carcasa</b>							
Material	Metálica						
Aislamiento base	Lana de vidrio de 50 mm de espesor						
Aislamiento lateral	Lana de vidrio de 50 mm de espesor						
<b>Cubierta</b>							
Material	Vidrio						
Espesor	3mm						
Estanqueidad	Silicona transparente						
Emisividad. $\epsilon_c$	0.92						
<b>Estructura soporte</b>							
Las características de la estructura del soporte del colector esta echo de tubos galvanizados con una inclinación de 14°							
<b>Características del termotanque</b>							
Tanque de plástico, capacidad de 120 litros con aislamiento térmico en toda su superficie exterior con 50 mm de lana de vidrio.							

### 5.3.2. Segundo objetivo

Para cumplir con el **segundo objetivo**: Implementar un sistema de medición térmica. Se realizó las siguientes actividades que muestra la **Figura 21**, donde se implementó el sistema de medición térmica para cada uno de los colectores solares en análisis.



**Figura 21.** Metodología propuesta para el desarrollo del segundo objetivo.  
Fuente: Autor

#### 5.3.2.1. Adquisición y guardado de datos

Para la adquisición de datos se lo realizó a través de un módulo ESP32, como se muestra en la **Figura 22**, permite la comunicación inalámbrica con redes Wi-Fi y Bluetooth, mediante la plataforma Ubidots que visualizar y almacena datos de diferentes tipos de sensores.



**Figura 22.** Módulo ESP32.  
Fuente: Autor

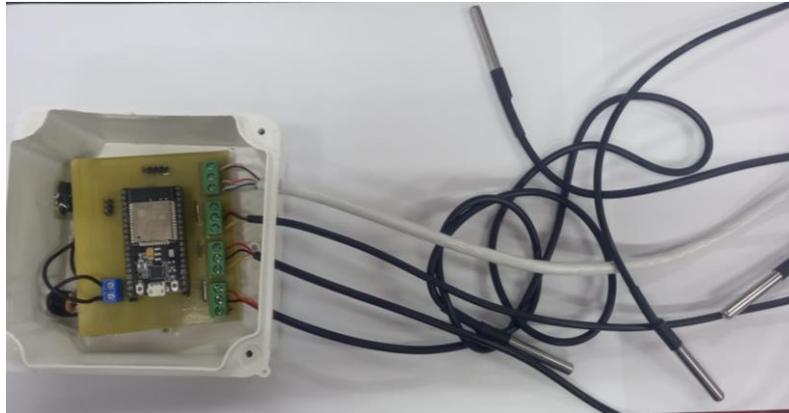
#### 5.3.2.2. Variables a analizar

Para las distintas variables que se analizaron las temperaturas de entrada y salida del colector solar, temperatura de la cubierta, temperatura de la placa absorbadora y temperatura del termotanque, al igual que la radiación solar, temperatura ambiente y velocidad del viento.

#### 5.3.2.3. Sistema de medición térmica

Para las distintas variables que se analizaron se utilizó para cada colector solar 1 módulo ESP32 conectado a 5 termocuplas DS18B20, que midieron las temperaturas de entrada

y salida del colector solar, temperatura de la cubierta, temperatura de la placa absorbadora y temperatura del termotanque, 1 sensor de radiación ML8511, 1 sensor digital de temperatura ambiente y humedad relativa DHT22, 1 fuente de alimentación externa para modulo ESP32 de 3.5V y 1 caja protectora como se muestra en la **Figura 23**.



**Figura 23.** Sistema de medición térmica.

Fuente: Autor

#### 5.3.2.4. Implementación del sistema de medición térmica

1. Para cada colector se instalaron 1 modulo (tarjeta) ESP32 dentro de una caja protectora conectado a 5 sensores de medición de temperatura (termocupla DS18B20), el primero se ubicó en el extremo inicial de la tubería que une el tanque con la entrada de fluido del colector, siendo este sensor el que medía la temperatura de entrada del fluido ( $T_e$ ); el segundo sensor de temperatura se ubicó a la salida del fluido del colector en la tubería que une la salida del fluido del colector con el tanque, siendo este sensor el que medía la temperatura de salida del fluido ( $T_s$ ); el tercer sensor de temperatura se ubicó en la placa absorbadora del colector solar de placa plana, siendo este sensor el que medía la temperatura de la placa ( $T_p$ ); el cuarto sensor de temperatura se ubicó en la cubierta de vidrio del colector solar, siendo este sensor el que medía la temperatura de la cubierta ( $T_c$ ); y el quinto sensor de temperatura se ubicó al interior del termotanque, siendo este sensor el que medía la temperatura del fluido al interior de termotanque ( $T_t$ ).
2. Para medir la temperatura ambiente y humedad relativa se instaló 1 sensor DHT22, se lo ubicó en la parte posterior de la carcasa del colector donde no le llegara la radiación incidente de manera directa y este protegido de las lluvias, siendo este sensor el que medía la temperatura ambiente ( $T_a$ ).
3. Para medir la radiación se instaló un sensor ML8511, el mismo que se ubica a un costado de la parte superior del colector, siendo este sensor el que medía la

radiación solar sobre el colector. No obstante, para los cálculos de eficiencia térmica se aprovechó los datos de velocidad del viento y radiación solar de la estación meteorológica de la Facultad de la Energía por ser datos normalizados lo cual nos permite obtener mejores resultados.

### 5.3.3. Tercer objetivo

Finalmente, para cumplir con el **tercer objetivo**: Evaluar las condiciones térmicas, eficiencia y rapidez de calentamiento. Se realizó las siguientes actividades que muestra la **Figura 24**, donde se evaluó las condiciones térmicas y eficiencia de cada uno de los colectores solares de placa plana de diferente tipo de construcción.



**Figura 24.** Metodología propuesta para el desarrollo del tercer objetivo.  
Fuente: Autor

#### 5.3.3.1. Evaluación de las condiciones térmicas de los colectores solares

Para realizar la evaluación de las condiciones térmicas de los colectores solares de placa plana de distinto tipo de construcción es necesario realizar el siguiente trabajo de campo:

- Con los colectores solares ya construido se procede a exponerlos a la radiación solar y los datos generados para el sistema de calentamiento de agua se obtuvieron mediante una tarjeta ESP32, con los siguientes componentes: 5 sensores de temperatura DS18B20, 1 sensor de radiación solar ML8511, 1 sensor digital de temperatura ambiente y humedad relativa DHT22, memoria incorporada para almacenar los datos, la tarjeta registra los valores de los sensor cada 10 minutos en los siguientes puntos: las temperaturas de entrada del colector, temperatura de salida del colector, temperatura de la placa absorbadora, temperatura de la cubierta y temperatura del termotanque, así como temperatura ambiente, humedad relativa y radiación solar. Todos estos datos fueron monitoreados durante 15 días del mes de julio de 2023, en los predios de la vivienda sustentable de la FEIRNNR de la Universidad Nacional de Loja con un horario de 8:00 a 17:00 con días variados entre soleado, combinado (soleado-nublado) y nublado.

- Todos los datos almacenados se evaluarán con el fin de hacer el análisis comparativo de los colectores solares de placa plana de distinto tipo de construcción, a efectos de encontrar la eficiencia de cada uno de los colectores en los días de monitoreo.

### 5.3.3.2. Eficiencia del colector solar

Para obtener la eficiencia térmica del colector primero se debe obtener el calor útil  $Q_u$  (W) de cada colector y se calcula en base a la **Ecuación (4)**

$$Q_u = \dot{m}C_p(T_s - T_e)$$

Donde:

$\dot{m}$ : flujo másico, Kg/s

$C_p$ : calor específico del fluido, KJ/Kg°C

$T_s$ : temperatura del fluido a la salida del colector, °C

$T_e$ : temperatura del fluido a la entrada del colector, °C

Finalmente, para determinar la eficiencia térmica de cada uno de los colectores solares de placa plana de distinto tipo de construcción se obtuvo en base a la **Ecuación (5)**

$$\eta_c = \frac{Q_u}{A_c G}$$

Donde:

$Q_u$ : energía útil, W

$A_c$ : area del colector, m<sup>2</sup>

G: radiación solar, W/m<sup>2</sup>

## 6. Resultados

### 6.1. Monitoreo y validación funcional de los sistemas de medición térmica

#### 6.1.1. Pruebas experimentales

Luego de ser implementado el sistema de medición térmica en cada uno de los colectores solares de distinto tipo de construcción, se procedió al monitoreo continuo del funcionamiento de los colectores durante un lapso de 15 días del mes de julio de 2023.

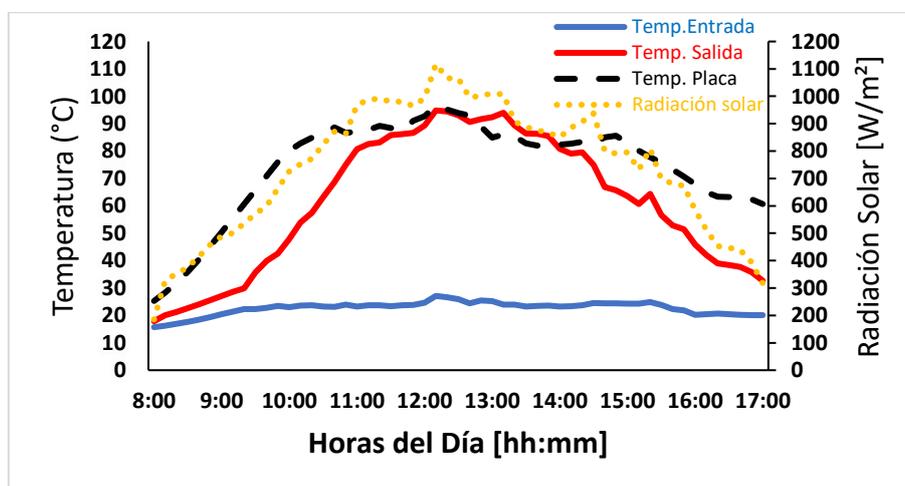
Durante la recolección de datos medioambientales se observó variadas condiciones meteorológicas. Cada día en que se evaluaban los colectores solares, el proceso se llevaba a cabo desde las 8:00 hasta las 17:00 horas cada día, considerando que el lapso comprendido entre esas horas se obtiene en la superficie terrestre alrededor del 90% de la radiación solar diaria, con mediciones de temperatura y radiación cada 10 minutos. Los resultados correspondientes a cada colector se obtuvieron mediante el cálculo de la eficiencia térmica de acuerdo al tipo de día en evaluación, utilizando para ello la **Ecuación (4)** y **Ecuación (5)**. Con base en estos resultados, se realizó una comparación de la eficiencia entre ambos colectores.

### 6.2. Resultado de mediciones colector 1

Durante el periodo de 15 días de mediciones del mes de julio de 2023, se presentaron climas variados entre: soleado, combinado (soleado-nublado) y nublado, los datos detallados de los resultados de las mediciones se muestran en el [Anexo 3].

#### 6.2.1. Día soleado

En la **Figura 25**, que se describen a continuación corresponden al día 3 de julio del 2023, por ser el día con presencia permanente del sol durante la evaluación, por lo que el colector alcanzó las temperaturas más altas.

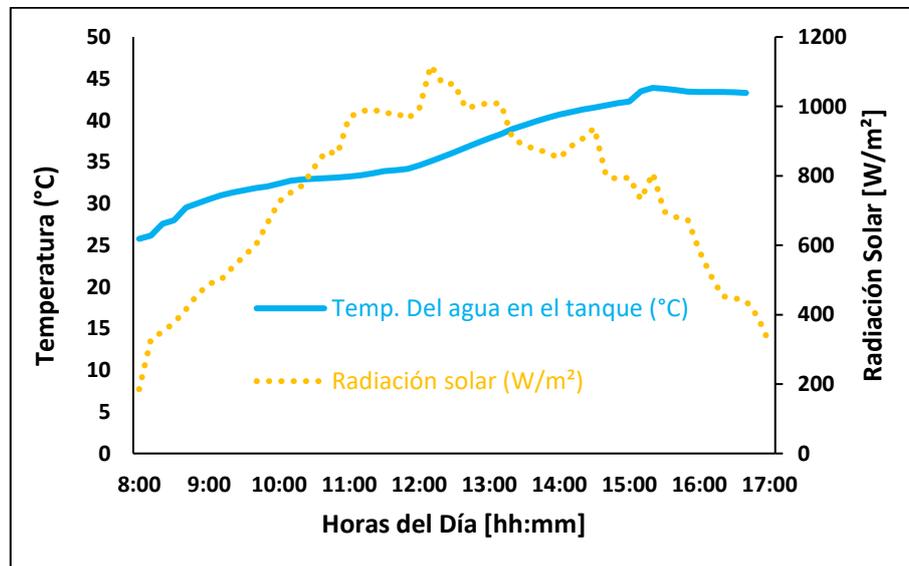


**Figura 25.** Temperaturas del agua a la entrada del colector, temperatura del agua a la salida del colector y temperatura de la placa absorbidora para un día soleado.

En la **Figura 25**, se aprecia las curvas de radiación, temperatura del agua a la entrada del colector, temperatura del agua a la salida del colector y temperatura de la placa absorbadora, a lo largo de todo el día. El valor promedio de la radiación solar obtenida que incide sobre área de la investigación es de  $739 \text{ W/m}^2$ , donde se obtiene una temperatura promedio del agua a la salida del colector de  $61,13^\circ\text{C}$ . La radiación solar a las 8:00 horas obtuvo un valor de  $185 \text{ W/m}^2$  y este llegó hasta  $1118 \text{ W/m}^2$  a las 12:10 horas, luego de eso comenzó a descender hasta llegar a  $318 \text{ W/m}^2$  a las 17:00 horas. En la placa absorbadora la temperatura empezó a aumentar a partir de  $25,29^\circ\text{C}$  hasta llegar a los  $96,69^\circ\text{C}$  a las 12:10 horas, mientras que la temperatura del agua a la salida del colector empezó a aumentar a partir de  $17,90^\circ\text{C}$  hasta alcanzar una temperatura máxima de  $94,80^\circ\text{C}$  a las 12:10 horas después de esta hora la temperatura comenzó a disminuir paulatinamente tanto a la salida como en la placa absorbadora.

El valor promedio de la velocidad del viento presente en el área de la investigación es de  $4 \text{ m/s}$ , mientras que el valor mínimo que se registró es de  $1 \text{ m/s}$  a las 8:30 horas y el valor máximo es de  $7 \text{ m/s}$  a las 13:30 horas, manteniéndose a esta velocidad en intervalos de 6 a 5  $\text{m/s}$  en el transcurso de la evaluación.

En la **Figura 26**, se aprecia la curva de radiación solar y temperatura del agua al interior del tanque a lo largo de todo el día.



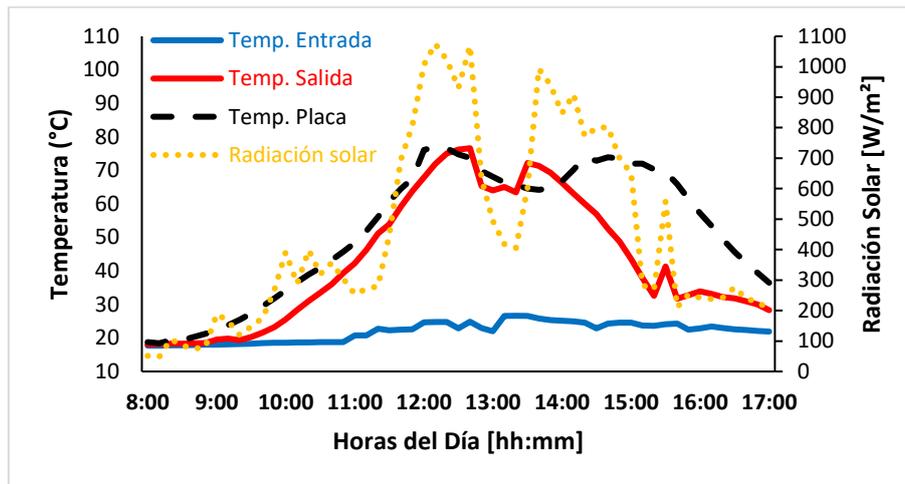
**Figura 26.** Temperatura del agua al interior del tanque para un día soleado.

La temperatura del agua al interior del tanque obtuvo un incremento constante durante el día como se aprecia en la **Figura 26**. El valor promedio de la temperatura del agua al interior del tanque es de  $36,67^\circ\text{C}$ , mientras que el valor mínimo que se registra es de  $25,77^\circ\text{C}$  se dio a las 8:00 horas y el valor máximo que se obtiene es de  $43,90^\circ\text{C}$  se dio a las 15:20 horas, luego de esta hora comenzó a disminuir hasta llegar a  $43,02^\circ\text{C}$  a las 17:00 horas a diferencia de la radiación solar que incrementó hasta medio día y luego comenzó a descender.

Al inicio de cada evaluación la temperatura promedio del agua de la red, en los 15 días de monitoreo se encontraba a 16,02 °C, como se muestra en el [Anexo 1].

### 6.2.2. Día combinado (soleado-nublado)

En la **Figura 27**, se aprecia las curvas de radiación, temperatura del agua a la entrada del colector, temperatura del agua a la salida del colector y temperatura de la placa absorbidora, a lo largo de todo el día, que corresponde al 10 de julio de 2023, donde hubo una menor presencia del sol durante la evaluación.

