

**REPOTENCIACIÓN DE UN CALENTADOR SOLAR DE AGUA DE TUBOS AL  
VACÍO PARA EL ASILO EL SEÑOR DE LOS MILAGROS, SAN JUAN DE  
GIRÓN**

**DUVAN ALEXIS BERMUDEZ GALVIS**

**Id: 000181205**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**ESCUELA DE INGENIERÍAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**SECCIONAL BUCARAMANGA**

**2017**

**REPOTENCIACIÓN DE UN CALENTADOR SOLAR DE AGUA DE TUBOS AL  
VACÍO PARA EL ASILO EL SEÑOR DE LOS MILAGROS, SAN JUAN DE  
GIRÓN**

**DUVAN ALEXIS BERMUDEZ GALVIS**

**Trabajo de grado presentado para optar por el título de Ingeniero Mecánico**

**Director:**

**EMIL HERNANDEZ ARROYO**

**Ingeniero Mecánico**

**M.Sc. Controles Industriales**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**ESCUELA DE INGENIERÍAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**SECCIONAL BUCARAMANGA**

**2017**

**NOTA DE ACEPTACION:**

---

---

---

---

---

---

Firma del director

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

## DEDICATORIA

Le doy gracias a Dios por haberme guiado en el camino para alcanzar este logro tan importante para mí.

Este proyecto de grado va dedicado a mis padres, José B. Bermudez Bueno y Elisabeth Galvis Caballero, ya que ellos son los pilares de mi vida, sin el apoyo de ellos no habría sido posible llegar donde estoy. Agradezco el esfuerzo y el compromiso que tuvieron conmigo para poder ser un profesional. A mi padre le doy gracias por sus consejos, los cuales me han guiado para formarme profesionalmente; a mi madre, le agradezco el cariño y la comprensión que me ha brindado durante toda mi vida; y finalmente, a Tatiana Parra, por su apoyo y por sus consejos, los cuales me ayudaron para tomar las decisiones correctas para mi carrera; también, agradezco a todos aquellos que me apoyaron y a los que hicieron posible en ayudarme a cumplir esta meta.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a todos los que hicieron parte de este proyecto ya que de una u otra manera confiaron en mi para la realización de este proyecto, al ingeniero Emil Hernández Arroyo, ingeniero mecánico como director del proyecto, gracias a su apoyo y dedicación contribuyo con la culminación de este proyecto de grado, así mismo agradezco a Ludwig Casas por su colaboración en el taller y a todos los profesores que hicieron parte de la formación académica aportando sus conocimientos en cada área.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pag.</b>
INTRODUCCION .....	11
OBJETIVOS.....	13
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
2. ESTADO DEL ARTE .....	14
2.1 POTENCIA SOLAR.....	15
2.2 COMPONENTES DE LA RADIACION SOLAR: .....	17
2.3 TIPOS DE RADIACION SOLAR:.....	17
2.4 MEDICION DE LA RADIACION SOLAR.....	18
2.4.1 Instrumentos de medida. ....	18
2.5 RADIACION SOLAR EN COLOMBIA.....	20
2.6 CALENTADORES DE AGUA. ....	22
2.6.1 CALENTADOR EMPLEANDO GAS NATURAL.....	22
2.6.2 CALENTADOR EMPLEANDO ELECTRICIDAD .....	22
2.7 CALENTADOR SOLAR.....	23
2.7.1 COMPONENTES DE UN CALENTADOR SOLAR.....	23
2.8 TUBO DE VIDRIO AL VACIO.....	24
2.9 TIPOS DE CALENTADORES SOLARES.....	25
2.9.1 COLECTORES NO CONCENTRADOS.....	26
2.9.1.1 Colectores solares de placas planas con cubierta y sin cubierta.....	26
2.9.2 COLECTORES CONCENTRADOS.....	28
2.9.2.1 Colectores de platos parabólicos .....	28
2.9.2.2 Colectores de tubos al vacío.....	29
3. Tipos de colectores tubulares de vacío.....	30
3.1 De flujo directo .....	30
3.2 Con Tubo de Calor (Heat Pipe) .....	31

4.	METODOLOGÍA.....	33
4.1	REVISION DEL ESTADO DEL ARTE .....	34
4.2	DISEÑO CONCEPTUAL.....	34
4.2.1	AUMENTO DE LA CAPACIDAD DEL TANQUE. ....	35
4.2.2	CALCULO DE LA PRESION INTERNA. ....	36
4.3	SELECCIÓN DE MATERIALES .....	38
4.3.1	Tanque Interno .....	38
4.3.2	Aislamiento Térmico.....	40
4.3.3	Tanque externo.....	41
4.4	DETALLE DEL DISEÑO .....	41
4.5	CONSTRUCCIÓN.....	44
4.6	PRUEBAS.....	58
4.6.1	TERMOCUPLA TIPO K.....	60
4.6.2	DESCRIPCIÓN DE LA TOMA DE DATOS. ....	61
4.6.2.1	Datos obtenidos: .....	61
5.	CALCULOS Y RESULTADOS.....	67
5.1	Calculo eficiencia.....	67
5.2	RESULTADOS.....	69
5.3	EFICIENCIA FINAL.....	74
5.4	COMPARACIÓN EFICIENCIA COMERCIAL Y EXPERIMENTAL .....	76
6.	CONCLUSIONES .....	78
7.	RECOMENDACIONES.....	79
	ANEXOS.....	80
	TABLA DE DATOS Y RESULTADOS.....	80
	A1. TABLA DE DATOS Y RESULTADOS PRUEBA 1 .....	80
	A2. TABLA DE DATOS Y RESULTADOS PRUEBA 2 .....	81
	A3. TABLA DE DATOS Y RESULTADOS PRUEBA 3 .....	82
	A4. TABLA DE DATOS Y RESULTADOS PRUEBA 4 .....	83
	REFERENCIAS. ....	85

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
<b>Figura 1.</b> Distribución de las pérdidas de la radiación incidente .....	16
<b>Figura 2.</b> Tipos de radiación solar .....	18
<b>Figura 3.</b> Mapa de radiación solar en Colombia, promedio multianual.....	21
<b>Figura 4.</b> Componentes de un calentador solar de tubos al vacío. ....	23
<b>Figura 5.</b> Tubo de vidrio al vacío .....	24
<b>Figura 6.</b> Esquema del colector de placa plana. ....	27
<b>Figura 7.</b> Esquema de colector de platos parabólicos.....	28
<b>Figura 8.</b> Colector de tubo de vacío. ....	29
<b>Figura 9.</b> Colector tubular de vacío de flujo directo. ....	31
<b>Figura 10.</b> Colector tubular de vacío de Tubo de calor. ....	32
<b>Figura 11.</b> Esquema general del calentador solar.....	34
<b>Figura 12.</b> Presión interna del termotanque. ....	38
<b>Figura 13.</b> Calentador solar SolidWorks.....	42
<b>Figura 14.</b> Detalle termotanque de 200 litros .....	43
<b>Figura 15.</b> Detalle termotanque.....	44
<b>Figura 16.</b> Desmontaje calentador solar de agua de tubos al vacío.....	45
<b>Figura 17.</b> Estado del termo tanque. ....	45
<b>Figura 18.</b> Tanque interno afectado .....	46
<b>Figura 19.</b> Troquelado y rolado de lámina del tanque interno. ....	47
<b>Figura 20.</b> Tapa abombada .....	47
<b>Figura 21.</b> Cordón de soldadura Tapa- Tanque interno. ....	48
<b>Figura 22.</b> Entrada de agua.....	48
<b>Figura 23.</b> Instalación de los anillos de silicón. ....	49
<b>Figura 24.</b> Centrado de los tanques. ....	50
<b>Figura 25.</b> Colocación tubos de PVC para el centrado de los tanques. ....	50
<b>Figura 26.</b> Tapa tanque externo. ....	51
<b>Figura 27.</b> Aíslate térmico aplicado. ....	51
<b>Figura 28.</b> Retiro de excesos de Poliuretano. ....	52
<b>Figura 29.</b> Termotanque instalado provisionalmente. ....	53
<b>Figura 30.</b> Temperatura del agua caliente en grados Celsius (°C).....	53
<b>Figura 31.</b> Torre de tanques aéreos del asilo el Señor de los Milagros. ....	54
<b>Figura 32.</b> Instalación tanque externo y base de soporte.....	55
<b>Figura 33.</b> Conexiones agua fría. ....	56
<b>Figura 34.</b> Instalación agua caliente.....	57
<b>Figura 35.</b> Instalación final del calentador solar de agua de tubos al vacío. ....	57



<b>Figura 36.</b> Solarímetro SM-206.....	58
<b>Figura 37.</b> Termómetro TES 1311A. ....	59
<b>Figura 38.</b> Diagrama efecto Seebeck.....	60
<b>Figura 39.</b> Termocupla tipo K.....	60
<b>Figura 40.</b> Variación de la temperatura de salida del agua con respecto a la radiación solar.....	70
<b>Figura 41.</b> Comportamiento de la temperatura de salida del agua respecto al día anterior.....	71
<b>Figura 42.</b> Radiación vs Temperatura de salida, en condiciones atmosféricas combinadas.....	72
<b>Figura 43.</b> Radiación vs temperatura de salida del agua caliente, con radiación directa. ....	73
<b>Figura 44.</b> Curva de eficiencia vs radiación. ....	74
<b>Figura 45.</b> Comparación de las eficiencias de las diferentes pruebas. ....	75
<b>Figura 46.</b> Eficiencia vs radiación de la prueba 4.....	76
<b>Figura 47.</b> Eficiencia comercial y experimental. ....	77

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pag.</b>
<b>Tabla 1.</b> Tipo de instrumentos de medida de la radiación solar .....	19
<b>Tabla 2.</b> Rango anual de disponibilidad de energía solar por regiones. ....	21
<b>Tabla 3.</b> Especificaciones tubo de vidrio al vacío. ....	25
<b>Tabla 4.</b> Parámetros característicos de los distintos tipos de colectores solares. ...	32
<b>Tabla 5.</b> Especificaciones calentador solar de 150 litros. ....	35
<b>Tabla 6.</b> Especificaciones calentador solar de 200 litros. ....	36
<b>Tabla 7.</b> Especificaciones para cálculo de la presión. ....	37
<b>Tabla 8.</b> Propiedades mecánicas para el acero inoxidable 304. ....	39
<b>Tabla 9.</b> Conductividad térmica de diferentes materiales. ....	40
<b>Tabla 10.</b> Materiales del calentador solar. ....	41
<b>Tabla 11.</b> Especificaciones Termotanque. ....	43
<b>Tabla 12.</b> Datos prueba 1 .....	61
<b>Tabla 13.</b> Datos prueba 2. ....	63
<b>Tabla 14.</b> Datos prueba 3. ....	64
<b>Tabla 15.</b> Datos prueba 4. ....	66
<b>Tabla 16.</b> Datos de referencia. ....	67
<b>Tabla 17.</b> Eficiencias promedio.....	76
<b>Tabla 18.</b> Eficiencia Comercial. ....	77

**RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

**TITULO:** REPOTENCIACIÓN DE UN CALENTADOR SOLAR DE AGUA DE TUBOS AL VACÍO PARA EL ASILO EL SEÑOR DE LOS MILAGROS, SAN JUAN DE GIRÓN

**AUTOR(ES):** DUVAN ALEXIS BERMUDEZ GALVIS

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR(A):** EMIL HERNANDEZ ARROYO

**RESUMEN**

En objetivo principal de este proyecto es la repotenciación de un calentador solar de agua de tubos al vacío, que funciona por principio de termosifón, mediante el diseño y construcción de un termotanque de 200 litros, para satisfacer las necesidades sanitarias del asilo el señor de los milagros ubicado en el municipio de San Juan de Girón, Santander, Colombia. Para la construcción del termotanque se usan materiales que cumplan con los requisitos necesarios para un adecuado funcionamiento del sistema como lamina de acero inoxidable 304, lamina de aluminio, aislante térmico poliuretano entre otros, cuyas propiedades fueron determinantes para la eficiencia del calentador solar. La eficiencia del colector solar se determina mediante pruebas realizadas bajo diferentes condiciones ambientales, tomando los datos de radiación, temperatura de entrada y salida de agua al colector solar, la temperatura ambiente, cuyo resultado arrojo que el calentador tiene una eficiencia promedio de 72%, el máximo desempeño térmico obtenido fue de 80%, y una eficiencia mínima 59%, la eficiencia promedio obtenida es muy buena debido a que las eficiencias comerciales de colectores de tubo al vacío son aproximadamente de 70%.

**PALABRAS CLAVE:**

colector solar, repotenciación, termosifón.

**Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

**GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

**TITLE:** REPOWERING OF A SOLAR WATER HEATER VACUUM TUBES FOR THE ASYLUM EL SEÑOR DE LOS MILAGROS, SAN JUAN DE GIRÓN

**AUTHOR(S):** DUVAN ALEXIS BERMUDEZ GALVIS

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR:** EMIL HERNANDEZ ARROYO

**ABSTRACT**

The main objective of this project is the repowering of a solar water heater vacuum tubes, which works by thermosyphon principle, through the design and construction of a 200-liter hot water tank, to meet the sanitary needs of the asylum "El señor de los milagros" located in the municipality of San Juan de Girón, Santander, Colombia. For the construction of the hot water tank materials are used that meet the requirements for proper operation of the system such as 304 stainless steel sheet, aluminum sheet, thermal insulation polyurethane among others, whose properties were determinant for the efficiency of the solar heater. The efficiency of the solar collector is determined by tests performed under different environmental conditions, taking the radiation data, inlet and outlet temperature of the water to the solar collector, the ambient temperature, the result of which shows that the heater has an average efficiency of 72%, the maximum thermal performance obtained was 80%, and a minimum efficiency 59%, the average efficiency obtained is very good because the commercial efficiencies of vacuum collectors are approximately 70%.

**KEYWORDS:**

solar collector, repowering, thermosyphon.

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## INTRODUCCION

Actualmente, se encuentran diversas tecnologías renovables fuertemente competitivas, inagotables que no producen gases de efecto invernadero y con costes evolucionando a la baja, entre estas la energía solar empleada en el calentamiento del agua para uso sanitario. Hoy en día existen tecnologías para aprovechar adecuadamente estos recursos, encontrándose numerosas innovaciones de las distintas áreas de la ingeniería en energías renovables. Es por ello, que este trabajo conjunta los esfuerzos por acrecentar el aprovechamiento de estas fuentes energéticas

Aprovechando la gran cantidad de energía solar que incide sobre la superficie terrestre se puede aprovechar para ser convertida en calor y electricidad, llamadas transformación térmica y fotovoltaica respectivamente. En caso particular los calentadores solares aprovechan la transformación térmica para el calentamiento de agua que será utilizado en distintas actividades, en este caso específicamente la utilización va dirigida al uso sanitario.

Colombia es un país favorecido con relación a la disponibilidad de este recurso, debido a su ubicación geográfica, la cual permite recibir una buena descarga de radiación solar gran parte del día. Dicha radiación solar promedio en la región andina colombiana es de  $1.643 \text{ kWh/m}^2 \text{ /año}^1$ , lo cual permite la utilización de sistemas térmicos para el calentamiento de agua para cubrir las necesidades básicas de una vivienda, para que el funcionamiento sea eficiente, se debe realizar el diseño teniendo en cuenta las circunstancias como: el lugar de instalación, los materiales a utilizar y la demanda de agua caliente que se desea cubrir.

La presente tesis plantea una serie de adecuaciones sobre un calentador solar comercial de agua de tubos al vacío, con el fin de caracterizar su comportamiento y proponer mejoras, realizando un diseño para la repotenciación en la capacidad de litros del tanque, para ello se realiza la construcción e implementación del termotanque, de acuerdo con el plano estructural para así cubrir las necesidades básicas del asilo el Señor de los Milagros.

Con base en los resultados de la caracterización, se determina la eficiencia térmica del calentador solar de agua de tubos al vacío y se determina la eficiencia en

relación con la incidencia de la radiación solar sobre el calentador y las temperaturas alcanzadas por el sistema, así a su vez se compara la eficiencia del sistema de calentamiento de agua con una eficiencia comercial.

.<sup>1</sup> Datos tomados del Atlas de Radiación Solar de Colombia. Pag. 20

## OBJETIVOS

### 1.1 OBJETIVO GENERAL

Repotenciar un calentador solar de agua de tubos al vacío mediante la construcción de un termotanque de 200 litros para calentar agua que será usada por las personas que habitan el asilo el señor de los milagros San Juan de Girón.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una revisión bibliográfica de los calentadores solares de agua de tubos al vacío. **Resultado:** Informe de base de datos y artículos científicos. **Indicador:** revisar por lo menos 10 artículos en bases de datos indexadas, que contengan información sobre los calentadores solares de agua de tubos al vacío.
- Realizar el diseño de la repotenciación del sistema con una capacidad de 200 litros. **Resultados:** Plano estructural y cálculos del diseño del termotanque del calentador solar de agua de tubos al vacío. **Indicador:** los cálculos se realizarán de acuerdo con los criterios técnicos del fabricante y teniendo en cuenta las ecuaciones de mecánica de fluidos.
- Construir e implementar el tanque de almacenamiento del calentador solar de agua de tubos al vacío. **Resultados:** Un tanque de almacenamiento funcional del calentador solar de agua de tubos al vacío. **Indicador:** el tanque será construido de acuerdo con el plano estructural.
- Verificar el funcionamiento del termotanque del sistema solar manteniendo la resistencia mecánica y la eficiencia del sistema por medio de pruebas. **Resultados:** informe de resultados del funcionamiento del sistema solar usando curvas de desempeño tales como: Temperatura del agua del tanque Vs Radiación, Eficiencia del colector solar Vs Radiación. Entre otros. **Indicador:** comparar la eficiencia del sistema de calentamiento de agua con una eficiencia comercial.

## 2. ESTADO DEL ARTE

Los calentadores solares se han implementado en Colombia desde los años sesenta iniciando en Santa Marta con instalaciones en las casas de los empleados de las bananeras y en universidades como la Universidad Industrial de Santander con calentadores solares domésticos importados de Israel con fines académicos pero fue la crisis petrolera del 1973 la que impulso a diversas universidades a nivel nacional y fundaciones como el Centro Las Gaviotas a instalar calentadores domésticos e industriales con fines comunitarios.

A mediados de los ochentas surgieron empresas que fabricaron calentadores para urbanizaciones en Medellín, Bogotá y programas experimentales para determinar la eficiencia de los sistemas como PESENCA (Programa Especial de Energía de la Costa Atlántica), sirviendo como iniciativa para la implementación de normas por parte del ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas) [1].

