



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Implementación de un prototipo de colector solar mediante elementos eléctricos,  
electrónicos y mecánicos para mejorar el ahorro energético en viviendas de la ciudad de  
Latacunga año 2021.**

Analuisa Mendoza, Edison Omar

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica

Monografía, previo a la obtención del título de Tecnólogo Superior en Electromecánica

Ing. Lara Jácome, Óscar Rodrigo

2021



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE TECNOLOGÍA SUPERIOR EN ELECTROMECAÁNICA**

**Certificación**

Certifico que la monografía, **“Implementación de un prototipo de colector solar mediante elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos para mejorar el ahorro energético en viviendas de la ciudad de Latacunga año 2021.”** fue realizado por el señor **Analuisa Mendoza, Edison Omar** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, agosto del 2021

Ing. Lara Jácome, Óscar Rodrigo  
C.C.: 0502960594

## Reporte de verificación Urkund



### Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** TESIS FINAL\_ANALUISA OMAR.docx (D111231576)  
**Submitted:** 8/13/2021 6:52:00 AM  
**Submitted By:** orlara@espe.edu.ec  
**Significance:** 7 %

#### Sources included in the report:

ESTUDIO DE CASO (COLECTOR SOLAR PLANO).pdf (D109293122)  
COLECTOR SOLAR PLANO.pdf (D109190190)  
informe final tesis.pdf (D14109849)  
ESTUDIO DE CASO \_COLECTOR SOLAR.pdf (D108883473)  
ESTUDIO DE CASO HOSTERÍA AGOYÁN\_GRUPO\_10A.pdf (D109293403)  
PROYECTO TESIS TM.pdf (D28654262)  
URKUND Olmedo\_Otavalo.docx (D35375369)  
<http://www.sitiosolar.com/los-colectores-solares-de-tubo-de-vacio/>  
<http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html>  
<https://docplayer.es/36226136-Instituto-politecnico-nacional-ingeniero-mecanico.html>  
<https://core.ac.uk/download/pdf/234579969.pdf>  
[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/11042/1389/4/IME\\_159.pdf.txt](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/11042/1389/4/IME_159.pdf.txt)

#### Instances where selected sources appear:

19

Ing. Lara Jácome, Óscar Rodrigo  
C.C.: 0502960594



**DEPARTAMENTO ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE TECNOLOGÍA SUPERIOR EN ELECTROMECAÁNICA**

**Responsabilidad de autoría**

Yo, **Analuisa Mendoza, Edison Omar**, con cédula de ciudadanía N° 0504360868, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **“Implementación de un prototipo de colector solar mediante elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos para mejorar el ahorro energético en viviendas de la ciudad de Latacunga año 2021.”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, agosto del 2021

ANALUISA MENDOZA, EDISON OMAR

C.C.: 0504360868



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE TECNOLOGÍA SUPERIOR EN ELECTROMECAÁNICA**

**Autorización de publicación**

Yo **Analuisa Mendoza, Edison Omar**, con cédula de ciudadanía N° 0504360868, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **“Implementación de un prototipo de colector solar mediante elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos para mejorar el ahorro energético en viviendas de la ciudad de Latacunga año 2021.”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, agosto del 2021

ANALUISA MENDOZA, EDISON OMAR

C.C.: 0504360868

## Dedicatoria

Se la dedico a Dios, por brindarme la sabiduría y fortaleza para poder cumplir un objetivo más, estando cada día más cerca de la verdadera meta.

A mi Madre y a mi Padre que día y noche velan por mí, y son parte fundamental de mi vida, me han enseñado valores y me han dado consejos, este triunfo también les pertenece.

A mis queridos Abuelitos que siempre han confiado en mí, aun cuando yo mismo no lo hacía, me han cuidado y criado desde pequeño, esto es para ellos también.

**Omar**

## Agradecimiento

Agradezco a Dios por permitirme cursar una carrera universitaria y ayudarme a superar diversas dificultades que se han presentado en el camino.

A mi Madre y a mi Padre, que me apoyaron económicamente y moralmente, siempre estaré eternamente agradecido por todo lo que han hecho y siguen haciendo por mí.

A mis Abuelitos y a mi tío porque ellos siempre creyeron en mí y me han brindado su apoyo.

**Omar**

## Tabla de contenidos

Carátula.....	1
Certificación .....	2
Reporte de verificación Urkund .....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Tabla de contenidos .....	8
Índice de Figuras .....	11
Índice de Tablas .....	13
Índice de Ecuaciones .....	14
Resumen .....	15
Abstract.....	16
Introducción .....	17
Antecedentes .....	17
Planteamiento del problema.....	18
Justificación .....	19
Objetivos .....	20
<i>Objetivo general</i> .....	20
<i>Objetivos específicos</i> .....	20
Alcance .....	20
Marco teórico .....	22
Radiación Solar.....	22
<i>Tipos de Radiación</i> .....	22
<i>Radiación solar en el Ecuador</i> .....	23
Eficiencia energética .....	25

Energía Térmica .....	25
Colectores Solares .....	26
<i>Funcionamiento</i> .....	26
Tipos de colectores solares .....	26
<i>Colector solar plano</i> .....	26
<i>Colector solar de cilindro parabólico</i> .....	27
<i>Colector solar de tubos al vacío</i> .....	28
Componentes de un colector solar de tubos al vacío .....	30
<i>Estructura</i> .....	30
<i>Termotanque solar</i> .....	31
<i>Tubo al vacío simple</i> .....	32
<i>Sistema de control de nivel de agua y temperatura</i> .....	33
<i>Tuberías y accesorios</i> .....	34
Desarrollo del tema.....	35
Selección de elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos .....	35
<i>Elementos eléctricos</i> .....	35
<i>Elementos electrónicos</i> .....	39
<i>Elementos mecánicos</i> .....	41
Tubería y accesorios utilizados .....	45
Ensamblaje del prototipo.....	46
Pruebas de funcionamiento .....	54
<i>La electroválvula cumple con su función</i> .....	54
<i>Existen fugas de agua</i> .....	54
<i>El controlador cumple su función</i> .....	54
<i>Resistencia eléctrica</i> .....	55
Mantenimiento del colector solar .....	56
Análisis de Resultados .....	57

<i>Temperatura del agua sin uso</i> .....	57
<i>Temperatura del agua con un uso cotidiano</i> .....	59
<b>Análisis de consumo energético y económico</b> .....	60
<i>Comparación de costos de mantenimiento entre sistemas</i> .....	62
<i>Beneficios del colector solar con respecto a la ducha eléctrica y el calefón a gas</i> .....	64
<b>Conclusiones</b> .....	66
<b>Recomendaciones</b> .....	67
<b>Bibliografía</b> .....	68
<b>Anexos</b> .....	70

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Tipos de radiación que conforman la radiación total.</i> .....	23
<b>Figura 2</b> <i>Insolación global promedio del Ecuador.</i> .....	24
<b>Figura 3</b> <i>Irradiación global por día en Latacunga – Tanicuchi.</i> .....	25
<b>Figura 4</b> <i>Colector solar plano o de placa plana.</i> .....	27
<b>Figura 5</b> <i>Colector solar de cilindro parabólico.</i> .....	28
<b>Figura 6</b> <i>Tubo al vacío de flujo directo.</i> .....	29
<b>Figura 7</b> <i>Tubo al vacío heat pipe.</i> .....	30
<b>Figura 8</b> <i>Estructura y componentes de un colector solar.</i> .....	31
<b>Figura 9</b> <i>Termotanque solar.</i> .....	32
<b>Figura 10</b> <i>Tubo al vacío simple.</i> .....	33
<b>Figura 11</b> <i>Controlador y sensor de nivel de agua y temperatura.</i> .....	34
<b>Figura 12</b> <i>Tuberías y accesorios para agua.</i> .....	34
<b>Figura 13</b> <i>Resistencia eléctrica.</i> .....	35
<b>Figura 14</b> <i>Electroválvula.</i> .....	36
<b>Figura 15</b> <i>Conductores eléctricos.</i> .....	37
<b>Figura 16</b> <i>Tabla de conductores AWG.</i> .....	38
<b>Figura 17</b> <i>Controlador TK-8A.</i> .....	39
<b>Figura 18</b> <i>Sensor de temperatura y nivel de agua.</i> .....	41
<b>Figura 19</b> <i>Termotanque (80 L).</i> .....	42
<b>Figura 20</b> <i>Estructura del colector solar.</i> .....	43
<b>Figura 21</b> <i>Tubos al vacío</i> .....	44
<b>Figura 22</b> <i>Partes de la estructura del colector solar de tubos al vacío.</i> .....	46
<b>Figura 23</b> <i>Ensamble de la estructura.</i> .....	47
<b>Figura 24</b> <i>Estructura ensamblada.</i> .....	48
<b>Figura 25</b> <i>Conexión de la resistencia eléctrica con el termotanque.</i> .....	48
<b>Figura 26</b> <i>Conexión de accesorios.</i> .....	49
<b>Figura 27</b> <i>Montaje del termotanque.</i> .....	50
<b>Figura 28</b> <i>Conexión de la electroválvula.</i> .....	50
<b>Figura 29</b> <i>Conexión del sensor de nivel de agua y temperatura.</i> .....	51
<b>Figura 30</b> <i>Colocación de tubos al vacío.</i> .....	52
<b>Figura 31</b> <i>Conexiones al controlador.</i> .....	52
<b>Figura 32</b> <i>Montaje del controlador TK-8A.</i> .....	53
<b>Figura 33</b> <i>Prototipo de colector solar ensamblado.</i> .....	53

<b>Figura 34</b> <i>Medición de voltaje en el controlador.</i> .....	54
<b>Figura 35</b> <i>Indicador de nivel de agua y temperatura</i> .....	55