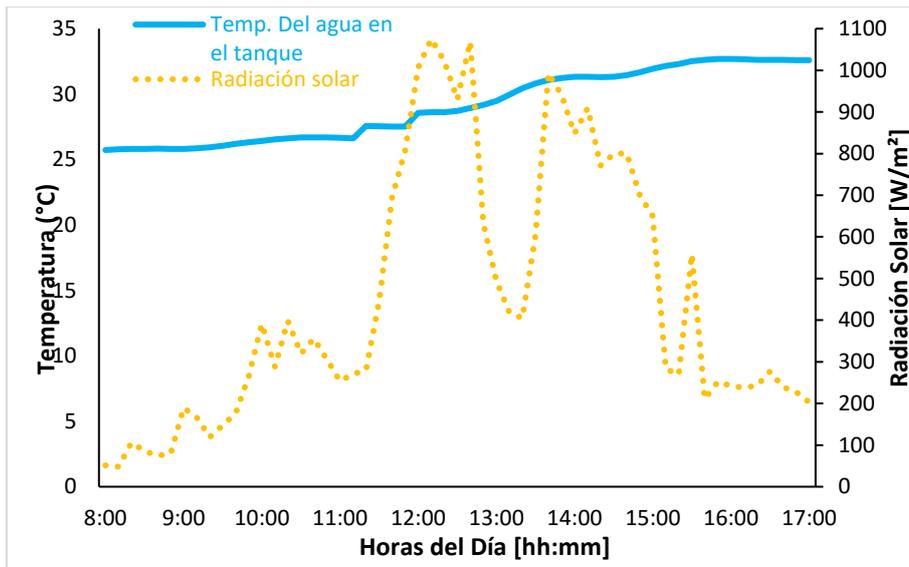


**Figura 27.** Temperaturas del agua a la entrada del colector, temperatura del agua a la salida del colector y temperatura de la placa absorbidora para un día combinado.

La radiación solar a las 8:00 horas obtuvo un valor de 51 W/m<sup>2</sup>, la presencia visible del sol produjo que llegara hasta 1075 W/m<sup>2</sup> a las 12:10 horas y en su ausencia descendió hasta 405 W/m<sup>2</sup>, dando un valor promedio de la radiación solar de 448 W/m<sup>2</sup> sobre el área de la investigación, donde se obtiene una temperatura promedio del agua a la salida del colector de 43,09 °C. En la placa absorbidora la temperatura empezó a aumentar a partir de 18,72 °C hasta llegar a los 76,96 °C a las 12:10 horas, mientras que la temperatura del agua a la salida del colector empezó a aumentar a partir de 18,07 °C hasta alcanzar una temperatura máxima de 76,61 °C a las 12:40 horas.

El valor promedio de la velocidad del viento presente en el área de la investigación es de 2,62 m/s, mientras que el valor mínimo que se registro es de 0,5 m/s a las 8:00 y el valor máximo es de 5,4 m/s a las 12:50 horas, a partir de esta hora empezó a descender.

En la **Figura 28**, se aprecia la curva de radiación solar y temperatura del agua al interior del tanque a lo largo de todo el día.

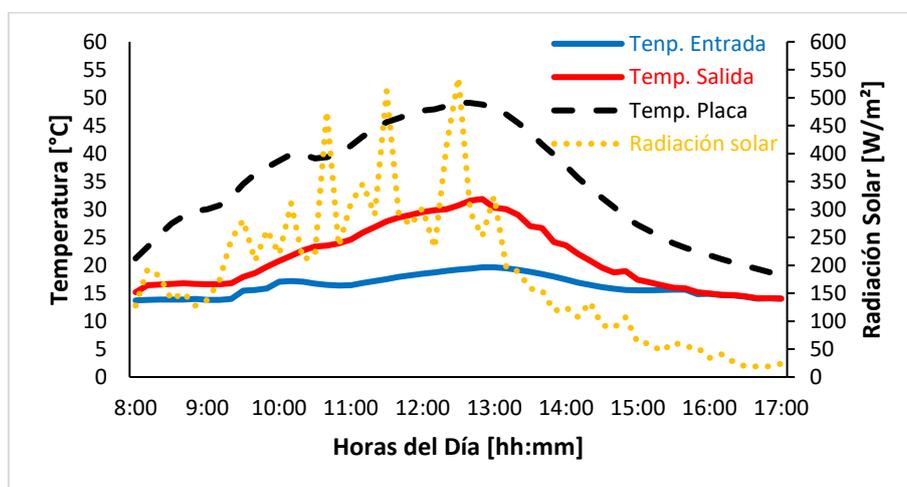


**Figura 28.** Temperatura del agua al interior del tanque para un día combinado.

La temperatura del agua al interior del tanque obtuvo un incremento constante durante todo el día como se aprecia en la **Figura 28**. En cambio, la radiación solar fue muy variable y dependió de la presencia visible del sol. El valor promedio de la temperatura del agua al interior del tanque es de 29,10 °C, mientras que el valor mínimo que se registra es de 25,73 °C se dio a las 8:00 horas y el valor máximo que se obtiene es de 32,69 °C se dio a las 15:50 horas, se presentan temperaturas medias debido a que hubo una menor presencia del sol durante la evaluación.

### 6.2.3. Día nublado

En la **Figura 29**, se aprecia las curvas de radiación, temperatura del agua a la entrada del colector, temperatura del agua a la salida del colector y temperatura de la placa absorbadora, a lo largo de todo el día, que corresponde al 19 de julio de 2023, donde hubo una ausencia visible del sol debido a la nubosidad y lluvias durante la evaluación.

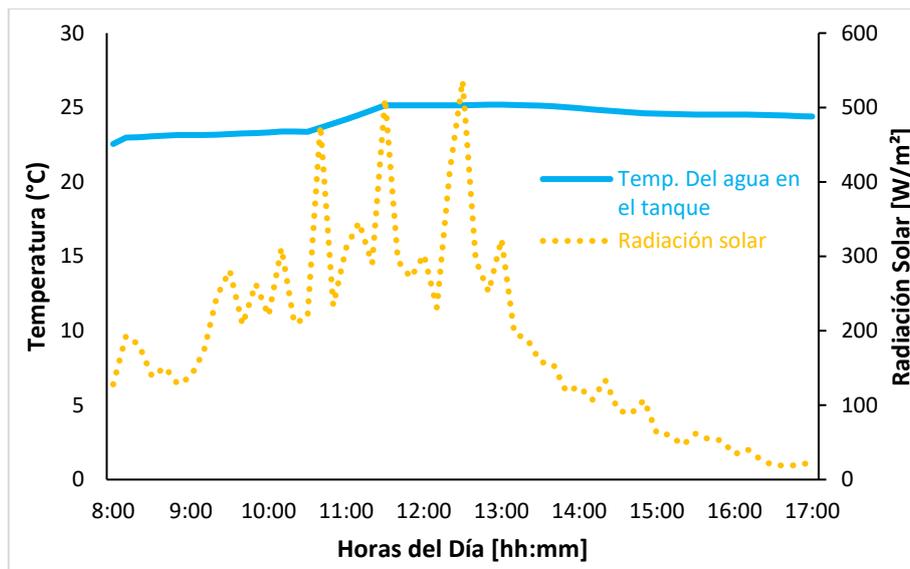


**Figura 29.** Temperaturas del agua a la entrada del colector, temperatura del agua a la salida del colector y temperatura de la placa absorbadora para un día nublado.

La radiación solar en este día de evaluación fue muy variable, a partir de las 8:00 horas obtuvo un valor inicial de 128 W/m<sup>2</sup> y no se incrementó por encima de 536 W/m<sup>2</sup> siendo este su valor máximo a las 12:30 horas, luego esta empezó a descender hasta llegar 24 W/m<sup>2</sup> a las 17:00 horas, dando un valor promedio de la radiación solar de 187 W/m<sup>2</sup> sobre el área de la investigación. La temperatura en la placa absorbidora empezó a aumentar a partir de 21,22 °C hasta llegar a los 49,13 °C a las 12:30 horas, luego comenzó a descender. La temperatura del agua a la salida del colector empezó a aumentar a partir de 15,18 °C hasta alcanzar una temperatura máxima de 31,87 °C a las 12:50 horas. Luego de esta hora la temperatura comenzó a disminuir, obteniendo una temperatura promedio de 21,39 °C.

El valor promedio de la velocidad del viento presente en el área de la investigación es de 4,06 m/s, la velocidad del viento se mantuvo constante, el valor mínimo que se registro es de 0,5 m/s a las 15:40 horas y el valor máximo es de 7,4 m/s a las 9:10 horas.

En la **Figura 30**, se aprecia la curva de radiación solar y temperatura del agua al interior del tanque a lo largo de todo el día.



**Figura 30.** Temperatura del agua al interior del tanque para un día nublado.

El valor promedio de la temperatura del agua al interior del tanque es de 24,29 °C, mientras que el valor mínimo que se registra es de 22,55 °C se dio a las 8:00 horas y el valor máximo que se obtiene es de 25,19 °C se dio a las 12:50 horas, se presentaron bajas temperaturas debido a que en este día no hubo presencia visible del sol, la velocidad del viento constante, con nubosidad y lluvia durante toda la evaluación.

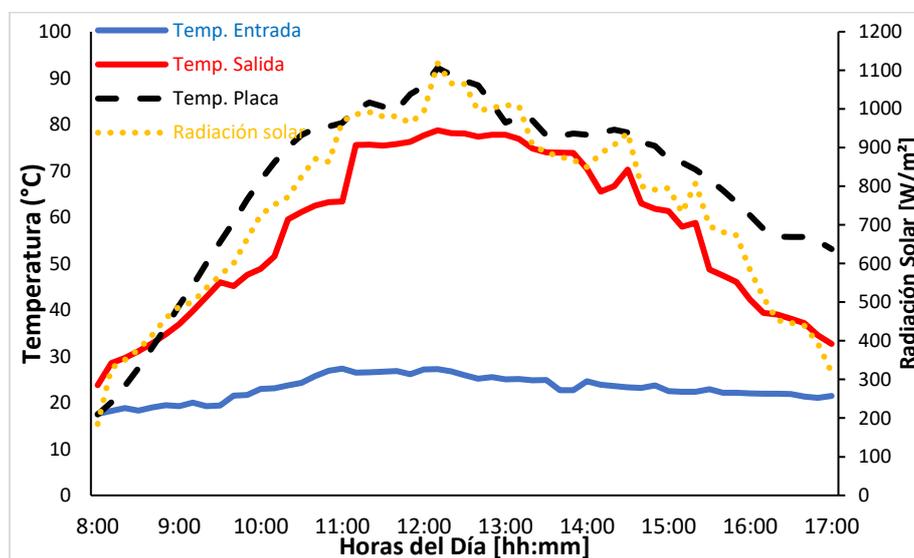
### 6.3. Resultado de mediciones colector 2

El colector 2 fue sometido a las mismas condiciones climatológicas y periodo de evaluación que el colector 1, para poder realizar el análisis comparativo entre los colectores solares, los datos detallados de los resultados de las mediciones se muestran en el [Anexo 3].

#### 6.3.1. Día soleado

Al igual que el colector 1, se considera el día 3 de julio del 2023 para la evaluación del colector 2, por ser el día con presencia permanente del sol durante la evaluación, por lo que el colector alcanzó las temperaturas más altas.

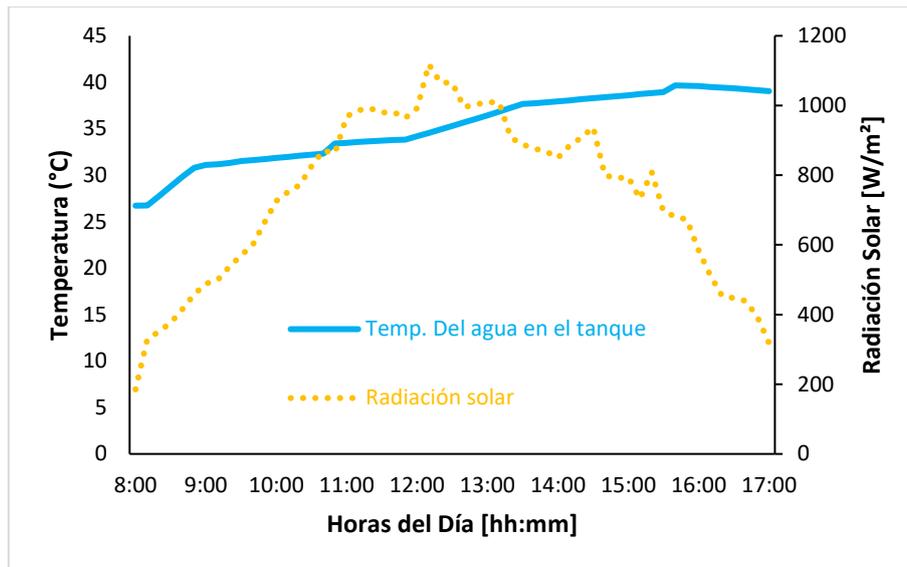
En la **Figura 31**, se aprecia las curvas de radiación, temperatura del agua a la entrada del colector, temperatura del agua a la salida del colector y temperatura de la placa absorbidora, a lo largo de todo el día.



**Figura 31.** Temperatura del agua a la entrada del colector, temperatura del agua a la salida del colector y temperatura de la placa absorbidora para un día soleado.

En la placa absorbidora la temperatura empezó a aumentar a partir de 23,46 °C hasta llegar a los 92,19 °C a las 12:10 horas, luego de esta hora empezó a disminuir la temperatura hasta llegar a 53,13 °C a las 17:00 horas, se obtuvo una temperatura promedio de 67,32 °C, mientras que la temperatura del agua a la salida del colector empezó a aumentar a partir de 23,77 °C hasta alcanzar una temperatura máxima de 78,74 °C a las 12:10 horas, después de esta hora la temperatura comenzó a disminuir paulatinamente hasta llegar a 32,70 °C a las 17:00 horas.

En la **Figura 32**, se aprecia la curva de radiación solar y temperatura del agua al interior del tanque a lo largo de todo el día.

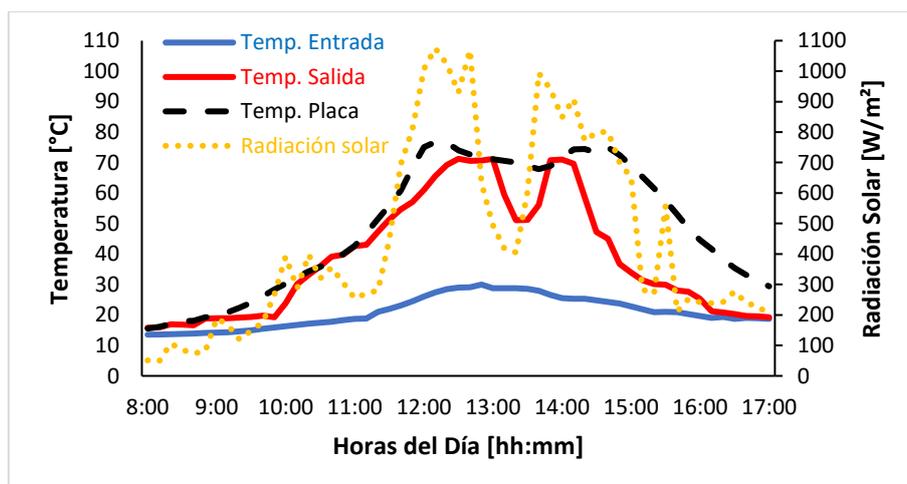


**Figura 32.** Temperatura del agua al interior del tanque para un día soleado.

La temperatura del agua al interior del tanque obtuvo un incremento constante durante todo el día como se aprecia en la **Figura 32**. El valor promedio de la temperatura del agua al interior del tanque es de 35,06 °C, mientras que el valor mínimo que se registra es de 26,72 °C se dio a las 8:00 horas y el valor máximo que se obtiene es de 39,66 °C a las 15:40 horas.

### 6.3.2. Día combinado (soleado-nublado)

Para este día igual que el colector 1, se considera el día 10 de julio de 2023 para la evaluación del colector 2 bajo las mismas condiciones climatológicas. En la **Figura 33**, se aprecia las curvas de radiación, temperatura del agua a la entrada del colector, temperatura del agua a la salida del colector y temperatura de la placa absorbadora, donde hubo una menor presencia del sol durante la evaluación al igual que con el colector 1.

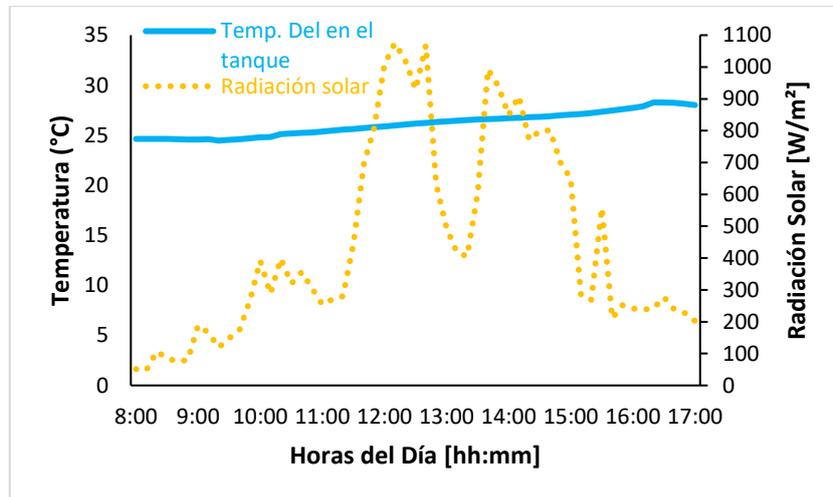


**Figura 33.** Temperatura del agua a la entrada del colector, temperatura del agua a la salida del colector y temperatura de la placa absorbadora para un día combinado.