Morrison y Budihardjo (2004) realizaron estudios en Australia investigando el comportamiento de un precalentador solar de agua de tubo de vacío utilizando el método de prueba internacional ISO 9459-2 para una serie de inclinaciones. Discutieron los factores que influyen en el funcionamiento de los tubos colectores de agua en vidrio y presentaron un estudio numérico de la circulación del agua a través de tubos termosifónicos de un solo extremo demostrando la existencia de una región inactiva cerca del extremo sellado del tubo que podría influir en el rendimiento del colector cuando son muy largos [2].

Diferentes tipos de calentadores solares han sido fabricados como el del 2006 (Burbano y Restrepo) en Colombia en el que se diseñó y construyó un colector solar para calentamiento de agua de consumo doméstico, operando por termosifón. El diseño matemático, la selección de los materiales y el proceso de construcción, se realizó con base en las normas técnicas colombianas NTC 4368 y NTC 2461, evidenciando problemas para la construcción del conjunto de placas y conductos del colector, el tallado de la espuma de poliuretano por aumento de tiempo y costo finalmente se describe que el colector alcanza las condiciones de temperaturas requeridas y es medianamente eficiente requiriendo mayores ensayos para mejorar su eficiencia [3].



En el 2009 (Budihardjo y Morrison), el rendimiento de los calentadores de agua solares de tubo de vacío se evaluó mediante mediciones experimentales de las características ópticas, de pérdida de calor y un modelo de simulación de la circulación termosifón en tubos de un solo extremo. El rendimiento de los sistemas de colectores de tubos de vacío se comparó con los colectores solares de placas planas en un rango de ubicaciones encontrando que el rendimiento de un conjunto de tubos de vacío tubular típico de 30 tubos era ligeramente mayor que un conjunto de dos placas planas (3.7m<sup>2</sup>) [4].

Otros estudios comparativos de rendimiento como el de Runsheng, Yuqin y Wenfeng,G; (2011), se han realizado como el ensayo con dos juegos de calentadores de agua de tubo de vacío SWH idénticos en todos los aspectos, pero tenían ángulo de inclinación de colector diferente desde el horizonte uno inclinado a 22 (SWH-22) y el otro a 46 (SWH-46). Los resultados experimentales revelaron que el ángulo de inclinación de los colectores de SWHs no tuvo influencia significativa en la eliminación de calor de los tubos solares al tanque de almacenamiento de agua, ambos sistemas tuvieron casi la misma eficiencia diaria de conversión solar térmica, Tuvo un efecto insignificante sobre la eficiencia térmica diaria de los sistemas debido a la menor pérdida de calor del colector al aire ambiente. Estos hallazgos indicaron que, para maximizar la ganancia de calor anual de tales calentadores de agua solares, el colector debe estar inclinado en un ángulo de inclinación para maximizar su colección anual de radiación solar [5].

Hoy en día en Colombia se encuentran calentadores solares aplicables en proyectos medianos y grandes para la producción de agua caliente a bajo costo con diferentes capacidades, alta eficiencia, ángulo de inclinación ajustable, bajo costo inicial y más de quince años de producción plena de agua caliente, además de diferentes tipo como captadores solares tubos al vacío última generación con tubos de vacío de flujo directo, Heat-Pipe y calentadores solares de Placa Plana comercializados por empresas como Alta energía XXI y Ecoenergy renovables.

## **2.1 POTENCIA SOLAR**

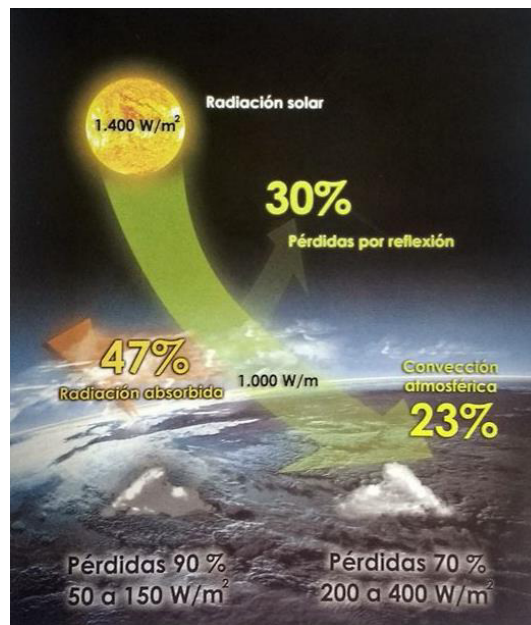
El sol es la estrella más próxima a la tierra, se encuentra a una distancia promedio de 150 millones de kilómetros y es su principal fuente primaria de luz y energía. La energía radiante del sol es prácticamente la generadora de casi todas las formas de energía que se conoce y que utilizamos como recursos primarios. Uno de los

fenómenos naturales de conversión de la energía solar es el que se conoce como proceso de la fotosíntesis, la cual proporcionó la biomasa que luego se transformó en los combustibles fósiles que hoy se usan ampliamente.

La radiación solar que recibe la tierra varía entre los 1300 y los 1400 W/m<sup>2</sup> aproximadamente. Estos valores pueden cambiar dependiendo de las condiciones climatológicas, que a su vez dependen de la ubicación geográfica (latitud y longitud) y del periodo del año.

El sol emite energía en forma de radiación de onda corta. De la radiación solar total recibida por la tierra, el 30% es reflejada al espacio exterior por las nubes, el 47% es absorbida por la atmósfera, mares y la tierra misma para mantener la temperatura ambiente, y el restante 23% se usa para mantener la convección atmosférica o vientos y el ciclo hidrológico (figura 1). La cantidad de radiación absorbida por la superficie es devuelta en dirección al espacio exterior en forma de radiación de onda larga, con lo cual se transmite calor a la atmósfera [6].

**Figura 1.** Distribución de las pérdidas de la radiación incidente



**Fuente:** Universidad Nacional de Colombia, CENTRO DE INNOVACION TECNOLÓGICA CON ENFASIS EN ENERGÍA SOLAR. 1 edición. Medellín, Colombia septiembre 2011.p 64,65,66.

## 2.2 COMPONENTES DE LA RADIACION SOLAR:

No toda la radiación solar que incide sobre la atmosfera llega hasta la superficie del planeta tierra; Al atravesar la atmosfera, la radiación solar va a ser transmitida, absorbida e incluso reflejada por el efecto del vapor de agua, las nubes, el ozono y los aerosoles que existen en las distintas capas de la atmosfera.

De estas complejas interacciones de la atmosfera terrestre con la radiación solar resultan una serie de fenómenos físicos los cuales se destacan los siguientes:

- **Reflexión:** Una parte de la radiación solar se refleja en la parte superior de las nubes (como un espejo)
- **Difusión:** El fenómeno que tiene lugar cuando las pequeñas partículas presentes en la atmosfera dispersan la radiación incidente procedente del sol en diferentes direcciones, de tal forma que una parte vuelve al espacio.
- **Absorción:** En contraste con la dispersión, la absorción resulta en una pérdida efectiva de energía en la atmósfera. La absorción se produce en longitudes de onda determinadas. El vapor de agua, el dióxido de carbono y el ozono son los principales elementos que absorben la radiación solar. [7].

## 2.3 TIPOS DE RADIACION SOLAR:

En función de cómo inciden los rayos en la Tierra se distinguen tres componentes de la radiación solar: (ver figura 2).

- **Radiación Solar Directa:** Es la radiación solar que recibe la Tierra sin sufrir ninguna dispersión atmosférica.
- **Radiación Solar Difusa:** Es la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra después de ser reflejada. No tiene una dirección privilegiada y se debe a la interacción de los distintos factores atmosféricos

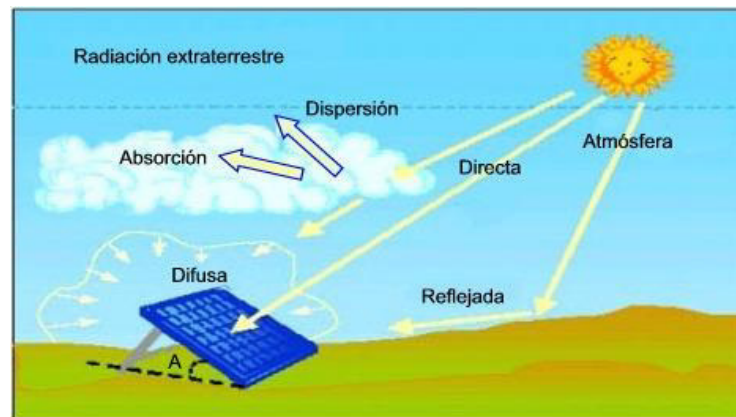
anteriormente citados (nubes, partículas de polvo, vapor de agua, moléculas de CO<sub>2</sub>, oxígeno, ozono, etc.).

- **Radiación Solar Reflejada:** Es la radiación solar que procede de la reflexión de la superficie terrestre (suelos, edificios, objetos etc.).

Aunque las tres componentes están presentes en la radiación total que recibe la Tierra, la radiación directa es la mayor y más importante en las aplicaciones de energía solar [8].

Cuando la radiación directa no puede incidir sobre una superficie debido a un obstáculo, el área de sombra también recibe radiación gracias a la radiación difusa.

**Figura 2.**Tipos de radiación solar



**Fuente:** <http://mba-negocios.blogspot.com.co/2010/09/que-es-la-radiacion-solar-tipos-de.html>

## 2.4 MEDICION DE LA RADIACION SOLAR

### 2.4.1 Instrumentos de medida.

La radiación solar posee un amplio espectro que se puede clasificar en tres rangos ultravioleta para longitudes de onda desde 0,3 a 0,4  $\mu\text{m}$ , visible desde 0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$  e infrarrojo en el intervalo de 0,7 a 5  $\mu\text{m}$ . Los instrumentos de radiación solar miden

la potencia incidente por unidad de superficie, integrando la energía de las diferentes longitudes de la onda.

Los diversos flujos de radiación inciden y se emiten en la superficie terrestre se miden con instrumentos de la Organización Mundial de Meteorología, OMM. Estos instrumentos se clasifican de acuerdo con el tipo de componente radiométrico que miden, el campo de visión, la respuesta espectral y el tipo de uso que se les asigne. En la Tabla 1, se muestran los principales tipos de instrumentos [9].

**Tabla 1.** Tipo de instrumentos de medida de la radiación solar

Tipo de Instrumento	Parámetro de Medida	Empleo Principal	Ángulo de Visión (sr)
Pirheliómetro absoluto	Radiación directa	Patrón primario	$5 \times 10^{-3}$
Pirheliómetro de incidencia normal	Radiación directa	i) Patrón secundario para calibración ii) Red de medidas	$5 \times 10^{-3}$ a $2.5 \times 10^{-2}$
Pirheliómetro (con filtros)	Radiación solar directa en bandas espectrales anchas	Red de medidas	$5 \times 10^{-3}$ a $2.5 \times 10^{-2}$
Fotómetro solar	Radiación solar directa en bandas espectrales estrechas	i) Patrón de calibración ii) Red de medidas	$1 \times 10^{-3}$ a $1 \times 10^{-2}$
Piranómetro	i) Radiación global, ii) Radiación celeste, iii) Radiación solar reflejada	i) Patrón secundario ii) Red de medidas	$2 \pi$
Piranómetro espectral	Radiación global en intervalos espectrales de banda ancha	Red de medidas	$2 \pi$
Pirgeómetro	Radiación de onda larga descendente y ascendente	Red de medidas	$2 \pi$

**Fuente:** Atlas de Radiación Solar en Colombia.

## 2.5 RADIACION SOLAR EN COLOMBIA

La evaluación del potencial solar de Colombia se ha realizado empleando principalmente información de estaciones meteorológicas del IDEAM (Instituto de Estudios Ambientales), procesada para ser transformada de información meteorológica en información energética. La energía solar se ha evaluado para varias regiones como la Costa Atlántica, la Sabana de Bogotá y para el país. Posteriormente, se publicaron varios estudios que complementaron la información sobre radiación solar en el país. El más reciente es el Atlas de Radiación Solar de Colombia [10].

El país está caracterizado por las regiones: Andina, Atlántica, Pacífica, Orinoquia y Amazonia. La intensidad de la radiación solar en la región Andina Colombiana muestra que las zonas de los valles del Cauca y Magdalena poseen el mayor potencial de esta región, y a medida que se asciende hacia las cimas de las cordilleras ese potencial va disminuyendo gradualmente, con excepción de algunos núcleos localizados en zonas llamadas altiplanos, allí se observa un potencial solar mayor comparado con el de las laderas.

En las regiones costeras: atlántica y pacífica, los resultados de la evaluación del recurso solar del país muestran en la región noreste de la costa atlántica (La Guajira) un potencial solar promedio diario entre 5,0 y 6,0 kWh/m<sup>2</sup>, el mayor del país. Este valor va disminuyendo gradualmente en dirección sur-oeste hacia la costa pacífica, se presenta el menor potencial solar del país, con valores menores de 3,5 kWh/m<sup>2</sup>, aunque posee una gran zona con valores entre 4,0 y 4,5 (ver figura 3).

Las regiones de la Orinoquia y Amazonia, que comprenden las planicies de los Llanos Orientales y zonas de las selvas colombianas, presentan una variación ascendente de la radiación solar en sentido suroeste-noreste, verificándose valores asimilables a los de La Guajira en el noreste (Puerto Carreño)

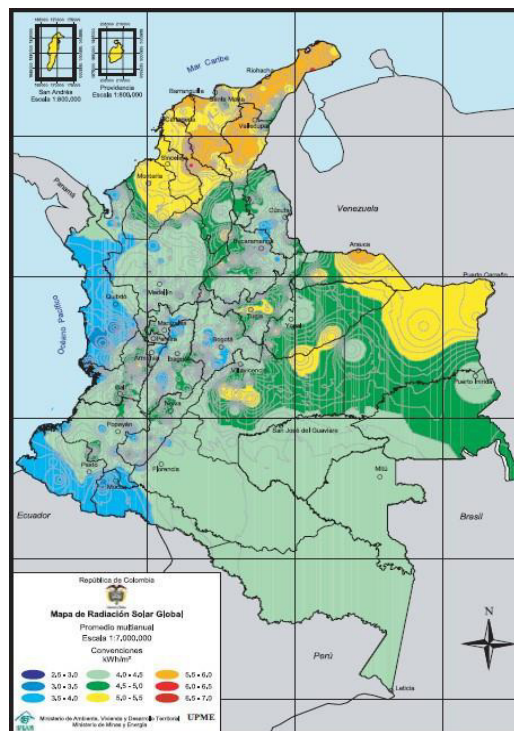
La siguiente tabla 2, ilustra los rangos de disponibilidad de energía solar promedio multianual por regiones:

**Tabla 2.** Rango anual de disponibilidad de energía solar por regiones.

REGION	KWH/M2/AÑO
Guajira	1.980 - 2.340
Costa Atlántica	1.260 - 2.340
Orinoquia	1.440 - 2.160
Amazonia	1.440 - 1.800
Región Andina	1.080 - 1.620
Región Pacífica	1.080 - 1.440

**Fuente:** IDEAM,2014

Estas fuentes disponibles de información de recurso solar indican que el país cuenta con una irradiación promedio de 4,5 kWh/m<sup>2</sup> /día, la cual supera el promedio mundial de 3,9 kWh/m<sup>2</sup> /d, y está muy por encima del promedio recibido en Alemania (3,0 kWh/m<sup>2</sup> /día) país que hace mayor uso de la energía solar fotovoltaica nivel mundial, con aproximadamente 36 GW de capacidad instalada a 2013 [11].

**Figura 3.** Mapa de radiación solar en Colombia, promedio multianual.

**Fuente:** Atlas de radiación solar en Colombia [12].

## **2.6 CALENTADORES DE AGUA.**

Existen diferentes tecnologías para los calentadores empleando fuentes de energía como el gas natural, el gas propano (GLP), el querosén, el carbón, y la electricidad. También se emplea la energía solar, las bombas de calor (compresor) de refrigeradores o de acondicionadores de aire y hasta energía geotérmica. En el caso de las aguas calentadas con energías alternativas o recicladas, éstas usualmente se combinan con energías tradicionales [13].

### **2.6.1 CALENTADOR EMPLEANDO GAS NATURAL**

Es un calentador de agua sin tanque y activado por flujo. Su virtud más relevante es que utiliza gas como medio de calentamiento. Este sistema le brinda básicamente cuatro ventajas sobre un calentador de tanque eléctrico como lo es ahorro de espacio, agua caliente instantánea, ilimitada y ahorro de electricidad. Los modelos a gas encienden una llama que calienta un intercambiador de calor por donde circula el agua y pueden alcanzar las 8 kcal/s. El calentador a gas calienta el agua que circula por dentro de él y por esta razón nunca se acaba el agua caliente, el usuario disfruta entonces de agua caliente ilimitada (BOSCH 2007) [14].

### **2.6.2 CALENTADOR EMPLEANDO ELECTRICIDAD**

Los modelos eléctricos están equipados con resistencias calentadoras de inmersión. Algunos modelos más avanzados se encuentran equipados con controles electrónicos de temperatura y caudalímetros, para así seleccionar la temperatura deseada. Pueden ser instalados en lugares cerrados ya que no requieren ventilación. Se trata de un tanque de agua con capacidades de 50-100 litros en cuyo interior una resistencia eléctrica se encarga de calentar el agua. Una vez alcanzada la temperatura, la resistencia se apaga y el aislamiento del tanque se encarga de que ésta no se enfríe demasiado rápido. Cuando la temperatura del agua baja, bien por el paso del tiempo o porque se usa el agua caliente y entra agua fría, la resistencia vuelve a entrar en funcionamiento. Su mayor carencia es la poca velocidad a la que es capaz de calentar el agua (HACEB 2009) [15].



## 2.7 CALENTADOR SOLAR

Los calentadores 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 calefacción o para climatización de piscinas. El calentador solar de agua es una alternativa para sustituir los calentadores tradicionales como el eléctrico y a gas, es una opción atractiva, que emplea bajas temperaturas y desde el punto de vista de ahorro energético, la fuente de calor es la radiación solar, la cual sustituye los combustibles fósiles ó la electricidad. El calentador solar está constituido por dos elementos principales: Colector, encargado de recibir y transformar la energía incidente durante el día y tanque de almacenamiento, aislado para el agua que ha sido calentada (Ajoever 2014) [16].

### 2.7.1 COMPONENTES DE UN CALENTADOR SOLAR

En la Figura 4, se muestra los principales componentes de un calentador solar de tubos al vacío.