**Índice de Tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Características de la resistencia eléctrica seleccionada.....</i>	36
<b>Tabla 2</b> <i>Características de la electroválvula seleccionada.....</i>	37
<b>Tabla 3</b> <i>Características del controlador TK-8A.....</i>	40
<b>Tabla 4</b> <i>Características del termotanque.....</i>	42
<b>Tabla 5</b> <i>Características de los tubos al vacío.....</i>	44
<b>Tabla 6</b> <i>Accesorios utilizados en la instalación.....</i>	45
<b>Tabla 7</b> <i>Datos de temperatura del agua sin uso.....</i>	58
<b>Tabla 8</b> <i>Datos de temperatura del agua con uso.....</i>	60
<b>Tabla 9</b> <i>Cálculos de consumo energético y económico.....</i>	61
<b>Tabla 10</b> <i>Comparación de costos.....</i>	62
<b>Tabla 11</b> <i>Comparación de tipos de mantenimiento entre cada sistema.....</i>	63
<b>Tabla 12</b> <i>Costos de mantenimiento.....</i>	64

**Índice de Ecuaciones**

<b>Ecuación 1</b> <i>Cálculo de la corriente</i> .....	38
<b>Ecuación 2</b> <i>Cálculo de energía y tiempo de calentamiento de agua</i> .....	56

## Resumen

El ahorro energético consiste en utilizar la energía de mejor manera, es decir minimizar costos pero sin perder eficiencia; en este caso los recursos renovables son fuentes de energía inagotables y que están al acceso de todos de manera gratuita, es por eso que un colector solar se convierte en un excelente sistema para el calentamiento de agua para uso doméstico, ya que utiliza la radiación solar como energía que se convierte en calor y con la ayuda de los tubos al vacío este calor eleva la temperatura del agua en su interior. El sistema tiene dos elementos fundamentales que permiten que el proceso de calentamiento de agua se efectúe de manera correcta, uno de ellos es el termo tanque que viene a ser el acumulador de agua y que también permite mantener la temperatura de la misma minimizando pérdidas de calor, y los tubos al vacío que permiten captar la radiación solar que incide sobre ellos, transformándola en calor y que por efectos termodinámicos la temperatura del agua se eleve y pierda densidad permitiendo así que esta agua se ubique en la parte superior del termo tanque y el agua que se encuentre a menor temperatura cumpla con el proceso y recorrido mediante los tubos al vacío. El presente proyecto contribuyó en el ahorro energético y económico de los consumidores, ya que el sistema no utiliza ni combustibles fósiles, ni energía eléctrica para cumplir su función, a diferencia de otros sistemas de calentamiento de agua.

Palabras clave:

- **AHORRO ENERGÉTICO**
- **COLECTOR SOLAR**
- **TEMPERATURA**
- **RADIACIÓN**

### **Abstract**

Energy saving is to use energy in a better way, that is to minimize costs but without losing efficiency; in this case renewable resources are inexhaustible sources of energy and are accessible to everyone for free, that is why a solar collector becomes an excellent system for heating water for domestic use, as it uses solar radiation as energy that is converted into heat and with the help of vacuum tubes this heat raises the temperature of the water inside. The system has two fundamental elements that allow the water heating process to be carried out correctly, one of them is the thermos tank, which is the water accumulator and also allows maintaining the temperature of the water, minimizing heat losses, and the vacuum tubes that allow capturing the solar radiation that falls on them, transforming it into heat and that by thermodynamic effects the temperature of the water rises and loses density allowing this water to be located in the upper part of the thermo tank and the water that is at lower temperature fulfills the process and travels through the vacuum tubes. This project contributed to energy and economic savings for consumers, since the system does not use fossil fuels or electricity to perform its function, unlike other water heating systems.

Keywords:

- **ENERGY SAVING**
- **SOLAR COLLECTOR**
- **TEMPERATURE**
- **RADIATION**

## CAPÍTULO I

### 1.1. Introducción

El calentamiento de agua para uso doméstico es una acción necesaria para los usuarios que viven en la región central del Ecuador, ya que la temperatura del agua en estos sitios oscila entre 15°C y 17°C, por lo que para acciones cotidianas como es el aseo personal no es una temperatura adecuada, por lo que se ve necesario optar por diversos sistemas que permiten calentar agua, algunos de ellos utilizan combustibles fósiles para cumplir su función, otros utilizan energía eléctrica, y en este caso tenemos el calentamiento de agua con un colector solar, del cual se estará hablando durante todo el desarrollo del proyecto.

### 1.2. Antecedentes

Ecuador es un país rico en lo que se refiere a recursos renovables, así como también los índices de radiación solar que tiene están entre los más altos de todo el mundo, ya que al ubicarse en la línea ecuatorial los rayos del sol inciden de una forma mucho más directa en comparación con sitios que se encuentran apartados del centro de la tierra.

Actualmente el gasto energético que realizamos en calentar agua para consumo doméstico, refleja también un enorme gasto económico, sin olvidarnos el daño ambiental que genera la utilización de combustibles fósiles. Es por esto que laboratorios de desarrollo tecnológico alrededor del mundo están constantemente en la búsqueda de nuevas tecnologías que permitan aprovechar de forma eficiente una fuente inagotable de energía que es el sol.

El colector solar es un dispositivo que capta y emplea la energía proveniente del sol para calentar agua, utilizando tubos de vacío como captadores directos de radiación solar; de esta manera se aprovecha el sol como fuente de energía y se reduce la utilización de otras fuentes, cuya explotación puede significar el deterioro del ambiente, ser costosa o no estar disponible. (Mira, 2007)

El uso de los invernaderos del siglo XVIII tuvo como consecuencia que la gente experimente de forma directa la capacidad del vidrio de retener el calor proveniente del sol. Debido a eso, en 1767, de Saussure se dispuso a determinar la efectividad de los captadores calóricos de vidrio para acumular energía del sol. (Vásquez, 1995-1999)

Anteriormente instituciones de nuestro país han desarrollado varias investigaciones acerca de modelos y prototipos de colectores solares o mejor conocidos como calentadores solares que aprovechan la energía del sol para su funcionamiento.

Universidad Técnica de Ambato (UTA) en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica se desarrolló un trabajo investigativo con el tema "INFLUENCIA DEL ESTUDIO DE LA TECNOLOGIA DE VACIO EN TUBO SOBRE LA EFICIENCIA PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA USANDO LA ENERGIA SOLAR", realizado por Víctor Manuel Salcedo Cobo en el año 2011. Donde expresa que la eficiencia térmica de un calentador de tubos al vacío puede llegar a un 82%, ya que las pérdidas de calor se reducen al utilizar los tubos de vacío. Dando como resultado en días parcialmente nublados aproximadamente 40°C.

En otros trabajos como el de Cora Placco, Luis Saravia, Carlos Cadena con el tema "COLECTORES SOLARES PARA AGUA CALIENTE", nos expresan que los colectores solares de tubos al vacío son mucho más eficientes que los colectores planos, esto depende principalmente de su forma redonda ya que les permite captar de mejor manera la energía del sol llegando a obtener temperaturas superiores a 77°C. (Placco, Saravia, & Cadena)

### **1.3. Planteamiento del problema**

A finales del siglo XIX con la aparición de la ducha eléctrica también surge el problema del consumo energético ya que eran equipos que demandaban un alto índice de energía eléctrica para que pudiera ejecutar el calentamiento de agua.

En la actualidad existen varias formas de producir y obtener agua caliente, algunos métodos se centran en la quema de combustibles fósiles, otros aplican el uso neto de electricidad y de a poco se observa el uso de energías renovables siendo poco frecuentes poder observarlas ya que su eficiencia no es tan alta comparada a otros sistemas; debido a que la energía utilizada en estos sistemas no se la puede controlar ya que intervienen factores como la radiación solar, ubicación geográfica, entre otros.

Los métodos convencionales para la obtención de agua caliente también resultan ser mucho más caros y contaminantes en comparación con los métodos que utilizan energías renovables, como es el caso del colector solar.

Debido a esto se ha decidido implementar un prototipo de colector solar, que nos ayude con un ahorro energético aprovechando al máximo la energía solar que podemos captar durante el día, ya que el agua caliente obtenida puede ser utilizada para fines de uso doméstico tomando en cuenta que no existirá un daño al medio ambiente.

#### **1.4. Justificación**

Las energías renovables últimamente han empezado a tomar fuerza en nuestro país y en el mundo entero, ya que la humanidad busca mejores alternativas de energías limpias que no causen daño al ambiente y representen un ahorro energético y económico.

Mediante la implementación del colector solar se busca aprovechar al máximo la energía del sol, representando un ahorro energético a los beneficiarios. A su vez al ser una fuente de energía renovable gratuita que está disponible y al alcance de todos podemos hacer uso de ella a nuestra disposición y para los fines específicos.

Este prototipo puede ser utilizado como modelo de futuras investigaciones que pueden realizarse acerca de energías renovables y su aprovechamiento, así como también ir de a poco involucrando en el mercado sistemas de energías renovables que ayuden con el ahorro energético.

## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. *Objetivo general*

Implementar un prototipo de colector solar mediante elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos para mejorar el ahorro energético en viviendas.

### 1.5.2. *Objetivos específicos*

- Determinar los parámetros y variables necesarias para obtener un aprovechamiento de la energía solar y buen funcionamiento del colector solar.
- Seleccionar los elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos necesarios que permitan obtener un prototipo de colector solar adecuado.
- Implementar el prototipo con los elementos seleccionados para obtener un funcionamiento eficiente.
- Realizar análisis y pruebas de funcionamiento del prototipo.

## 1.6. Alcance

Para la implementación del prototipo de colector solar se pretende realizar un estudio del aprovechamiento de energías renovables como fuente principal para el funcionamiento del colector solar, para esto se verificarán parámetros como radiación solar, eficiencia y diversos tipos de colectores solares que existen.

Se iniciará con una explicación general de lo que respecta a energías renovables que se utilizan en el país, se observará también la cantidad de energía del sol que incide en el país; con ayuda de estos factores se logrará establecer una relación entre los beneficios y contras que conllevan la utilización de un sistema de calentamiento de agua a base de energía solar.

Para poder llevar a cabo el proyecto se requiere la selección de cada elemento eléctrico, electrónico y mecánico que estarán siendo utilizados en el ensamble del colector solar, cada uno de estos elementos cumplirán con funciones específicas dentro del sistema las cuales implican el control de temperatura y nivel de agua dentro del acumulador, un soporte que mantendrá fijos a cada uno de los equipos y los tubos de vacío que son los elementos fundamentales en todo el sistema.

Una vez ensamblado el prototipo se realizarán pruebas de funcionamiento, para poder detectar posibles errores y hallar soluciones.