En la placa absorbadora la temperatura empezó a aumentar a partir de 15,55 °C hasta llegar a los 76,71 °C a las 12:10 horas, se obtuvo una temperatura promedio de 48,99 °C,

mientras que la temperatura del agua a la salida del colector empezó a aumentar a partir de 15,81 °C hasta alcanzar una temperatura máxima de 71,23 °C a las 12:30 horas, obteniendo una temperatura promedio del agua a la salida del colector de 38,86 °C.

En la **Figura 34**, se aprecia la curva de radiación solar y temperatura del agua al interior del tanque a lo largo de todo el día.

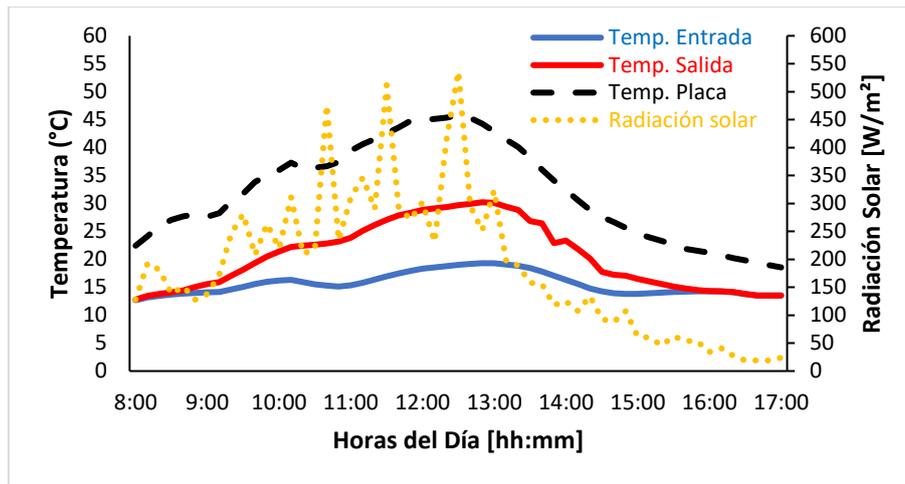


**Figura 34.** *Temperatura del agua al interior del tanque para un día combinado.*

La temperatura del agua al interior del tanque obtuvo un incremento constante durante todo el día como se aprecia en la **Figura 34**. El valor promedio de la temperatura del agua al interior del tanque es de 26,12 °C, mientras que el valor mínimo que se registra es de 24,65 °C se dio a las 8:00 horas y el valor máximo que se obtiene es de 28,29 °C a las 16:20 horas, se presentan temperaturas medias debido a que hubo una menor presencia del sol durante la evaluación.

### 6.3.3. *Día nublado*

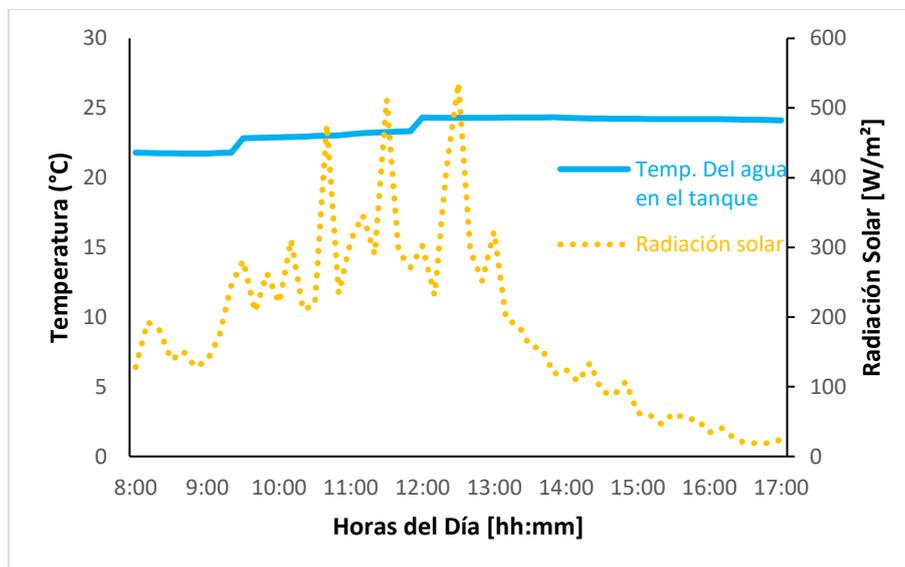
Al igual que con el colector 1, se considera el 19 de julio de 2023, donde hubo una ausencia visible del sol debido a la nubosidad y lluvias durante la evaluación. En la **Figura 35**, se aprecia las curvas de radiación, temperatura del agua a la entrada del colector, temperatura del agua a la salida del colector y temperatura de la placa absorbadora.



**Figura 35.** Temperaturas del agua a la entrada del colector, temperatura del agua a la salida del colector y temperatura de la placa absorbadora para un día nublado.

La temperatura en la placa absorbadora empezó a aumentar a partir de 22,44 °C hasta llegar a los 45,77 °C a las 12:30 horas, luego comenzó a descender. La temperatura del agua a la salida del colector empezó a aumentar a partir de 12,81 °C hasta alcanzar una temperatura máxima de 30,22 °C a las 12:50 horas. Luego de esta hora la temperatura comenzó a disminuir, obteniendo una temperatura promedio de 20,59°C.

En la **Figura 36**, se aprecia la curva de radiación solar y temperatura del agua al interior del tanque a lo largo de todo el día.



**Figura 36.** Temperatura del agua al interior del tanque para un día nublado.

El valor promedio de la temperatura del agua al interior del tanque es de 23,52 °C, mientras que el valor mínimo que se registra es de 21,81 °C se dio a las 8:00 horas y el valor máximo que se obtiene es de 24,34 °C se dio a las 13:50 horas, se presentaron bajas temperaturas debido a que en este día no hubo presencia visible del sol, la velocidad del viento constante, con nubosidad y lluvia durante toda la evaluación.

#### 6.4. Análisis de los resultados

A continuación, se realiza una comparación entre los resultados obtenidos a través del sistema de medición térmica entre el colector solar 1 y el colector solar 2, para lo cual se considera los parámetros de temperatura en la cubierta, temperatura en la placa absorbadora, temperatura a la entrada del colector, temperatura a la salida del colector y temperatura en el tanque.

Estos parámetros son utilizados con el fin de encontrar la eficiencia de cada uno de los colectores solares de diferente tipo de construcción y representar gráficamente los valores obtenidos. Dentro de estas comparaciones se tiene en cuenta: temperatura del agua a la salida del colector, temperatura en el tanque, calor útil y eficiencia, mientras que los datos completos se pueden observar en el [Anexo 4].

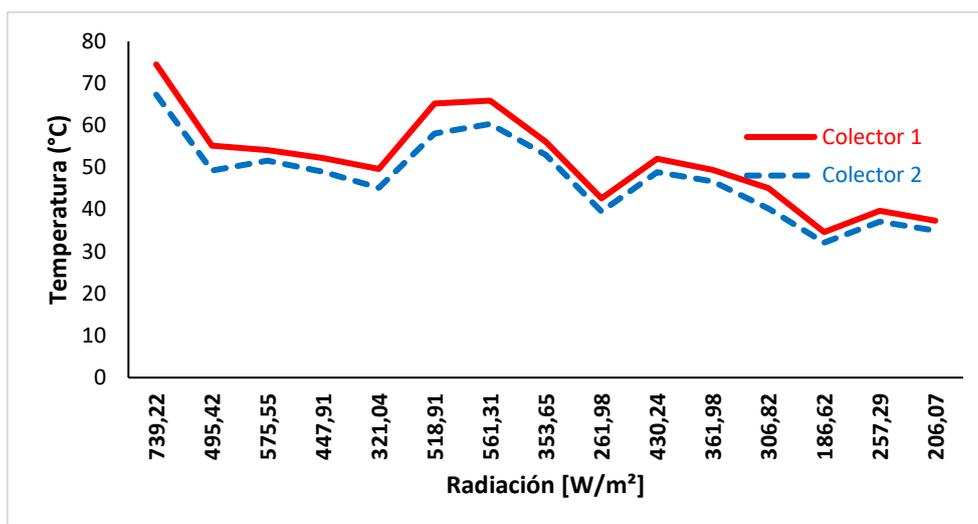
##### 6.4.1. Comparación de temperaturas de la placa absorbadora entre colectores

En la siguiente **Tabla 6**, se presentan los valores de la temperatura de la placa absorbadora del colector 1 y colector 2 durante los 15 días de evaluación.

**Tabla 6.**

*Temperatura de la placa absorbadora del colector 1 y 2 durante el periodo de evaluación.*

Día	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Temperatura de la placa de absorción colector 1 (°C)	Temperatura de la placa de absorción colector 2 (°C)
1	739,22	74,54	67,32
2	495,42	55,16	49,29
3	575,55	54,12	51,62
4	447,91	52,26	48,99
5	321,04	49,64	45,17
6	518,91	65,19	58,10
7	561,31	65,89	60,34
8	353,65	56,08	52,96
9	261,98	42,65	39,53
10	430,24	52,08	48,90
11	361,98	49,41	46,69
12	306,82	45,12	40,26
13	186,62	34,63	32,12
14	257,29	39,68	37,12
15	206,07	37,34	34,99



**Figura 37.** Comparación de temperaturas de la placa absorbadora entre colectores.

De la **Figura 37**, se puede determinar que el colector 1 tiene valores mayores de temperatura en la placa absorbadora logrando alcanzar los 74,54 °C, en cambio el colector 2 solamente presenta 67,32 °C de temperatura máximo en el primer día de evaluación, obteniendo como promedio durante el periodo de evaluación de 51,59 °C para el colector 1 y 47,56 °C en el colector 2.

#### 6.4.2. Comparación del calor útil entre colectores

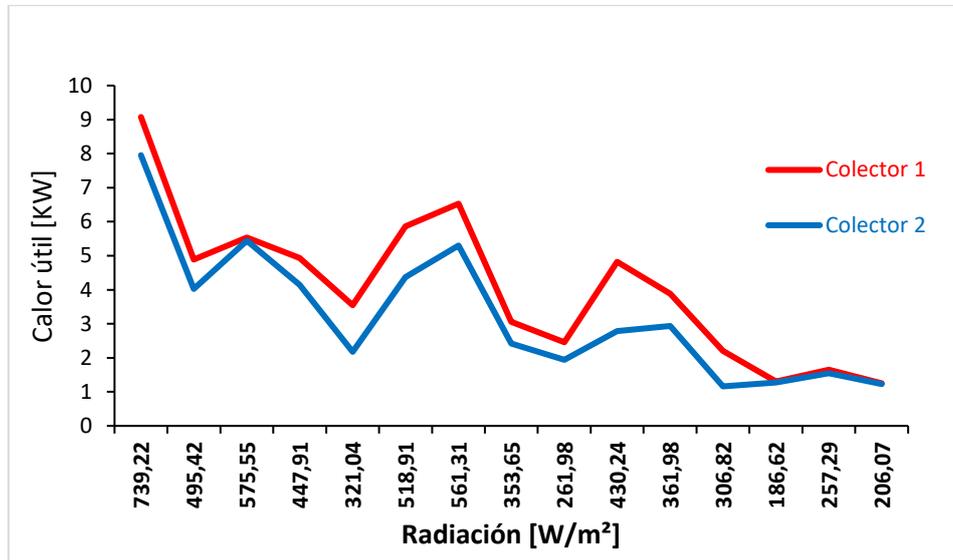
A continuación, se presenta una comparación del calor útil ( $Q_u$ ) del colector 1 con relación al colector 2, los datos son tabulados en la **Tabla 7**, durante los 15 días de monitoreo.

**Tabla 7.**

*Comparación de calor útil entre colectores.*

Día	Radiación (W/m²)	Calor útil colector 1 $Q_u$ (KW)	Calor útil colector 2 $Q_u$ (KW)
1	739,22	9,056	7,941
2	495,42	4,892	4,202
3	575,55	5,533	5,207
4	447,91	4,975	4,207
5	321,04	3,359	2,412
6	518,91	5,830	4,748
7	561,31	6,529	5,557
8	353,65	3,073	2,535
9	261,98	2,458	1,940
10	430,24	4,664	2,864
11	361,98	3,732	2,940

12	306,82	2,209	1,267
13	186,62	1,198	1,172
14	257,29	1,649	1,550
15	206,07	1,253	1,229



**Figura 38.** Comparación de calor útil entre colectores.

De la **Figura 38**, se puede determinar que el colector 1 tiene valores mayores de calor útil logrando alcanzar 9,076 KW de calor útil, en cambio el colector 2 solamente presenta 7,954 KW de calor útil máximo en el primer día de evaluación, obteniendo como promedio de los días de evaluación 4,066 KW para el colector 1 y 3,247 KW en el colector 2.

#### 6.4.3. Comparación de la Eficiencia entre colectores

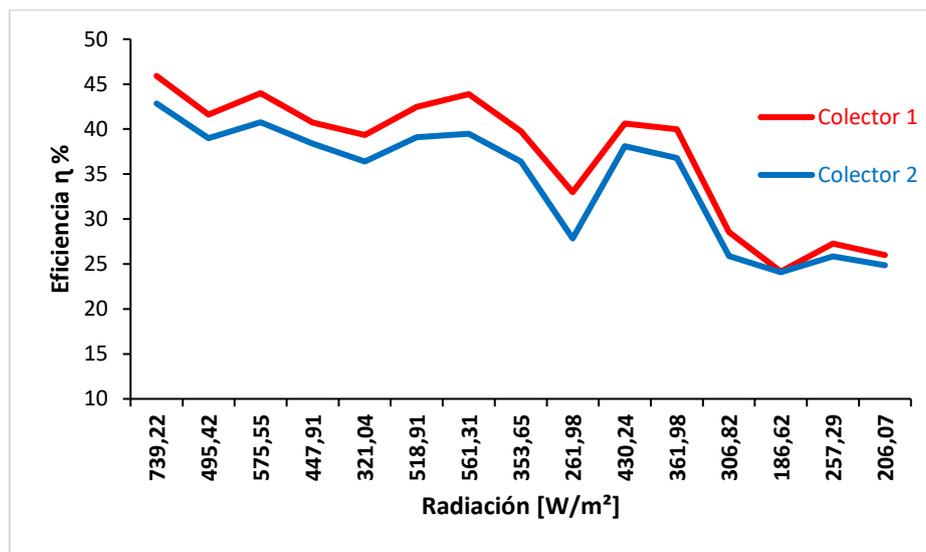
En la siguiente **Tabla 8**, se presentan los valores de la eficiencia térmica del colector 1 con relación al colector 2 durante los 15 días de evaluación.

**Tabla 8.**

*Comparación de la eficiencia entre colectores*

Día	Radiación (W/m²)	Eficiencia del colector 1 $\eta$ (%)	Eficiencia del colector 2 $\eta$ (%)
1	739,22	45,91	42,84
2	495,42	41,63	38,99
3	575,55	43,99	40,74
4	447,91	40,72	38,37
5	321,04	39,34	36,39
6	518,91	42,46	39,09
7	561,31	43,89	39,49

8	353,65	39,76	36,40
9	261,98	32,98	27,83
10	430,24	40,61	38,08
11	361,98	39,97	36,78
12	306,82	28,55	25,90
13	186,62	24,15	24,08
14	257,29	27,27	25,84
15	206,07	25,98	24,85



**Figura 39.** Comparación de eficiencia entre colectores.

De la **Figura 39**, se puede determinar que el colector 1 presenta una eficiencia térmica máxima del 45,91%, una eficiencia térmica mínima del 24,15%, obteniendo como promedio de los días de evaluación un 37,15%, mientras que el colector 2 tiene una eficiencia térmica máxima del 42,84%, una eficiencia térmica mínima del 24,08%, obteniendo como promedio un 34,38% lo que se considera aceptable para los dos colectores solares, destacando el colector 1 con una mayor eficiencia térmica en los días de evaluación.

### 6.5. Obtención de la curva de eficiencia óptica

La curva de eficiencia óptica (máxima eficiencia que puede alcanzar el colector), se obtuvieron experimentalmente en función de lo que plantea Kalogirou (2009). Este autor en su libro *Solar Energy Engineering: Processes and System* menciona que la curva se elabora ubicando los valores de eficiencia ( $\eta_c$ ) en eje vertical y los valores de  $(T_e - T_a)/G$  en el eje horizontal, estos valores también pueden ser obtenidos mediante las normas NTE INEN 2507-2009, ASRHAE93 e ISO9806, aunque limitadas por cuanto los colectores no fueron construidos bajo ninguna norma. Durante el periodo de evaluación cuando la intensidad de la radiación solar era máxima se registraron las temperaturas de entra del agua al colector,

temperatura ambiente y radiación solar; estos parámetros sirvieron para determinar el coeficiente global de pérdidas térmicas  $U_L$ , y la eficiencia óptica.