**Figura 4.**Componentes de un calentador solar de tubos al vacío.



**Fuente:** <https://i1.wp.com/www.aerosolarmexico.com/wp-content/uploads/2015/10/calentador-solar-componentes.jpg?fit=400%2C362>

- **interior:** Fabricado en acero inoxidable su principal función almacenar el agua caliente.
- **Aislamiento:** Espuma de poliuretano inyectado de 50mm de espesor, la cual nos permite mantener el agua caliente durante la noche.
- **Tanque exterior:** Fabricado en aluminio de 1.9mm de espesor
- **Anillos de silicón:** Sirven de empaque y sujeción de los tubos evacuados al termo tanque.
- **Base:** Estructura fabricada en acero galvanizado, su principal función es darle inclinación necesaria al colector para obtener el calentamiento por termosifón.

## 2.8 TUBO DE VIDRIO AL VACIO

Los tubos de vidrio al vacío son el mecanismo de calentamiento de los calentadores solares. Es la parte del equipo que transforma la energía solar en calor útil, y es a través de ellos que al agua se calienta. Los tubos al vacío se fabrican a partir de dos tubos de vidrio concéntricos.

**Figura 5.** Tubo de vidrio al vacío



**Fuente:** <http://www.aerosolarmexico.com/productos-aerosolar-mexico/como-funcionan-los-calentadores-solares-de-agua/>

El tubo exterior esta hecho de borosilicato transparente (ver figura 5), de alta resistencia capaz de resistir el impacto de un granizo de hasta 2.5 cm. de diámetro. El tubo interior está también hecho de vidrio de borosilicato, pero este está recubierto con nitrato de aluminio que tiene una excelente absorción del calor solar y mínimas propiedades de reflexión. Durante la fabricación del tubo, el aire existente en el espacio intermedio entre los dos tubos es extraído para formar un vacío, el cual elimina las pérdidas de calor por conducción y convección, creado un excelente aislamiento térmico, a continuación, se puede ver en la tabla 3, la especificación del tubo de vidrio al vacío [17].

**Tabla 3.**Especificaciones tubo de vidrio al vacío.

<b>TUBO CAPTADOR DE CALOR</b>		
Características	Tipo selectivo absorción al vacío	Doble capa concéntrico - vacío intermedio
	Material	Vidrio Borosilicato
	longitud del tubo exterior	1850mm
	Diámetro Exterior	58mm
	Diámetro Interior	Ø 47mm (±0.1mm)
	Espesor	Ø1.6mm (±0.1mm)
	Vacío	$P \leq 5 \cdot 10^{-3}$ Pa
	Coeficiente de perdida de calor Promedio	$\leq 0.63 \text{W}/(\text{m}^2\text{°C})$
Resistencia	Granizo	Hasta Ø ≤ 25 mm
Absorbedor	Capa selectiva de absorción	Al-N/Al

**Fuente:** <http://www.ajover.co/wp-content/uploads/2016/08/FICHA-CALENTADOR-SOLAR-BAJO-PRESION-Baja.pdf>

## 2.9 TIPOS DE CALENTADORES SOLARES.

Un calentador solar convierte la energía de irradiación solar ya sea a energía térmica del fluido de trabajo en aplicaciones térmicas solares o a energía eléctrica directamente en aplicaciones fotovoltaicas. Para aplicaciones térmicas solares, la irradiación solar es absorbida por un colector solar como calor que luego se transfiere a su fluido de trabajo (aire, agua o aceite). El calor transportado por el fluido de trabajo puede utilizarse para suministrar agua caliente / calefacción, o para

cargar un tanque de almacenamiento de energía térmica desde el cual se puede extraer el calor para usarlo más tarde (por la noche o días nublados) (Tian y Zhao 2013) [18].

Los colectores solares suelen clasificarse en dos categorías según las relaciones de concentración: colectores no concentradores y colectores concentradores. Un colector no concentrador tiene la misma área de interceptación que su área de absorción, mientras que un colector solar concentrador de seguimiento solar tiene normalmente superficies reflectoras cóncavas para interceptar y enfocar la irradiación solar a un área de recepción mucho más pequeña, dando como resultado un flujo de calor. El ciclo termodinámico puede lograr una mayor eficiencia cuando se trabaja bajo temperaturas más altas.

## **2.9.1 COLECTORES NO CONCENTRADOS**

### **2.9.1.1 Colectores solares de placas planas con cubierta y sin cubierta**

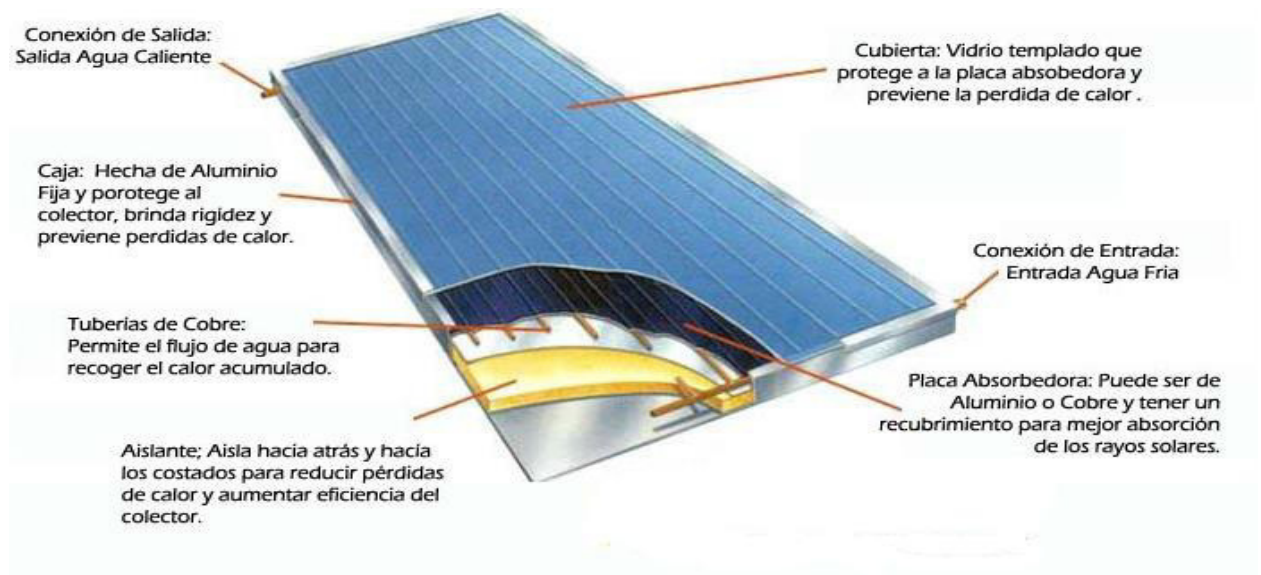
Los colectores solares de placas planas suelen fijarse permanentemente en su posición, por lo que deben orientarse adecuadamente. Un colector solar de placa plana típico consiste generalmente en cubiertas de acristalamiento, placas de absorción, capas de aislamiento, tubos de recuperación (llenos de fluidos de transferencia de calor) y otros auxiliares. El acristalamiento está hecho de hojas simples o múltiples de vidrio u otros materiales con alta transmisividad de radiación de onda corta y baja transmisividad de radiación de onda larga. No sólo reduce las pérdidas por convección de la placa absorbente, sino que también reduce las pérdidas de irradiación del colector debido al efecto invernadero. El vidrio bajo en hierro se considera un material de acristalamiento deseable debido a su transmitancia relativamente alta para la radiación solar (aproximadamente 0,85-0,87) y una transmitancia esencialmente cero para la radiación térmica de onda larga (5,0  $\mu\text{m}$  - 50  $\mu\text{m}$ ) (Khoukhi y Maruyama 2005) [19].

Este tipo de colectores, calientan el fluido que circula a una temperatura considerablemente inferior a la del punto de ebullición del agua y son los más adecuados para aplicaciones donde la demanda de temperatura es de 30-70 °C. Son los más utilizados para calentar agua en sistemas domésticos y comerciales y en piscinas cubiertas.

Un colector de placa plana con cubierta como se muestra en la figura 6, incluye un absorbedor, una cubierta transparente, un marco, y aislación. La cubierta transparente transmite una gran cantidad de la luz de onda corta del espectro solar produciendo un efecto invernadero. Además, la cubierta transparente evita que el viento y las brisas se lleven el calor colectado (convección). Junto con el marco, la cubierta protege el absorbedor de las condiciones meteorológicas adversas. Estos colectores demostraron poseer una muy buena relación precio/calidad y tienen una amplia gama de posibilidades para su montaje (en el techo, como parte del techo, o solos).

Un colector de placa plana sin cubierta consiste en un absorbedor, pero carece de la cubierta transparente. No incluyen ningún aislamiento adicional, de manera que la ganancia de temperatura queda limitada a unos 20 °C sobre la del aire del ambiente, son los más adecuados para aplicaciones de baja temperatura. Dado que estos colectores no tienen cubierta, una gran parte de la energía solar absorbida se pierde principalmente por convección [20].

**Figura 6.**Esquema del colector de placa plana.



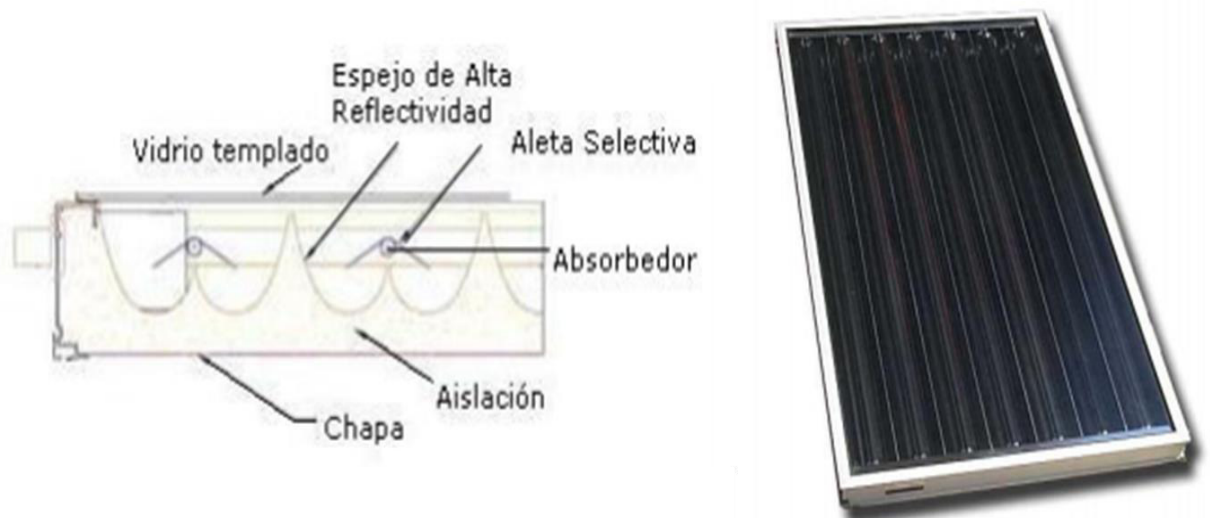
**Fuente:** Enerwork, 2017.

## 2.9.2 COLECTORES CONCENTRADOS

### 2.9.2.1 Colectores de platos parabólicos

El colector de platos parabólicos mostrado en la figura 7, utiliza una matriz de espejos parabólicos en forma de plato (de forma similar a una antena parabólica) para enfocar la energía solar en un receptor situado en el punto focal común de los espejos del plato. El fluido de transferencia de calor contenido en el receptor se calienta a temperaturas y presiones de trabajo deseables para generar electricidad en un pequeño motor conectado al receptor. Varios prototipos de motores de plato-motor, que van desde 7 kW a 25 kW se han desplegado en varios lugares en los EE.UU y estos sistemas parabólicos del plato-motor tienen ventajas como alto rendimiento óptico, bajas pérdidas de puesta en marcha y buena modularidad que se pueden escalar fácilmente para cubrir las necesidades de la energía en área remota, donde la fuente de alimentación centralizada es demasiado costosa (Sakhrieh y Al-Ghandoor 2013) [21].

**Figura 7.** Esquema de colector de platos parabólicos.



**Fuente:** INENCO, 2010.

### 2.9.2.2 Colectores de tubos al vacío.

Los colectores de tubos al vacío (o evacuados) contienen un absorbedor (generalmente una plancha de metal con tratamiento selectivo o de color negro), el cual recoge la energía solar y la transfiere a un fluido portador (calor-portador). Gracias a las propiedades aislantes del vacío, las pérdidas de calor son reducidas y pueden alcanzarse temperaturas en el rango de 77 °C a 177 °C. De esta manera, este tipo de colectores resultan particularmente apropiados para aplicaciones de alta temperatura. Por su forma cilíndrica, aprovechan la radiación de manera más efectiva 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 planos, pero son bastante caros, por unidad de superficie suelen costar aproximadamente el doble que un colector de placa plana (Placco, Saravia y Cadena 2014). El colector de tubos de vacío se muestra en la figura 8. [20].

**Figura 8.**Colector de tubo de vacío.



**Fuente:** Network, 2017.

Los calentadores solares de agua trabajan bajo el principio de termosifón. El agua fría que entra al sistema se almacena en el interior del termotanque y desciende a través de los tubos de vacío que se encuentran calientes por la radiación del sol elevándose la temperatura del agua haciéndola menos densa, este diferencial de

densidades entre el agua fría y el agua caliente hace que el agua caliente ascienda en dirección al tanque y se desplace a la parte superior del mismo. Los tubos captadores de calor están compuestos por 2 tubos concéntricos, uno interior y uno exterior. El tubo interior almacena el agua que entra al sistema y el otro transforma la energía solar en calorífica. Estos calentadores trabajan por gravedad donde el agua es controlada mediante una válvula flotadora que se ubica en el tanque auxiliar de llenado, tanque que ha sido desarrollado para suministrar agua fría despresurizada al calentador solar, esta válvula se cierra cuando el agua dentro del sistema alcanza su nivel máximo y se abre cuando el nivel de agua baja, permitiendo que el sistema esté en un continuo ciclo de llenado, de vaciado y de calentamiento automático. El agua caliente es almacenada en el sistema y sale del mismo por gravedad mediante una tubería de conducción hacia los puntos de suministro (Morrison y Budihardjo 2004). [2].

### **3. Tipos de colectores tubulares de vacío**

Existen dos tipos de colectores tubulares de vacío, según sea el método empleado para el intercambio de calor entre la placa y el fluido calor-transportador:

#### **3.1 De flujo directo**

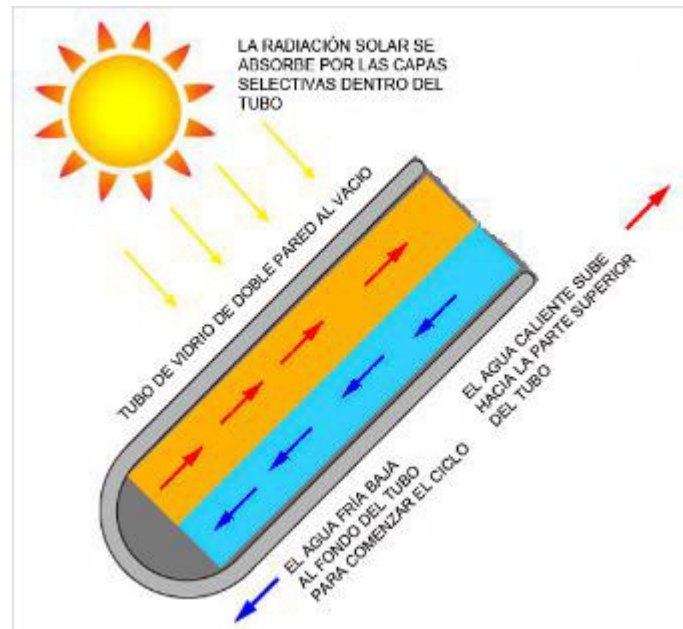
En este caso dentro de los tubos de vidrio hay una aleta de aluminio conectada a un tubo de metal casi siempre cobre, aunque a veces de vidrio. Esta aleta contiene un recubrimiento selectivo absorbedor de la radiación solar que inhibe la pérdida de calor. Los colectores de tubos de vacío de corriente directa varían de acuerdo con el tipo de tubería utilizada (Zhiyong y Chao 2010) y se muestra en la figura 9.

Unos utilizan un único tubo de vidrio llamados de fluido concéntrico de entrada y salida y dentro de ese tubo está la aleta permitiendo que las tuberías roten y obtengan el ángulo de inclinación adecuado.

Otro sistema utiliza tuberías de entrada y salida separadas, este es el tipo tradicional de colectores de tubos de vacío. El absorbedor puede ser plano o curvo. Finalmente, también se emplean dos tubos de vidrio fundidos en un extremo, aunque no son tan eficientes como los otros sistemas son más baratos y tienden a ser más confiables [22].



**Figura 9.**Colector tubular de vacío de flujo directo.

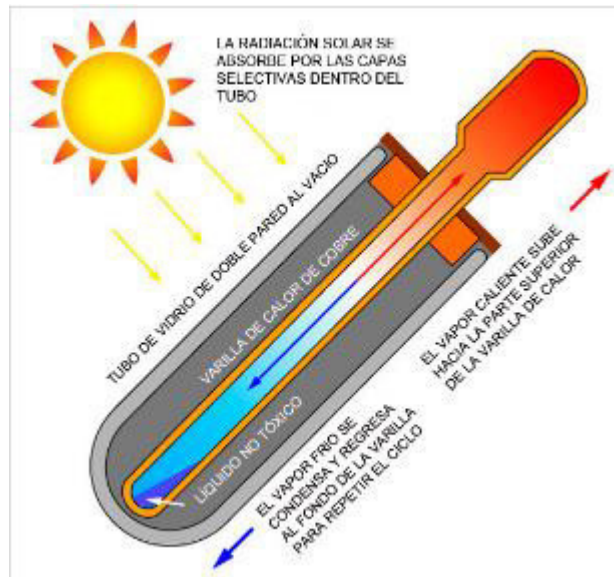


**Fuente:** Enerwork, 2016.

### 3.2 Con Tubo de Calor (Heat Pipe)

En este sistema los tubos de vacío llevan un fluido vaporizante que no puede salir del interior del tubo y que funciona como calor-portador como se muestra en la figura 10. 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. Los tubos de calor son considerados como los superconductores del calor, debido a su muy baja capacidad calorífica y a su excepcional conductividad (miles de veces superior a la del mejor conductor sólido del mismo tamaño). El uso del tubo de calor está muy extendido en la industria y, basándose en este principio de funcionamiento se fabrican los actuales colectores de vacío con tubo de calor [23].