Con la implementación de este prototipo se pretende mejorar el ahorro energético en la vivienda en donde se va a implementar el sistema para calentamiento de agua a base de energía renovable, tratando de mantener una temperatura del agua adecuada para el confort de los beneficiarios, con la menor cantidad de pérdidas dentro del acumulador de agua caliente, para que la misma pueda ser aprovechada al máximo.

## CAPÍTULO II

### 2. Marco teórico

#### 2.1. Radiación Solar

La radiación solar es la energía que emite el sol en forma de ondas electromagnéticas que se propagan hacia diferentes direcciones, esta energía determina los procesos atmosféricos y factores climáticos.

El Sol emite energía en forma de radiación, una vez que pasa por la atmósfera es aquí donde se produce un cambio de debilitamiento por factores como la difusión, reflexión en las nubes y de absorción por las moléculas de gases (ozono y vapor de agua), aunque parte de esta radiación es devuelta al espacio mediante el reflejo que se produce al llegar a la superficie terrestre oceánica, con lo cual se transmite calor a la atmósfera. (IDEAM, 2014)

##### 2.1.1. Tipos de Radiación

- **Radiación directa**

Es el tipo de radiación que llega directamente del sol sin sufrir cambios ni desviaciones en su trayectoria; es decir los rayos solares forman una línea recta con la superficie de la Tierra.

- **Radiación difusa o indirecta**

Es el tipo de radiación que sufre cambios en su trayectoria al pasar por la atmósfera, algunos rayos son desviados por factores como las nubes, gases contaminantes, entre otros. En los días que existe gran cantidad de rayos solares sin presencia de nubes este tipo de radiación disminuye aumentando la radiación directa. (Hernandez, 2014)

- **Radiación reflejada o albedo**

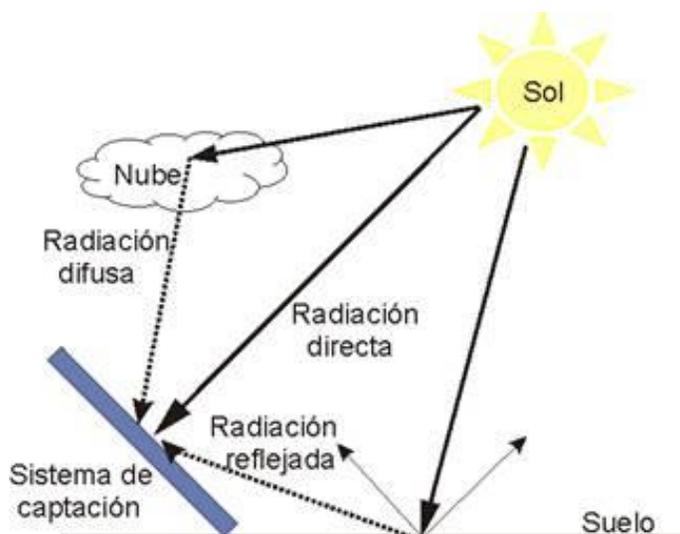
Es el tipo de radiación que proviene del reflejo con la superficie terrestre o con algún objeto que se encuentre en la misma, es más común que se produzca este tipo de radiación en zonas con agua, como lagos, ríos y el mar; incluyendo zonas con nieve o en cualquier otra zona donde la reflexión sea posible.

- **Radiación total**

Es el tipo de radiación que se obtiene al juntar las radiaciones anteriores, como se puede observar en la figura 1.

**Figura 1**

*Tipos de radiación que conforman la radiación total.*



*Nota:* La ilustración muestra los tipos de radiación que existen, tomado de (Hernandez, 2014)

### **2.1.2. Radiación solar en el Ecuador**

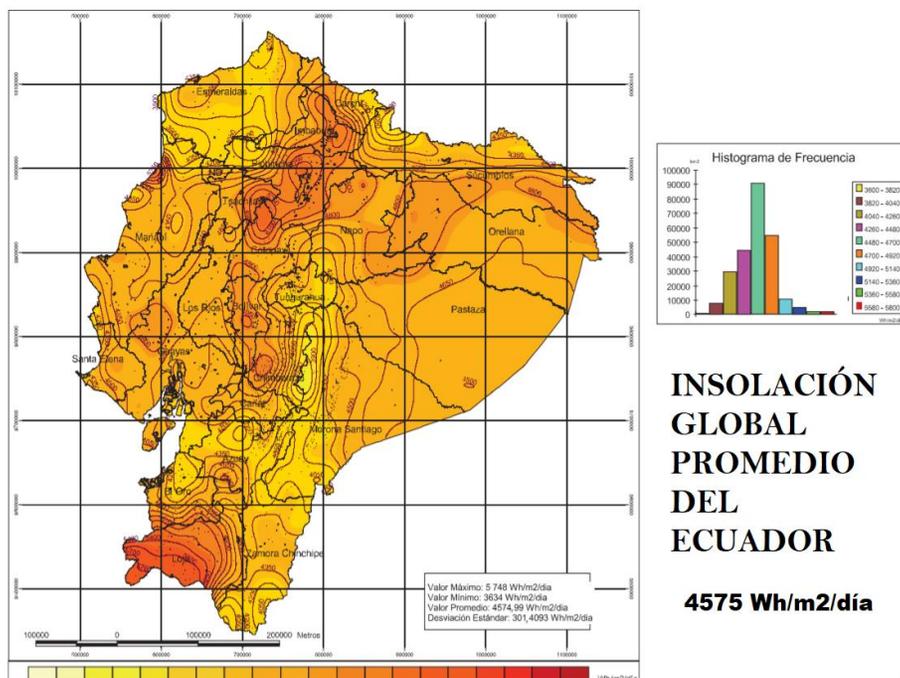
El Ecuador es un país que se encuentra ubicado sobre la línea ecuatorial; es decir se encuentra en un punto neutro entre los hemisferios Norte y Sur, razón por la cual es un país con un alto índice de radiación solar. La radiación llega de una forma directa sin un ángulo de inclinación demasiado extenso a diferencia de la luz que llega hacia los polos, la cual reduce su intensidad conforme el ángulo de inclinación va aumentando. Esta es la razón principal por la que nuestro país tiene una radiación mucho más elevada en comparación con otros sitios del planeta.

Esta condición es la que determina algunos de los factores climáticos del país, llegando a ser un país que cuenta con la suerte de poder aprovechar la energía proveniente del sol como una fuente de energía renovable.

En la figura 2 podemos observar la insolación global promedio que recibe el Ecuador.

## Figura 2

*Insolación global promedio del Ecuador.*

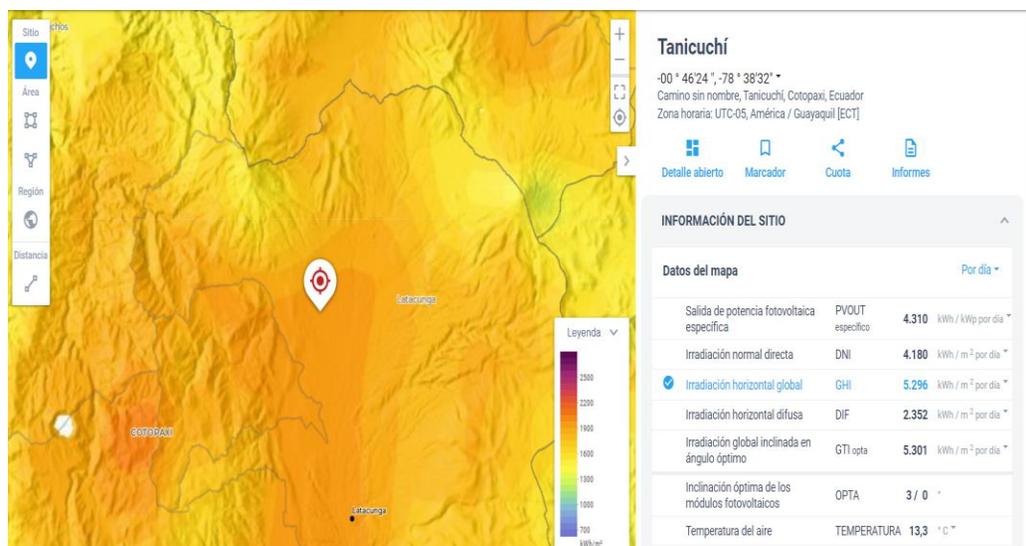


*Nota:* La ilustración muestra la insolación global promedio que recibe el Ecuador, tomado de (Conelec, 2008)

Mediante Global Solar Atlas podemos determinar la cantidad de irradiación promedio que recibe al día la parroquia Tanicuchi perteneciente al cantón Latacunga, como se puede observar en la figura 3 los datos obtenidos de esta fuente.

**Figura 3**

*Irradiación global por día en Latacunga – Tanicuchi.*



*Nota:* La ilustración muestra la cantidad de irradiación global por día que recibe la parroquia Tanicuchi, tomado de (GSA, 2021)

## 2.2. Eficiencia energética

Podemos definirla como el uso eficiente de la energía, es decir aprovechar los recursos renovables que disponemos en nuestro entorno, en este caso la energía del sol con la finalidad de obtener beneficios que nos ayuden a disminuir el gasto energético.

## 2.3. Energía Térmica

En este caso la energía térmica es aprovechada por los tubos al vacío, ya que esta energía es disipada internamente en forma de calor permitiendo elevar la temperatura del agua que se encuentra en el interior de los tubos y posteriormente utilizarla de forma doméstica para el aseo personal, la eficiencia del colector dependerá directamente de los materiales utilizados en su construcción.

Las tecnologías que se utilizan para el aprovechamiento de la energía proveniente del sol consisten básicamente en la conversión de la radiación solar (fotones) en otra forma de energía en este caso en calor, produciendo un efecto foto-térmico como consecuencia de un aumento de temperatura. (Calle, Fajardo, & Sánchez, 2010)

## **2.4. Colectores Solares**

Como principal componente de un sistema de energía solar tenemos al colector solar.