### 6.5.1. Curva de eficiencia colector 1

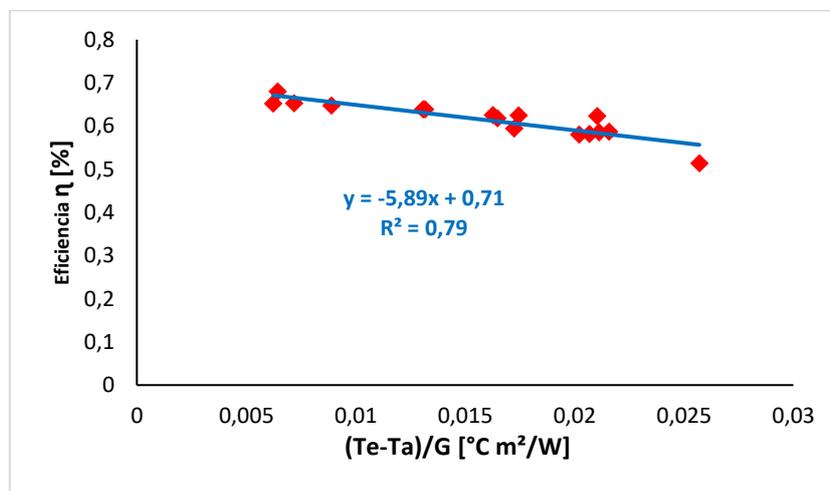
En la **Tabla 9**, se muestran en resumen los datos adquiridos a través del sistema de medición térmica, para obtener la curva de eficiencia.

**Tabla 9.**

*Datos de mediciones para obtener la curva de eficiencia colector 1*

N#	Temperatura del agua a la entrada del colector [°C]	Temperatura ambiente [°C]	Radiación solar [W/m <sup>2</sup> ]	Eficiencia $\eta$ %	(Te-Ta)/G [°Cm <sup>2</sup> /W]
1	25,73	22	871	0,51	0,0257
2	25,91	23	863	0,58	0,0202
3	26,34	23	969	0,58	0,0207
4	26,47	23	986	0,58	0,0211
5	26,57	23	992	0,59	0,0216
6	25,66	23	980	0,62	0,0163
7	25,85	23	981	0,62	0,0174
8	25,12	23	964	0,64	0,0132
9	26,17	24	993	0,64	0,0131
10	27,21	24	1118	0,59	0,0172
11	26,74	23	1066	0,62	0,0210
12	25,92	23	1065	0,62	0,0165
13	25,19	24	995	0,65	0,0072
14	25,49	24	1003	0,65	0,0089
15	25,05	24	1010	0,65	0,0062
16	25,08	24	1008	0,68	0,0064

De los datos de la **Tabla 9**, se realizó la gráfica de la curva de eficiencia como se muestra en la **Figura 40**.



**Figura 40.** Curva de eficiencia colector 1.

De la **Figura 40**, se tiene que la pendiente de la recta (-5,89) representa el coeficiente de pérdidas del colector, el cruce con el eje y la eficiencia óptica del colector (0,71), y la correlación entre las variables dependientes e independientes ( $R^2$ ) es (0,79).

Según la **Ecuación (6)** de eficiencia, se tiene:

$$\eta_c = F_R(\tau \alpha) - F_R U_L \frac{T_e - T_a}{G}$$

$F_R$  es el factor de remoción y representa el cociente entre el calor absorbido por el fluido y el transferido cuando se considera la placa a la misma temperatura del fluido a la entrada del colector. Según (Duffie & Beckam, 2013), la transmitancia de la cubierta ( $\tau$ ) es 0,95 y la absorptancia ( $\alpha$ ) del aluminio es 0,95.

Por lo tanto, utilizando los resultados de la **Figura 40**, se tiene:

$$F_R U_L = -5,89 \quad (7)$$

$$F_R(\tau \alpha) = 0,71 \quad (8)$$

Tomando en cuenta los datos citados anteriormente con  $\tau = 0,95$  y  $\alpha = 0,95$  al remplazar en la **Ecuación (8)**, se tiene:

$$F_R(0,95 \times 0,95) = 0,71$$

$$F_R = \frac{0,71}{(0,95 \times 0,95)}$$

$$F_R = 0,79$$

Reemplazando en la **Ecuación (7)**, se tiene:

$$(0,79)U_L = -5,89$$

$$U_L = \frac{-5,89}{0,79}$$

$$U_L = -7,45 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

La eficiencia máxima que puede alcanzar el colector solar es de 71% y el coeficiente global de pérdidas es de  $7,45 \text{ W/m}^2\text{°C}$ , y el factor de remoción es 0,79.

### 6.5.2. Curva de eficiencia colector 2

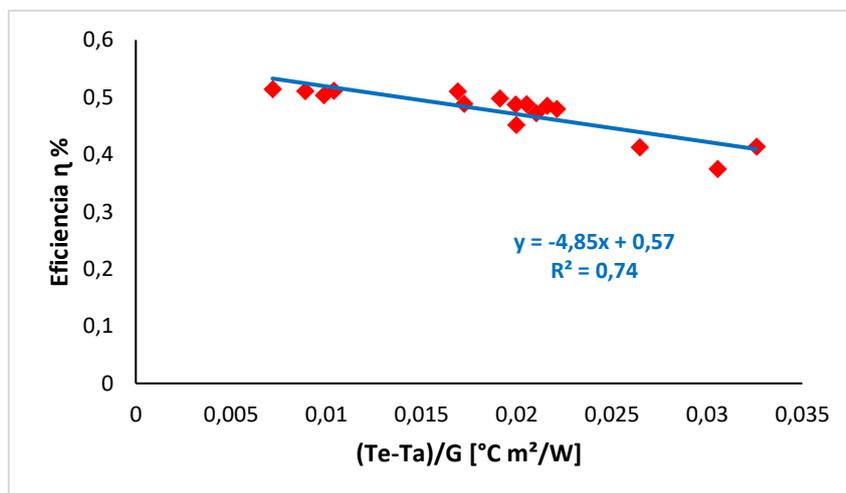
En la **Tabla 10**, se muestran en resumen los datos adquiridos a través del sistema de medición térmica para obtener la curva de eficiencia.

**Tabla 10.**

*Datos de mediciones para obtener la curva de eficiencia colector 2.*

N #	Temperatura del agua a la entrada del colector [°C]	Temperatura ambiente [°C]	Radiación solar [W/m <sup>2</sup> ]	(Te-Ta)/G [°C m <sup>2</sup> /W]
1	26,73	22	871	0,0326
2	26,81	23	863	0,0265
3	27,93	23	969	0,0306
4	26,37	23	986	0,0205
5	26,57	23	992	0,0216
6	26,26	23	980	0,0199
7	25,82	23	981	0,0172
8	25,72	23	964	0,0169
9	27,17	24	993	0,0191
10	27,72	24	1118	0,0200
11	26,74	23	1066	0,0210
12	26,92	23	1065	0,0221
13	25,19	24	995	0,0072
14	25,49	24	1003	0,0089
15	25,75	24	1010	0,0104
16	25,66	24	1008	0,0099

De los datos de la **Tabla 10**, se realizó la gráfica de la curva de eficiencia como se muestra en la **Figura 41**.



**Figura 41.** Curva de eficiencia colector 2.

De la **Figura 41**, se tiene que la pendiente de la recta (-4,85) representa el coeficiente de pérdidas del colector, el cruce con el eje y la eficiencia óptica del colector (0,57), y la correlación entre las variables dependientes e independientes ( $R^2$ ) es (0,74).

$F_R$  es el factor de remoción y representa el cociente entre el calor absorbido por el fluido y el transferido cuando se considera la placa a la misma temperatura del fluido a la entrada del

colector. Según (Duffie & Beckam, 2013), la transmitancia la cubierta ( $\tau$ ) es 0,95 y la absorbancia ( $\alpha$ ) del zinc es 0,90.

Tomando en cuenta los datos citados anterior mente con  $\tau = 0,95$  y  $\alpha = 0,90$  al remplazar en la **Ecuación (8)**, se tiene:

$$F_R = 0,66$$

Reemplazando en la **Ecuación (7)**, se tiene:

$$U_L = -7,35 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

La eficiencia máxima que puede alcanzar el colector solar es de 57% y el coeficiente global de pérdidas es de  $7,35 \text{ W/m}^2\text{°C}$ , y el factor de remoción es 0,66.

## 7. Discusión

La presente investigación se desarrolla bajo condiciones meteorológicas características de la ciudad de Loja, durante 15 días en el mes de julio de 2023, donde se observó climas muy variados, entre días soleados, combinados (soleado-nublado) y nublados. El clima durante el periodo de evaluación en su mayoría fue combinado (soleado-nublado), por lo que se obtuvieron radiaciones altas, medias y bajas en cuestión de minutos, lo que afecta directamente al sistema de calentamiento de agua. Por este motivo las curvas de radiación durante el periodo de evaluación no siguen una tendencia uniforme durante el día.

El registro de datos en las pruebas experimentales se lo realizó mediante el diseño de un sistema de medición térmica para cada colector, construido con una tarjeta ESP32, con los siguientes componentes: 5 sensores de temperatura DS18B20, 1 sensor de radiación ML8511, 1 sensor digital de temperatura ambiente y humedad relativa DHT22, estos sensores son de una poseen una precisión de  $\pm 0,5\text{ C}^\circ$ , sin embargo, se podrían utilizar sensores con mejor precisión para el registro de valores más exactos. Para este análisis, se compararon los datos obtenidos mediante el sistema de medición térmica con las temperaturas de salida, temperatura de entrada, temperatura de la placa absorbadora y temperatura al interior del tanque. También con los datos obtenidos, se calcularon el calor útil y la eficiencia de cada uno de los colectores solares de diferente tipo de construcción de la placa absorbadora, pero de misma área durante los 15 días de evaluación, en los cuales incida la radiación solar, velocidad del viento, temperatura ambiente de la ciudad de Loja. Para lo cual se tomó en consideración como colector 1: calentador solar con placa absorbente de tubos de cobre arreglados a las aletas de aluminio de  $1,44\text{ m}^2$  de área efectiva de captación, como se muestra en el la ficha técnica (**Tabla 4**) y como colector 2: calentador solar con placa absorbente de zinc galvanizada con tubos de cobre encajados a la placa de  $1,44\text{ m}^2$  de área efectiva de captación, como se muestra en la ficha técnica (**Tabla 5**).

La temperatura promedio del agua obtenida de la red para la alimentación colectores 1 y 2 durante el periodo de evaluación fue de  $16,02\text{ }^\circ\text{C}$ . En un día soleado, el colector 1 llegó a un máximo temperatura del agua a la salida del colector de  $94,80\text{ }^\circ\text{C}$  y el colector 2 a  $78,74\text{ }^\circ\text{C}$ ; en un día combinado (soleado-nublado) fue de  $76,61\text{ }^\circ\text{C}$  y  $71,17\text{ }^\circ\text{C}$  y en un día nublado de  $31,87\text{ }^\circ\text{C}$  y  $30,22\text{ }^\circ\text{C}$ . Durante todo el periodo de evaluación la temperatura promedio del agua a la salida del colector 1 fue de  $38,98\text{ }^\circ\text{C}$ , y en la salida del colector 2 fue en promedio  $35,10\text{ }^\circ\text{C}$ , lo que permite notar es que siempre la temperatura del agua a la salida del colector 1 es mayor que en el colector 2, los datos obtenidos con el colector 2 están de acuerdo con lo que mencionado por (González A. , 2009) y (Larreta, 2015), que la temperatura a la que puede

llegar un colector de placa plana esta entre los rangos obtenidos, mientras que los datos obtenidos con el colector 1 superan el rango.

(Burbano et al., 2006) y (Nicolás et al., 2016) en su evaluación de colectores solares de diferente topología encontraron que la temperatura en la placa absorbadora de tubos de cobre arreglados a las aletas llego hasta 104.08 °C esto de acuerdo a las condiciones climatológicas ya que varía la temperatura de la placa absorbadora de acuerdo al tipo de día. Por lo expuesto, se puede afirmar que el colector 1 ganó más temperaturas que el colector 2.

Durante los días donde hubo presencia visible del sol la radiación solar supero los 1000 W/m<sup>2</sup>, desde las 12:10 horas hasta la 13:20 aproximadamente esto variaba de acuerdo a las condiciones climatológicas. Cuando la radiación solar supero los 800 W/m<sup>2</sup>, el colector 1 construido con placa absorbadora de tubos de cobre arreglados a las aletas de aluminio de 1,44 m<sup>2</sup> de área efectiva de captación adquirió mayores temperaturas que el colector 2 construido con placa absorbadora de zinc galvanizada con tubos de cobre, encajados de 1,44 m<sup>2</sup> de área efectiva de captación con una diferencia promedio de 10 a 12 °C.

En días combinados (soleado-nublado) donde hubo una menor presencia del sol durante la evaluación, la radiación solar tuvo dos picos de radiación solar con un valor promedio de 985 W/m<sup>2</sup> a las 11:50 horas y de 866 W/m<sup>2</sup> a las 13:40 horas, los demás valores de radiación fueron inferiores a 700 W/m<sup>2</sup> durante el día, la diferencia de temperatura entre el colector 1 y 2 fue en promedio de 7 a 8 °C, alcanzando mayores temperaturas el colector 1.

En días nublados donde hubo una ausencia visible del sol debido a la nubosidad y lluvias durante la evaluación, la radiación solar tuvo valores menores a 550 W/m<sup>2</sup> durante el día, por lo que presento variaciones en la temperatura de ambos colectores solares que fue de 4 a 5 °C en promedio.

En la **Figura 26, Figura 28, Figura 30, Figura 32, Figura 34 y Figura 36**, se encuentran graficadas las curvas de radiación solar y temperatura del agua al interior del tanque de almacenamiento a lo largo de todo el día, en ellas se puede notar que las temperaturas del agua al interior del tanque del colector 1 siempre es mayor a las de colector 2 con una diferencia de temperaturas promedio de 4 a 5°C a partir de las 15:00 horas en días soleados hasta el final de la evaluación, punto en el cual se alcanzan temperaturas de 40 a 43°C considerando que la velocidad del viento fueron elevadas durante la prueba, lo que permitió determinar que el colector 1 eleva más la temperatura del agua al interior del tanque que el colector 2, considerando que el volumen de agua de ambos colectores es de 120 litros.

La comparación entre las eficiencias térmica de cada uno de los colectores durante los 15 días de evaluación bajo las condiciones climatológicas que se presentaron durante el

monitoreo, se puede apreciar en la **Tabla 8** y **Figura 39**, donde se puede observar que la eficiencia térmica del colector 1 es siempre mayor que la del colector 2 con una diferencia 2,74%.

De los resultados obtenidos experimentalmente mediante la graficas de las **Figura 40** y **Figura 41**, se puede concluir que las eficiencias ópticas (máxima eficiencia que puede alcanzar el colector) son muy diferentes y varía de acuerdo al tipo de construcción de la placa absorbadora. La eficiencia máxima del colector 1 es 14% mayor que del colector 2, lo cual indica que este colector tiene una mejor capacidad de captación de la energía. Esto puede ser posiblemente debido al tipo de construcción de la placa absorbadora. Según (Montoya et al., 2011), los valores típicos del factor de remoción para el tipo de colectores como los que se evalúan van de 0,80 a 0,85; para el colector 1 es de 0,79 que está dentro del rango, en cambio para el colector 2 es de 0,66 esto puede ser debido a un mal contacto térmico entre la placa absorbadora y los tubos, debido a que su construcción es de tubos de cobre, encajados a la placa. El coeficiente global de pérdidas que se obtuvo para el colector 1 es de 7,45 W/ m<sup>2</sup>°C y del colector 2 es de 7,35 W/ m<sup>2</sup>°C y según (Montoya et al., 2011), para colectores de estas características debe ser de 7 W/ m<sup>2</sup>°C lo que nos indica que está dentro de los rangos aceptables.

Los resultados obtenidos son satisfactorios, porque se cumplieron con los objetivos propuestos, y de esta manera se pueden ofrecer perspectivas de aplicación para el diseño de placas absorbadoras de colectores solares con el propósito de emplearlos en procesos que demanden de agua caliente a temperaturas moderadas, tales como suministro de ACS o para proceso de calefacción, climatización de piscinas, producción de calor en procesos industriales y en sistemas de refrigeración.