**Figura 10.**Colector tubular de vacío de Tubo de calor.



**Fuente:** Enerwork, 2016.

En la tabla 4 se muestran valores típicos de los parámetros característicos eficiencia óptica ( $\eta_0$ ) y coeficiente global de pérdidas ( $U_L$ ) y rango normal de temperaturas de trabajo para distintos tipos de colectores:

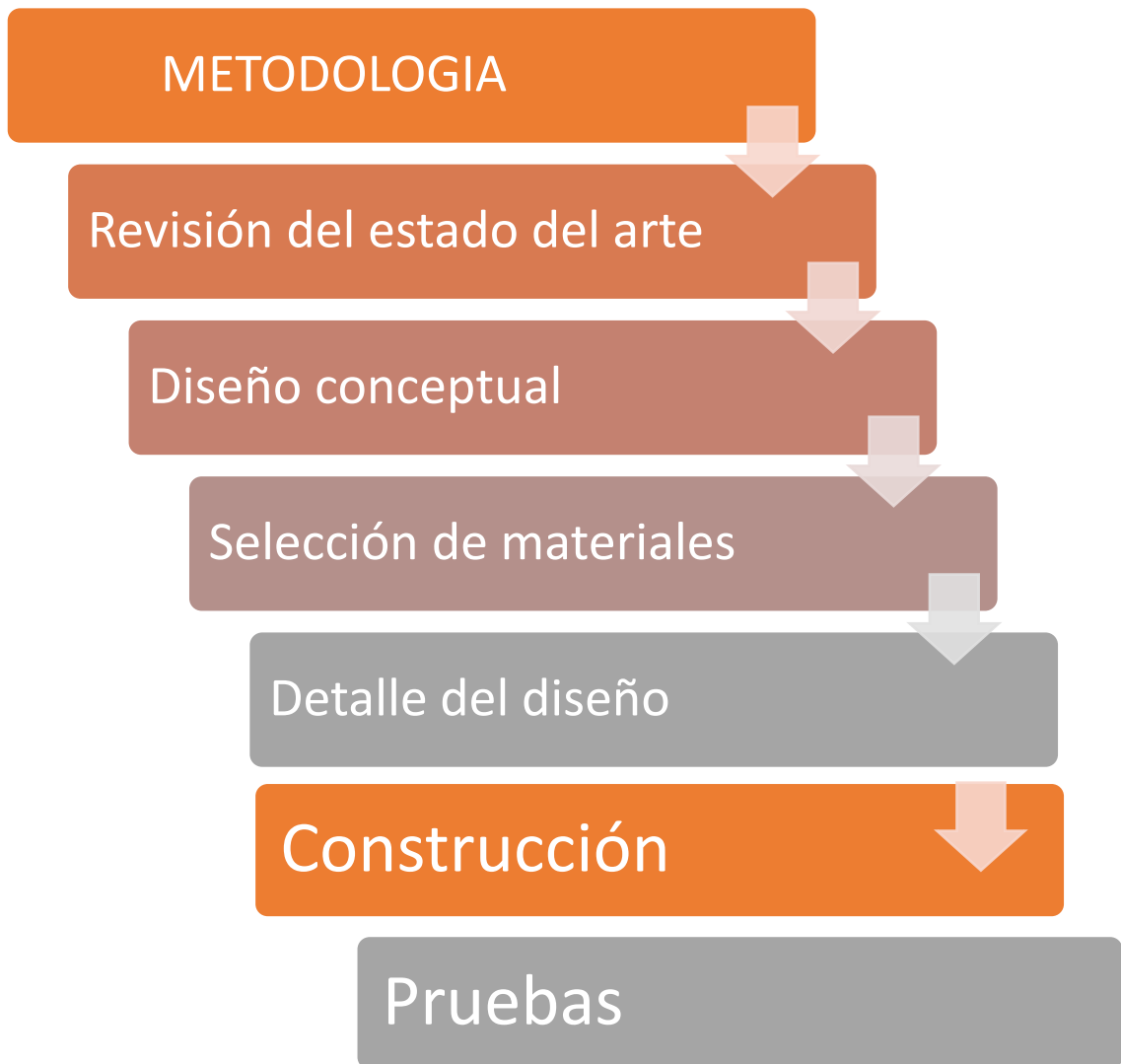
**Tabla 4.**Parámetros característicos de los distintos tipos de colectores solares.

Tipo de Colector	Factor de Conversión ( $\eta_0$ )	Factor de Pérdidas Térmicas $U_L$ (W/m <sup>2</sup> °C)	Rango de Temperatura (°C)
Sin Cubierta	0.9	15-25	10 - 40
Cubierta Simple	0.8	7	10 - 60
Cubierta Doble	0.65	5	10 - 80
Superficie Selectiva	0.8	5	10 - 80
Tubos de Vacío	0.7	2	10 -130

**Fuente:** CENSOLAR (Centro de Estudios de la Energía Solar).

#### 4. METODOLOGÍA.

Se describe como fue el diseño, la construcción y los materiales que se emplearon para la repotenciación del calentador de agua alimentado por energía solar, el cual opera por el principio físico de circulación natural o llamado Termosifón.



#### 4.1 REVISION DEL ESTADO DEL ARTE

Se extrae la información inicialmente de fuentes escritas, como documentos de investigación, libros, artículos, páginas web, y demás bibliografía necesaria para la delimitación conceptual del trabajo y de la observación directa sobre colector de agua del asilo, objeto el proyecto.

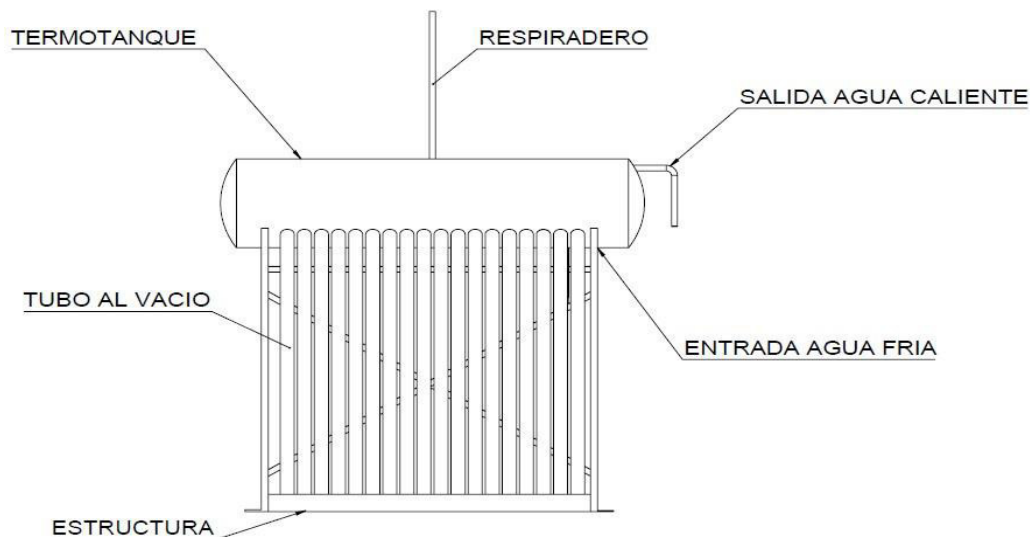
Se hace la respectiva investigación sobre su historia, el aprovechamiento de la energía solar, así como su funcionamiento y sus diferentes tipos de derivaciones de usos para el calentamiento de agua y finalmente los equipos de mediciones para las respectivas pruebas.

#### 4.2 DISEÑO CONCEPTUAL

Teniendo en cuenta el diseño original y conservando su plano estructural, se procede realizar y establecer los criterios para el diseño de la repotenciación del sistema (ver figura 11), para así poder aumentar la capacidad de 150 litros a una capacidad de 200 litros, manteniendo la eficiencia del sistema.

#### Esquema

**Figura 11.**Esquema general del calentador solar.



**Fuente:** Autor

#### 4.2.1 AUMENTO DE LA CAPACIDAD DEL TANQUE.

Teniendo en cuenta las especificaciones del tanque anterior (ver tabla 5), el cual tenía una capacidad de almacenamiento de 150 Litros se hizo los cálculos necesarios para aumentar su capacidad a 200 Litros como se puede observar en los cálculos realizados con las especificaciones de la tabla 6.

**Tabla 5.**Especificaciones calentador solar de 150 litros.

TANQUE 150 LITROS	
Diámetro	$\varnothing = 36\text{cm}$
Radio	$r = 18\text{cm}$
Altura	$h = 150\text{cm}$

**Fuente:** Autor

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = \pi * (0.18\text{m})^2 * 1.50\text{m}$$

$$V = 0.15268 \text{ m}^3$$

$$1\text{m}^3 \longrightarrow 1000 \text{ litros}$$

$$V = 0.15268 \text{ m}^3 * \frac{1000 \text{ litros}}{1 \text{ m}^3}$$

$$V = 152.68 \text{ litros}$$

**Tabla 6.** Especificaciones calentador solar de 200 litros.

TANQUE 200 LITROS	
Díámetro	$\varnothing = 36\text{cm}$
Radio	$r = 18\text{cm}$
Altura	$h = 197\text{cm}$

**Fuente:** Autor

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = \pi * (0.18\text{m})^2 * 1.97\text{m}$$

$$V = 0.20052 \text{ m}^3$$

$$1\text{m}^3 \longrightarrow 1000 \text{ litros}$$

$$V = 0.20052 \text{ m}^3 * \frac{1000 \text{ litros}}{1 \text{ m}^3}$$

$$V = 200.52 \text{ litros}$$

#### 4.2.2 CALCULO DE LA PRESION INTERNA.

Debido al funcionamiento del calentador solar de agua de tubos al vacío, el tanque va a estar sometido a una presión determinada en las paredes del tanque interno como se observa en la figura 12. Por lo cual es necesario calcular la presión para así poder hacer la selección del material a usar, que garantice su resistencia a dicha presión. (ver tabla 7).

**Tabla 7.** Especificaciones para cálculo de la presión.

DATOS	
Densidad del agua	$d = 1000 \frac{kg}{m^3}$
Gravedad	$g = 9,8 \frac{m}{s^2}$
Altura	$h = 6 \text{ m}$

**Fuente:** Autor

$$P = d * g * h$$

$$P = \left(1000 \frac{kg}{m^3}\right) * \left(9,8 \frac{m}{s^2}\right) * 6m$$

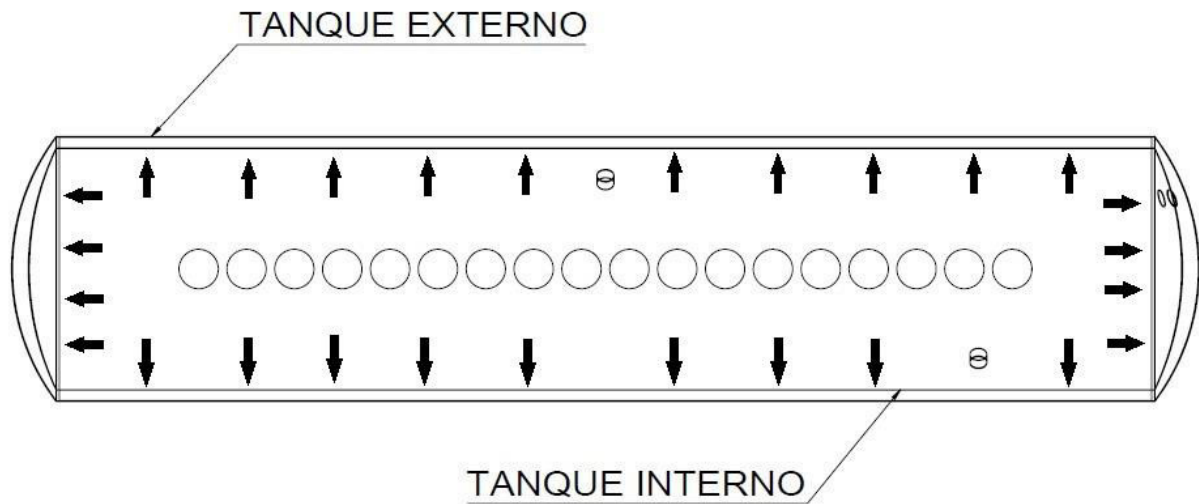
$$P = 58800 \frac{N}{m^2}$$

$$1 \frac{N}{m^2} \longrightarrow 0.000145038 \text{ psi}$$

$$P = 58800 \frac{N}{m^2} * \frac{0.000145038 \text{ psi}}{1 \frac{N}{m^2}}$$

$$P = 8.5282 \text{ psi}$$

**Figura 12.** Presión interna del termotanque.



**Fuente:** Autor.

### 4.3 SELECCIÓN DE MATERIALES

Partiendo del funcionamiento del sistema de calentador de agua de tubos al vacío y teniendo en cuenta las condiciones en las cuales va a ser instalado “a la intemperie” se procede hacer la selección de los materiales para la construcción del nuevo tanque de almacenamiento de agua

#### 4.3.1 Tanque Interno

Se tienen en cuenta diferentes criterios para poder realizar la selección del material que va a ser usado para el tanque interno, el cual va a contener el agua caliente que va a ser usada ya sea para uso sanitario o culinario, se debe garantizar una buena higiene del agua almacenada en su interior.

Tomando los diferentes factores, se hace la selección del material para el tanque interno, el cual será Acero Inoxidable 304 calibre 1/8 (ver tabla 8), ya que es un material que cumple las siguientes características:



- **Higiene:** Como el acero inoxidable no tiene una superficie porosa, no alberga gérmenes ni bacterias como el plástico o madera. Son muy fáciles de limpiar el cual se podrá emplear productos de limpieza tradicional (detergentes, jabón en polvo) y no dañaran la superficie.
- **Resistencia a la corrosión:** El acero inoxidable está protegido por una capa pasiva de óxido de cromo el cual actúa como recubrimiento, en este caso cuando el acero inoxidable interactúa con el aire y con el agua no sufre ningún cambio, pues permanece inalterable.
- **Resistencia a altas temperaturas:** en comparación con otros metales, el acero inoxidable presenta una alta resistencia a temperaturas elevadas, gracias a composición física y sus propiedades mecánicas.

**Tabla 8.**Propiedades mecánicas para el acero inoxidable 304.

<b>PROPIEDADES MECANICAS</b>			
<b>304</b>	Resistencia ultima a la tensión, min.	75000 psi	
	Fuerza de rendimiento, min.	30000 psi	
	Porcentaje de Elongación en 2 in. ó 51 mm,	40%	
	Dureza, Max	Brinell	201
		Rockwell	92

**Fuente:** ASTM A240 [24].

### 4.3.2 Aislamiento Térmico

Para conservar la energía solar que logramos acumular y mantener la temperatura obtenida en el colector, el sistema de cañerías y el tanque de almacenamiento debemos utilizar materiales aislantes que ayuden a evitar las pérdidas de calor. Estos materiales nos permiten mejorar la eficiencia del sistema. Los materiales más aislantes son aquellos que contienen más aire retenido en pequeños recintos (poliestireno expandido, poliuretano, lana de vidrio, lana de oveja, paja, virutas y corcho natural, entre otros).

Por lo cual el material que seleccionamos como aislante térmico fue el Poliuretano debido a su baja conductividad térmica (0,024 W/m·K). ver tabla 9.

**Tabla 9.** Conductividad térmica de diferentes materiales.

Material	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Conductividad térmica (W/m·K)
Chapa de Aluminio	2.700	2,04
Hormigón	2.400	1,63
Vidrio plano	2.500	0,81
Ladrillo macizo	1.600	0,81
Tejas (plana)	1.800	0,76
Yeso (placas)	1.000	0,44
Hormigón liviano	1.000	0,36
Nieve compactada	300	0,23
Madera (pino)	700	0,17
Lana de vidrio	11	0,041
Lana de vidrio	15	0,038
Lana de vidrio	35	0,038
Lana de vidrio	50	0,032
Lana de vidrio	70	0,031

Lana de vidrio	100	0,032
Poliuretano proyectado	30	0,024

**Fuente:** Norma IRAM 11601. (Argentina)

### 4.3.3 Tanque externo

Se utilizó Lamina de Aluminio (A50065L - 1 metro x 2 mts cal. 1.9 mm), puesto que para la construcción del tanque exterior se tuvieron en cuenta diferentes factores para hacer la selección del material a usar, el cual la lámina de aluminio se ajustaba mejor ya que cumplía con diferentes factores, como las condiciones climáticas a la que va ser sometido, ya que esta la lámina de aluminio tiene como características principales su excelente resistencia a la corrosión y ser extremadamente dúctil, así como su bajo costo para su adquisición y proporciona menos peso para su construcción y ensamble.

## 4.4 DETALLE DEL DISEÑO

Teniendo las especificaciones del diseño principal, con sus respectivos materiales a utilizar como se puede ver en la tabla 10, se realizó el diseño de todo el sistema en SolidWorks (ver figura 13), así como el detalle del tanque principal de almacenamiento de agua (ver figura 14 y 15), con su respectiva tabla con las especificaciones del termotanque (ver tabla 11), el cual fue aumentada su capacidad.

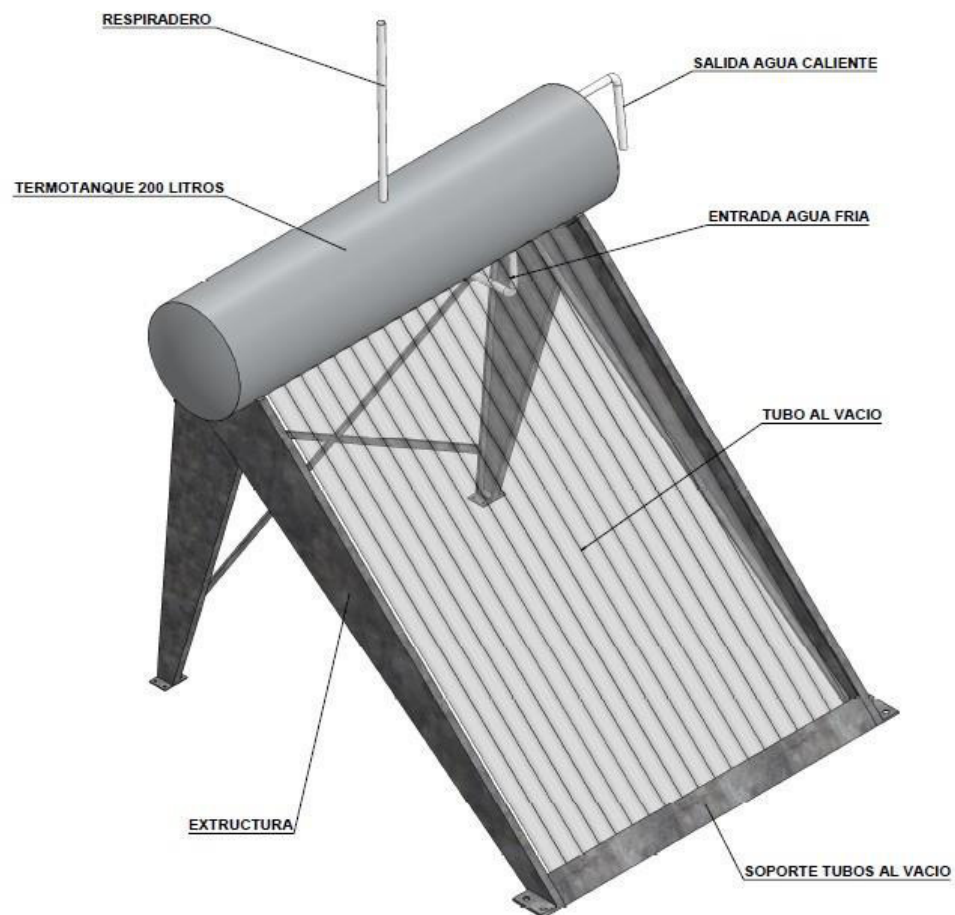
**Tabla 10.** Materiales del calentador solar.