Los colectores solares son tipos de intercambiadores de calor cuya función es transformar la energía captada del sol en energía interna y dicha energía es transferida a un medio de transporte generalmente agua o aire, estos a su vez fluyen internamente por el colector. (Echevarría, 2011)

### **2.4.1. Funcionamiento**

La energía del sol es captada por el colector y esta internamente se transforma en calor que eleva la temperatura del fluido que se encuentra en su interior, en este caso calienta el agua. Los colectores compuestos de tubos al vacío aprovechan la radiación directa o indirecta que llegan a reflejarse en ellos, en un día normal sin nubes los rayos del sol llegan de una forma directa sin pérdidas de energía, lo que aumenta la eficiencia de este tipo de colectores solares.

## **2.5. Tipos de colectores solares**

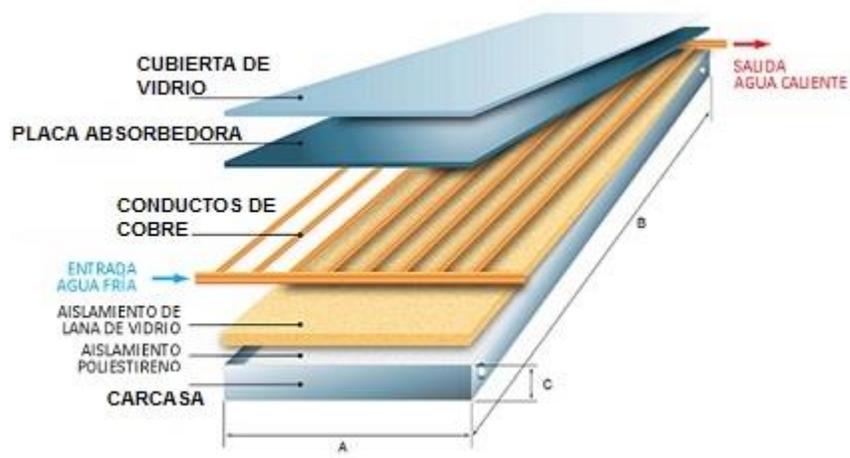
Tenemos algunos tipos de colectores solares:

### **2.5.1. Colector solar plano**

Llamado también colector solar de placa plana, tiene forma de panel solar como se puede observar en la figura 4, ya que transforma la radiación proveniente del sol en energía térmica. Es un tipo de captador solar con un costo no muy elevado y con buena efectividad en climas moderados. Se los encuentra en aplicaciones como calentamiento de agua sanitaria, climatización de piscinas, calefacción, entre otras.

**Figura 4**

*Colector solar plano o de placa plana.*



*Nota:* La ilustración muestra un colector plano y su estructura, tomado de <https://www.energiasolar.lat/colector-solar-plano/>

### **2.5.2. Colector solar de cilindro parabólico**

Son otro tipo de colector solar térmico utilizado en instalaciones de energía solar térmica, estos requieren de cilindros parabólicos para concentrar toda la radiación solar en un solo punto, por el centro de la parábola pasa una tubería que recibe los rayos del sol y a su vez calienta el fluido interno, en este caso agua. (Planas, 2019)

En la figura 5 se observa un colector solar de cilindro parabólico.

**Figura 5**

*Colector solar de cilindro parabólico.*



*Nota:* La ilustración muestra la forma de un colector solar de cilindro parabólico, tomado de (Planas, 2019)

**2.5.3. Colector solar de tubos al vacío**

El colector solar de tubos al vacío está compuesto por tubos evacuados, cada uno de estos contienen un absorbedor que es el encargado de recoger la energía solar y de transferirla hacia el fluido portador. Las pérdidas de calor se reducen gracias a las propiedades aislantes de vacío, pudiendo así llegar a tener temperaturas superiores a los 77°C.

La forma cilíndrica que tienen hace que sean mucho más eficientes en comparación a los colectores planos, ya que permiten que los rayos solares incidan desde varios ángulos durante todo el día. (Placco, Saravia, & Cadena)

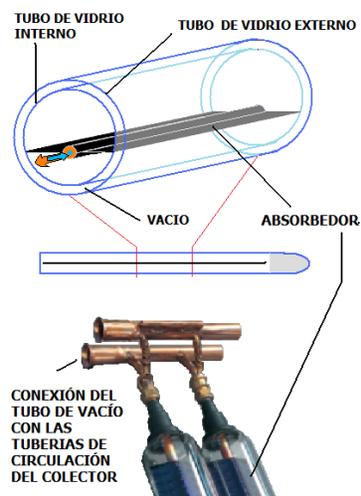
De acuerdo a la forma que intercambia el calor con el fluido, tenemos dos tipos de tubos de vacío.

- **Tubo al vacío de flujo directo.**

Este tipo de tubos de vacío tienen en su interior una plancha absorbente figura 6 que transforma la radiación solar en calor, y a su vez es recorrida en su superficie por un tubo en el cual circula un fluido que eleva la temperatura al estar en contacto.

## Figura 6

*Tubo al vacío de flujo directo.*



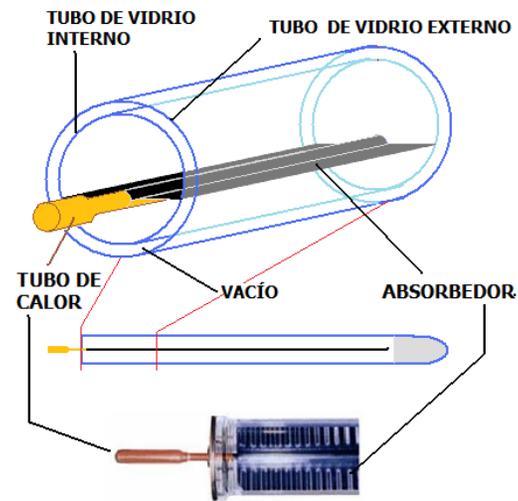
*Nota:* La ilustración muestra la estructura de un tubo de vacío de flujo directo, tomado de <http://www.sitiosolar.com/los-colectores-solares-de-tubo-de-vacio/>

- **Tubo al vacío de heat pipe.**

Está armado con un tubo de calor interno, en el cual internamente tiene un fluido de propiedades específicas, a medida que la radiación incide sobre el tubo este líquido se evapora ascendiendo hasta la punta, misma que está conectada al termo tanque permitiendo así la transferencia de calor hacia el fluido. Podemos apreciar su estructura en la figura 7.

**Figura 7**

*Tubo al vacío heat pipe.*



*Nota:* La ilustración muestra la estructura de un tubo al vacío de flujo directo, tomado de <http://www.sitiosolar.com/los-colectores-solares-de-tubo-de-vacio/>

## 2.6. Componentes de un colector solar de tubos al vacío

### 2.6.1. Estructura

Se compone por un termo tanque, tubos de vacío simple, un sistema de control de agua y temperatura, soporte metálico como se puede observar en la figura 8, el conjunto de estos elementos conforman un solo sistema de captación, acumulación y distribución, produciendo el calentamiento del agua para el uso doméstico.

**Figura 8**

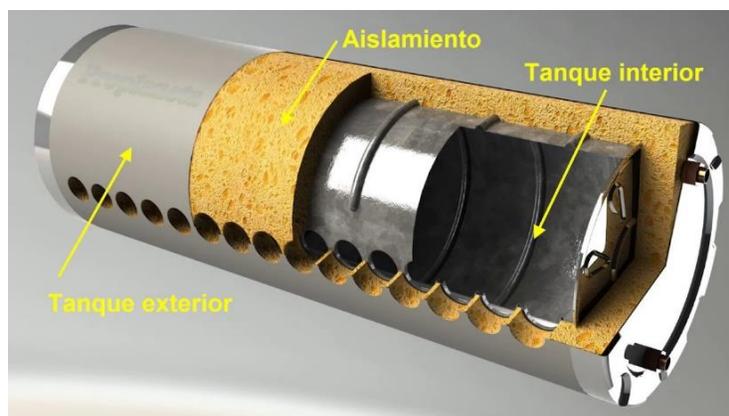
*Estructura y componentes de un colector solar.*



*Nota:* La ilustración muestra las partes de un colector solar, tomado de <https://suelosolar.com/guiasolares/captadores/termosifon-tv.PNG>

### **2.6.2. Termotanque solar**

Es un almacenador de agua caliente construido en acero inoxidable que está conectado directamente con el sistema colector de energía del sol, su función es mantener la temperatura del agua y evitar pérdidas de la misma. Está compuesto por un tanque interior cubierto por un aislante de poliuretano y un tanque exterior que cubre y protege al tanque interno, esto lo podemos apreciar en la figura 9.

**Figura 9***Termotanque solar.*

*Nota:* La ilustración muestra la estructura interna y externa del termotanque solar, tomado de: <https://i.ytimg.com/vi/OQ1mVuwXI84/maxresdefault.jpg>

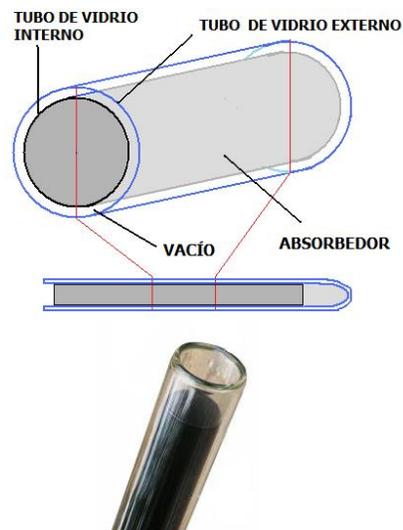
### **2.6.3. Tubo al vacío simple.**

Este tipo de tubo es el más sencillo de los anteriores ya que únicamente son tubos evacuados (vacío) que se ensamblan de manera directa con el acumulador y a su vez están en constante contacto con el fluido (agua).

Su estructura es simple en la pared interior del tubo se encuentra una capa de color oscuro de un material que absorbe calor, al llegar la radiación sobre la capa de material esta es transformada en calor, elevando así la temperatura del agua que está en su interior. El agua una vez caliente se eleva por convección dentro del termotanque permitiendo que ingrese agua fría dentro de los tubos para continuar con el proceso.

Estos tubos presentan inconvenientes como ser muy sensibles a la presión y no poseer ninguna protección contra bajas temperaturas.

La figura 10 representa la estructura de un tubo al vacío simple.

