

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE COLECTOR HIBRIDO

**FRANKLIN EDUARDO OJEDA BAUTISTA
HAROLD ALEXANDER PARRA RÍOS
JOSÉ MANUEL BARCO GÓMEZ**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA, ELECTRONICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2016**

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE COLECTOR HIBRIDO

**FRANKLIN EDUARDO OJEDA BAUTISTA
HAROLD ALEXANDER PARRA RÍOS
JOSÉ MANUEL BARCO GÓMEZ**

**Trabajo de grado para otorgar el título de:
Ingeniero Electricista e Ingenieros Electrónicos**

Director

**MONICA ANDREA BOTERO LONDOÑO
Ingeniera Electricista, Ph.D**

Codirector

**MARÍA ALEJANDRA MANTILLA VILLALOBOS
Ingeniera Electrónica, Ph,D (c)**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA, ELECTRONICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2016**

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo agradecer a Dios todopoderoso, por darnos la fortaleza necesaria en los momentos difíciles donde pensábamos desistir.

En segundo lugar agradecer a nuestros padres, por concedernos la vida y la oportunidad de asistir a la Universidad, por su incondicionalidad a pesar de la distancia.

A nuestros hermanos y familiares por su compañía, apoyo y motivación para seguir adelante y cumplir nuestros sueños.

A mis compañeros de la universidad, y a todas aquellas personas significativas durante nuestro proceso de formación, por aportar un grano de arena a nuestro desarrollo personal y profesional.

A nuestros docentes de la universidad que gracias a ellos hemos adquirido el conocimiento suficiente para cumplir nuestro sueño de ser profesionales transmitiéndonos sus conocimientos y exigiéndonos en el momento que se requirió hacerlo.

A las profesoras MONICA ANDREA BOTERO y MARIA ALEJANDRA MANTILLA por su comprensión, paciencia y gran conocimiento, por ser nuestra directora y codirectora apoyándonos y guiándonos en todo momento.

Por último a aquellas personas que se interpusieron en el camino para el logro de nuestro proyecto de vida, porque gracias a esas situaciones aprendimos a sobreponernos a las dificultades, salir triunfantes en cada reto.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	15
1. JUSTIFICACIÓN.....	16
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
2.1.1 Objetivos Específicos.....	17
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	18
3.1. LA ENERGÍA SOLAR	18
3.1.1. Energía solar térmica o termosolar.	18
3.2. DISEÑO DEL COLECTOR SOLAR Y CÁLCULO DE EFICIENCIA.....	23
3.2.1. Ecuación fundamental del colector solar de placas planas.....	23
3.3. FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO EN BLOQUE	24
4. DISEÑO DEL COLECTOR SOLAR HÍBRIDO	27
4.2. ESQUEMA DEL COLECTOR SOLAR HÍBRIDO.....	27
4.2.1. Dimensiones.	28

4.3.	DISEÑO DE LA ETAPA DE CONTROL.....	30
4.4.	SELECCIÓN DE MATERIALES.....	32
4.4.1.	Materiales para la construcción del colector.....	33
4.4.2.	Materiales para la construcción del tanque.	35
4.4.3.	Filtro.....	35
4.4.4.	Materiales para la construcción de la base.....	35
5.	ELABORACIÓN DEL PROTOTIPO Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	36
5.2.	FABRICACIÓN DEL MODELO A ESCALA.....	36
5.2.1.	Primera fase.....	36
5.2.2.	Segunda fase.	37
5.2.3.	Tercera fase.	38
5.2.4.	Cuarta fase.....	40
5.3.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	41
5.3.1.	Cálculo de la eficiencia experimental.	43

6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	49
6.1.	ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL COLECTOR ..	50
6.2.	PRUEBA CON AYUDA DEL COLECTOR, ETAPA DE CONTROL Y RADIACIÓN SOLAR FAVORABLE.	51
6.3.	PRUEBA CON AYUDA DEL COLECTOR, ETAPA DE CONTROL Y RADIACIÓN SOLAR NULA.	52
6.4.	COMPARACIÓN DEL COLECTOR SOLAR CON OTRAS FUENTES DE CALENTAMIENTO DE AGUA.	54
7.	CONCLUSIONES	55
8.	RECOMENDACIONES	56
	CITAS.....	57
	BIBLIOGRAFIA.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Colector solar de placas planas con cubierta (autor)	16
Figura 2. Colector solar de placa plana [8].....	19
Figura 3. Tipos de radiación que llega a un colector [10]	20
Figura 4 Efectos invernadero a) radiación de onda corta, b) radiación de onda larga	21
Figura 5. Diversos ángulos de inclinación en diferentes meses del año [17].....	23
Figura 6. Esquema general del colector solar hibrido	27
Figura 7. Medidas del tanque almacenador de agua	29
Figura 8. Medidas de la tapa del tanque almacenador de agua	29
Figura 9. Medidas de la base estructural	30
Figura 10. Medidas de las capas del colector solar	30
Figura 11. Diagrama esquemático para acople del sensor LM35.....	31
Figura 12. Diagrama completo etapa de control	32
Figura 13. filtro in-line de carbón activado por bloque	35
Figura 14. Colector solar terminado.....	37
Figura 15. Termotanque	38
Figura 16. a) Vista Layout enrutado de la PCB b) Vista 3D de la etapa de control	38
Figura 17. a) PCB revelada, b)PCB con los elementos soldados	39
Figura 18. Construcción e impermeabilización de la sonda.	40