<b>TABLA DE MATERIALES</b>			
<b>N.º DE ELEMENTO</b>	<b>NOMBRE DE PIEZA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>
1	Tanque interno	Lamina Acero Inoxidable (304) cal. 1/8	1
2	Tanque externo	Lamina de Aluminio (A50065L) cal. 1.9 mm	1
3	Aislamiento térmico	Poliuretano Inyectado	1

4	Tapa interna abombada	Lamina Acero Inoxidable (304) cal. 1/8	2
5	Tapa externa abombada	Lamina de Aluminio (A50065L) cal. 1.9 mm	2
6	Estructura Soporte	Acero Galvanizado Pintado	1
7	Tubo al vacío	Vidrio Borosilicato	18

**Fuente:** Autor

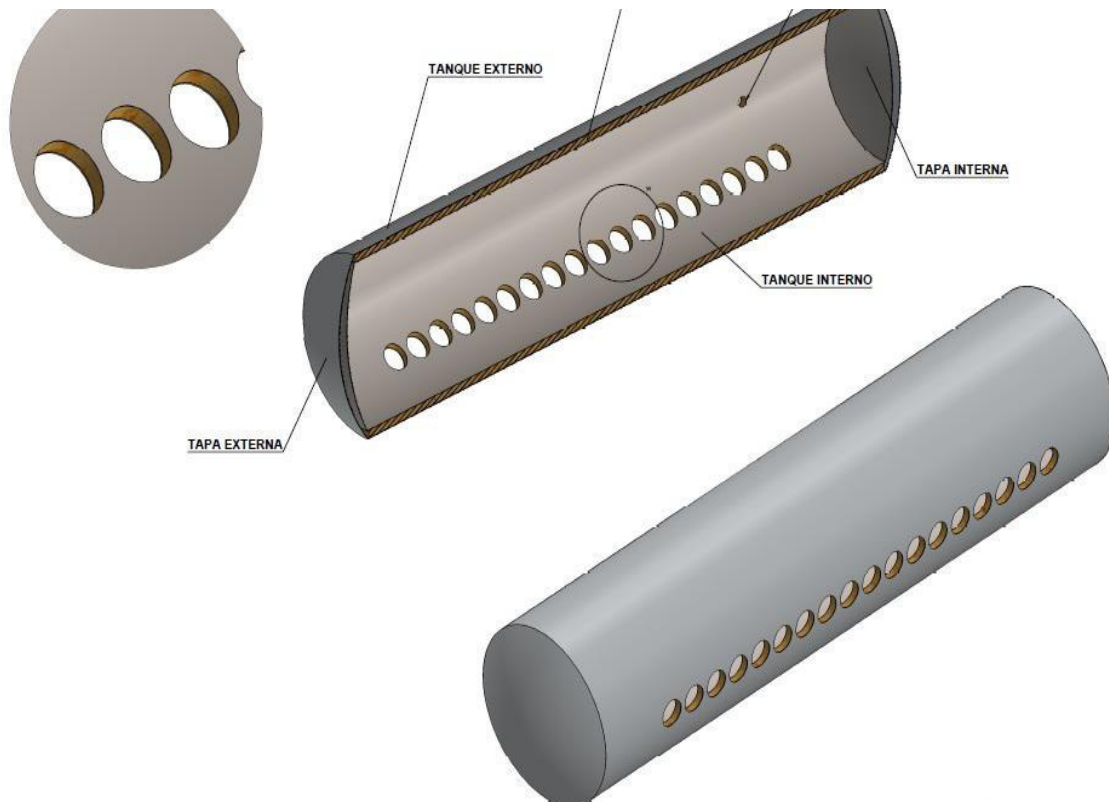
**Figura 13.** Calentador solar SolidWorks.



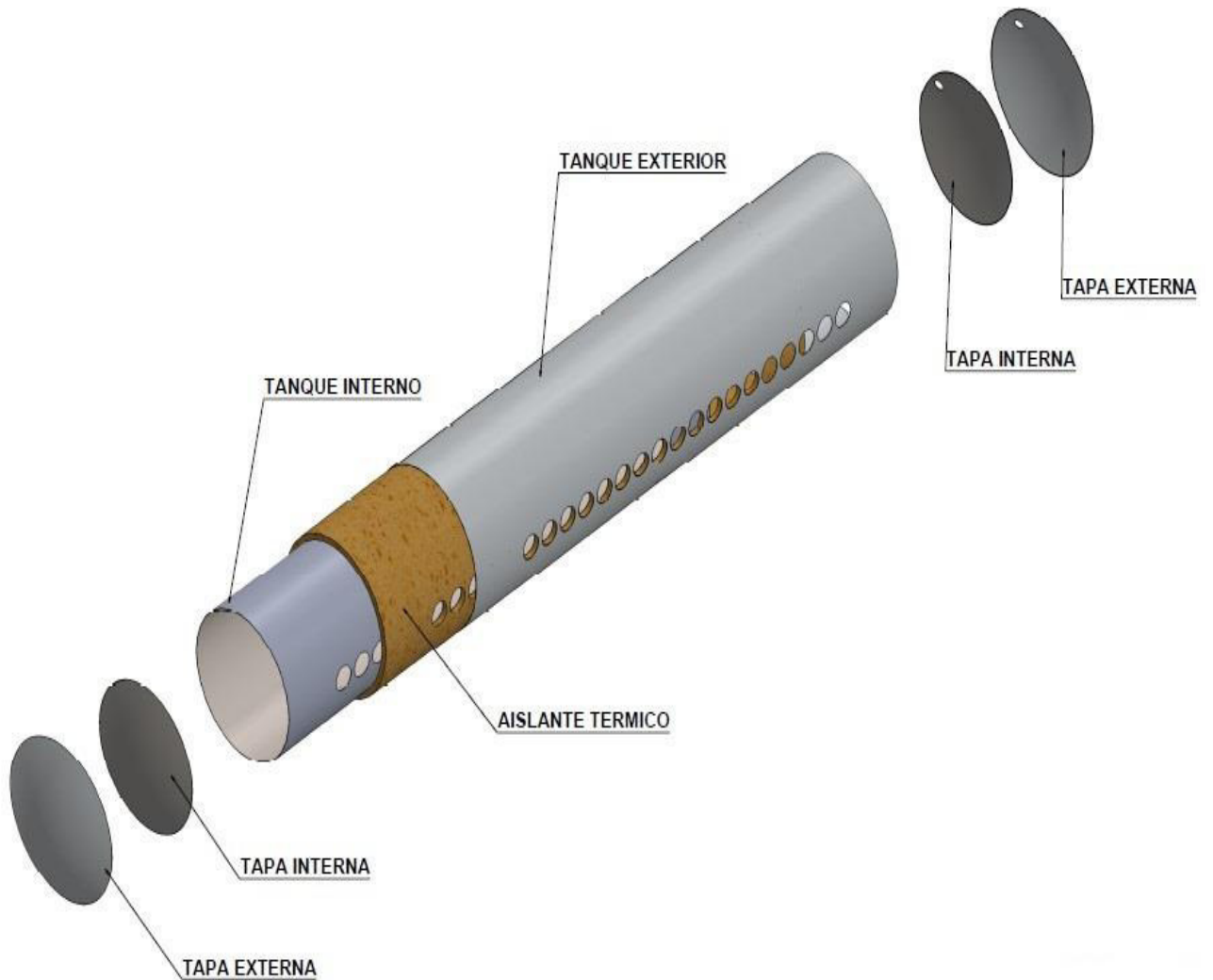
**Fuente:** Autor

**Tabla 11.** Especificaciones Termotanque.

<b>TANQUE PRINCIPAL</b>		
Material Tanque Externo	Lamina de Aluminio (A50065L)	e=1,9mm
Material Tanque Interno	Lamina Acero Inoxidable (304)	e=1/8"
Aislante Térmico	Poliuretano Inyectado	e=50mm
Diámetro Tanque Externo	460 mm	
Diámetro Tanque Interno	360 mm	
Diámetro Tubería Entrada y Salida	3/4"	

**Fuente:** Autor**Figura 14.** Detalle termotanque de 200 litros**Fuente:** Autor

**Figura 15.**Detalle termotanque.



**Fuente:** Autor

#### 4.5 CONSTRUCCIÓN

- Partiendo inicialmente de los objetivos de este proyecto de grado la repotenciación del calentador solar de agua de tubos al vacío del asilo el Señor de los Milagros San Juan de Girón, se procede a realizar el desmontaje del sistema como se puede observar en la figura 16 para ser trasladado para la iniciación del proyecto.

**Figura 16.**Desmontaje calentador solar de agua de tubos al vacío



**Fuente:** Autor

- Se realizo la inspección del termo tanque para su respectiva toma de medidas y analizar su funcionalidad y revisar el estado en el cual se encuentra, como se puede observar en la figura 17.

**Figura 17.**Estado del termo tanque.



**Fuente:** Autor.

- Se reviso el estado del tanque interior, el cual está en mal estado producto de una mala instalación el cual produjo vacío y afectó su estructura cilíndrica del tanque como se puede ver en la ver figura 18, adicional se tomaron medidas exactas de los agujeros para poder realizar el nuevo tanque interno sin perder su simetría con la estructura.

**Figura 18.**Tanque interno afectado



**Fuente:** Autor

- Teniendo en cuenta el detalle del diseño (ver figura 14), se procedió a llevar la Lámina de Acero Inoxidable calibre 1/8 junto con la Lámina de Aluminio (A50065L - 1 metro x 2 mts cal. 1.9 mm) para el proceso de troquelado de los agujeros y para enrollar las láminas a el diámetro específico como se puede ver en la figura 19.



**Figura 19.**Troquelado y rolado de lámina del tanque interno.



**Fuente:** Autor

- Teniendo ya el diámetro de los tanques interno y externo se realizó el corte exacto para las tapas de cada tanque, se llevó para hacer el respectivo proceso de abombado de las tapas como se observa en la figura 20.

**Figura 20.**Tapa abombada



**Fuente:** Autor

- Teniendo ya las tapas y el tanque interno a la medida, se realizó el proceso de soldadura partiendo inicialmente por un punteado de las partes, para luego así poder completar todo el proceso de soldadura uniendo totalmente las tapas con el tanque como se puede observar en la figura 21.

**Figura 21.**Cordón de soldadura Tapa- Tanque interno.



**Fuente:** Autor

- Tomando el diseño del tanque de almacenamiento de agua el cual se va remplazar, se mantienen los mismos diámetros de entrada y salida del agua, por lo que se procedió a ubicar y abrir cada agujero utilizando corte con plasma, así mismo se compraron uniones roscadas en acero inoxidable 304 con diámetro 3/4", para ser instaladas en el nuevo tanque como se observa en la figura 22.

**Figura 22.**Entrada de agua.



**Fuente:** Autor

- De acuerdo con la funcionalidad de los anillos de silicón, hay que tener en cuenta que es un elemento importante del calentador solar, puesto que sirven de empaque y sujeción de los tubos y su correcta instalación no permite que queden fugas de agua en el termotanque. En este paso se utilizó silicona para poder adherir los anillos del silicón a cada agujero del tanque (ver figura 23), así mismo ayudar a su función y no permitir fugas a la hora de su instalación.

**Figura 23.** Instalación de los anillos de silicón.



**Fuente:** Autor

- Después de tener los 2 tanques, interno y externo se realizó el centrado entre ellos soldando a cada extremo del tanque interno 3 salientes cada una de 5cm como se observa en la figura 24, el cual va a ser el espesor del aislante térmico, seguidamente se consiguió un tubo de PVC de 2 pulgadas que fue ajustado al diámetro de los agujeros del tanque interno ayudando al centrado del tanque como se puede ver en la figura 25, para así poder realizar el inyectado del aislante térmico.

**Figura 24.**Centrado de los tanques.



**Fuente:** Autor.

**Figura 25.**Colocación tubos de PVC para el centrado de los tanques.



**Fuente:** Autor

- Para poder aplicar la capa de aislante termico, se soldo por un extremo del tanque externo la tapa como se observa en la figura 26, para asi poder hacer el inyectado poniendo verticalmente los tanques, luego se preparo el aislante termico (Poliuretano) y fue aplicado por partes hasta completar el llenado total del tanque obteniendo como resultado lo que se puede observar en la figura 27.

**Figura 26.**Tapa tanque externo.



**Fuente:** Autor

**Figura 27.** Aíslate térmico aplicado.



**Fuente:** Autor.

- Ya una vez terminado el llenado del aislante térmico se retiró los excesos del mismo y fue retirado los tubos de PVC como se observa en la figura 28, seguidamente se terminó de soldar la otra tapa del extremo del tanque exterior quedando ya completamente sellado.

**Figura 28.** Retiro de excesos de Poliuretano.



**Fuente:** Autor

- Teniendo ya el tanque terminado, se realizó el armado de la estructura el cual fue montado e instalado el termotanque y se procedió a llevar al Centro de Desarrollo Tecnológico de la UPB Bucaramanga donde se instaló completamente todo el sistema como se observa en la figura 29, allí se hicieron pruebas provisionales para asegurar que no quedaran fugas de agua y también se revisó el comportamiento de temperatura del agua como se observa en la figura 30.

**Figura 29.** Termotanque instalado provisionalmente.



**Fuente:** Autor

**Figura 30.** Temperatura del agua caliente en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).



**Fuente:** Autor.

- Teniendo ya todo el sistema listo se procedió a llevarlo al asilo el Señor de los Milagros ubicado en el municipio de San Juan de Girón, para su instalación final, inicialmente se iba a instalar en un punto específico (ver figura 31), el cual no fue posible por remodelación del sitio.

**Figura 31.** Torre de tanques aéreos del asilo el Señor de los Milagros.



**Fuente:** Autor

- Finalmente se instaló en otro sitio ubicado en la parte interna del asilo el Señor de los Milagros, donde se tuvo que recurrir a unas adecuaciones adicionales, dado que para poder hacer el llenado respectivo del termotanque no se podía tomar directamente de la red se servicio de acueducto el cual maneja mucha presión, y no había forma de controlar el flujo de agua que entraba al tanque.



Las adecuaciones que fueron necesarias para su correcto funcionamiento se puede observar en la figura 32, la cual consta de un tanque externo de alimentación con capacidad de 230 Litros con su respectivo flotador para controlar el flujo de agua cuando el termotanque llene su capacidad total, adicional fue necesaria la construcción de una base en Angulo estructural para soportar el peso del tanque donde fue necesario anclar la base con unos soportes, por otro lado se instaló un respiradero para poder evacuar la presión de vapor que se genera al calentar agua, por esta razón el respiradero debía tener una altura ligeramente mayor respecto a la parte superior del tanque externo de llenado para que no derrame agua por el mismo.

**Figura 32.** Instalación tanque externo y base de soporte.



**Fuente:** Autor.

- Para finalizar la instalación del calentador solar, con respecto a las conexiones de alimentación de agua fría tanto al tanque de alimentación adicional como al termotanque del calentador solar, se usó tubo de PVC de 1/2" igual que sus accesorios como uniones, codos, adaptadores hembra, adaptadores macho y reducciones, todas las conexiones fueron soldadas utilizando previamente limpiador de PVC para luego ser soldadas con pegante PVC. Ver figura 32.

**Figura 33.** Conexiones agua fría.



**Fuente:** Autor.

- Seguidamente de las instalaciones de agua fría se realizaron las conexiones de agua caliente (ver figura 34) utilizando tubería de 3/4 " en CPVC la cual soporta altas temperaturas, se usaron diferentes accesorios todo en CPVC para su respectiva instalación destinada a los baños ubicados en el asilo el Señor de los Milagros, hay que destacar que donde fue instalado son baños para uso diario de más de 50 adultos mayores.

**Figura 34.** Instalación agua caliente.



**Fuente:** Autor

- Finalmente, a petición de la encargada del asilo el Señor de los Milagros, se hicieron las conexiones para el baño ubicado en la parte de afuera de los cuartos como se puede observar en la figura 35, ya que es uno de los más usados para el baño diario de los adultos mayores.

**Figura 35.** Instalación final del calentador solar de agua de tubos al vacío.



**Fuente:** Autor

#### 4.6 PRUEBAS

Analizando el comportamiento del fenómeno físico como interactuar, es posible observarlo mediante instrumentos de medición especializados, uno de ellos el Piranómetro, el cual es utilizado para la medición de la energía solar, la cual es la energía obtenida mediante la captación de la luz y el calor emitido por el sol. La radiación solar que alcanza la Tierra puede aprovecharse por medio del calor que produce a través de la absorción de la radiación, El solarímetro SM-206 (ver figura 36), el cual fue usado para las pruebas necesarias, tiene la capacidad de medir la intensidad de esta radiación con exactitud de manera fácil y rápida [25].

**Figura 36.**Solarímetro SM-206.



**Fuente:** Autor

Para poder registrar el comportamiento del agua en la parte interna del termotanque fue necesario usar un instrumento electrónico de medición (ver figura 37), que generalmente mide temperatura, la cual esta medición de temperatura de realizo por medio de un sensor llamado, Termocupla de tipo K como se observa en la figura 45, la cual se conecta al solarímetro SM-206 para poder registrar los valores de temperatura alcanzados durante las diferentes pruebas realizadas.