## 8. Conclusiones

- Con el fin de disponer de una información concisa y pertinente de los materiales, tipo de construcción y parámetros que describen cada uno de los colectores solares que se evaluaron, se procedió a realizar una sistematización de las características técnicas y geométricas, así como de los coeficientes de las propiedades térmicas de los materiales constitutivos de cada colector, los cuales fueron presentados en Fichas Técnicas.
- Se implementó un sistema de medición térmica para cada colector, construido con una tarjeta ESP32, con los siguientes componentes: 5 sensores de temperatura DS18B20, 1 sensor de radiación ML8511, 1 sensor digital de temperatura ambiente y humedad relativa DHT22, el cual permite recabar las variables físicas de temperatura, humedad y radiación solar. Los diferentes sensores se los puede ubicar en diferentes lugares del sistema de calentamiento de agua según el requerimiento y estudio que se vaya a realizar, ya que se adaptó de forma que sean desmontables y acoplables a cualquier tipo de colector solar. Se podrá validar la precisión del sistema de  $\pm 0,5 \text{ C}^\circ$  cuando se realice prácticas estudiantiles.
- Tanto en el colector 1 como en el colector 2 se realizaron pruebas experimentales durante un lapso de 15 días del mes de julio de 2023 en un periodo de 9 horas (8:00 horas a 17:00 horas). En el colector 1 se obtuvo una eficiencia térmica promedio de 37,12%, mientras que en el colector 2 la eficiencia térmica promedio fue de 34,38%. En base a ello se puede concluir que en climas cálidos – templados la topología constructiva de una placa absorbente de tubos de cobre arreglados a las aletas de aluminio es más ventajosa a efectos de calor absorbido y rendimiento térmico, que la placa absorbente de zinc galvanizada con tubos de cobre encajados.
- Paralelamente, durante el periodo de evaluación experimental diario se obtuvo la curva de eficiencia óptica de los colectores con  $1,44 \text{ m}^2$  de área efectiva de captación con valores de intensidad de radiación solar máximos y con baja fluctuación entre ellos. Para el colector 1 con placa absorbente de tubos de cobre arreglados a las aletas de aluminio la eficiencia óptica es de 71% y el factor de remoción que se obtuvo es de (0,79) con un coeficiente global de pérdidas de  $7,45 \text{ W/ m}^2\text{C}$ , en cambio para el colector 2 con placa absorbente de zinc

galvanizada con tubos de cobre encajados la eficiencia óptica es de 57% y el factor de remoción es de (0,66) con un coeficiente global de pérdidas que se obtuvo es de  $7,35 \text{ W/ m}^2\text{°C}$ , esto puede ser debido al material de construcción de los mismos o a un mal contacto térmico entre la placa absorbadora y los tubos, puesto que su construcción es de tubos encajados a la placa sin un material de unión que asegure su integridad. Esto indica que la eficiencia óptica del colector 1 es un 14% mayor que del colector 2, lo cual indica que el colector con placa absorbadora de tubos de cobre arreglados a las aletas de aluminio de  $1,44 \text{ m}^2$  de área efectiva de captación, tiene una mejor capacidad de captación de la energía debido al tipo de construcción de la placa absorbadora.

## 9. Recomendaciones

- Al momento de funcionamiento del equipo de medición térmica, tener en cuenta la alimentación eléctrica (110 VCA), la utilización de un UPS como respaldo en caso de haber cortes de suministro eléctrico y protección cuando haya picos de voltaje, con el objetivo de evitar posibles daños y alteraciones en la tarjeta electrónica del equipo de medición.
- Cuando se proceda a utilizar el sistema de medición térmica en el colector para calcular la eficiencia del mismo, revisar el estado de cada uno de los sensores y considerar la correcta ubicación de la polaridad de las termocuplas.
- Se recomienda que el tipo de construcción de las placas absorbedoras sea de tubos de cobre arreglados a las aletas de aluminio ya que son más favorables a efectos de calor absorbido y eficiencia térmico bajo las condiciones climatológicas de la Ciudad de Loja.
- Se debe aumentar el espesor del aislante térmico del tanque de almacenamiento de agua para disminuir las pérdidas.
- Revisar el aislante térmico en la parte posterior y paredes laterales del colector en caso de que las pérdidas sean altas aumentarlo y así se disminuirá el coeficiente global de pérdidas.
- Evitar que el colector solar opere en temperaturas cercanas a la ebullición para evitar pérdidas de calor por fugas de vapor.

## 10. Bibliografía

- Álvarez Hernández, O., Montaña Peralta, T. T., & Maldonado Correa, J. (2014). La radiación solar global en la provincia de Loja, evaluación preliminar utilizando el método de Hottel. *Ingenius*, 11, 27. doi:10.17163/ings.n11.2014.03
- Calle Sigüencia, J., & Tinoco Gómez, Ó. (2018). Obtención de ACS con energía solar en el cantón Cuenca y análisis de la contaminación ambiental. *Ingenius*, 90, 19. doi:<https://doi.org/10.17163/ings.n19.2018.09>
- Adriano Peña , R. W. (2016). *Análisis numérico de sistemas compactos de calentamiento de agua con energía solar. [Tesis Maestro, Univeridad Nacional de Ingenieria]*. Universidad Nacional de Ingenieria, Lima. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/5328>
- Albarracin, G. (2016). Obtenido de Análisis De Morfología Urbana Para La Optimización De: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100243/86BCN\\_AlbarracinGiovanny.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100243/86BCN_AlbarracinGiovanny.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Amordad Group. (12 de 05 de 2015). Obtenido de Ahorro para ti, beneficio para todos CATÁLOGO Amordad Solar: <https://amordadsolar.com/>
- Aparicio, M. (2010). *Radiación solar y su aprovechamiento energético*. MARCOMBO S.A. ARQUITECTURA EFICIENTE. (8 de marzo de 2014). *RADIACIÓN DIRECTA, DIFUSA Y REFLEJADA*. Obtenido de <https://pedrojhernandez.com/2014/03/08/radiacion-directa-difusa-y-reflejada/>
- Baase, S., & Gelder, A. V. (2002). *Algoritmos computacionales*. España: ISBN. 970-26-0142-8.

- Burbano, C., Restrepo, H., & Sabogal, J. (2006). *Diseño y Construcción de un Calentador Solar de Agua Operando por Termosifón*. Scientia Et Technica. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84911639016.pdf>
- Caraballo, M. A., Tapia, D., Solorzano, B., & Cuenca, J. (2021). Módulo de aprovechamiento solar para generacion de aire caliente. *CienciAmerica*, 10(3)(ISSN 1390-8542 ISSN-L 1390-691X).
- Castro Zaragoza , G. Z. (2014). *Modelo Predictivo de las Pérdidas de Calor de la Cubierta de Vidrio de un Colector Solar de Placa Plana*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. [Tesis de grado para Ingeniero Químico, Mexico].
- Ceballos, S. (2013). *Enciclopedia de Microsoft Visual C# Interfaces Gráficas y Aplicaciones para Internet con Windows Forms y ASP.NET*. Madrid, España: RA-MA. doi:978-84-9964-437-0
- Cengel, Y. A. (2007). *TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA. 3ra Edición*. México D.F.: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA.
- Chow, T. (2003). *Perfomance analysis of photovoltaic-thermal collector by dynamic mode*. *Solar Energy*. Elsevier 143-152.
- CONELEC. (2008). Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica. [Online] Available, 51. doi:<https://goo.gl/xyQQTt>
- Cuenca, A., & Tapia, P. (2010). *Análisis de la eficiencia energética de dos prototipos de colectores solares de placa plana (cobre y aluminio), fabricados según dos técnicas constructivas (acanalado y soldado)*. [Universidad Nacional de Loja]. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/16969>
- Díaz, P. F. (2000). *Procesos termosolares en baja, media y alta temperatura*. Universidad de Cantabria .
- Duffie, J. A., & Beckam, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Canada: Printed in the United States of America.

- Eficiencia Energética. (12 de julio de 2015). *Circulación por Termosifón*. Obtenido de <https://certificacionenergetica.info/circulacion-por-termosifon/>
- Energía Solar Fotovoltaica*. (s.f.). Recuperado el 20 de febrero de 2023, de Tipos de colectores solares térmicos: <https://energiasolarfotovoltaica.org/>
- Fernández Díez, P. (31 de Mayo de 2020). *Enérgia Solar*. Obtenido de Ingeniería Energética: <https://pfernandezdiez.es/es/libro?id=3>
- Fernández Salgado, J. M. (2008). *Guía completa de la energía solar térmica*. Madrid: Adam Hilger.
- Fernandez, D. (2017). CORRELACIONES PARA LA CONVECCIÓN NATURAL Y FORZADA. *Studoco*. Obtenido de <https://www.studocu.com/es/document/universidad-de-la-rioja/disenio-de-instalaciones-de-integracion-en-la-red-de-sistemas-de-generacion-de-energia-electrica/xiv/10638462>
- Fernández, J. (2008). *Guía completa de la energía solar térmica*. Madrid: Adam Hilger.
- Forson, F., Nazha, M., & Rajakaruna, H. (2003). Experimental and Simulation Studies on a Single Pass, Double Duct Air Solar Heater. *Energy Conversion and Management*, 44, 1209-1227.
- González Velasco, J. (2009). *Energías renovables*. Barcelona: Reverté S A.
- González, A. (2009). *Diseño De Una Instalación Solar Térmica Multipropósito Para Un Edificio De Viviendas En Granada [UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID]*. Obtenido de [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7310/PFC\\_Ana\\_Criado\\_Gonzalez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7310/PFC_Ana_Criado_Gonzalez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- González, M., Hernández, L., & Quiñonez, E. (2014). *ENSAYO DE UN COLECTOR SOLAR CALENTADOR DE AIRE DE DOBLE PASO CON MATRIZ [Universidad Nacional de la Plata]*. Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/139337>

- Guevara, S. (2003). *TEORÍA PARA EL DISEÑO DE CALENTADORES SOLARES DE AGUA. TEORÍA PARA EL DISEÑO DE CALENTADORES SOLARES DE AGUA.*
- Ibañez, M., Rosell, J., & Rosell, J. (2005). *Tecnología Solar.* España: Mundiprensa.
- Iglesias, I., & Morales, J. (2013). Sizing of a solar thermal system by means of simulation and their energy validation. *Apl. Industriales.*
- Joyanes, L. A. (2008). *Fundamentos de programación /Algoritmos, estructuras de datos y objetos.* España: McGraw Hill.
- Kalogirou, S. (2009). *Solar Energy Engineering: Processes and System.* California: ELSEVIER.
- Kalogirous, S., & Paramarcou, C. (2000). *Simple validation method of a TRNSYS model for a thermosyphon solar water heating system.* Nicosia: Mediterranean Electrotechnical Conference.
- Kreith, F., Manglik, R., & Bohn, M. (2012). *Principios de Transferencia y Calor.* Mexico: Cengage Learning Editores.
- Larreta, C. (2015). *Diseño y construcción de un calentador de agua solar, económico y asequible a la clase media-baja del Ecuador [Tesis de Ingeniería, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL ].* Repositorio institucional. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/32307/D-CD88214.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
- Lopez, P. (Julio de 2000). *Energía Solar Térmica y Fotovoltaica.* Obtenido de Academia.edu: [https://www.academia.edu/38615076/M%C3%B3dulo\\_2\\_Energ%C3%ADa\\_Solar\\_T%C3%A9rmica\\_y\\_Fotovoltaica\\_Energ%C3%ADa\\_Solar\\_T%C3%A9rmica\\_Unidad\\_1\\_Conceptos\\_b%C3%A1sicos\\_sobre\\_la\\_radiaci%C3%B3n\\_solar\\_1\\_1\\_Introducci%C3%B3n](https://www.academia.edu/38615076/M%C3%B3dulo_2_Energ%C3%ADa_Solar_T%C3%A9rmica_y_Fotovoltaica_Energ%C3%ADa_Solar_T%C3%A9rmica_Unidad_1_Conceptos_b%C3%A1sicos_sobre_la_radiaci%C3%B3n_solar_1_1_Introducci%C3%B3n)
- Lorenzo, E. (2010). *Ingeniería Fotovoltaica.* Madrid: Profesor del Instituto de Energía Solar, Universidad Politécnica.

- Martínez, A., & Amo, A. d. (2016). *Instalaciones solares térmicas de baja temperatura*.  
Prensas de la Universidad de Zaragoza.
- Martínez, J., Nocento, P., & Suárez, R. (2013). *Manual Técnico de Energía Solar Térmica Volumen II: Aspectos Técnicos y Normativos*. Obtenido de  
[https://www.academia.edu/25252832/Manual\\_T%C3%A9cnico\\_de\\_Energ%C3%ADa\\_Solar\\_T%C3%A9rmica\\_Volumen\\_II\\_Aspectos\\_T%C3%A9cnicos\\_y\\_Normativos](https://www.academia.edu/25252832/Manual_T%C3%A9cnico_de_Energ%C3%ADa_Solar_T%C3%A9rmica_Volumen_II_Aspectos_T%C3%A9cnicos_y_Normativos)
- Martínez, P. (2010). *Energía Solar Térmica: Técnicas para su Aprovechamiento*. marcombo.  
Obtenido de  
[https://books.google.com.ec/books?id=Gu6FIQXKHmEC&newbks=1&newbks\\_redir=0&printsec=frontcover&dq=Energía+Solar+T%C3%A9rmica:+T%C3%A9cnicas+para+su+Aprovechamiento&hl=es-419&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=Gu6FIQXKHmEC&newbks=1&newbks_redir=0&printsec=frontcover&dq=Energía+Solar+T%C3%A9rmica:+T%C3%A9cnicas+para+su+Aprovechamiento&hl=es-419&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Medina L, M. (2007). *Algorítmica y programación para ingenieros*. Barcelona: UPC.
- Méndez, J., Cueva, R., & S.A.U., E. I. (2008). *ENERGÍA SOLAR TÉRMICA*.  
[https://books.google.com.ec/books?id=9l2IOQTRe1UC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=9l2IOQTRe1UC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false).
- Montoya, L., Palo, J., Cabana, W., & Soria, L. (2011). *Evaluación de un calentador solar de agua de acuerdo a Norma Técnica Peruana*. Escuela Profesional de Física Centro de Energías Renovables y Eficiencia Energética.
- Mosheni, L. (2009). *An Exergy and Heat Study of a Solar Thermal Air Collector*. Thermal Science.
- Mu. (s.f.). Incentivo a la generacion distrbuida en el Ecuador.
- Muñoz-Vizhñay, J. P., Rojas-Moncayo, M. V., & Barreto-Calle, C. R. (2018). Incentivo a la generación distribuida. *Ingenius*, 19, 65.  
doi:<https://doi.org/10.17163/ings.n19.2018.06>

- NEC. (2020). *ENERGÍAS RENOVABLES (ER)*. Ecuatoriana NTE INEN 2507. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- Nicolás, M., García, M., & Luna, J. (2016). *COMPARATIVA EXPERIMENTAL ENTRE DOS CAPTADORES*. 1)Universidad de Murcia. Grupo de Investigación de Ingeniería Energética e Innovación Docente en Tecnología.
- Paccha, E., & Samaniego, C. (2009). *Cálculo, Diseño y Construcción de Una Cocina Solar Accionada con Aceite Térmico Mediante el Proceso de Termosifón [ Tesis de Ingeniero Electromecánico, UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA]*.
- Pareja, M. A. (2010). *Radiación Solar y su Aprovechamiento Energético*. Marcombo S.A.
- Peña, A. (2016). *Análisis numérico de sistemas compactos de calentamiento de agua con energía solar. [Tesis Maestro, Univeridad Nacional de Ingenieria]*. Universidad Nacional de Ingenieria, Lima. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/5328>
- Peña, H. (2018). *Diseño y construcción de un colector solar de placa plana destinado a la obtención de agua caliente sanitaria para el laboratorio de energías renovables del AEIRNNR de la UNL. [Universidad Nacional de Loja]*. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/20391>
- Perez, S. D., & Ramirez, G. (2019). *Validación experimental del modelo matemático dinámico de tres nodos de un colector solar plano [Tesis de Ingenieria Quimica, UNCP]*. Repositorio UNCP. Obtenido de Universidad Técnica de Ambato.
- Placco, C., Saravia, L., & Cadena, C. (2020). *COLECTORES SOLARES PARA AGUA CALIENTE*. Obtenido de <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/lahv/soft/opte/htdocs/modules/descargas/archivos/COLECTORES%20SOLARES%20PARA%20AGUA%20CALIENTE.pdf>
- Pressman, R. (2010). *Ingenieria del Software*. España: MC Graw Hill.