**Figura 10***Tubo al vacío simple.*

*Nota:* La ilustración muestra la estructura de un tubo de vacío simple, tomado de <http://www.sitiosolar.com/los-colectores-solares-de-tubo-de-vacio/>

#### **2.6.4. Sistema de control de nivel de agua y temperatura**

Un controlador sirve para diversas funciones entre ellas está determinar el nivel de agua dentro del termotanque con la ayuda de un sensor que está conectado directamente al controlador, mismo que también permite conocer la temperatura interna del tanque a la cual se encuentra el fluido.

**Figura 11**

*Controlador y sensor de nivel de agua y temperatura.*



*Nota:* La ilustración muestra un controlador y su respectivo sensor, tomado de [https://http2.mlstatic.com/D\\_940352-MLA31025127552\\_062019-O.jpg](https://http2.mlstatic.com/D_940352-MLA31025127552_062019-O.jpg)

### **2.6.5. Tuberías y accesorios**

Las tuberías se utilizan para conducir el agua desde la fuente hacia cualquier otro sitio. Los accesorios son básicamente uniones, acoples o conexiones que ayudan a conducir las tuberías por trayectos no rectilíneos, es decir sirven para el cambio de dirección.

**Figura 12**

*Tuberías y accesorios para agua.*



*Nota:* La ilustración muestra algunas de las tuberías y accesorios más utilizados.

## CAPÍTULO III

### 3. Desarrollo del tema

Para poder ensamblar el prototipo de colector solar y que nos brinde una alta eficiencia, se necesita seleccionar los elementos que lo componen, detallando características propias de cada uno.

#### 3.1. Selección de elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos

##### 3.1.1. Elementos eléctricos

Son los encargados de alimentar y conducir energía eléctrica al sistema de control de nivel de agua y temperatura del colector solar, tenemos algunos elementos que hacen posible el funcionamiento de dicho sistema.

- **Resistencia eléctrica**

Este elemento convierte energía eléctrica en calor, está diseñada para el calentamiento directo al contacto con el fluido (agua).

#### Figura 13

*Resistencia eléctrica.*



*Nota:* Fotografía de la resistencia eléctrica de inmersión.

**Tabla 1**

*Características de la resistencia eléctrica seleccionada.*

<b>Parámetros</b>	<b>Valores</b>
Potencia	1500 W
Voltaje	110 V
Material	Acero inoxidable

*Nota:* Características de fábrica de la resistencia eléctrica seleccionada.

La resistencia eléctrica fue elegida porque se la necesita como emergencia en caso de que el día esté nublado y el colector solar no alcance una temperatura adecuada para el consumo; es decir se la usará solamente para la compensación de temperatura dentro del termotanque solo si fuese necesario.

- **Electroválvula**

Es un dispositivo similar a una llave de paso que controla la circulación de un fluido (agua) a través de ella, es accionado mediante pulsos eléctricos permitiendo abrir o cerrar la válvula. Se utiliza en procesos industriales automatizados ya que son fáciles de controlar.

**Figura 14**

*Electroválvula.*



*Nota:* Fotografía de una electroválvula que se active a 12 DC.

**Tabla 2**

*Características de la electroválvula seleccionada.*

<b>Parámetros</b>	<b>Valores</b>
Diámetro	1/2''
Filtros	1
Voltaje del solenoide	12 DC

*Nota: La tabla muestra las características de la electroválvula.*

La electroválvula nos permite reemplazar a una llave de paso convencional y hacerla de forma automática, ya que estará conectada directamente a la red de agua potable de la casa y al termotanque. El controlador se encargará de enviar una señal de apertura o cierre a la electroválvula, dependiendo del nivel de agua dentro del termotanque.

- **Conductores eléctricos**

Son los encargados de conducir/transportar la energía eléctrica de un punto a otro, ofrecen poca resistencia al paso de la electricidad, estos pueden ser de cobre, plata, oro, entre otros. Siendo los más utilizados por su economía los que son elaborados a base de cobre.

**Figura 15**

*Conductores eléctricos.*



*Nota: La ilustración muestra los conductores eléctricos de cobre.*

El número de cable que se utilizará está dimensionado de acuerdo a los valores de la resistencia eléctrica que se utilizará, la ecuación 1 muestra la corriente a la cual estará sometido el conductor eléctrico.

### Ecuación 1

*Cálculo de la corriente.*

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{1500 \text{ W}}{110 \text{ V}}$$

$$I = 13.64 \text{ Amperios}$$

**Donde:**

**I** = Corriente en amperios (A)

**P** = Potencia en vatios (W)

**V** = Voltaje en voltios (V)

De acuerdo a la cantidad de corriente a la que estará expuesto el conductor y bajo la tabla de selección de conductores AWG que se muestra en la figura 16 elegimos el conductor más adecuado para la instalación.

### Figura 16

*Tabla de conductores AWG.*

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A		
10 AWG	30 A	30 A	30 A	18 AWG	10 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A		
6 AWG	55 A	65 A	75 A	16 AWG	13 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A	14 AWG	18 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A	12 AWG	25 A
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

*Nota:* La figura muestra el conductor seleccionado.

La medida del conductor que se utilizará es 14 AWG, ya que cumple con las condiciones necesarias, soporta temperaturas elevadas y está cubierto de un aislante apto para soportar diversas condiciones climáticas.

### 3.1.2. Elementos electrónicos

Son aquellos dispositivos que utilizan pequeñas cantidades de energía para poder funcionar, son utilizados especialmente para el control y mando de funciones dentro de un sistema.

- **Controlador TK-8A**

El controlador programable TK-8A es un modelo diseñado para sensar la temperatura y el nivel de agua dentro del termotanque, permitiendo también controlar la hora de llenado del tanque a través de una válvula de solenoide que recibe una señal del controlador. Este tipo de autómatas programables permite configurar horarios para el encendido de la resistencia eléctrica cuando el sensor de temperatura detecte niveles inferiores a los que el usuario los haya programado.

#### Figura 17

*Controlador TK-8A.*



*Nota:* Fotografía del controlador de nivel de agua y temperatura.

**Tabla 3***Características del controlador TK-8A.*

<b>Características</b>	
Voltaje	110 V
Frecuencia	60 Hz
Potencia	< 5 W
Control de precisión de temperatura	+/- 2
Niveles de agua	4 niveles
Conexión de resistencia eléctrica	1 conexión/110V
Conexión sensor nivel de agua y temperatura	1 conexión

*Nota:* La tabla muestra las características técnicas del controlador.

El controlador TK-8A nos ayuda a tener un mejor control de temperatura del agua que abastecerá el sistema, facilita el llenado en horarios programados por el usuario ya que controla la electroválvula haciendo que el llenado sea automático de acuerdo a la demanda que exista, también se adapta perfectamente al sensor de temperatura y nivel de agua; en su pantalla principal muestra todas estas variables, es sencillo de programar y se lo puede colocar en cualquier lugar de la vivienda.

- **Sensor de temperatura y nivel de agua**

El sensor (figura 18) nos permite obtener datos en tiempo real de las condiciones a las cuales se encuentra el fluido dentro del termotanque.

**Figura 18**

*Sensor de temperatura y nivel de agua.*



*Nota:* La fotografía representa el sensor de temperatura y nivel de agua.

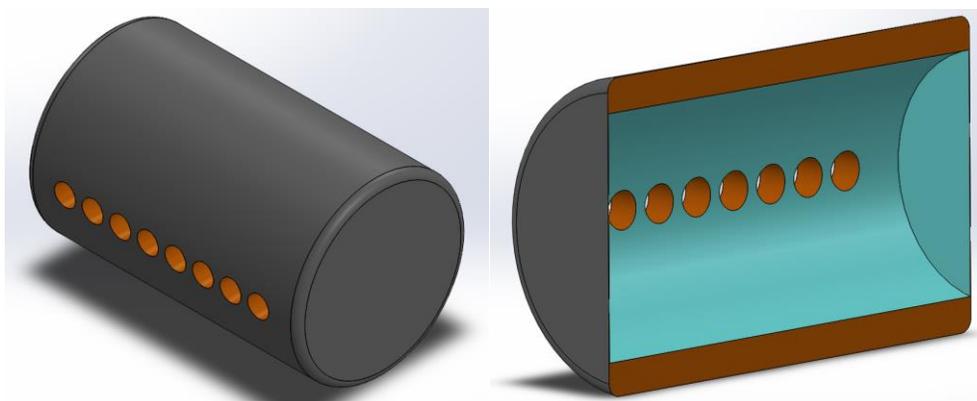
El sensor se acopla en la entrada izquierda del termotanque, su longitud es la adecuada y cabe perfectamente en el interior, en la varilla está incorporado el sensor de nivel y temperatura del agua que es de tipo resistivo, soporta altas temperaturas y se adapta al controlador TK-8A.

Este sensor al ser de tipo varilla cubre perfectamente el área transversal del termotanque, llegando a tocar el fondo. Al ser de tipo resistivo nos permite medir el nivel de agua y temperatura en función de la resistencia.

### **3.1.3. Elementos mecánicos**

- **Termotanque**

Se utilizará un termotanque almacenador de agua caliente, está construido en acero inoxidable AISI 304 mismo que contiene 18% de cromo (Cr) y 8% de níquel (Ni) y posee un espectro de resistencia a determinados agentes en ciertas condiciones de temperatura y pH.

**Figura 19***Termotanque (80 L).*

*Nota:* La ilustración representa un modelo esquemático del termotanque, fuente propia.

**Tabla 4***Características del termotanque.*

<b>Dimensiones</b>	
Diámetro exterior	470 mm
Diámetro interior	370 mm
Espesor aislante (poliuretano)	50 mm
Largo	750 mm
Volumen	$80 \times 10^6 \text{ mm}^3$
<b>Material</b>	
Acero	Inoxidable AISI 304/galvanizado

*Nota:* La tabla muestra las dimensiones y el material con el que está construido el termotanque.

Es un modelo que almacena 80 litros de agua en su tanque interior, mismo que está cubierto por una capa de aislante térmico (poliuretano) que impide que el calor se disipe al exterior manteniendo durante algunas horas de la noche la temperatura alcanzada durante el día evitando así la mayor pérdida de calor posible, esta capa a su vez está cubierta con una lámina de acero galvanizado que protege de factores externos que pueden dañar el aislante.