**Figura 37.** Termómetro TES 1311A.

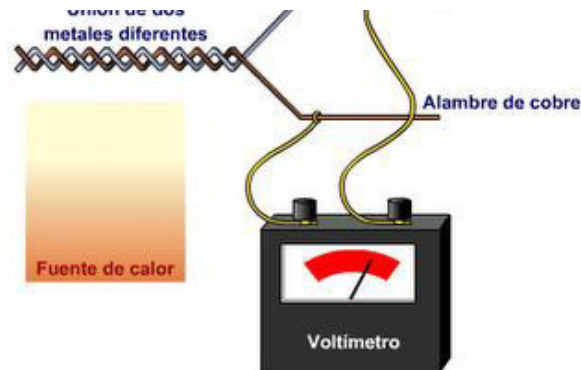


**Fuente:** Autor

Las Termocuplas son el sensor de temperatura más usado en la industria. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente). Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (efecto Seebeck) del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura.

*Efecto Seebeck:* Es la de producción de electricidad a partir del contacto entre dos metales diferentes, dos semiconductores, o un metal y un semiconductor, que se hallen en un mismo circuito, debido a la diferencia de temperatura entre ellos, (ver figura 38) [26].

**Figura 38.**Diagrama efecto Seebeck.



**Fuente:** <http://comofunciona.me/category/maquinaria/page/2/>

#### 4.6.1 TERMOCUPLA TIPO K.

La termocupla Tipo K (ver figura 39), se la conoce también como termocupla Chromel- Alumel. El Chromel es una aleación de aproximadamente 90 % de níquel, y 10 % de cromo, el Alumel es una aleación de 95 % de níquel, más aluminio, silicio y manganeso, razón por la cual la Norma IEC la especifica como Ni Cr – Ni. La termocupla Tipo K es la más usada en la industria debido, a su capacidad de resistir mayores temperaturas que la termocupla Tipo J, y pueden ser utilizadas en forma continua en atmósferas oxidantes, inertes hasta una temperatura de 1260 °C, y son las más satisfactorias para el uso en atmósferas reductoras, o sulfurosas y en vacío [27].

**Figura 39.**Termocupla tipo K.



**Fuente:** Autor

#### 4.6.2 DESCRIPCIÓN DE LA TOMA DE DATOS.

Para la toma de datos de tuvieron en cuenta diferentes puntos específicos los cuales son: La temperatura ambiente de lugar, la cantidad de radiación percibida por la superficie del colector, la temperatura de entrada del agua al termotanque y la temperatura de salida del agua del termotanque.

Para realizar la toma de datos se siguieron los siguientes pasos:

- Observar las condiciones atmosféricas que sean favorables, para poder empezar a realizar la toma de datos, es decir las pruebas se realizaran en días son rayos solares y en días poco nublados.
- Verificar que el termotanque este lleno; si no lo está, realizar el respectivo llenado.
- Esperar a que los rayos del sol incidan sobre la superficie colectora, para que absorba la energía solar.
- Empezar la toma de datos, tales como; la temperatura ambiente (**Ta °C**), la temperatura de entrada de agua (**Te °C**), la temperatura de salida del agua (**Ts °C**) y la radiación solar (**H  $\frac{W}{m^2}$** ), seguidamente se realizarán las tomas de datos cada 5 minutos.

##### 4.6.2.1 Datos obtenidos:

##### Prueba 1.

se realizó la toma de datos el día 28 de febrero de 2018 (ver tabla 12), con condiciones atmosféricas de un día nublado en horas de la mañana y se empezó la toma de datos a las 12.00m.

**Tabla 12.**Datos prueba 1

Hora	Te °C	Ts °C	H $\frac{W}{m^2}$	Ta °C	Observaciones
12:00	28,4	56,9	363	29,8	Sombra

12:05	28,5	56,7	838	31,0	Sombra
12:10	28,3	57,3	1175	31,2	Sol directo
12:15	27,2	57,5	1439	30,0	Sol directo
12:20	27,1	57,5	1214	29,5	Sol directo
12:25	17,4	57,6	1320	31,4	Sol directo
12:30	27,8	57,7	1301	33,0	Sol directo
12:35	27,8	57,6	1385	32,8	Sol directo
12:40	27,8	57,6	1335	32,3	Sol directo
12:45	27,8	57,5	1309	32,1	Sol directo
12:50	27,8	57,6	1351	29,5	Sol directo
12:55	27,8	57,4	1292	33,0	Sol directo
13:00	26,6	56,8	1264	32,3	Sol directo
13:05	25,7	57,1	1279	31,0	Sol directo
13:10	26,0	56,8	1331	29,0	Sol directo
13:15	26,8	55,9	1315	28,8	Sol directo
13:20	27,3	56,1	1268	29,0	Sol directo
13:25	27,7	55,8	1105	29,4	Sombra
13:30	28,0	55,8	207	30,0	Sombra
13:35	28,1	55,6	214	30,7	Sombra
13:40	28,0	55,4	208	31,0	Sombra
13:45	28,2	55,4	196	31,7	Sombra



13:50	28,1	55,1	183	30,0	Sombra
13:55	28,0	54,5	172	29,8	Sombra
14:00	28,1	54,2	160	29,0	Sombra

**Fuente:** Autor

## Prueba 2.

Se realizó la toma de datos el día 05 de marzo del 2018 (ver tabla 13), esta prueba se llevó a cabo en horas de la mañana empezando la toma de datos a las 6:40 am, para poder observar la perdida de temperatura de almacenamiento alcanzada del día anterior, la cual fue tomada a las 6:00 pm del día 04 de marzo del 2018 con una temperatura de 55°C.

**Tabla 13.**Datos prueba 2.

Hora	Te °C	Ts °C	H $w/m^2$	Ta °C	Observaciones
6:40	29,3	50,8	61	23,2	Sombra
6:45	28,8	51,0	90	23,7	Sombra
6:50	28,7	51,0	136	23,1	Sombra
6:55	28,9	50,9	147	24,1	Sombra
7:00	28,7	50,7	249	24,0	Sombra
7:05	28,6	50,7	327	24,0	Sombra
7:10	28,7	50,5	383	24,3	Sombra
7:15	29,0	50,4	494	24,7	Sombra
7:20	24,5	50,2	519	24,7	Sombra
7:25	25,1	50,1	532	25,1	Sombra
7:30	25,4	49,6	607	25,7	Sol directo

7:35	24,4	49,0	672	25,5	Sol directo
7:40	26,8	46,9	728	25,3	Sol directo
7:45	24,7	47,1	757	26,4	Sol directo
7:50	24,4	45,7	760	26,2	Sol directo
7:55	25,0	45,0	815	26,2	Sol directo
8:00	26,1	44,2	850	26,6	Sol directo

**Fuente:** Autor

### Prueba 3.

Se realizó la toma de datos el día 16 de marzo del 2018 (ver tabla 14), con diferentes condiciones atmosféricas, iniciando con cielo despejado y terminando con cielo nublado, y se da inició a la 1:00 pm la toma de datos, con los rayos del sol incidiendo directamente al colector solar.

**Tabla 14.**Datos prueba 3.

<b>Hora</b>	<b>Te °C</b>	<b>Ts °C</b>	<b>H <math>W/m^2</math></b>	<b>Ta °C</b>	<b>Observaciones</b>
1:00	28,6	58,0	1321	33,7	Sol directo
1:05	29,7	58,6	1346	32,1	Sol directo
1:10	29,5	58,7	1306	27,1	Sol directo
1:15	29,3	58,8	1406	30,2	Sol directo
1:20	29,2	59,1	1297	28,1	Sol directo
1:25	25,6	59,0	1295	33,6	Sol directo
1:30	26,3	58,8	1319	29,0	Sol directo
1:35	27,1	58,7	1221	27,3	Sol directo

1:40	27,7	58,7	1337	25,3	Sol directo
1:45	28,0	58,5	1020	29,3	Sol directo
1:50	28,0	58,5	1285	30,5	Sol directo
1:55	28,1	58,5	920	28,2	Sombra
2:00	27,8	58,1	391	29,3	Sombra
2:05	28,3	58,1	480	26,3	Sombra
2:10	28,4	57,8	332	28,5	Sombra
2:15	28,5	57,0	320	26,2	Sombra
2:20	28,5	57,6	312	27,0	Sombra
2:25	27,0	57,0	339	26,1	Sombra
2:30	26,5	56,0	369	28,3	Sombra
2:35	26,7	55,7	367	34,0	Sombra
2:40	26,2	54,7	326	32,7	Sombra
2:45	26,8	54,6	346	31,9	Sombra
2:50	27,2	54,2	375	29,8	Sombra
2:55	27,6	54,1	399	33,3	Sombra
3:00	28,0	52,5	406	29,8	Sombra

**Fuente:** Autor

#### **Prueba 4**

Se realizo la toma de datos el día 23 de marzo del 2018 (ver tabla 15), con condiciones atmosféricas de cielo despejado, iniciando la toma de datos a las 11:20 am, con los rayos del sol incidiendo directamente al colector solar.

Tabla 15. Datos prueba 4.

Hora	Te °C	Ts °C	H $W/m^2$	Ta °C	Observaciones
11:20	24,7	54,0	1397	30,7	Sol Directo
11:25	24,3	54,5	1398	29,8	Sol Directo
11:30	25,0	54,6	1424	30,6	Sol Directo
11:35	24,6	54,5	1367	32,0	Sol Directo
11:40	24,3	54,5	1490	31,7	Sol Directo
11:45	24,7	54,7	1389	30,4	Sol Directo
11:50	24,5	54,7	1350	31,2	Sol Directo
11:55	25,0	54,7	1376	29,7	Sol Directo
12:00	25,3	54,6	1388	28,8	Sol Directo
12:05	25,7	54,5	1482	32,8	Sol Directo
12:10	26,2	54,5	1529	30,0	Sol Directo
12:15	25,7	54,1	1438	31,0	Sol Directo
12:20	25,7	54,3	1420	29,2	Sol Directo
12:25	25,8	54,2	1401	34,3	Sol Directo
12:30	26,1	53,7	1321	32,1	Sol Directo
12:35	26,6	53,7	1380	32,8	Sol Directo
12:40	26,8	53,2	1432	31,6	Sol Directo
12:45	27,0	53,2	1424	32,3	Sol Directo
12:50	27,0	53,2	1350	32,4	Sol Directo
12:55	27,1	53,0	1190	32,8	Sol Directo

13:00	27,2	53,0	1247	34,1	Sol Directo
13:05	27,1	53,0	1238	34,1	Sol Directo

**Fuente:** Autor

## 5. CALCULOS Y RESULTADOS

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en las tablas anteriores, de las pruebas realizadas los días 28 de febrero, 05, 16 y 23 de marzo del presente año, se tomaron los datos necesarios a la entrada y salida del termotanque, así como la radiación y temperatura ambiente, con el fin de hallar la eficiencia del calentador solar y poder realizar unas graficas correspondientes a eficiencia, radiación y temperatura, para mirar el comportamiento del sistema.

### 5.1 Calculo eficiencia.

Para poder empezar a realizar el cálculo para obtener la eficiencia bajo la cual opera el calentador solar, se deben tener en cuenta algunos valores meteorológicos y datos de temperatura tomados anteriormente.

A continuación, se realizará el procedimiento realizado para el cálculo de cada una de las variables necesarias para obtener las eficiencias de la prueba 1 realizada el día 28 de febrero del 2018, se tomó como referencia los datos tomados a las 12:05 pm. (ver tabla 16.)

**Tabla 16.**Datos de referencia.

Hora	Te °C	Ts °C	H (w/m2)	Ta °C	Tm °C	X	H
12:00	28,4	56,9	363	29,8			
12:05	28,5	56,7	838	31,0			
12:10	28,3	57,3	1175	31,2			

**Te:** Temperatura de entrada en °C

**Ts:** Temperatura de salida en °C

**H:** Radiación solar promedio en  $\frac{W}{m^2}$

**Ta:** Temperatura ambiente en °C

**Tm:** Temperatura media en °C

**X:** Ecuación diferencial

**$\eta$ :** Eficiencia

Observando la tabla se realizará el paso a paso para calcular cada una de las variables faltantes, los datos ya registrados en la tabla como las temperaturas Te y Ts, fueron obtenidas instantáneamente mediante termocuplas a la entrada y salida del termotanque, la radiación fue tomada mediante el Solarímetro SM-206 al mismo tiempo de la toma de temperaturas, para el cálculo de la eficiencia se tomará la radiación promedio de cada día.

Para el cálculo de la temperatura media (Tm), se calcula a través de la siguiente formula:

$$Tm = \frac{Te + Ts}{2}$$

Tomando los datos de referencia de la prueba 1 realizada a las 12:05 pm, se realizarán los cálculos respectivos, igualmente se hará lo mismo para los demás datos tomados durante los días de prueba.

$$Tm = \frac{Te + Ts}{2}$$

$$Tm = \frac{28,5 + 56,7}{2}$$

$$Tm = 42,6$$

Teniendo la temperatura media se realizó el cálculo para la columna siguiente correspondiente a X, para ello la temperatura ambiente fue de 31°C, estos datos fueron tomados con una termocupla, y la radiación solar se tomará el promedio del día.

Luego se procede a calcular X con la siguiente ecuación:

$$X = \frac{Tm - Ta}{H}$$

$$X = \frac{42,6 - 31}{929}$$

$$X = 0,0125$$

Finalmente, obteniendo ya todos los valores de la tabla se realiza el cálculo de la eficiencia teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$\eta = 0,83 - 6,8 * X$$

$$\eta = 0,83 - 6,8 * 0,0125$$

$$\eta = 0,745 = 74,5\%$$

## 5.2 RESULTADOS

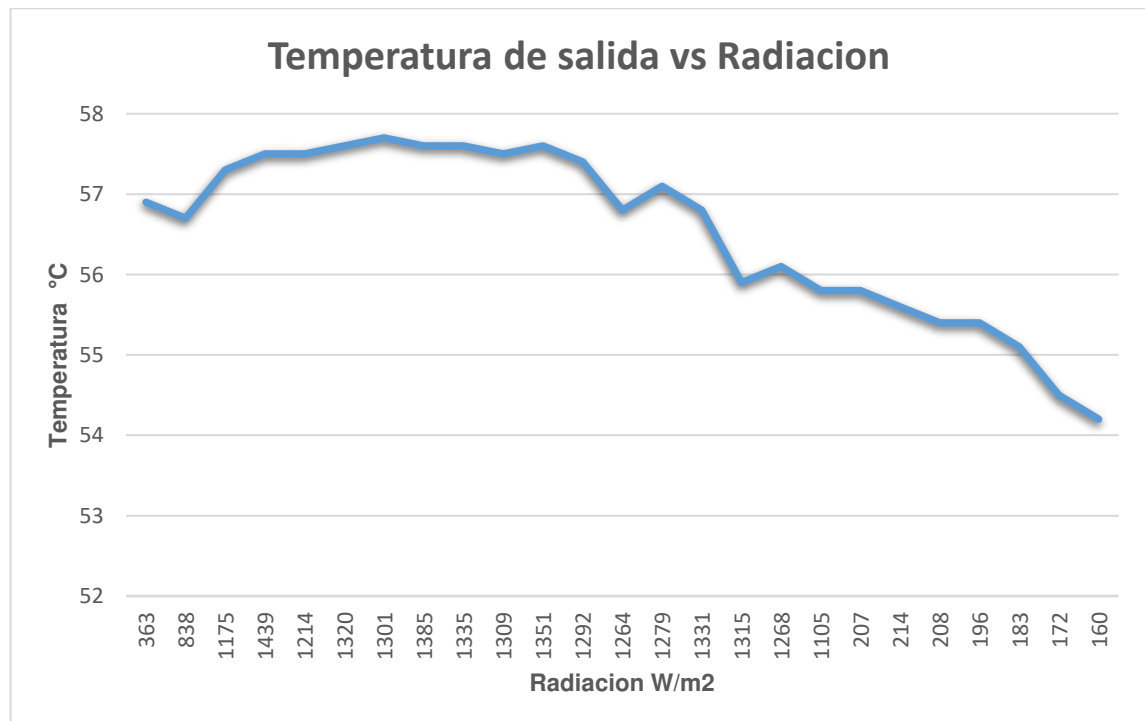
De acuerdo con las tablas de los anexos A1, A2, A3 y A4 donde se encuentran los datos calculados para cada prueba se obtienen las gráficas realizadas en cada prueba.

## Prueba 1

Se hizo la prueba con el fin de analizar el comportamiento de la temperatura de salida del agua caliente con respecto a la radiación (ver figura 40), se puede observar que la Temperatura de salida del agua caliente se mantiene con una temperatura promedio de  $56,5^{\circ}\text{C}$  y alcanzando una temperatura máxima de  $57,7^{\circ}\text{C}$  y con una radiación promedio de  $929 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ , teniendo en cuenta que las condiciones climáticas del día presentaban un cielo nublado en horas de la mañana, la cual es cuando más le llegan los rayos del sol directamente al colector solar.

En la gráfica se pudo observar la disminución de la temperatura en  $3,5^{\circ}\text{C}$  en un rango de 2 horas iniciando la toma de datos a las 12:00 m y finalizando a las 2:00pm al igual que la radiación tuvo un cambio significativo ya que a partir de la 1:30pm los rayos del sol dejar de incidir directamente al colector solar.

**Figura 40.** Variación de la temperatura de salida del agua con respecto a la radiación solar.



**Fuente:** Autor



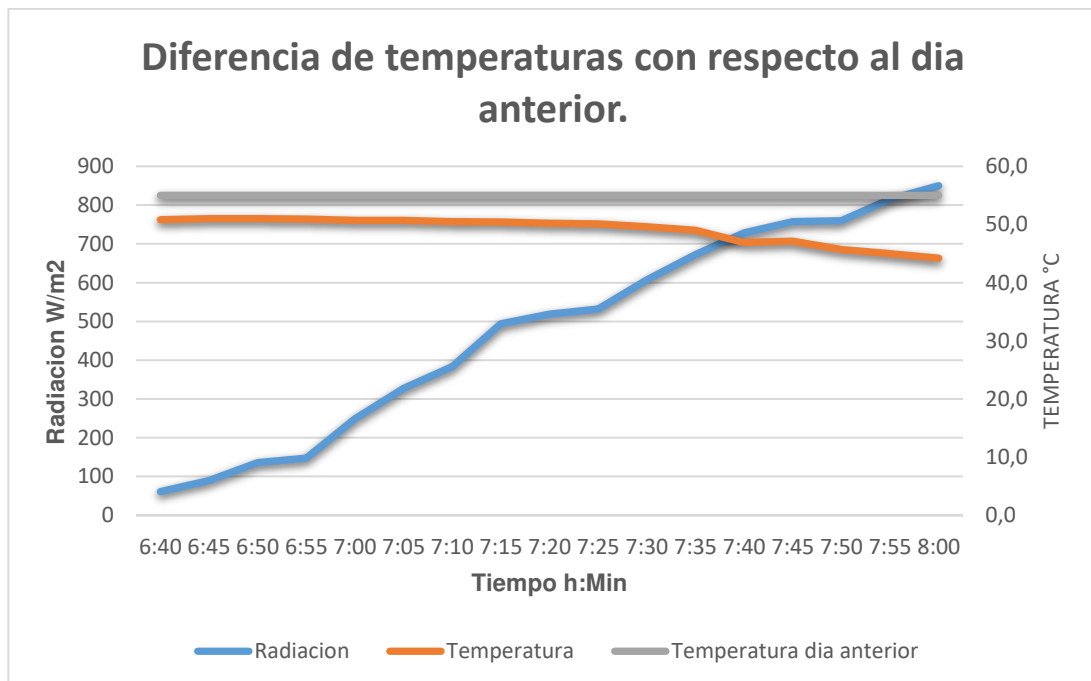
## Prueba 2.