- Puma, C. (2022). *Diseño de un sistema híbrido de calentamiento de agua para la piscina terapéutica del MIES – LOJA [Universidad Nacional de Loja]*. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/25838>
- Quiñonez, J. (2019). Investigación experimental de un calentador solar de aire de doble flujo de convección natural de alta eficiencia. *Altoandinas-High Andean Res, Vol21, , 274-282*.
- REFORMASTER. (18 de noviembre de 2021). Obtenido de Sistemas de calefacción solar.: <https://www.reformaster.es/blog/que-son-los-sistemas-de-calefaccion-solar-tipos-y-caracteristicas/>
- Rey, J., Velasco, E., San José, J., Tejero, A., & Rey, F. (abril de 2018). Energy Analysis at a Near Zero Energy Building. *Energies, 11(4)*, pág. 19.  
doi:<https://doi.org/10.3390/en11040857>
- Romero, M. (2021). *Diseño de un sistema de agua caliente sanitaria (ACS) mediante energía solar térmica para una vivienda unifamiliar ubicada en el barrio Clodoveo de la ciudad de Loja. [Universidad Nacional de Loja]*. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/24217>
- Sáenz, D. (2022). *Implementación, experimentación y evaluación térmica de un calentador solar de agua en espiral, para la vivienda sustentable de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables. [Universidad Nacional de Loja]*. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/25967>
- Salcedo C, J. P. (2016). *Diseño de un sistema híbrido de calentamiento de agua sanitaria que aproveche la energía solar y eléctrica para una capacidad de 4500 litros [Tesis de Ingeniería Mecánica, PUCP]*. Repositorio, PUCP. Obtenido de Universidad Técnica de Ambato:  
<http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1168/1/Tesis%20I.%20M.%20133%20-%20Salcedo%20Cobo%20Victor%20Manuel.pdf>

- Salcedo Cuenca, J. P. (2016). *Diseño de un sistema híbrido de calentamiento de agua sanitaria que aproveche la energía solar y eléctrica para una capacidad de 4500 litros*[Ing. Mecánica, PUCP]. repositorio, PUCP. Obtenido de Universidad Técnica de Ambato: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7228>
- Salcedo, J. (2016). *Diseño de un sistema híbrido de calentamiento de agua sanitaria que aproveche la energía solar y eléctrica para una capacidad de 4500 litros por día para la ciudad de Puno, Región Puno en Perú*. Obtenido de Universidad Técnica de Ambato: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/7228>
- Salgado, F., & M, J. (2008). *Guía completa de la energía solar térmica y termoelectrónica*. Madrid: Adam Hilger.
- Sánchez Maza, M. A. (2014). *Energía solar fotovoltaica*. Mexico: Limusa.
- Sánchez, M. (2014). *Energía solar fotovoltaica*. Mexico: Limusa.
- Termas Solares Luxsol*. (2011). Obtenido de TIPOS DE COLECTORES SOLARES TÉRMICOS : <http://www.termasolar.com/2011/06/7-colectores-de-vacio.html>
- Torres Muro, H. A. (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 grado, Tacna Recuperado el 27 de 12 de 2018.
- Uriol Paulini, J. (2016). *Estudio de Colectores Solares Multipasos con y sin Almacenamiento Térmico en el Secado de Productos Agrícolas [Tesis de Ingeniería Mecánico-Electrónica, Universidad de Piura]*. Repositorio Institucional, PIRHUA. Obtenido de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2585/IME\\_205.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2585/IME_205.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Vallejo, D., & Salazar, Á. (2014). *Diseño y construcción de un sistema solar térmico para calentamiento de agua mediante proceso de termosifón para una vivienda rural sostenible de interés social del AEIRNNR [Universidad Nacional de Loja]*. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/11954>

Veintimilla, E., & León, B. (2011). *Cálculo, Diseño y Construcción de Un Calentador Solar De Agua Con La Utilización De Aceite Térmico En Un Proceso De Termosifón Que Mejore Su Eficiencia Y Aproveche De Mejor Manera La Potencialidad Solar Del Medio [UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA]*. Repositorio institucional. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/12433>

## 11. Anexos

**Anexo 1.** Temperatura del agua de la red del sector de la F.E.I.R.N.N.R. durante el periodo de evaluación.

Ciudad: Loja	Altitud: 2160 m. s. n. m.
Fecha	Temperatura del agua de la red (°C)
3/7/2023	16,19
4/7/2023	16,25
5/7/2023	15,44
10/7/2023	15,13
11/7/2023	16,37
12/7/2023	16,25
13/7/2023	15,44
14/7/2023	15,69
15/7/2023	15,63
16/7/2023	16,62
17/7/2023	15,19
18/7/2023	16,19
19/7/2023	17,19
20/7/2023	15,88
21/7/2023	16,87
<b>Promedio</b>	<b>16,02</b>

**Anexo 2.** Datos de flujo másico de los calentadores solares Datos de flujo másico de los calentadores solares.

<b>COLECTOR 1</b>						
<b>Fecha</b>	<b>5/7/2023</b>		<b>Clima</b>	<b>Soleado</b>		
<b>Hora</b>	<b>tiempo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Flujo masico</b>	<b>Unidad</b>	<b>Promedio Flujo (Kg/seg)</b>
08h00	19	segundos	9	0,052631579	kg/s	<b>0,052839201</b>
09H00	20	segundos	32	0,05	kg/s	
10H00	19	segundos	43	0,052631579	kg/s	
11H00	18,06	segundos	65	0,055370986	kg/s	
12H00	18,67	segundos	45	0,053561864	kg/s	
<b>Fecha</b>	<b>6/7/2023</b>		<b>Clima</b>	<b>Soleado-lluvioso</b>		
<b>Hora</b>	<b>tiempo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Flujo masico</b>	<b>Unidad</b>	<b>Promedio Flujo (Kg/seg)</b>
08h00	19,6	segundos	19	0,051020408	kg/s	<b>0,055609121</b>
09H00	18,2	segundos	26	0,054945055	kg/s	
10H00	16,83	segundos	40	0,059417706	kg/s	
11H00	17,15	segundos	46	0,058309038	kg/s	
12H00	18,38	segundos	43	0,054406964	kg/s	
14h00	18	segundos	27	0,055555556	kg/s	
<b>Fecha</b>	<b>4/7/2023</b>		<b>Clima</b>	<b>Soleado</b>		
<b>Hora</b>	<b>tiempo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Flujo masico</b>	<b>Unidad</b>	<b>Promedio Flujo (Kg/seg)</b>
15h00	17,97	segundos	50	0,055648303	kg/s	<b>0,058895551</b>
16H00	15,68	segundos	40	0,06377551	kg/s	
16.30H00	18,65	segundos	37	0,053619303	kg/s	
17H00	15,99	segundos	25	0,062539087	kg/s	
<b>Fecha</b>	<b>8/7/2023</b>		<b>Clima</b>	<b>Nublado</b>		
<b>Hora</b>	<b>tiempo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Flujo masico</b>	<b>Unidad</b>	<b>Promedio Flujo (Kg/seg)</b>
13h00	18,52	segundos	28	0,05399568	kg/s	<b>0,05792798</b>
14H00	17,09	segundos	27	0,058513751	kg/s	
15H00	16,32	segundos	25	0,06127451	kg/s	
					<b>TOTAL</b>	<b>0,0563</b>

COLECTOR 2						
Fecha	5/7/2023		Clima	Soleado		
Hora	tiempo	Unidad	Temperatura (°C)	Flujo masico	Unidad	Promedio Flujo (Kg/seg)
08h00	19	segundos	9	0,05263158	kg/s	0,0528392
09H00	20	segundos	32	0,05	kg/s	
10H00	19	segundos	43	0,05263158	kg/s	
11H00	18,06	segundos	65	0,05537099	kg/s	
12H00	18,67	segundos	45	0,05356186	kg/s	
Fecha	6/7/2023		Clima	Soleado-lluvioso		
Hora	tiempo	Unidad	Temperatura (°C)	Flujo masico	Unidad	Promedio Flujo (Kg/seg)
08h00	19,6	segundos	19	0,05102041	kg/s	0,05560912
09H00	18,2	segundos	26	0,05494505	kg/s	
10H00	16,83	segundos	40	0,05941771	kg/s	
11H00	17,15	segundos	46	0,05830904	kg/s	
12H00	18,38	segundos	43	0,05440696	kg/s	
14h00	18	segundos	27	0,05555556	kg/s	
Fecha	4/7/2023		Clima	Soleado		
Hora	tiempo	Unidad	Temperatura (°C)	Flujo masico	Unidad	Promedio Flujo (Kg/seg)
15h00	17,97	segundos	50	0,0556483	kg/s	0,05889555
16H00	15,68	segundos	40	0,06377551	kg/s	
16.30H00	18,65	segundos	37	0,0536193	kg/s	
17H00	15,99	segundos	25	0,06253909	kg/s	
Fecha	8/7/2023		Clima	Nublado		
Hora	tiempo	Unidad	Temperatura (°C)	Flujo masico	Unidad	Promedio Flujo (Kg/seg)
13h00	18,52	segundos	28	0,05399568	kg/s	0,05792798
14H00	17,09	segundos	27	0,05851375	kg/s	
15H00	16,32	segundos	25	0,06127451	kg/s	
					<b>TOTAL</b>	<b>0,0563</b>

Anexo 3. Tablas de monitoreo para análisis de los colectores solares.

Colector 1						Fecha: 03-07-2023				
Hora	Temperatura del agua a la entrada del colector (°C)	Temperatura del agua a la salida del colector (°C)	Temperatura de la placa de absorción (°C)	Temperatura de la cubierta (°C)	Temperatura del agua en el tanque (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Radiación solar (W/m <sup>2</sup> )	Velocidad del viento (m/s)	Qu= $\dot{m} \times C_p \times \Delta T$ (KW)	$\eta = Q_u / A_c \times G$
8:00	15,71	17,9	25,29	14,01	25,77	11	185	0	0,5117	11,53
8:10	16,24	20,1	28,42	16,18	26,14	13	329	0	0,8983	11,38
8:20	16,90	21,3	31,98	18,63	27,57	14	351	0	1,0354	12,29
8:30	17,65	22,6	35,96	21,42	28,01	16	377	1	1,1692	12,92
8:40	18,50	24,1	40,49	24,47	29,51	17	415	1	1,3099	13,15
8:50	19,41	25,6	45,38	27,31	30,02	18	458	0	1,4510	13,20
9:00	20,41	27,0	50,41	29,81	30,52	18	489	2	1,5596	13,29
9:10	21,39	28,6	55,48	32,21	30,97	18	500	1	1,6920	14,10
9:20	22,36	29,9	60,60	34,58	31,32	19	537	1	1,7712	13,74
9:30	22,34	35,7	65,76	36,57	31,60	19	570	1	3,1425	22,97
9:40	22,72	39,9	70,91	38,19	31,85	19	600	1	4,0319	28,00
9:50	23,44	42,6	76,04	40,04	32,07	20	664	1	4,4977	28,22
10:00	23,01	47,8	80,14	41,52	32,39	21	726	3	5,8396	33,51
10:10	23,59	53,9	82,86	42,65	32,75	21	752	4	7,1226	39,46
10:20	23,65	57,5	84,85	43,38	32,91	22	772	4	7,9563	42,94
10:30	23,22	63,3	86,79	43,82	32,99	22	825	5	9,4157	47,55
10:40	23,13	68,7	88,61	44,85	33,04	22	871	3	10,7269	51,32
10:50	23,89	75,0	86,65	45,26	33,13	23	863	6	12,0128	58,00
11:00	23,24	80,7	87,06	45,31	33,25	23	969	4	13,5164	58,12
11:10	23,66	82,5	87,71	45,70	33,41	23	986	4	13,8412	58,49
11:20	23,76	83,2	89,26	46,63	33,62	23	992	5	13,9703	58,68
11:30	23,33	85,8	88,36	46,43	33,88	23	980	6	14,6963	62,48
11:40	23,75	86,2	87,65	46,37	34,01	23	981	6	14,6951	62,42
11:50	23,79	86,6	91,05	46,65	34,18	23	964	4	14,7743	63,86
12:00	24,64	89,3	92,76	46,85	34,58	24	993	6	15,2094	63,82

<b>12:10</b>	27,11	94,8	96,69	46,89	35,08	24	1118	3	15,9266	59,36
<b>12:20</b>	26,68	94,4	95,19	46,53	35,62	23	1066	4	15,9264	62,25
<b>12:30</b>	25,91	93,0	93,93	46,80	36,16	23	1065	3	15,7825	61,75
<b>12:40</b>	24,37	90,6	92,96	46,77	36,72	24	995	4	15,5739	65,22
<b>12:50</b>	25,42	91,7	89,01	46,92	37,30	24	1003	3	15,5856	64,75
<b>13:00</b>	25,17	92,3	84,88	46,59	37,84	24	1010	3	15,7900	65,14
<b>13:10</b>	24,00	93,9	86,09	47,05	38,34	24	1008	3	16,4470	67,99
<b>13:20</b>	23,99	89,3	85,39	47,17	38,95	24	907	4	15,3608	70,57
<b>13:30</b>	23,29	86,4	82,76	46,79	39,42	25	888	7	14,8362	69,61
<b>13:40</b>	23,51	86,4	82,02	46,91	39,86	25	876	5	14,7786	70,29
<b>13:50</b>	23,62	85,5	82,55	47,22	40,29	24	868	5	14,5568	69,88
<b>14:00</b>	23,22	80,8	82,29	47,17	40,68	24	850	4	13,5456	66,40
<b>14:10</b>	23,32	79,1	82,67	46,86	41,00	25	885	7	13,1223	61,78
<b>14:20</b>	23,76	79,6	83,38	47,68	41,28	25	907	6	13,1221	60,28
<b>14:30</b>	24,49	74,9	82,76	47,62	41,51	25	938	7	11,8625	52,69
<b>14:40</b>	24,41	66,8	85,02	47,50	41,79	24	800	5	9,9756	51,96
<b>14:50</b>	24,36	65,7	85,55	47,12	42,05	24	791	5	9,7256	51,23
<b>15:00</b>	24,31	63,6	82,89	46,40	42,25	24	795	4	9,2318	48,38
<b>15:10</b>	24,26	60,7	80,07	45,71	43,47	24	732	4	8,5660	48,76
<b>15:20</b>	24,91	64,4	77,76	44,77	43,90	24	808	2	9,2939	47,93
<b>15:30</b>	23,78	56,6	75,66	43,90	43,78	25	697	5	7,7124	46,10
<b>15:40</b>	22,36	52,9	73,26	43,11	43,65	25	681	5	7,1715	43,88
<b>15:50</b>	21,89	51,5	70,64	42,38	43,43	25	673	3	6,9629	43,11
<b>16:00</b>	20,20	45,8	67,91	40,93	43,42	24	584	5	6,0192	42,95
<b>16:10</b>	20,45	42,0	64,94	39,99	43,42	24	512	3	5,0788	41,33
<b>16:20</b>	20,67	38,9	63,29	39,25	43,42	24	453	4	4,2920	39,48
<b>16:30</b>	20,50	38,4	63,24	38,31	43,38	24	447	5	4,2119	39,26
<b>16:40</b>	20,18	37,7	63,26	37,74	43,30	24	439	6	4,1205	39,11
<b>16:50</b>	20,15	35,8	62,38	36,69	43,15	24	394	5	3,6906	39,03
<b>17:00</b>	20,07	32,7	60,63	35,35	43,02	23	318	3	2,9696	38,91

Colector 1							Fecha: 10-07-2023			
Hora	Temperatura del agua a la entrada del colector (°C)	Temperatura del agua a la salida del colector (°C)	Temperatura de la placa de absorción (°C)	Temperatura de la cubierta (°C)	Temperatura del agua en el tanque (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Velocidad del viento (m/s)	Qu= $\dot{m} \times C_p \times \Delta T$ (KW)	$\eta = Q_u / A_c \times G$
8:00	17,73	18,07	18,72	13,62	25,73	15,8	51	0,5	0,08113	6,63
8:10	17,75	18,18	18,42	13,87	25,78	15,8	48	0,5	0,10041	8,72
8:20	17,79	18,25	19,36	14,26	25,81	15,8	106	0,8	0,10794	4,24
8:30	17,85	18,30	19,37	14,62	25,82	16,1	86	1,4	0,10653	5,16
8:40	17,91	18,40	20,30	14,95	25,84	16,4	74	2,1	0,11688	6,58
8:50	17,96	18,48	21,27	15,27	25,80	16,4	80	1	0,12111	6,31
9:00	18,03	19,55	22,42	15,62	25,81	16,3	189	0,2	0,35792	7,89
9:10	18,11	19,79	23,81	16,02	25,85	16,9	166	0,6	0,39460	9,90
9:20	18,21	19,36	25,44	16,53	25,94	17,3	119	0,3	0,26950	9,44
9:30	18,32	20,29	27,30	17,14	26,06	17,5	148	1,4	0,46492	13,09
9:40	18,44	21,61	29,50	17,94	26,20	17,6	176	0,3	0,74429	17,62
9:50	18,55	23,23	31,78	18,70	26,33	17,9	267	2,3	1,09986	17,16
10:00	18,62	25,56	34,24	19,57	26,42	18,4	391	2,6	1,63320	17,40
10:10	18,67	28,42	36,65	20,66	26,53	18,5	288	3,6	2,29331	33,18
10:20	18,72	31,03	38,96	21,57	26,63	18,5	398	2,9	2,89438	30,30
10:30	18,76	33,53	40,98	22,17	26,68	18,6	320	1,3	3,47500	45,25
10:40	18,79	36,01	43,20	23,12	26,69	18,8	356	1	4,04809	47,38
10:50	18,74	39,31	45,76	24,54	26,68	18,9	305	2,4	4,83729	66,08
11:00	20,75	42,31	48,36	25,89	26,67	18,5	254	3,5	5,07105	83,19
11:10	20,77	46,28	51,91	27,42	26,62	18,2	271	2,2	5,99994	92,25
11:20	22,78	51,13	56,09	29,12	27,58	17,9	280	1,4	6,66710	95,21
11:30	22,26	53,88	60,70	30,62	27,55	19	446	1,7	7,43443	69,45
11:40	22,47	59,11	64,48	32,09	27,51	19,1	695	2,1	8,61612	51,66
11:50	22,59	63,80	67,55	33,49	27,52	19,7	808	2,4	9,69176	49,98
12:00	24,72	67,89	76,14	34,44	28,57	20,4	1007	1,6	10,15338	42,01
12:10	24,77	71,89	76,96	35,53	28,61	20,9	1075	3,1	11,08086	42,95