La cantidad de agua que almacena el termotanque es la necesaria para abastecer el consumo de dos personas que habitan en la vivienda, siendo una cantidad suficiente que permite cubrir con las necesidades personales.

- **Estructura del colector solar**

Es el soporte en donde va montado el termotanque y los tubos de vacío.

### **Figura 20**

*Estructura del colector solar.*



*Nota:* La ilustración muestra el modelo elaborado en SolidWorks, fuente propia.

La estructura se encarga de soportar y fijar en un solo sitio a cada uno de los componentes, con un grado específico de inclinación ya que estará ubicada en la terraza de la vivienda, lugar en donde obtenemos una mejor captación de radiación solar ya que es el lugar más alto de la misma. Está construido en acero inoxidable debido a que estará expuesta a diversos factores climáticos como la lluvia que podría corroer el material.

- **Tubos al vacío simples**

Los tubos evacuados que se emplearán en la construcción del prototipo son de vacío simple, en donde el agua fluirá directamente por el interior del tubo permitiendo elevar su temperatura por transmisión de calor. Algunas de sus características de este tipo de tubos al vacío las podemos observar en la tabla 5.

**Figura 21**

*Tubos al vacío*



*Nota:* Fotografía de tubos al vacío de boro silicato simples.

**Tabla 5**

*Características de los tubos al vacío.*

<b>Dimensiones</b>	
Diámetro	58 mm
Longitud	1800 mm
Espesor	1,8 mm
<b>Material</b>	
Vidrio	Boro-silicato
<b>Propiedades</b>	
Resistencia al granizo	Hasta 25 mm

*Nota:* La tabla muestra algunas de las especificaciones de los tubos al vacío.

Se eligieron este tipo de tubos ya que sus pérdidas de calor son mínimas debido al vacío que tienen entre las capas de vidrio, permitiendo concentrar toda la radiación captada del sol en el calentamiento del agua.

Los parámetros como el tiempo que demora en calentar el agua o la cantidad que almacena cada tubo se los detallarán en el análisis de los resultados obtenidos.

### 3.2. Tubería y accesorios utilizados

La siguiente tabla muestra las tuberías y accesorios utilizados en la instalación de agua fría y caliente.

**Tabla 6**

*Accesorios utilizados en la instalación.*

<b>Accesorios</b>	<b>Medida</b>	<b>Cantidad</b>
Codo 90°	1/2 ''	9
Codo cachimba	1/2 ''	2
Unión	1/2 ''	1
Unión en T	1/2 ''	2
Unión universal	1/2 ''	2
Reducción	1'' a 1/2''	2
Llave de paso		2
Tubería de agua fría	1/2''	2
Tubería de agua caliente	1/2''	1

*Nota:* La tabla muestra la cantidad y medida de cada uno de los accesorios utilizados en la instalación de agua.

### 3.3. Ensamblaje del prototipo

Para poder realizar el ensamble del prototipo se tiene que tener al alcance algunas herramientas básicas que se detallan a continuación:

- Llaves de corona
- Flexómetro
- Llave de tubo
- Desarmadores
- Pinza
- Llave ratchet
- Multímetro

Para iniciar con el ensamble del prototipo se inicia por reconocer cada elemento que compone la estructura e ir separándolos con la finalidad de obtener una proyección de la ubicación de cada pieza.

#### Figura 22

*Partes de la estructura del colector solar de tubos al vacío.*



*Nota:* La fotografía muestra las partes de la estructura del colector solar.

La unión de piezas debe ser fijada muy bien con pernos y tuercas que ayuden a que la estructura tenga una buena estabilidad al momento de montar el acumulador.

### **Figura 23**

*Ensamble de la estructura.*



*Nota:* La fotografía muestra el ensamble de las partes de la estructura.

Cuando se haya montado completamente la estructura se debe realizar un ajuste final a cada perno de la estructura con la finalidad de mejorar y garantizar un buen ajuste.

**Figura 24**

*Estructura ensamblada.*



*Nota:* La fotografía muestra el acabado del ensamble de la estructura.

La resistencia eléctrica debe ir colocada en la parte inferior del termotanque, con cinta teflón que ayuda a sellar de una manera correcta la entrada para que no exista fugas de agua, también se inserta una tapa de plástico que cubra la entrada.

**Figura 25**

*Conexión de la resistencia eléctrica con el termotanque.*



*Nota:* La fotografía muestra el proceso de inserción y fijado de la resistencia eléctrica en el termotanque.

Los accesorios son una parte fundamental en el ensamblaje del prototipo ya que permiten conducir el fluido hacia el termotanque y también para el vaciado del mismo, entre los principales accesorios que se utiliza para el prototipo tenemos: codos  $\frac{1}{2}$ ", uniones universales  $\frac{1}{2}$ ", reducciones de  $\frac{3}{4}$ " a  $\frac{1}{2}$ ", neplós  $\frac{1}{2}$ ", llaves de paso  $\frac{1}{2}$ ", etc.

### Figura 26

*Conexión de accesorios.*



*Nota:* La fotografía muestra las conexiones de los accesorios de entrada y salida de agua.

Al montar el termotanque en la estructura se tiene que ubicar de una forma cuidadosa, ya que la base del mismo tiene pequeños pernos que sirven para fijar y sujetar con la estructura, en este caso solo se tiene que realizar el montaje del tanque mas no el ajuste de pernos, esto se lo realiza después de que se haya ubicado y acoplado los tubos al vacío.

**Figura 27**

*Montaje del termotanque.*



*Nota:* La fotografía muestra el montaje del termotanque en la estructura.

La electroválvula se la conecta de manera horizontal, tiene enmarcado una flecha en la parte inferior que indica la dirección de flujo de agua, contiene un filtro a la entrada y una válvula anti retorno a la salida, la conexión a ambos lados es de  $\frac{1}{2}$ " y está conectada a la red de agua y la entrada del acumulador.

**Figura 28**

*Conexión de la electroválvula.*



*Nota:* La fotografía muestra la conexión de la electroválvula entre la red de agua potable y la entrada de agua al termotanque.

El sensor debe ir conectado a un costado del termotanque, se lo introduce hasta que la punta toque fondo y se la asegura con un empaque que ya viene incorporado en el extremo final del mismo.

### **Figura 29**

*Conexión del sensor de nivel de agua y temperatura.*



*Nota:* La fotografía muestra la conexión del sensor con el termotanque.

Para la colocación de los tubos al vacío se tiene que tener algunas consideraciones de suma importancia, mismas que se detallan a continuación:

- Primero se tiene que remojar con jabón líquido las puntas de los tubos de vacío y los empaques de cada entrada al termotanque, esto hará que el ingreso sea mucho más sencillo y con menos esfuerzo.
- Se coloca el empaque para el polvo en los tubos.
- Se procede a colocar con un sentido de giro en una sola dirección y aplicando levemente una fuerza de empuje hasta que ingrese el tubo una distancia considerable, posteriormente se tiene que colocar en el soporte inferior.

**Figura 30**

*Colocación de tubos al vacío.*



*Nota:* La fotografía muestra los pasos ejecutados en la colocación de los tubos al vacío en el termotanque.

Las conexiones que dispone el controlador están de izquierda a derecha iniciando con el zócalo para el sensor, pines de salida para la electroválvula (12 VDC) y los pines para la resistencia eléctrica (110 AC).

**Figura 31**

*Conexiones al controlador.*



*Nota:* La fotografía muestra las conexiones que tiene el controlador TK-8A.

El montaje se lo realiza dentro de la vivienda ya que el controlador no debe estar expuesto a condiciones climáticas abruptas porque posee una placa electrónica que puede deteriorarse muy rápido.

### Figura 32

*Montaje del controlador TK-8A.*



*Nota:* La fotografía muestra el montaje final del controlador TK-8A dentro de la vivienda.

El prototipo de colector solar debe estar ubicado en un lugar seguro y con dirección al norte para que pueda captar mayor tiempo la radiación solar.

### Figura 33

*Prototipo de colector solar ensamblado.*



*Nota:* La fotografía muestra el prototipo de colector solar completamente ensamblado.

### 3.4. Pruebas de funcionamiento

#### 3.4.1. La electroválvula cumple con su función

Si, al realizar las pruebas de funcionamiento se pudo constatar que se encuentra totalmente funcional, ya que el controlador emite una señal de 12 VDC hacia la electroválvula que permite la apertura de la misma hasta cuando el sensor detecte un nivel de llenado al máximo que es procesado por el controlador, el cual cortará el paso de la señal provocando el cierre de la electroválvula. Este proceso es secuencial de acuerdo al nivel de agua que se encuentre dentro del termotanque.

#### 3.4.2. Existen fugas de agua

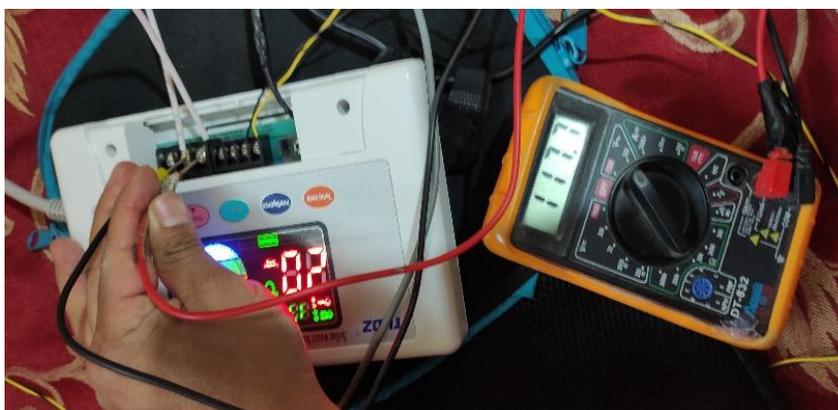
No, en este caso se ha usado empaques y cinta teflón adecuadamente en cada unión de la tubería conectada, razón por la cual se ha sellado de manera correcta cada conexión impidiendo así la fuga de agua en la entrada y salida del termotanque.

#### 3.4.3. El controlador cumple su función

Si, las funciones básicas que debe cumplir el controlador TK-8A son la de recibir la señal de nivel de agua y temperatura, controlar la apertura o cierre de la electroválvula, encender o apagar la resistencia eléctrica de acuerdo a la temperatura dentro del acumulador.