Esta prueba se realizó en 05 de marzo del 2018, con el fin de mirar a que temperatura se encontraba el agua almacenada en horas de la mañana con respecto a la del día anterior (ver figura 41), se puede observar en la gráfica y en los anexos de la tabla A2 que la temperatura inicial fue de 50,8 °C iniciando la toma de datos a las 6:40 am y finalizando con una temperatura de 44,2 °C a las 8:00 am.

En la gráfica se puede observar que la temperatura almacenada del día anterior fue de 55°C tomada a las 6:00 pm y la temperatura inicial de la prueba del día siguiente fue de 50,8, perdiendo 4,2°C de temperatura en un tiempo de 12 horas.

Con respecto a la radiación solar se pudo observar que inicio con una radiación muy baja de  $61 \frac{W}{m^2}$  a diferencia de la temperatura que fue disminuyendo por la poca radiación, esta fue aumentando llegando al final de la prueba con una radiación de  $850 \frac{W}{m^2}$ .

**Figura 41.** Comportamiento de la temperatura de salida del agua respecto al día anterior



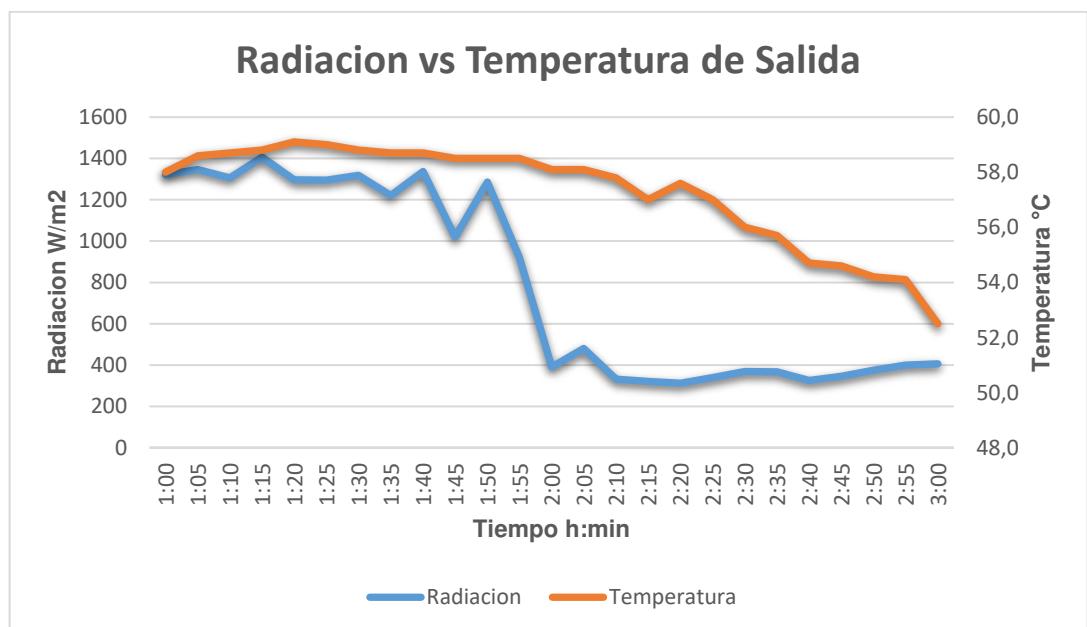
**Fuente:** Autor

### Prueba 3.

En esta prueba en particular se realizó con el fin de mirar el comportamiento de la temperatura de agua caliente a la salida del termotanque, combinando las dos condiciones atmosféricas con cielo despejado y parcialmente nublado, donde los rayos solares inciden inicialmente sobre el colector solar y luego con ayuda del cielo parcialmente nublado, los rayos solares no inciden directamente sobre el colector solar.

En la figura 42, se puede observar que durante la toma de datos que se inició a la 1:00 pm con una temperatura de 58°C se mantuvo constante e incluso aumentando en 1°C la temperatura del agua a la salida del termotanque en algunas tomas de datos, esto debido a la radiación solar que incide directo al colector solar, de otra parte observando la gráfica, a partir de las 2:00 pm disminuye considerablemente la radiación, ya que los rayos solares no inciden directo al colector solar y en consecuencia la temperatura del agua a la salida va disminuyendo pasando de 58,1°C a 52,5°C al final de la prueba.

**Figura 42.** Radiación vs Temperatura de salida, en condiciones atmosféricas combinadas.

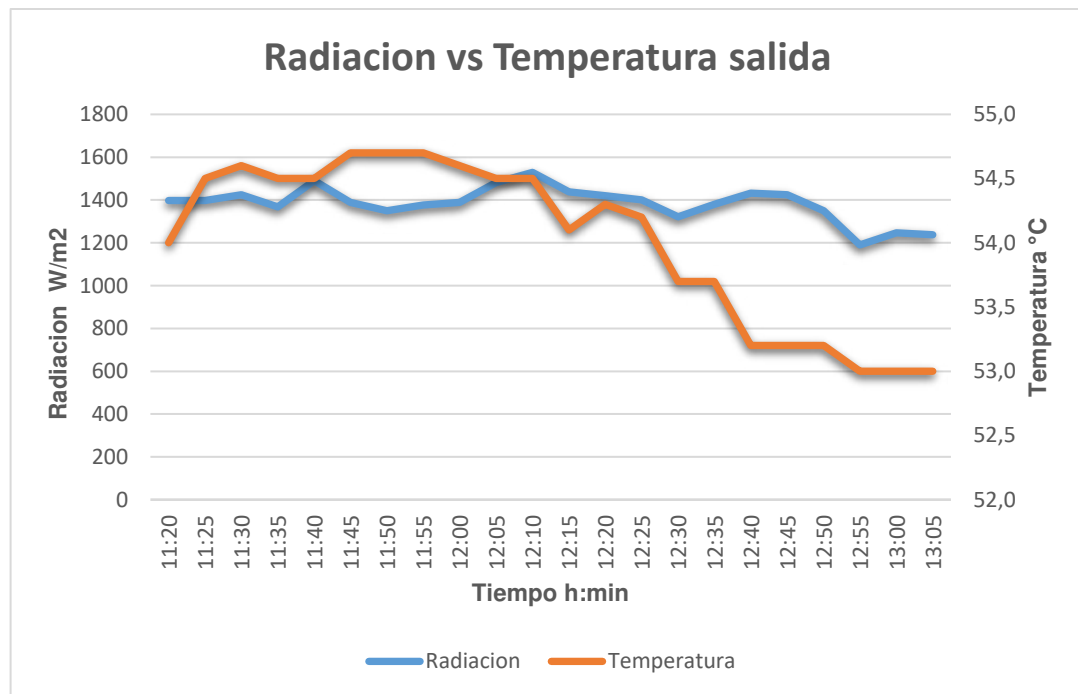


Fuente: Autor

#### Prueba 4.

Finalmente, esta prueba se realizó el 23 de marzo del 2018, la cual fue donde se obtuvieron mejores resultados del calentador solar, puesto que la radiación solar como se observa en la figura 43, se mantuvo prácticamente constante con una radiación promedio de  $1383 \frac{w}{m^2}$  en comparación con las demás pruebas fue la radiación promedio mas alta registrada, esto ayudo así mismo a que la temperatura se mantuviera empezando en  $54^{\circ}C$  y finalizando la toma de datos con  $53^{\circ}C$  perdiendo solo  $1^{\circ}C$  en el transcurso de la prueba, en ciertas horas incluso la temperatura alcanzo a elevarse a  $54,7^{\circ}C$ .

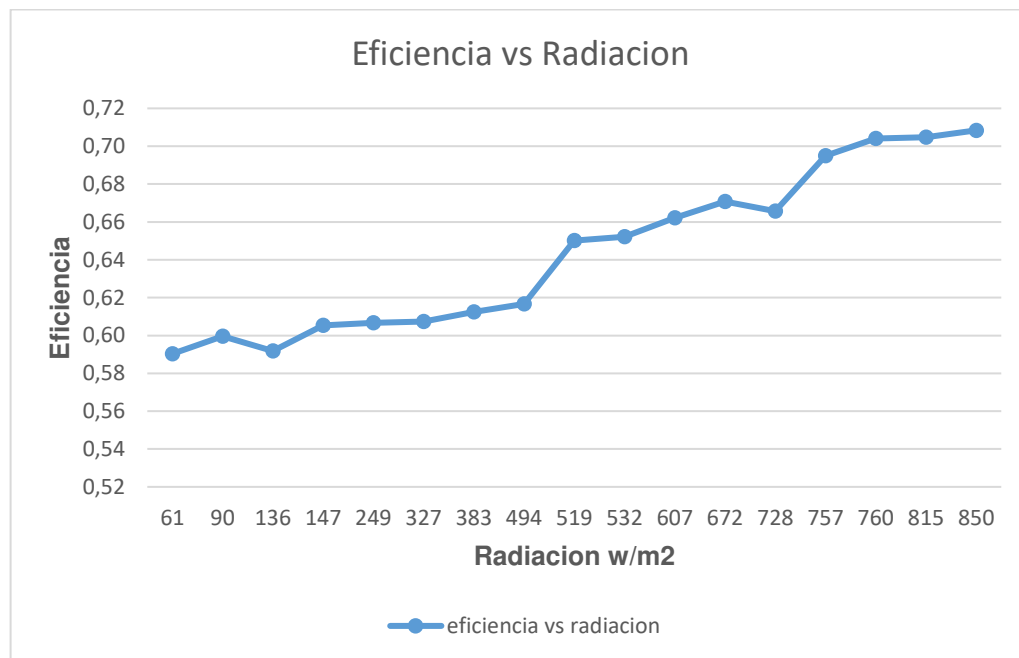
**Figura 43.** Radiación vs temperatura de salida del agua caliente, con radiación directa.



**Fuente:** Autor

En figura 44, se analizó el comportamiento de la Radiación vs Eficiencia fue tomada de la prueba 2, realizada el 05 de marzo del 2018 puesto que se puede ver claramente el comportamiento que tuvo al hacer el análisis y compararlo, se puede observar que a medida que aumenta la radiación sobre el colector solar así mismo va aumentando la eficiencia obtenida en cada instante de la toma de datos, cabe destacar que a pesar que la toma de datos fue realizada entre las 6:40 am y las 8:00 am al final se obtuvo una eficiencia promedio de 0,64.

**Figura 44.** Curva de eficiencia vs radiación.



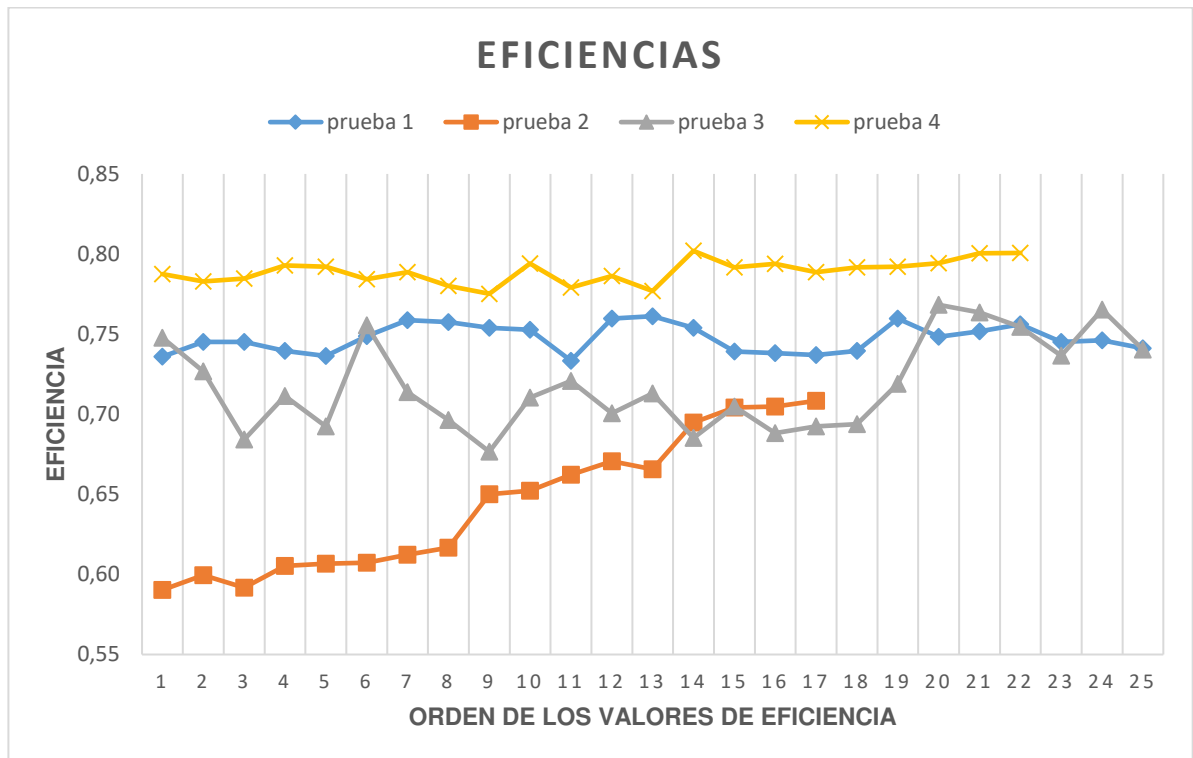
**Fuente:** Autor

### 5.3 EFICIENCIA FINAL

Al obtener los resultados de las eficiencias calculadas en las diferentes pruebas realizadas, se hizo una comparación entre las eficiencias obtenidas de cada día, con el fin de observar la eficiencia máxima y mínima alcanzada por el calentador solar.

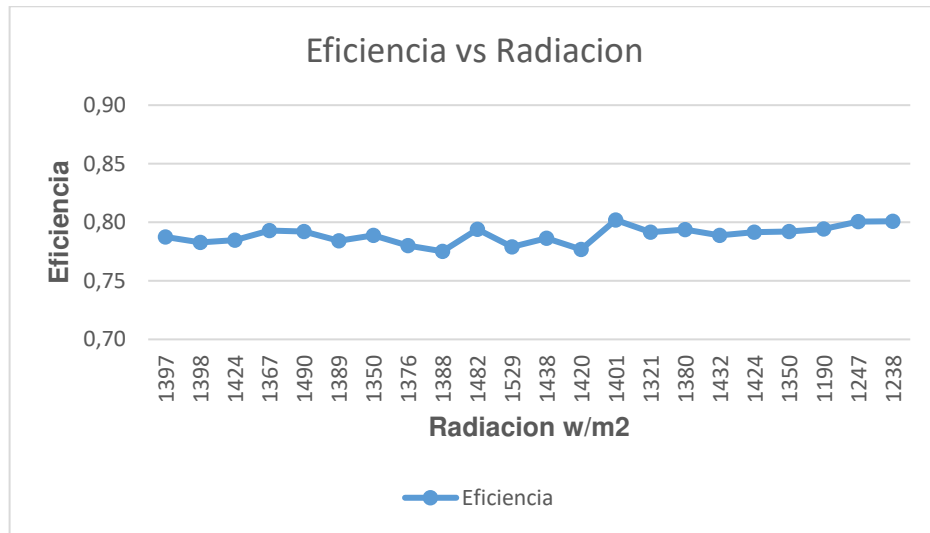
En la figura 45, se presenta la comparación realizada de las pruebas, donde se logró una eficiencia máxima de 0,80 equivalente a  $\eta=80\%$ , correspondiente a la prueba 4 a las 12:05 pm y una eficiencia mínima de 0,59 equivalente a  $\eta=59\%$ , correspondiente a la prueba 2 a las 6:40 am

**Figura 45.** Comparación de las eficiencias de las diferentes pruebas.



Fuente: Autor

En la figura 46, de los datos tomados en día 23 de marzo del 2018, se hizo la comparación entre la eficiencia obtenida de cada dato tomado, con respecto a la radiación incidente en cada instante de la toma de datos y se pudo observar que la eficiencia obtenida se mantuvo aproximadamente entre 0,78 y 0,80 manteniendo una buena eficiencia.

**Figura 46.** Eficiencia vs radiación de la prueba 4.

Fuente: Autor

#### 5.4 COMPARACIÓN EFICIENCIA COMERCIAL Y EXPERIMENTAL

Luego de haber calculado las eficiencias promedio para cada prueba se obtiene una eficiencia promedio total de todas las pruebas como se observa en la tabla 17, esta fue comparada con una eficiencia comercial obtenida de la empresa CENSOLAR (Centro de Estudios de la Energía Solar) (ver tabla 18).