<b>12:20</b>	24,81	75,04	76,57	35,94	28,63	20,6	1023	5,3	11,81269	48,11
<b>12:30</b>	22,90	76,24	74,80	35,66	28,72	21,2	930	4,1	12,54451	56,20
<b>12:40</b>	24,90	76,61	73,68	35,08	28,93	21,3	1069	3,8	12,15932	47,39
<b>12:50</b>	22,94	65,37	69,83	34,64	29,19	20,4	632	5,4	9,97795	65,78
<b>13:00</b>	22,01	63,97	68,07	34,12	29,48	19,6	495	4,1	9,86766	83,06
<b>13:10</b>	26,60	65,03	66,34	33,67	29,96	19,2	418	3,8	9,03706	90,08
<b>13:20</b>	26,63	63,44	65,59	33,45	30,44	18,7	405	2,6	8,65657	89,06
<b>13:30</b>	26,60	72,24	64,58	32,89	30,82	18,7	604	3,2	10,73353	74,04
<b>13:40</b>	25,78	71,30	64,17	33,34	31,07	19,9	993	5,3	10,70390	44,91
<b>13:50</b>	25,34	69,37	64,67	33,58	31,22	20,8	941	4,7	10,35256	45,84
<b>14:00</b>	25,11	66,29	66,74	34,60	31,32	20,8	848	4,1	9,68376	47,58
<b>14:10</b>	24,93	63,02	70,18	35,84	31,33	21,5	909	4,3	8,95640	41,05
<b>14:20</b>	24,58	60,02	73,87	36,75	31,30	21,1	771	4,1	8,33463	45,04
<b>14:30</b>	22,91	56,92	72,82	36,76	31,32	21,5	799	2,8	7,99812	41,71
<b>14:40</b>	24,31	52,61	73,94	37,00	31,46	20,9	801	2,4	6,65487	34,62
<b>14:50</b>	24,61	48,75	73,49	36,88	31,68	21,5	700	4,1	5,67753	33,79
<b>15:00</b>	24,62	43,55	72,01	35,85	31,94	21,3	650	0,6	4,45163	28,54
<b>15:10</b>	23,75	37,89	72,03	32,26	32,15	20,8	283	3,2	3,32426	48,94
<b>15:20</b>	23,63	32,54	70,33	30,84	32,31	19,9	269	4,5	2,09553	32,46
<b>15:30</b>	24,08	41,34	69,53	29,86	32,51	20,4	558	3,7	4,05773	30,30
<b>15:40</b>	24,33	31,68	65,96	27,95	32,63	20,5	211	2,1	1,72821	34,13
<b>15:50</b>	22,53	32,73	61,58	25,77	32,69	19,6	252	4,4	2,40007	39,68
<b>16:00</b>	22,86	33,90	57,20	23,94	32,69	19,4	242	3,4	2,59572	44,69
<b>16:10</b>	23,47	33,11	53,39	22,59	32,66	19,4	238	2,9	2,26673	39,68
<b>16:20</b>	22,98	32,15	49,33	20,69	32,62	18,7	243	1,9	2,15668	36,98
<b>16:30</b>	22,59	31,80	45,67	19,18	32,62	17,8	277	2,4	2,16397	32,55
<b>16:40</b>	22,35	30,98	42,52	18,06	32,62	17,3	239	2,7	2,03016	35,39
<b>16:50</b>	22,11	30,00	39,44	19,71	32,60	17	228	2,1	1,85543	33,91
<b>17:00</b>	21,93	28,30	36,49	18,76	32,60	16,9	203	3	1,49846	30,76

Colector 1						Fecha: 19-07-2023				
Hora	Temperatura del agua a la entrada del colector (°C)	Temperatura del agua a la salida del colector (°C)	Temperatura de la placa de absorción (°C)	Temperatura de la cubierta (°C)	Temperatura del agua en el tanque (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Radiación solar (W/m <sup>2</sup> )	Velocidad del viento (m/s)	Qu= $\dot{m} \times C_p \times \Delta T$ (KW)	$\eta = Q_u / A_c \times G$
8:00	13,71	15,18	21,22	13,56	22,55	17,1	128	4,9	0,3467	11,29
8:10	13,79	16,43	23,30	13,96	22,98	17,5	193	6,3	0,6204	13,39
8:20	13,85	16,56	25,47	14,38	23,01	17,3	181	6,5	0,6393	14,72
8:30	13,89	16,64	27,47	14,78	23,06	17,2	138	4	0,6475	19,55
8:40	13,89	16,77	28,78	15,10	23,11	17,2	151	6,8	0,6771	18,68
8:50	13,97	16,66	29,72	15,13	23,15	17,1	128	6,9	0,6338	20,63
9:00	13,82	16,59	30,03	15,21	23,16	17,2	138	6	0,6498	19,62
9:10	13,80	16,61	30,72	15,54	23,16	17,1	173	7,4	0,6592	15,88
9:20	13,98	16,79	32,21	16,35	23,18	17,3	246	5,1	0,6616	11,21
9:30	15,44	17,94	34,56	17,29	23,21	17,6	281	4,4	0,5881	8,72
9:40	15,57	18,59	36,30	18,48	23,25	17,6	208	6,6	0,7094	14,21
9:50	15,88	19,72	37,54	18,93	23,28	17,5	263	5,3	0,9038	14,32
10:00	17,09	20,76	38,71	18,91	23,32	17,6	220	4,9	0,8646	16,38
10:10	17,16	21,69	39,84	18,83	23,37	17,7	311	3,9	1,0661	14,28
10:20	17,05	22,64	39,88	18,20	23,37	17	210	5,6	1,3138	26,07
10:30	16,70	23,33	39,10	17,40	23,35	16,8	218	4,5	1,5591	29,80
10:40	16,47	23,54	39,36	16,80	23,63	16,8	476	5,1	1,6622	14,55
10:50	16,37	23,90	39,98	17,01	23,93	16,8	234	5	1,7700	31,52
11:00	16,43	24,59	41,43	18,11	24,21	17	311	5,5	1,9197	25,72
11:10	16,83	25,85	43,07	19,19	24,51	17,5	346	5,7	2,1204	25,53
11:20	17,18	26,86	44,30	20,30	24,83	17,6	290	6,2	2,2772	32,72
11:30	17,54	27,86	45,61	21,42	25,14	17,8	512	5	2,4277	19,76
11:40	17,92	28,57	46,35	22,01	25,14	18,3	294	7,1	2,5045	35,49
11:50	18,22	29,03	47,12	22,55	25,13	17,8	271	6	2,5437	39,11
12:00	18,51	29,52	47,67	23,05	25,14	17,9	302	5,3	2,5903	35,74
12:10	18,72	29,84	47,92	23,18	25,14	18,2	231	5,3	2,6150	47,17

<b>12:20</b>	18,99	30,05	48,47	23,29	25,15	18	414	5,7	2,6001	26,17
<b>12:30</b>	19,21	30,74	49,13	23,34	25,15	18,4	536	4,3	2,6127	20,31
<b>12:40</b>	19,43	31,60	49,07	23,84	25,17	18,8	295	4,6	2,8627	40,43
<b>12:50</b>	19,63	31,87	48,77	23,99	25,19	18,5	252	1,6	2,8772	47,57
<b>13:00</b>	19,64	30,32	48,22	23,60	25,19	18,6	323	1,4	2,6103	33,67
<b>13:10</b>	19,44	30,06	46,98	23,28	25,17	18,6	196	1	2,4974	53,09
<b>13:20</b>	19,15	29,01	45,44	22,80	25,14	18,1	189	2,5	2,3187	51,12
<b>13:30</b>	18,85	27,02	43,72	21,90	25,12	18	158	3	1,9217	50,68
<b>13:40</b>	18,41	26,66	41,62	20,29	25,07	17,5	155	3,1	1,9409	52,17
<b>13:50</b>	17,97	24,13	39,83	19,14	25,02	17,1	118	4,3	1,4486	51,15
<b>14:00</b>	17,44	23,56	37,78	17,79	24,95	16,4	125	3,7	1,4384	47,95
<b>14:10</b>	16,92	22,01	35,65	16,58	24,86	16,5	107	2,9	1,1982	46,66
<b>14:20</b>	16,47	20,84	33,82	15,54	24,79	16,5	134	0,7	1,0265	31,92
<b>14:30</b>	16,08	19,60	32,07	15,10	24,73	16,7	93	3	0,8278	37,09
<b>14:40</b>	15,82	18,72	30,45	14,80	24,68	16,7	88	1,2	0,6831	32,35
<b>14:50</b>	15,58	18,96	28,63	14,51	24,61	16,7	107	1,5	0,7956	30,98
<b>15:00</b>	15,53	17,38	27,24	14,49	24,59	16,7	62	1,4	0,4354	29,26
<b>15:10</b>	15,55	16,96	26,13	14,45	24,57	16,7	60	4,1	0,3327	23,10
<b>15:20</b>	15,57	16,44	24,89	14,36	24,55	16,6	46	2	0,2054	18,60
<b>15:30</b>	15,65	15,98	23,93	14,34	24,53	16,5	62	1,6	0,0780	5,24
<b>15:40</b>	15,63	15,85	23,11	14,39	24,52	16,5	54	0,5	0,0514	3,96
<b>15:50</b>	14,82	15,17	22,45	14,44	24,52	16,5	53	3,5	0,0835	6,56
<b>16:00</b>	14,89	14,93	21,79	14,44	24,51	16,7	34	3,3	0,0099	1,22
<b>16:10</b>	14,65	14,74	21,15	14,36	24,51	16,6	41	2,1	0,0216	2,19
<b>16:20</b>	14,60	14,65	20,50	14,29	24,49	16,7	27	3,5	0,0127	1,97
<b>16:30</b>	14,35	14,41	19,90	14,11	24,48	16,6	19	2,8	0,0147	3,23
<b>16:40</b>	14,04	14,10	19,34	14,00	24,45	16,4	19	2,8	0,0137	3,01
<b>16:50</b>	14,08	14,08	18,79	13,90	24,42	16,5	19	1,9	0,0004	0,09
<b>17:00</b>	14,01	14,03	18,28	13,75	24,39	16,6	24	3,8	0,0039	0,68

Colector 2						Fecha: 03-07-2023				
Hora	Temperatura del agua a la entrada del colector (°C)	Temperatura del agua a la salida del colector (°C)	Temperatura de la placa de absorción (°C)	Temperatura de la cubierta (°C)	Temperatura del agua en el tanque (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Radiación solar (W/m <sup>2</sup> )	Velocidad del viento (m/s)	Qu= ṁxCp×ΔT (KW)	η= Qu/AcxG
8:00	17,58	23,77	17,46	11,94	26,72	11	185	0	1,456	32,79
8:10	18,23	28,53	20,08	14,14	26,73	13	329	0	2,423	30,68
8:20	18,81	29,63	23,58	16,51	27,75	14	351	0	2,544	30,19
8:30	18,29	31,07	27,47	19,26	28,79	16	377	1	3,006	33,22
8:40	18,96	32,79	31,89	21,95	29,84	17	415	1	3,251	32,64
8:50	19,48	34,72	36,19	24,62	30,80	18	458	0	3,584	32,60
9:00	19,24	36,96	40,97	26,99	31,09	18	489	2	4,169	35,52
9:10	19,98	39,76	45,30	29,36	31,19	18	500	1	4,651	38,75
9:20	19,23	42,76	50,02	31,62	31,30	19	537	1	5,534	42,94
9:30	19,39	45,99	54,62	33,28	31,51	19	570	1	6,255	45,73
9:40	21,53	45,14	59,05	34,69	31,62	19	600	1	5,551	38,55
9:50	21,68	47,53	63,83	36,08	31,74	20	664	1	6,081	38,16
10:00	22,98	48,83	68,01	37,19	31,87	21	726	3	6,081	34,90
10:10	23,07	51,57	71,87	37,98	31,97	21	752	4	6,702	37,14
10:20	23,71	59,50	75,06	38,63	32,09	22	772	4	8,416	45,42
10:30	24,31	61,14	77,68	38,92	32,21	22	825	5	8,662	43,75
10:40	25,73	62,49	79,15	39,42	32,29	22	871	3	8,644	41,35
10:50	26,91	63,21	79,56	39,81	33,39	23	863	6	8,538	41,22
11:00	27,34	63,38	80,30	40,34	33,49	23	969	4	8,476	36,45
11:10	26,47	75,58	83,21	41,08	33,57	23	986	4	11,549	48,81
11:20	26,57	75,67	84,76	42,10	33,66	23	992	5	11,547	48,50
11:30	26,66	75,41	83,86	42,52	33,73	23	980	6	11,464	48,74
11:40	26,85	75,78	83,15	42,94	33,78	23	981	6	11,506	48,87
11:50	26,12	76,29	86,55	43,81	33,83	23	964	4	11,799	51,00
12:00	27,17	77,62	88,26	43,26	34,20	24	993	6	11,865	49,79
12:10	27,21	78,74	92,19	42,68	34,56	24	1118	3	12,117	45,16

<b>12:20</b>	26,74	78,12	90,69	41,66	34,93	23	1066	4	12,084	47,23
<b>12:30</b>	25,92	78,04	89,43	40,77	35,31	23	1065	3	12,256	47,95
<b>12:40</b>	25,19	77,38	88,46	39,78	35,68	24	995	4	12,272	51,39
<b>12:50</b>	25,49	77,78	84,51	38,29	36,06	24	1003	3	12,297	51,08
<b>13:00</b>	25,05	77,75	80,38	36,64	36,44	24	1010	3	12,394	51,13
<b>13:10</b>	25,08	76,90	81,59	35,23	36,84	24	1008	3	12,186	50,37
<b>13:20</b>	24,86	74,80	80,89	33,86	37,26	24	907	4	11,744	53,95
<b>13:30</b>	24,88	73,98	77,66	31,97	37,67	25	888	7	11,548	54,19
<b>13:40</b>	22,68	73,95	77,52	31,43	37,76	25	876	5	12,056	57,34
<b>13:50</b>	22,72	73,83	78,05	31,12	37,85	24	868	5	12,019	57,70
<b>14:00</b>	24,59	70,50	77,79	30,86	37,95	24	850	4	10,797	52,93
<b>14:10</b>	23,86	65,51	78,17	30,49	38,06	25	885	7	9,795	46,12
<b>14:20</b>	23,56	66,66	78,88	30,14	38,17	25	907	6	10,135	46,56
<b>14:30</b>	23,34	70,27	78,26	29,79	38,27	25	938	7	11,036	49,02
<b>14:40</b>	23,20	62,96	76,19	29,42	38,38	24	800	5	9,351	48,70
<b>14:50</b>	23,74	61,79	75,39	29,14	38,49	24	791	5	8,948	47,14
<b>15:00</b>	22,47	61,33	72,57	28,94	38,61	24	795	4	9,138	47,89
<b>15:10</b>	22,35	57,95	71,81	28,76	38,72	24	732	4	8,371	47,65
<b>15:20</b>	22,32	58,77	70,26	28,54	38,84	24	808	2	8,571	44,20
<b>15:30</b>	22,88	48,70	68,16	28,29	38,96	25	697	5	6,073	36,30
<b>15:40</b>	22,16	47,43	65,76	28,04	39,66	25	681	5	5,941	36,35
<b>15:50</b>	22,11	46,04	63,14	27,86	39,63	25	673	3	5,627	34,83
<b>16:00</b>	22,03	42,27	60,41	27,71	39,59	24	584	5	4,760	33,96
<b>16:10</b>	21,95	39,39	57,44	27,60	39,50	24	512	3	4,100	33,36
<b>16:20</b>	21,93	39,02	55,79	27,47	39,42	24	453	4	4,019	36,97
<b>16:30</b>	21,86	38,10	55,74	27,31	39,34	24	447	5	3,818	35,59
<b>16:40</b>	21,30	37,17	55,76	26,99	39,24	24	439	6	3,732	35,42
<b>16:50</b>	21,04	34,51	54,88	26,56	39,15	24	394	5	3,168	33,50
<b>17:00</b>	21,45	32,70	53,13	26,07	39,05	23	318	3	2,647	34,69

Colector 2						Fecha: 10-07-2023				
Hora	Temperatura del agua a la entrada del colector (°C)	Temperatura del agua a la salida del colector (°C)	Temperatura de la placa de absorción (°C)	Temperatura de la cubierta (°C)	Temperatura del agua en el tanque (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Radiación solar (W/m²)	Velocidad del viento (m/s)	$Q_u = \dot{m} \times C_p \times \Delta T$ (KW)	$\eta = Q_u / A_c \times G$
8:00	13,53	15,81	15,55	13,39	24,65	15,8	51	0,5	0,5378	43,94
8:10	13,58	15,84	16,13	13,60	24,65	15,8	48	0,5	0,5303	46,04
8:20	13,69	16,96	17,08	13,99	24,64	15,8	106	0,8	0,7695	30,25
8:30	13,75	16,87	17,99	14,37	24,62	16,1	86	1,4	0,7339	35,56
8:40	13,91	16,59	18,04	14,70	24,59	16,4	74	2,1	0,6312	35,54
8:50	14,05	18,78	19,18	15,02	24,58	16,4	80	1	1,1121	57,92
9:00	14,21	18,88	19,29	15,32	24,58	16,3	189	0,2	1,0975	24,20
9:10	14,36	18,96	20,89	15,85	24,61	16,9	166	0,6	1,0832	27,19
9:20	14,66	19,18	22,42	16,37	24,47	17,3	119	0,3	1,0641	37,26
9:30	14,98	19,32	24,08	16,97	24,54	17,5	148	1,4	1,0201	28,72
9:40	15,41	19,77	26,11	17,63	24,61	17,6	176	0,3	1,0244	24,25
9:50	15,85	19,27	28,37	18,46	24,70	17,9	267	2,3	0,8054	12,57
10:00	16,28	23,81	30,25	19,15	24,79	18,4	391	2,6	1,7712	18,88
10:10	16,77	30,10	32,39	20,01	24,84	18,5	288	3,6	3,1335	45,33
10:20	17,14	33,12	34,34	20,79	25,10	18,5	398	2,9	3,7588	39,35
10:30	17,48	35,99	35,76	21,29	25,16	18,6	320	1,3	4,3540	56,69
10:40	17,75	39,13	37,62	21,93	25,23	18,8	356	1	5,0271	58,84
10:50	18,28	39,76	40,00	23,04	25,29	18,9	305	2,4	5,0534	69,04
11:00	18,71	42,60	42,65	24,14	25,37	18,5	254	3,5	5,6192	92,18
11:10	18,82	43,07	46,88	25,49	25,46	18,2	271	2,2	5,7029	87,68
11:20	21,02	47,30	51,45	26,94	25,55	17,9	280	1,4	6,1794	91,95
11:30	21,96	51,27	55,94	28,12	25,62	19	446	1,7	6,8924	64,39
11:40	23,14	54,60	60,79	29,38	25,72	19,1	695	2,1	7,3980	44,35
11:50	24,49	57,09	68,36	30,60	25,81	19,7	808	2,4	7,6656	39,53
12:00	26,09	60,99	75,05	31,53	25,89	20,4	1007	1,6	8,2065	33,96
12:10	27,44	65,58	76,71	32,45	25,98	20,9	1075	3,1	8,9696	34,77
12:20	28,45	69,23	76,51	33,03	26,07	20,6	1023	5,3	9,5897	39,06