### Figura 34

*Medición de voltaje en el controlador.*



*Nota:* La fotografía muestra el voltaje que emiten los pines de salida que van conectados a la resistencia eléctrica.

**Figura 35**

*Indicador de nivel de agua y temperatura.*



*Nota:* La fotografía muestra la pantalla del controlador en donde se aprecia el nivel de agua y la temperatura dentro del termotanque.

#### **3.4.4. Resistencia eléctrica**

Se realizó el cálculo del tiempo que emplea la resistencia eléctrica en aumentar 10°C partiendo de una temperatura inicial de 30°C; esto con el fin de saber con qué tiempo de anticipación se debe programar el controlador para que encienda la resistencia y poder tener la temperatura ideal al momento del uso, es cálculo realizado sirve como ejemplo del tiempo que demorará la resistencia en elevar hasta un cierto grado de temperatura el agua al interior del termotanque.

Cabe recalcar que no siempre estará en funcionamiento la resistencia eléctrica, sino más bien solo entrará en funcionamiento al momento que se requiera la compensación de temperatura debido a que los factores climáticos sean deficientes en el día y por esa razón no se alcance una temperatura adecuada para el uso.

La ecuación 2 muestra el cálculo realizado para la obtención de la energía necesaria y el tiempo que tardará en realizar el calentamiento.

**Ecuación 2**

*Cálculo de energía y tiempo de calentamiento de agua.*

$$Q = m * C * \Delta T$$

$$Q = 80 * 4180 * (40 - 30)$$

$$Q = 3344000 \text{ J}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta E}{P}$$

$$\Delta t = \frac{3344000}{1500}$$

$$\Delta t = 2229.33 \text{ s} \rightarrow 37 \text{ min}$$

**Donde:**

**Q:** calor (Julios)

**m:** masa (Kilogramos)

**C:** calor específico del agua (J/Kg K)

**$\Delta T$ :** temperatura (°C)

**P:** potencia (Vatios)

**$\Delta t$ :** tiempo (segundos)

**$\Delta E$ :** energía (Julios)

**3.5. Mantenimiento del colector solar**

El mantenimiento del colector solar es relativamente sencillo ya que se basa principalmente en la limpieza de todos los componentes, algunos pasos a tener en consideración para el mantenimiento de este sistema son:

- Cerrar la llave de paso principal que conduce agua hacia el termotanque.

- Vaciar por completo el agua acumulada dentro del termotanque.
- Con la ayuda de movimientos circulares y ejerciendo un poco de presión vamos sacando cada tubo al vacío, es decir se realiza un proceso inverso al de colocación.
- Con la ayuda de una manguera de agua realizamos el lavado interno del termotanque, de la misma manera con cada tubo de vacío.
- Limpiar los tubos al vacío con un trapo húmedo, manteniéndolos así libre de polvo, ya que un exceso de polvo puede reducir la eficiencia del colector.
- Revisamos el estado de cada tubo al vacío y en el caso de existir trizadura o alguna anomalía, es preferible optar por uno nuevo.
- La barra de magnesio se deberá cambiar por lo menos dos veces al año y en caso de una zona costera tres veces al año.
- Una vez realizado el lavado y limpieza se procede nuevamente al armado.

Por lo general el colector solar trabajará de manera garantizada por unos tres años y una vida útil hasta veinticinco años de acuerdo al mantenimiento que se le brinde.

### **3.6. Análisis de Resultados**

#### ***3.6.1. Temperatura del agua sin uso***

En la tabla 7 se detallan los valores de los datos de temperatura del colector solar registrados en la semana del 5 al 9 de Julio del año 2021, donde se puede apreciar la temperatura que alcanza el agua dentro del termotanque, en función de la hora del día y sujeta a los cambios climáticos.

En este caso se han registrado datos de temperatura en un intervalo de tiempo que va desde las 7:00 am hasta las 19:00 pm por cinco días consecutivos, los resultados se ven reflejados en un aumento de temperatura directamente proporcional a la hora del día. Cada día se ha tomado una temperatura inicial de referencia dentro del acumulador de agua caliente, como se observa en la franja color azul (tabla 7), los cambios de temperatura que obtiene el colector solar en las primeras horas del día no son muy considerables ya que la radiación no incide de una forma directa, razón por la

cual desde las 7:00 am hasta las 10:00 am existe una variación promedio de temperatura de 3.2°C.

Desde las 11:00 am hasta las 16:00 pm franja verde (tabla 7) es cuando ocurre el mayor aumento de temperatura dentro del acumulador de agua caliente, ya que en ese intervalo de tiempo la radiación incide de una forma más directa sobre el colector solar. Llegando a tener una variación promedio de 15°C durante las horas indicadas y por cada día.

La temperatura de agua promedio por día que alcanza el colector solar es de 50°C. Estos cambios de temperatura están sujetos a su vez a las condiciones climáticas variables que ocurren durante todo el día ya que existen instantes donde se tiene un cielo nublado, con presencia de sol o en ocasiones existen lluvias ligeras.

**Tabla 7**

*Datos de temperatura del agua sin uso.*

Hora	Temperatura dentro del acumulador de agua caliente sin uso					
	Fecha	5/7/2021	6/7/2021	7/7/2021	8/7/2021	9/7/2021
7:00		39°C	33°C	37°C	32°C	28°C
8:00		40°C	33°C	37°C	32°C	30°C
9:00		40°C	34°C	39°C	34°C	30°C
10:00		42°C	34°C	40°C	36°C	33°C
11:00		45°C	37°C	42°C	39°C	35°C
12:00		48°C	40°C	45°C	42°C	38°C
13:00		52°C	45°C	48°C	46°C	41°C
14:00		55°C	49°C	52°C	50°C	42°C
15:00		58°C	53°C	55°C	52°C	44°C
16:00		61°C	56°C	58°C	53°C	45°C
17:00		64°C	58°C	61°C	53°C	46°C
18:00		67°C	58°C	63°C	53°C	46°C
19:00		67°C	58°C	63°C	53°C	46°C

*Nota:* La tabla muestra los datos recopilados de temperatura en una semana normal sin uso.

La efectividad del colector solar radica en qué no se necesita días con una exposición de sol intensa para que la temperatura del agua se eleve, ya que en días nublados también se tiene incidencia de radiación, aunque los cambios de temperatura no serán muy elevados pero si existirá variación de temperatura del agua.

La temperatura ideal del agua para una persona está entre los 35°C y 40°C, en este caso el colector solar abastecerá de una manera muy eficiente para el uso diario.

El termotanque al estar cubierto con un aislante de poliuretano permite conservar la temperatura del agua dentro, con un mínimo de pérdidas de temperatura, aunque si existe una pequeña disminución de la misma que va de los 3°C a 4°C aproximadamente durante toda la noche, cambios que no representan afectaciones al momento de usar el agua en el consumo doméstico.

### ***3.6.2. Temperatura del agua con un uso cotidiano***

En la tabla 8 se detallan los valores de los datos de temperatura del colector solar con un uso cotidiano registrados en la semana del 16 al 20 de Julio del año 2021, donde se puede apreciar diversas variables que se han contemplado para realizar una mejor comparación y mostrar de una forma más detallada el rendimiento del colector solar.

Como se observa en la tabla 8 la columna 3 y 4 relacionan la temperatura a la cual se encuentra el agua dentro del termotanque antes de ser utilizada y después de ser utilizada para el consumo doméstico. La columna 5 indica el aumento de temperatura del agua durante el día hasta la hora de volver a utilizarla. La columna 6 representa la temperatura a la cual se encuentra el agua en la red que ingresa al termotanque. La última columna muestra la cantidad de agua en litros que ha sido consumida por los usuarios.

**Tabla 8**

*Datos de temperatura del agua con uso.*

<b>Temperatura dentro del acumulador de agua caliente con uso</b>						
<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Temperatura antes del uso</b>	<b>Temperatura después del uso</b>	<b>Incremento de temperatura</b>	<b>Temperatura del agua en la red</b>	<b>Cantidad de agua utilizada en litros</b>
16/7/2021	7:00	58°C	41°C	16°C	16°C	30
	18:00	57°C	42°C		17°C	30
17/7/2021	8:00	40°C	34°C	13°C	16°C	25
	18:00	47°C	Sin uso		16°C	0
18/7/2021	8:00	43°C	32°C	21°C	15°C	40
	18:00	53°C	43°C		16°C	25
19/7/2021	13:00	46°C	38°C	13°C	15°C	25
	19:00	51°C	47°C		15°C	15
20/7/2021	6:40	44°C	30°C	29°C	15°C	40
	17:20	59°C	49°C		16°C	20

*Nota:* La tabla muestra los datos de temperatura recopilados en una semana, con un uso cotidiano.

### **3.6.3. Análisis de consumo energético y económico**

En esta sección se realizó una comparación de consumo energético y económico que representan cada uno de los sistemas que se utilizan típicamente para el calentamiento de agua, dentro de la tabla 9 encontramos algunos parámetros esenciales que nos ayudaron a realizar esta comparativa entre cada uno de los sistemas y que nos ayudarán a elegir el calentador de agua que represente el mayor ahorro energético y económico.

Se observa también los costos a un corto, mediano y largo plazo, así como también el ahorro económico que difiere entre un sistema de calentamiento y otro.

**Tabla 9***Cálculos de consumo energético y económico.*

	<b>Colector solar</b>	<b>Ducha eléctrica</b>	<b>Calefón a gas</b>
<b>Inversión inicial</b>	\$330	\$25	\$420
<b>Tiempo de uso en minutos</b>	30 min	30 min	30 min
<b>Tiempo de uso diario en horas</b>	0,5	0,5	0,5
<b>Costo de KWH (subsidiado)</b>	\$0,04	\$0,04	n/a
<b>Costo de cilindro de gas (subsidiado)</b>	n/a	n/a	\$1,60
<b>Potencia</b>	1500 W	5500 W	n/a
<b>Consumo energético mensual</b>	22,5 KWH	82,5 KWH	n/a
<b>Costo mensual</b>	\$0,90	\$3,30	n/a
<b>Consumo energético anual</b>	270 KWH	2475 KWH	n/a
<b>Costo anual</b>	\$10,80	\$39,60	n/a
<b>Consumo de gas mensual</b>	n/a	n/a	2 cilindros
<b>Costo mensual (gas)</b>	n/a	n/a	\$3,20
<b>Consumo de gas anual</b>	n/a	n/a	24 cilindros
<b>Costo anual (gas)</b>	n/a	n/a	\$38,40
<b>Costos en 5 años</b>	\$54,00	\$198,00	\$192,00

*Nota:* La tabla muestra los resultados de los cálculos realizados acerca de consumo energético y económico.