**Tabla 17.** Eficiencias promedio.

Pruebas	$\eta$
Prueba 1	0,75
Prueba 2	0,64
Prueba 3	0,72
Prueba 4	0,79
<b>Promedio</b>	<b>0,72</b>

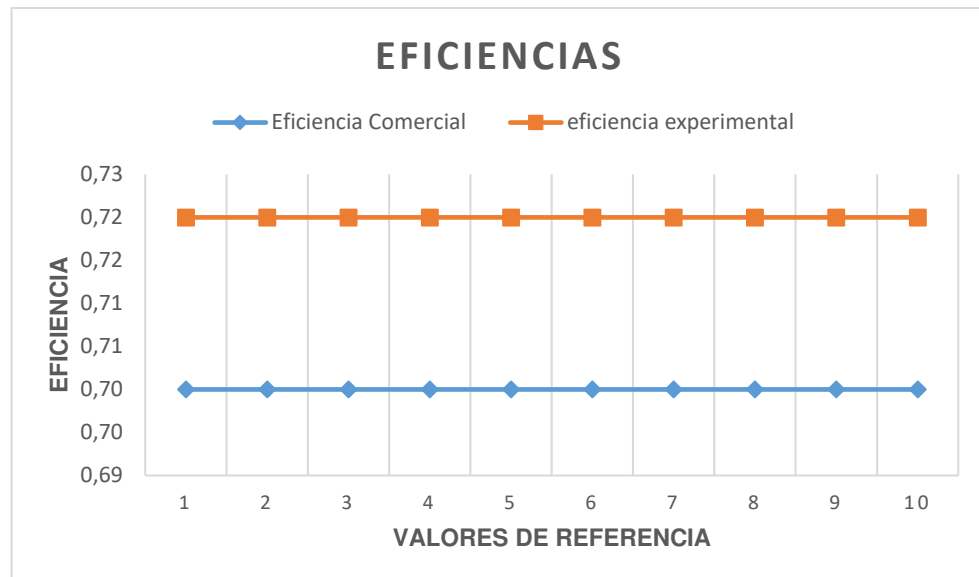
Fuente: Autor

**Tabla 18.** Eficiencia Comercial.

<b>Eficiencia Comercial CENSOLAR</b>	<b>0,70</b>
--	-------------

**Fuente:** CENSOLAR [28]

Teniendo ya las eficiencias se realizó la figura 47, donde se pudo observar que la eficiencia experimental dio mayor, obteniendo un resultado de 0,72, mientras que la eficiencia comercial tomada de CENSOLAR es de 0,70 para los calentadores solares de tuvo al vacío.

**Figura 47.** Eficiencia comercial y experimental.

**Fuente:** Autor

## 6. CONCLUSIONES

- Se diseñó, construyó y se implementó la repotenciación del tanque de almacenamiento del calentador solar de agua de tubos al vacío con una capacidad de 200 L, este equipo funciona con energía solar a través del sistema termosifón, el cual es usado para suministrar agua caliente a la ducha ubicada dentro de las instalaciones del asilo el Señor de los Milagros para uso diario del baño de los adultos mayores.
- La máxima eficiencia obtenida fue del 80% y la eficiencia mínima fue de 59%, se pudo observar que, con el aumento de la radiación, también aumenta proporcionalmente la eficiencia.
- Se aumentó la capacidad del tanque de almacenamiento de 150 litros a 200 litros, y también se registró un aumento significativo del calentador solar a un promedio global de la eficiencia al 72%, estando por encima de la eficiencia comercial lo cual es aproximadamente un 70%.
- La temperatura del agua en el tanque de almacenamiento disminuyó 4.2°C en un tiempo de 12 horas, durante el cual el colector no recibió luz solar, esto refleja la eficiencia del aislamiento en el tanque de almacenamiento.



## 7. RECOMENDACIONES

- La posición del calentador solar con respecto al sol es importante para mejorar el rendimiento del mismo, como medida de obtener una mayor eficiencia y así mismo obtener temperaturas más elevadas dentro del tanque de almacenamiento se recomienda en una futura remodelación del asilo el Señor de los Milagros, hacer la instalación del calentador solar donde los rayos incidan todo el tiempo sobre la superficie colectora, para así obtener una mayor eficiencia del sistema.
- Teniendo en cuenta que el calentador solar de agua de tubos al vacío funciona por gravedad, por lo cual maneja una presión a la salida del calentador solar muy baja, se recomienda instalar una bomba presurizadora para así generar más presión en los caudales de agua y así mejorar la presión a la salida del agua caliente.
- Es muy importante aprovechar al máximo la gran ventaja que nos brinda este sistema por consiguiente el mantenimiento es muy importante realizarlos adecuadamente por lo que se recomienda revisar los tubos captores cada 3 meses haciendo una inspección buscando diferencias entre los tubos y hacer una limpieza a la superficie captadora, el tanque de almacenamiento revisarlo cada 6 meses en busca de fugas en los empaques de los tubos captadores y en las uniones a la entrada y salida del agua, estructura hacer una inspección visual cada 6 meses para evitar la corrosión de la misma y comprobar su rigidez con una leve sacudida de la misma, el sistema de llenado revisar cada 4 meses comprobando el buen cierre de la válvula de flotador y revisar empaques del mismo y por ultimo revisar las conexiones de agua fría y caliente comprobando que no haya fugas ni goteras.
- Para futuras investigaciones, con la experiencia ganada en la construcción del tanque y ensamble de captador solar se recomienda estudiar la factibilidad de usar nuevos materiales como polímeros para la construcción de los tanques de almacenamiento, teniendo en cuenta el rendimiento térmico y la facilidad de la construcción.

## ANEXOS

## TABLA DE DATOS Y RESULTADOS

A1. TABLA DE DATOS Y RESULTADOS PRUEBA 1

Hora	Te °C	Ts °C	H W/m <sup>2</sup>	Ta °C	Tm °C	X	H
12:00	28,4	56,9	363	29,8	42,7	0,0138	0,74
12:05	28,5	56,7	838	31,0	42,6	0,0125	0,75
12:10	28,3	57,3	1175	31,2	42,8	0,0125	0,75
12:15	27,2	57,5	1439	30,0	42,4	0,0133	0,74
12:20	27,1	57,5	1214	29,5	42,3	0,0138	0,74
12:25	27,4	57,6	1320	31,4	42,5	0,0119	0,75
12:30	27,8	57,7	1301	33,0	42,8	0,0105	0,76
12:35	27,8	57,6	1385	32,8	42,7	0,0107	0,76
12:40	27,8	57,6	1335	32,3	42,7	0,0112	0,75
12:45	27,8	57,5	1309	32,1	42,7	0,0114	0,75
12:50	27,8	57,6	1351	29,5	42,7	0,0142	0,73
12:55	27,8	57,4	1292	33,0	42,6	0,0103	0,76
13:00	26,6	56,8	1264	32,3	41,7	0,0101	0,76
13:05	25,7	57,1	1279	31,0	41,4	0,0112	0,75
13:10	26,0	56,8	1331	29,0	41,4	0,0133	0,74
13:15	26,8	55,9	1315	28,8	41,4	0,0135	0,74
13:20	27,3	56,1	1268	29,0	41,7	0,0137	0,74

13:25	27,7	55,8	1105	29,4	41,8	0,0133	0,74
13:30	28,0	55,8	207	30,0	41,9	0,0103	0,76
13:35	28,1	55,6	214	30,7	41,9	0,0120	0,75
13:40	28,0	55,4	208	31,0	41,7	0,0115	0,75
13:45	28,2	55,4	196	31,7	41,8	0,0109	0,76
13:50	28,1	55,1	183	30,0	41,6	0,0125	0,75
13:55	28,0	54,5	172	29,8	41,3	0,0123	0,75
14:00	28,1	54,2	160	29,0	41,2	0,0131	0,74
<b>PROMEDIO</b>	<b>27,6</b>	<b>56,5</b>	<b>929</b>	<b>30,7</b>	<b>42,1</b>	<b>0,0122</b>	<b>0,75</b>

## A2. TABLA DE DATOS Y RESULTADOS PRUEBA 2

Hora	Te °C	Ts °C	H W/m <sup>2</sup>	Ta °C	Tm °C	X	H
6:40	29,3	50,8	61	23,2	40,1	0,0352	0,59
6:45	28,8	51,0	90	23,7	39,9	0,0339	0,60
6:50	28,7	51,0	136	23,1	39,9	0,0350	0,59
6:55	28,9	50,9	147	24,1	39,9	0,0331	0,61
7:00	28,7	50,7	249	24,0	39,7	0,0328	0,61
7:05	28,6	50,7	327	24,0	39,7	0,0327	0,61
7:10	28,7	50,5	383	24,3	39,6	0,0320	0,61
7:15	29,0	50,4	494	24,7	39,7	0,0314	0,62
7:20	24,5	50,2	519	24,7	37,4	0,0265	0,65

7:25	25,1	50,1	532	25,1	37,6	0,0261	0,65
7:30	25,4	49,6	607	25,7	37,5	0,0247	0,66
7:35	24,4	49,0	672	25,5	36,7	0,0234	0,67
7:40	26,8	46,9	728	25,3	36,9	0,0242	0,67
7:45	24,7	47,1	757	26,4	35,9	0,0199	0,69
7:50	24,4	45,7	760	26,2	35,1	0,0185	0,70
7:55	25,0	45,0	815	26,2	35,0	0,0184	0,70
8:00	26,1	44,2	850	26,6	35,2	0,0179	0,71
<b>PROMEDIO</b>	<b>26,9</b>	<b>49,0</b>	<b>478</b>	<b>24,9</b>	<b>38,0</b>	<b>0,0274</b>	<b>0,64</b>

### A3. TABLA DE DATOS Y RESULTADOS PRUEBA 3

Hora	Te °C	Ts °C	H W/m2	Ta °C	Tm °C	X	H
1:00	28,6	58,0	1321	33,7	43,3	0,0121	0,75
1:05	29,7	58,6	1346	32,1	44,2	0,0152	0,73
1:10	29,5	58,7	1306	27,1	44,1	0,0214	0,68
1:15	29,3	58,8	1406	30,2	44,1	0,0175	0,71
1:20	29,2	59,1	1297	28,1	44,2	0,0202	0,69
1:25	25,6	59,0	1295	33,6	42,3	0,0110	0,76
1:30	26,3	58,8	1319	29,0	42,6	0,0171	0,71
1:35	27,1	58,7	1221	27,3	42,9	0,0197	0,70
1:40	27,7	58,7	1337	25,3	43,2	0,0226	0,68

1:45	28,0	58,5	1020	29,3	43,3	0,0176	0,71
1:50	28,0	58,5	1285	30,5	43,3	0,0161	0,72
1:55	28,1	58,5	920	28,2	43,3	0,0190	0,70
2:00	27,8	58,1	391	29,3	43,0	0,0172	0,71
2:05	28,3	58,1	480	26,3	43,2	0,0213	0,69
2:10	28,4	57,8	332	28,5	43,1	0,0184	0,70
2:15	28,5	57,0	320	26,2	42,8	0,0209	0,69
2:20	28,5	57,6	312	27,0	43,1	0,0202	0,69
2:25	27,0	57,0	339	26,1	42,0	0,0200	0,69
2:30	26,5	56,0	369	28,3	41,3	0,0163	0,72
2:35	26,7	55,7	367	34,0	41,2	0,0091	0,77
2:40	26,2	54,7	326	32,7	40,5	0,0098	0,76
2:45	26,8	54,6	346	31,9	40,7	0,0111	0,75
2:50	27,2	54,2	375	29,8	40,7	0,0137	0,74
2:55	27,6	54,1	399	33,3	40,9	0,0095	0,77
3:00	28,0	52,5	406	29,8	40,3	0,0132	0,74
<b>PROMEDIO</b>	<b>27,8</b>	<b>57,3</b>	<b>793</b>	<b>29,5</b>	<b>42,5</b>	<b>0,0164</b>	<b>0,72</b>

#### A4. TABLA DE DATOS Y RESULTADOS PRUEBA 4

Hora	Te °C	Ts °C	H W/m <sup>2</sup>	Ta °C	Tm °C	X	H
11:20	24,7	54,0	1397	30,7	39,4	0,0063	0,79
11:25	24,3	54,5	1398	29,8	39,4	0,0069	0,78

11:30	25,0	54,6	1424	30,6	39,8	0,0067	0,78
11:35	24,6	54,5	1367	32,0	39,6	0,0055	0,79
11:40	24,3	54,5	1490	31,7	39,4	0,0056	0,79
11:45	24,7	54,7	1389	30,4	39,7	0,0067	0,78
11:50	24,5	54,7	1350	31,2	39,6	0,0061	0,79
11:55	25,0	54,7	1376	29,7	39,9	0,0073	0,78
12:00	25,3	54,6	1388	28,8	40,0	0,0081	0,78
12:05	25,7	54,5	1482	32,8	40,1	0,0053	0,79
12:10	26,2	54,5	1529	30,0	40,4	0,0075	0,78
12:15	25,7	54,1	1438	31,0	39,9	0,0064	0,79
12:20	25,7	54,3	1420	29,2	40,0	0,0078	0,78
12:25	25,8	54,2	1401	34,3	40,0	0,0041	0,80
12:30	26,1	53,7	1321	32,1	39,9	0,0056	0,79
12:35	26,6	53,7	1380	32,8	40,2	0,0053	0,79
12:40	26,8	53,2	1432	31,6	40,0	0,0061	0,79
12:45	27,0	53,2	1424	32,3	40,1	0,0056	0,79
12:50	27,0	53,2	1350	32,4	40,1	0,0056	0,79
12:55	27,1	53,0	1190	32,8	40,1	0,0052	0,79
13:00	27,2	53,0	1247	34,1	40,1	0,0043	0,80
13:05	27,1	53,0	1238	34,1	40,1	0,0043	0,80
<b>PROMEDIO</b>	<b>25,7</b>	<b>54,0</b>	<b>1383</b>	<b>31,6</b>	<b>39,9</b>	<b>0,0060</b>	<b>0,79</b>

## REFERENCIAS.

- [1]. RODRIGUEZ MURCIA, H. (2009): Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. Revista de ingeniería, n° 28, pp 87.
- [2]. Morrison, G, y I Budihardjo. «Water-in-glass evacuated tube solar water heaters.» *Solar Energy* 76 (2004): 135-140.
- [3]. Burbano, J, y A Restrepo. «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALENTADOR SOLAR DE AGUA OPERANDO POR TERMOSIFÓN.» *Scientia et Technica*, 2006: 85-90.
- [4]. Budihardjo, I, y L Morrison. «I. Budihardjo, G.L. Morrison Performance of water-in-glass evacuated tube solar water heaters.» *Solar Energy*, 2009: 48-56.
- [5]. Runsheng, T, Yuqin, Y, y G Wenfeng. «Comparative studies on thermal performance of water-in-glass evacuated tube solar water heaters with different collector tilt-angles.» *Solar Energy*, 2011: 1381-1389.
- [6]. Universidad Nacional de Colombia, CENTRO DE INNOVACION TECNOLOGICA CON ENFASIS EN ENERGIA SOLAR. 1 edición. Medellín, Colombia septiembre 2011.p 64,65,66.
- [7]. Mirez Tarrillo Jorge Luis. «Componentes de la radiación solar.» Matlab/Simulink and Renewable Energy [Jorge Mirez]. “en línea”, 5 de junio de 2013 [revisado 15 noviembre 2017]. Disponible en Internet: <https://jmirez.wordpress.com/2013/06/05/j585-componentes-de-la-radiacion-solar/>
- [8]. Qué es la radiación solar. Tipos de radiación solar. MBA New. [En línea], 17 de agosto de 2017. Disponible en Internet: <http://mba-negocios.blogspot.com.co/2010/09/que-es-la-radiacion-solar-tipos-de.html>
- [9]. UPME, IDEAM, Atlas de radiación solar en Colombia. 2005. Apendice C. [en línea], 2 de septiembre de 2017. Disponible en Internet: [http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas\\_Radiacion\\_Solar/9-Apendice\\_C.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/9-Apendice_C.pdf).

- [10]. Rodríguez, H. «Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas.» *Revista de ingeniería Universidad de los Andes*, 2009: 83-89.
- [11]. PINZON AREVALO, Lady Viviana. ALTERNATIVA EN EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR ANTE CRISIS ENERGÉTICA EN COLOMBIA.: Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá-Colombia, 2016
- [12]. Atlas de Radiación Solar interactivo, Recuperado el 04 de agosto de 2017 desde, <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- [13]. WILCHES, Nicolás. Tipos de calentadores. Academia. [en línea], 23 de septiembre de 2017. Disponible en Internet: [https://www.academia.edu/9156957/Tipos\\_de\\_calentadores](https://www.academia.edu/9156957/Tipos_de_calentadores).
- [14]. BOSCH. *Calentadores de agua a gas*. Bogotá: BOSCH, 2007.
- [15]. HACEB. *Calentadores de agua electricos*. Bogotá: HACEB, 2009.
- [16]. Ajoever. *Calentadores solares de agua*. Bogotá: Ajoever, 2014.
- [17]. AERO SOLAR MEXICO. ¿Que son y cómo funcionan los calentadores de agua? Aero solar México. [en línea], revisado 10 de octubre 2017. Disponible en Internet <http://www.aerosolarmexico.com/productos-aerosolar-mexico/como-funcionan-los-calentadores-solares-de-agua/>
- [18]. Tian, Y, y C Zhao. «A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications.» *Applied Energy*, 2013: 538-556.
- [19] Khoukhi, M, y S Maruyama. «Theoretical approach of a flat plate solar collector with clear and low-iron glass covers taking into account the spectral absorption and emission within glass covers layer.» *Renew Energy*, 2005: 1177–1194.
- [20]. Placco, C, L Saravia, y C Cadena. *COLECTORES SOLARES PARA AGUA CALIENTE*. Investigativo, Salta: INENCO, 2014.



- [21]. Sakhrieh, A, y A Al-Ghandoor. «Experimental investigation of the performance of five types of solar collectors.» *Energy Conversion and Management* 65 (2013): 715-720.
- [22]. Zhiyong, Li, y C Chao. «All-glass vacuum tube collector heat transfer model used in forced-circulation solar water heating system.» *Solar Energy* 84 (2010): 1413-1421.
- [23]. MENDEZ, Javier y CUERVO, Rafael. ENERGIA SOLAR TÉRMICA. 2 ed. Madrid, FC editorial. 70-74
- [24]. Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications. ASTM INTERNATIONAL Helping our world work better. [en línea], revisado 18 febrero de 2018. Disponible en internet: <https://www.astm.org/Standards/A240.htm>.
- [25]. Solarímetro Medidor digital de Radiación de energía solar SM-206. tecnometrica. [en línea], revisado 18 febrero de 2018. Disponible en Internet: <https://www.tecnometrica.com.mx/Solarimetro-Medidor-digital-de-Radiacion-de-energia-solar-SM-206.html>
- [26]. Efecto Seebeck. EcuRed Conocimiento con todos y para todo. [en línea], 28 febrero de 2018. Disponible en Internet: [https://www.ecured.cu/Efecto\\_Seebeck](https://www.ecured.cu/Efecto_Seebeck).
- [27]. Que son y cómo funcionan las termocuplas. ARIAN CONTROL & INSTRUMENTACION. [en línea], revisado 22 febrero de 2018. Disponible en internet: <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>.
- [28]. Instalaciones de energía solar, Centro de estudios de energía solar, Progensa, Tomo 3, 3a Edición, España 1992.