<b>12:30</b>	28,93	71,23	73,98	32,81	26,15	21,2	930	4,1	9,9486	44,57
<b>12:40</b>	29,07	70,60	72,71	32,40	26,22	21,3	1069	3,8	9,7647	38,06
<b>12:50</b>	29,96	70,71	71,38	31,84	26,32	20,4	632	5,4	9,5826	63,18
<b>13:00</b>	28,76	71,17	71,08	31,64	26,39	19,6	495	4,1	9,9732	83,95
<b>13:10</b>	28,76	59,31	70,61	31,47	26,46	19,2	418	3,8	7,1863	71,63
<b>13:20</b>	28,77	51,13	70,04	31,57	26,51	18,7	405	2,6	5,2594	54,11
<b>13:30</b>	28,52	51,24	68,94	31,63	26,57	18,7	604	3,2	5,3434	36,86
<b>13:40</b>	27,94	56,06	67,84	31,88	26,61	19,9	993	5,3	6,6130	27,75
<b>13:50</b>	26,56	70,76	68,85	32,42	26,65	20,8	941	4,7	10,3961	46,03
<b>14:00</b>	25,56	70,96	71,43	33,16	26,70	20,8	848	4,1	10,6769	52,46
<b>14:10</b>	25,32	69,61	74,34	33,71	26,75	21,5	909	4,3	10,4151	47,74
<b>14:20</b>	25,34	58,54	74,48	34,44	26,80	21,1	771	4,1	7,8076	42,19
<b>14:30</b>	24,82	47,23	73,14	34,50	26,84	21,5	799	2,8	5,2695	27,48
<b>14:40</b>	24,24	45,01	75,00	34,40	26,91	20,9	801	2,4	4,8857	25,41
<b>14:50</b>	23,71	36,74	72,50	34,19	26,98	21,5	700	4,1	3,0646	18,24
<b>15:00</b>	22,84	33,86	68,89	32,99	27,05	21,3	650	0,6	2,5898	16,60
<b>15:10</b>	21,89	31,34	65,35	31,62	27,13	20,8	283	3,2	2,2237	32,74
<b>15:20</b>	20,96	30,16	61,53	30,44	27,22	19,9	269	4,5	2,1647	33,53
<b>15:30</b>	21,03	29,94	57,45	28,97	27,35	20,4	558	3,7	2,0955	15,65
<b>15:40</b>	20,96	28,04	52,95	27,33	27,46	20,5	211	2,1	1,6635	32,85
<b>15:50</b>	20,31	27,58	48,48	25,76	27,59	19,6	252	4,4	1,7108	28,29
<b>16:00</b>	19,63	25,29	44,64	24,17	27,72	19,4	242	3,4	1,3310	22,92
<b>16:10</b>	19,02	21,24	41,66	23,06	27,88	19,4	238	2,9	0,5237	9,17
<b>16:20</b>	19,35	20,79	38,16	21,59	28,29	18,7	243	1,9	0,3400	5,83
<b>16:30</b>	18,67	20,29	35,35	20,18	28,28	17,8	277	2,4	0,3810	5,73
<b>16:40</b>	18,99	19,69	33,16	19,37	28,25	17,3	239	2,7	0,1651	2,88
<b>16:50</b>	18,94	19,56	31,24	18,62	28,15	17	228	2,1	0,1442	2,63
<b>17:00</b>	18,70	19,25	29,37	17,86	28,03	16,9	203	3	0,1289	2,65

Colector 2						Fecha: 19-07-2023				
Hora	Temperatura del agua a la entrada del colector (°C)	Temperatura del agua a la salida del colector (°C)	Temperatura de la placa de absorción (°C)	Temperatura de la cubierta (°C)	Temperatura del agua en el tanque (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Radiación solar (W/m²)	Velocidad del viento (m/s)	$Q_u = \dot{m} \times C_p \times \Delta T$ (KW)	$\eta = Q_u / A_c \times G$
8:00	12,69	12,81	22,44	13,72	21,81	17,1	128	4,9	0,0282	0,92
8:10	13,18	13,48	24,13	14,25	21,78	17,5	193	6,3	0,0708	1,53
8:20	13,47	13,83	25,97	14,62	21,75	17,3	181	6,5	0,0862	1,98
8:30	13,68	14,09	27,05	14,79	21,75	17,2	138	4	0,0972	2,93
8:40	13,84	14,45	27,72	14,98	21,73	17,2	151	6,8	0,1431	3,95
8:50	13,99	15,08	28,05	15,00	21,73	17,1	128	6,9	0,2555	8,32
9:00	14,07	15,61	27,65	14,85	21,74	17,2	138	6	0,3606	10,89
9:10	14,15	15,93	28,24	14,86	21,77	17,1	173	7,4	0,4194	10,10
9:20	14,60	17,09	30,39	15,74	21,81	17,3	246	5,1	0,5836	9,88
9:30	15,09	18,18	31,74	16,64	22,83	17,6	281	4,4	0,7255	10,76
9:40	15,57	19,37	33,87	17,78	22,86	17,6	208	6,6	0,8917	17,86
9:50	15,97	20,47	34,94	18,24	22,88	17,5	263	5,3	1,0586	16,77
10:00	16,20	21,40	35,96	18,42	22,91	17,6	220	4,9	1,2225	23,15
10:10	16,32	22,22	37,30	18,48	22,92	17,7	311	3,9	1,3867	18,58
10:20	15,94	22,43	36,24	17,85	22,94	17	210	5,6	1,5262	30,28
10:30	15,51	22,63	36,41	17,17	22,98	16,8	218	4,5	1,6732	31,98
10:40	15,27	22,84	36,66	16,60	23,02	16,8	476	5,1	1,7786	15,57
10:50	15,15	23,20	37,40	16,74	23,05	16,8	234	5	1,8935	33,72
11:00	15,35	23,89	39,44	17,52	23,12	17	311	5,5	2,0091	26,92
11:10	15,79	25,15	40,61	18,47	23,19	17,5	346	5,7	2,2003	26,50
11:20	16,35	26,16	41,54	19,34	23,24	17,6	290	6,2	2,3058	33,13
11:30	16,95	27,06	42,57	20,25	23,28	17,8	512	5	2,3791	19,36
11:40	17,47	27,87	43,55	20,74	23,31	18,3	294	7,1	2,4453	34,66
11:50	17,94	28,33	44,76	21,32	23,34	17,8	271	6	2,4453	37,60
12:00	18,30	28,82	44,97	21,71	24,32	17,9	302	5,3	2,4747	34,14
12:10	18,53	29,14	45,14	21,85	24,30	18,2	231	5,3	2,4943	44,99

12:20	18,77	29,35	45,38	22,06	24,30	18	414	5,7	2,4868	25,03
12:30	19,02	29,67	45,77	22,28	24,29	18,4	536	4,3	2,5041	19,47
12:40	19,17	29,95	45,31	22,32	24,29	18,8	295	4,6	2,5358	35,82
12:50	19,30	30,22	44,25	22,27	24,29	18,5	252	1,6	2,5676	42,45
13:00	19,27	30,10	42,88	21,96	24,29	18,6	323	1,4	2,5456	32,84
13:10	19,06	29,41	41,40	21,60	24,31	18,6	196	1	2,4328	51,72
13:20	18,85	28,86	40,10	20,57	24,32	18,1	189	2,5	2,3520	51,85
13:30	18,42	26,81	38,23	19,54	24,32	18	158	3	1,9750	52,08
13:40	17,82	26,45	36,02	18,58	24,32	17,5	155	3,1	2,0287	54,53
13:50	17,08	22,92	34,12	17,55	24,34	17,1	118	4,3	1,3726	48,47
14:00	16,33	23,35	32,37	16,47	24,31	16,4	125	3,7	1,6489	54,96
14:10	15,57	21,80	30,53	15,44	24,28	16,5	107	2,9	1,4651	57,05
14:20	14,78	20,14	28,87	15,12	24,26	16,5	134	0,7	1,2593	39,16
14:30	14,24	17,77	27,59	14,83	24,24	16,7	93	3	0,8293	37,16
14:40	13,95	17,26	26,67	14,68	24,23	16,7	88	1,2	0,7776	36,82
14:50	13,80	17,09	25,61	14,60	24,22	16,7	107	1,5	0,7737	30,13
15:00	13,83	16,51	24,59	14,66	24,22	16,7	62	1,4	0,6295	42,30
15:10	13,94	16,03	23,93	14,72	24,21	16,7	60	4,1	0,4923	34,19
15:20	14,05	15,57	23,32	14,66	24,21	16,6	46	2	0,3574	32,38
15:30	14,15	15,10	22,63	14,56	24,21	16,5	62	1,6	0,2250	15,12
15:40	14,20	14,80	21,84	14,54	24,21	16,5	54	0,5	0,1419	10,95
15:50	14,25	14,47	21,50	14,60	24,21	16,5	53	3,5	0,0517	4,07
16:00	14,25	14,32	21,18	14,55	24,21	16,7	34	3,3	0,0162	1,98
16:10	14,24	14,29	20,70	14,43	24,20	16,6	41	2,1	0,0127	1,29
16:20	14,11	14,17	20,22	14,38	24,18	16,7	27	3,5	0,0155	2,39
16:30	13,77	13,81	19,79	14,31	24,16	16,6	19	2,8	0,0102	2,23
16:40	13,51	13,53	19,41	14,20	24,15	16,4	19	2,8	0,0039	0,86
16:50	13,52	13,53	18,95	14,07	24,13	16,5	19	1,9	0,0023	0,50
17:00	13,51	13,51	18,55	13,82	24,11	16,6	24	3,8	0,0007	0,13

**Anexo 4.** Datos de radiación, temperatura ambiente, temperatura del agua a la salida del colector, temperatura de la placa de absorción, temperatura del agua al interior del tanque, calor útil y eficiencia durante todo el periodo de evaluación.

<b>COLECTOR1</b>							
<b>Día</b>	<b>Radiación (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Temperatura ambiente °C</b>	<b>Temperatura del agua a la salida del colector (°C)</b>	<b>Temperatura de la placa de absorción (°C)</b>	<b>Temperatura del agua en el tanque (°C)</b>	<b>Qu (KW)</b>	<b>Eficiencia <math>\eta</math> (%)</b>
1	739	22,18	61,13	74,54	36,67	9,056	45,91
2	495,42	19,40	42,50	55,16	30,19	4,892	41,63
3	575,55	21,28	48,65	54,12	35,72	5,533	43,99
4	448	18,94	43,09	52,26	29,10	4,975	40,72
5	321,04	18,74	33,29	49,64	26,16	3,359	39,34
6	518,91	20,62	47,51	65,19	30,03	5,830	42,46
7	561	20,59	51,18	65,89	32,49	6,529	43,89
8	354	20,31	36,74	56,08	27,87	3,073	39,76
9	262	18,37	33,83	42,65	24,51	2,458	32,98
10	430,24	19,90	48,24	52,08	28,03	4,664	40,61
11	362	19,46	37,88	49,41	25,77	3,732	39,97
12	308,64	17,66	31,74	45,12	26,08	2,209	28,55
13	187	17,26	21,39	34,63	24,29	1,198	24,15
14	257	17,70	24,03	39,68	23,35	1,649	27,27
15	206	17,35	23,46	37,34	22,39	1,253	25,98
<b>Promedio</b>	<b>402</b>	<b>19,32</b>	<b>38,98</b>	<b>51,59</b>	<b>28,18</b>	<b>4,027</b>	<b>37,15</b>

<b>COLECTOR 2</b>							
<b>Día</b>	<b>Radiación (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Temperatura ambiente °C</b>	<b>Temperatura del agua a la salida del colector (°C)</b>	<b>Temperatura de la placa de absorción (°C)</b>	<b>Temperatura del agua en el tanque (°C)</b>	<b>Qu (KW)</b>	<b>Eficiencia <math>\eta</math> (%)</b>
1	739	22,18	56,86	67,32	35,06	7,941	42,84
2	495,42	19,40	39,93	49,29	28,17	4,202	38,99
3	575,55	21,28	46,63	51,62	32,78	5,207	40,74
4	448	18,94	38,86	48,99	26,12	4,207	38,37
5	321,04	18,74	30,64	45,17	24,58	2,412	36,39
6	518,91	20,62	44,50	58,10	28,25	4,748	39,09
7	561	20,59	45,90	60,34	29,49	5,557	39,49
8	354	20,31	31,12	52,96	25,77	2,535	36,40
9	262	18,37	28,66	39,53	23,23	1,940	27,83
10	430,24	19,90	37,09	48,90	26,30	2,864	38,08
11	362	19,46	34,84	46,69	24,36	2,940	36,78
12	308,64	17,66	25,03	40,26	24,26	1,267	25,90
13	187	17,26	20,59	32,12	23,52	1,172	24,08
14	257	17,70	23,97	37,12	21,99	1,550	25,84
15	206	17,35	21,93	34,99	20,42	1,229	24,85
<b>Promedio</b>	<b>402</b>	<b>19,32</b>	<b>35,10</b>	<b>47,56</b>	<b>26,29</b>	<b>3,318</b>	<b>34,38</b>

## Anexo 5. Código de programación para el sistema de medición térmica.

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <Adafruit_MLX90614.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <DHT.h>

// Pin para el bus OneWire para las termocuplas DS18B20 (ajusta según
tu conexión)
#define ONE_WIRE_BUS 21 // Ejemplo de pin GPIO 21

// Inicializar el bus OneWire
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

// Inicializar el sensor DS18B20
DallasTemperature sensors(&oneWire);

// Pin para el sensor de luz UV ML8511 (ajusta según tu conexión)
#define UV_PIN 34 // Ejemplo de pin GPIO 34

// Inicializar el sensor de luz UV
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();

// Pin para el sensor DHT22 (ajusta según tu conexión)
#define DHT_PIN 25 // Ejemplo de pin GPIO 25

// Inicializar el sensor DHT22
DHT dht(DHT_PIN, DHT22);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  sensors.begin();
  mlx.begin();
  dht.begin();
}

void loop() {
  sensors.requestTemperatures();
  float tempCollectorIn = sensors.getTempCByIndex(0);
  float tempCollectorOut = sensors.getTempCByIndex(1);
  float tempCover = sensors.getTempCByIndex(2);
  float tempAbsorber = sensors.getTempCByIndex(3);
  float tempTank = mlx.readObjectTempC();
  float uvIndex = analogRead(UV_PIN);

  float humidity = dht.readHumidity();
  float tempAmbient = dht.readTemperature();
```

```
    Serial.println("Temperatura del colector de entrada: " +
String(tempCollectorIn) + " °C");
    Serial.println("Temperatura del colector de salida: " +
String(tempCollectorOut) + " °C");
    Serial.println("Temperatura de la cubierta: " + String(tempCover) + "
°C");
    Serial.println("Temperatura de la placa absorbadora: " +
String(tempAbsorber) + " °C");
    Serial.println("Temperatura del termotanque: " + String(tempTank) + "
°C");
    Serial.println("Índice de luz ultravioleta: " + String(uvIndex));
    Serial.println("Humedad relativa: " + String(humidity) + "%");
    Serial.println("Temperatura ambiente: " + String(tempAmbient) + "
°C");

    delay(5000); // Esperar 5 segundos antes de tomar otra lectura
}
```

## **Anexo 6. Certificación de traducción del resumen**

**Lic. Deici Janeth Sócola Sócola,**


Docente de Idioma Extranjero Ministerio de Educación

### ***Certifica***

Que el texto traducido al idioma inglés que compone el resumen del Trabajo de Titulación denominado. “Análisis comparativo de dos calentadores solares de diferente tipo de construcción para las condiciones climatológicas y aplicaciones en la ciudad de Loja” correspondiente al Sr. **Mario Antonio Vásquez Espinosa**, con número de cédula **1104967144**, fue realizado y verificado bajo mi supervisión.

Es todo cuanto puedo indicar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente documento para fines que crea pertinentes.

Loja, 22 de septiembre de 2023



**Lic. Deici Janeth Sócalo Sócalo**

**C.I: 1103026280**

**Teléfono: 0958999010**