La tabla 9 representa el ahorro económico que se tiene al comparar los costos entre el colector solar y los otros dos sistemas de calentamiento de agua.

**Tabla 10***Comparación de costos.*

	<b>Colector solar</b>	<b>Ducha eléctrica</b>	<b>Calefón a gas</b>
<b>Costo mensual</b>	\$0,90	\$3,30	\$3,20
<b>Costo anual</b>	\$10,80	\$39,60	\$38,40
<b>Costos en 5 años</b>	\$54,00	\$198,00	\$192,00
<b>Costos en 10 años</b>	\$540,00	\$1.980,00	\$1.920,00

*Nota:* La tabla muestra los costos de cada sistema de calentamiento de agua a un corto, mediano y largo plazo.

Como se observa en la tabla 10 tenemos los costos que representan cada sistema y se tiene una diferencia económica de \$2,40 mensualmente entre el colector solar y la ducha eléctrica, y una diferencia de \$2,30 entre el colector y el calefón a gas. Entonces el uso del colector solar como sistema de calentamiento de agua representa un 70% de ahorro económico y energético, evita el consumo de combustibles fósiles, la contaminación ambiental y costos de mantenimiento respecto a los otros dos sistemas de calentamiento de agua.

#### **3.6.4. Comparación de costos de mantenimiento entre sistemas**

Cada sistema de calentamiento de agua requiere un mantenimiento semestral y anual mismo que debe estar enfocado en las partes o accesorios principales de mayor uso, estos a su vez representan costos económicos de cuidado o reparación de acuerdo a la magnitud del daño o de ser el caso el reemplazo de sus componentes.

Para comparar entre los costos de mantenimiento de cada sistema se toma en cuenta los accesorios principales que pueden ser la causa de daños o averías, esto se lo puede observar en la tabla 11 que se tiene a continuación.

**Tabla 11**

*Comparación de tipos de mantenimiento entre cada sistema.*

<b>Tipo de Mantenimiento</b>			
	<b>Colector Solar</b>	<b>Ducha Eléctrica</b>	<b>Calefón a gas</b>
<b>Mantenimiento semestral</b>	Limpieza del termotanque y tubos al vacío	Revisión de la resistencia eléctrica	Limpieza de serpentines, revisión del módulo de control y válvulas de agua y gas. Verificación de fugas en mangueras y válvulas. Revisión de empaques y diafragmas.
<b>Mantenimiento anual</b>	Limpieza del termotanque y tubos al vacío	Cambio de resistencia eléctrica	Cambio de válvula de gas, cambio de electroválvula, cambio de empaques. Limpieza de conductos, controles y piezas internas.

*Nota:* La tabla muestra el tipo de mantenimiento general que se realiza al colector solar, ducha eléctrica y calefón a gas.

**Tabla 12***Costos de mantenimiento.***Principales elementos propensos a deterioro y/o reemplazo**

	<b>Colector solar</b>	<b>Ducha eléctrica</b>	<b>Calefón a gas</b>
<b>Tubo al vacío</b>	\$25,00	n/a	n/a
<b>Válvula de solenoide</b>	\$10,00	n/a	\$20,00
<b>Serpentín</b>	n/a	n/a	\$120,00
<b>Resistencia eléctrica</b>	\$20,00	\$10,00	n/a
<b>Módulo de control</b>	\$110,00	n/a	\$20,00

*Nota:* La tabla muestra los costos de cada repuesto dependiendo el sistema de calentamiento de agua.

En la tabla 12 se observa el costo unitario de cada elemento que pertenece al colector solar, ducha eléctrica y calefón a gas, se han escogido partes fundamentales que son mayormente tomadas en cuenta en el mantenimiento y también las que se averían con más frecuencia.

### **3.6.5. Beneficios del colector solar con respecto a la ducha eléctrica y el calefón a gas.**

Entre los principales beneficios que tenemos al optar por un sistema de calentamiento de agua a base de un colector solar son:

- No existe contaminación ambiental ya que no utiliza combustibles fósiles en el proceso de calentamiento de agua.
- Se puede utilizar en cualquier momento, ya que solo basta con abrir el grifo sin el riesgo que se recaliente o se dañe algún circuito por exceso de manipulación, como es el caso de un calefón a gas con encendido electrónico.

- El consumo energético es menor en comparación con una ducha eléctrica, ya que la resistencia se encenderá únicamente en caso de que exista la necesidad de compensación de temperatura.
- Aunque el costo inicial del colector solar es algo elevado, con los ahorros que generará al evitar el consumo de energía eléctrica o gas, podemos recuperar la inversión en un corto plazo.

## CAPÍTULO IV

### 4. Conclusiones y Recomendaciones

#### 4.1. Conclusiones

Se determinó los parámetros esenciales que intervienen en la implementación del prototipo tales como radiación, temperatura, eficiencia y efectividad, los cuáles nos permiten tener un buen aprovechamiento del colector solar y a su vez obtener mejores resultados en el calentamiento de agua.

Se seleccionó detalladamente cada elemento eléctrico, electrónico y mecánico que permitió el ensamble del prototipo de colector solar, cada uno bajo un criterio de selección técnico y siempre buscando economizar costos, pero sin perder calidad.

La implementación se dio de una manera secuencial iniciando por la instalación de las tuberías de agua desde la red potable de la vivienda hasta el termotanque, ubicado en la terraza de la misma, seguido por el armado de la estructura y soporte del acumulador, la colocación de tubos al vacío y finalmente el acople de los diversos accesorios que posee el colector solar para obtener un óptimo funcionamiento.

El sistema de calentamiento de agua con un colector solar representa un ahorro económico y energético de hasta un 70% respecto a los sistemas tradicionales, aunque su inversión inicial varía en un 20% respecto a un calefón a gas, con el pasar del tiempo el ahorro económico generado recupera la inversión inicial.

El colector solar brinda los mismos servicios que otro calentador de agua tradicional, la diferencia radica en que utiliza un recurso renovable en este caso la radiación solar como fuente de energía para calentar agua y no desprende ningún gas contaminante al momento de su funcionamiento.

El colector solar calentará el agua incluso en días nublado ya que existe radiación en pequeñas cantidades, aunque no se llegará a obtener temperaturas tan elevadas en comparación a un día con una alta radiación solar.

Este sistema tampoco representa un riesgo para las personas, ya que no existirán casos de explosión por las elevadas temperaturas del agua en el interior del termotanque debido a que tiene un desfogue de vapor en la parte superior del mismo.

## **4.2. Recomendaciones**

Ubicar el colector solar en dirección norte-sur para obtener una mejor incidencia de la radiación solar sobre el mismo.

Evitar instalar el colector solar en lugares con sombras o que impidan que la radiación solar llegué de una forma directa.

Se recomienda colocar una barra de magnesio en el primer tubo al vacío con la finalidad de neutralizar las sales y minerales que pueden provocar oxidación dentro del termotanque.

Se recomienda colocar los tubos de vacío sin que hayan sido expuestos a la radiación, ya que esto puede provocar un choque térmico al momento del llenado de agua por la diferencia de temperaturas.

## Bibliografía

- Calle, J., Fajardo, J., & Sánchez, L. (2010). Agua caliente sanitaria de uso doméstico con Energía Solar, una alternativa para la ciudad de Cuenca. *INGENIUS*, 2-3. Recuperado el 31 de 05 de 2021, de <https://revistas.ups.edu.ec/index.php/ingenius/article/view/4.2010.06>
- Conelec. (2008). *Atlas Solar del Ecuador*. Corporación para la Investigación Energética, Quito. Recuperado el 02 de 06 de 2021, de <http://energia.org.ec/cie/wp-content/uploads/2017/09/AtlasSolar.pdf>
- Echevarría, C. A. (2011). *DISEÑO DE UN COLECTOR CILINDRO PARABÓLICO COMPUESTO CON APLICACIÓN PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA*. Universidad de Piura, Piura. Recuperado el 02 de 06 de 2021, de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1389/IME\\_159.pdf](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1389/IME_159.pdf)
- GSA. (2021). Recuperado el 31 de 05 de 2021, de Global Solar Atlas: <https://globalsolaratlas.info/map?c=-0.773233,-78.642221,11&s=-0.773233,-78.642221&m=site>
- Hernandez, P. J. (2014). *RADIACIÓN DIRECTA, DIFUSA Y REFLEJADA. ARQUITECTURA EFICIENTE*. Recuperado el 04 de 06 de 2021, de <https://pedrojhernandez.com/2014/03/08/radiacion-directa-difusa-y-reflejada/>
- IDEAM. (2014). *Radiación Solar*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Colombia. Recuperado el 05 de 06 de 2021, de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta>
- Mira, C. (2007). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBA DE UN PROTOTIPO CALENTADOR SOLAR DE AGUA CON TUBOS DE CALOR*. Universidad EAFIT, Medellín.
- Placco, C., Saravia, L., & Cadena, C. (s.f.). *COLECTORES SOLARES PARA AGUA CALIENTE*. INENCO, UNSa -CONICET, Salta. Recuperado el 05 de 06 de 2021 de <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/lahv/soft/opte/htdocs/modules/descargas/archivos/COLECTORES%20SOLARES%20PARA%20AGUA%20CALIENTE.pdf>

Planas, O. (07 de 11 de 2019). *¿Qué es un colector solar térmico?* Recuperado el 01 de 06 de 2021, de Energía Solar: <https://solar-energia.net/energia-solar-termica/componentes/colector-solar-termico>

Vásquez, M. (1995-1999). *Una brevísima historia de la arquitectura solar*. Instituto Juan de Herrera, Lima. Recuperado el 01 de 06 de 2021, de <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html>

# Anexos