Figura 19. Base estructural.....	40
Figura 20. Prototipo final.....	41
Figura 21. Modelo 1 del colector solar	44
Figura 22. Modelo 2 del colector solar	45
Figura 23. Modelo 3 del colector solar	45
Figura 24. Comparación de temperaturas de los 3 modelos	47
Figura 25. Comparación de temperaturas de los 3 modelos	47
Figura 26. curva característica de eficiencia obtenida.....	48

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades térmicas de algunos materiales de construcción y aislantes	32
Tabla 2 Comparativa de conductividades térmicas	34
Tabla 3 Parámetros del colector para cálculo de eficiencia.....	41
Tabla 4 Variables calculadas para evaluar la eficiencia teórica.	42
Tabla 5 Datos para cálculo de eficiencia experimental	46
Tabla 6 Datos recolectados del colector solar con etapa de control y radiación solar favorable	51
Tabla 7 Datos recolectados del colector solar con etapa de control y sin radiación solar incidente	52
Tabla 8 Comparación consumo energético con otros sistemas de calentamiento	54

RESUMEN

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE COLECTOR HIBRIDO*

AUTORES: HAROLD ALEXANDER PARRA RÍOS.
JOSÉ MANUEL BARCO GÓMEZ
FRANKLIN EDUARDO OJEDA BAUTISTA**.

PALABRAS CLAVE: Colector solar, etapa de control, filtro, temperatura mínima.

DESCRIPCION:

El desarrollo de esta tesis se llevó a cabo con la finalidad de crear un diseño de colector solar de placas planas acoplado un sistema de control que regula la temperatura mínima existente dentro de un tanque almacenador para días de baja intensidad solar. La energía solar se utiliza como alternativa al uso excesivo de combustibles fósiles que se usan en aplicaciones térmicas, tomado como base estratégica que la energía solar es una fuente renovable e inagotable, ayudando a conservar el medio ambiente.

Se cuantifican y dimensionan las características de diseño, posteriormente se implementa un prototipo de colector solar híbrido con materiales de bajo costo que cumplan las propiedades planteadas de los colectores con el fin de comparar resultados (teóricos vs experimentales) y se realizan una serie de mejoras al diseño hasta encontrar los resultados esperados.

A la salida del sistema se coloca un filtro para garantizar agua óptima para el consumo humano cumpliendo con una parte de los objetivos propuestos, después se hace la verificación del sistema completo, con la etapa de control funcionando y manteniendo una temperatura mínima de agua en la salida del tanque almacenador.

Al finalizar se hace una comparación con otras fuentes de energía para el calentamiento de agua y se verifica la viabilidad del sistema con una relación costo-beneficio, además de esto se hacen unas recomendaciones para un posterior estudio.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Mónica Andrea Botero L. Codirector: María Alejandra Mantilla Villalobos

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PROTOTYPE HYBRID COLLECTOR*

AUTHORS: HAROLD ALEXANDER PARRA RIOS.
JOSE MANUEL BARCO GOMEZ.
FRANKLIN EDUARDO OJEDA BAUTISTA**

KEYWORDS: Solar collector, stage control, filter, minimum temperature.

DESCRIPTION:

The development of this thesis was carried out in order to create a design of flat plate solar collector coupling a control system that regulates the existing minimum temperature within a storage tank for days of low solar intensity. Solar energy is used as an alternative to the excessive use of fossil fuels used in thermal applications, taken as a strategic base that solar power is a renewable and inexhaustible source, helping to preserve the environment.

Quantified and dimensioned design features, then a prototype hybrid solar collector with inexpensive materials that meet the properties of the collectors raised in order to compare results (theoretical vs experimental) and a number of improvements are made to be implemented design to meet the expected results.

At the exit of a filter system to ensure optimal water for human consumption complying with some of the objectives is placed after the complete system verification is done with the control stage running and maintaining a minimum temperature of water in the out of the storage tank.

A comparison with other sources of energy for heating water is the end and the viability of the system with a cost-benefit ratio is verified, in addition to this, recommendations for further study are made.

* Work Degree

** Faculty of Engineering physic-Mechanics. School of Electrical and Telecommunications Engineering, Electronics. Directora: Mónica Andrea Botero L Codirectora: Maria Alejandra Mantilla Villalobos

INTRODUCCIÓN

Hoy en día el clima ha estado cambiando debido a la contaminación ocasionada por gases producidos por fábricas, vehículos, entre otros. Estos gases son ocasionados principalmente por la transformación de energía proveniente de los combustibles fósiles (gas, petróleo, carbón), comprometiendo el futuro del planeta. Debido al daño colateral producido por este tipo de energía, es necesario generar un cambio en los hábitos de consumo energéticos y la búsqueda de fuentes de energía alternativa que generen energía “limpia”.

Como resultado a esta búsqueda de energías alternativas se encuentran las energías renovables (energía solar, energía eólica, energía hidráulica, energía geotérmica, los biocombustibles, entre otras). Este documento se enfoca en la energía solar y más específicamente en su aplicación térmica mediante un colector solar de placas planas.

El calentamiento de agua mediante energía solar se ha convertido en una solución económica y ambientalmente amigable [1].

Actualmente los países alrededor del mundo han empezado a evidenciar la necesidad de emplear energías renovables como una alternativa para lograr una mayor sostenibilidad. Colombia ingresó recientemente a la Agencia Internacional de Energías Renovables [3], ratificando su posición como país gestor de desarrollo de tecnologías de producción limpia y amigable con el ambiente.

Colombia es un país privilegiado por la posición geográfica en la zona ecuatorial, lo que permite contar con radiación solar durante todo el año, uno de los elementos claves para convertirse en generador de energía solar. Por tanto en este proyecto se emplea un sistema de aprovechamiento de dicha energía para el calentamiento de agua adecuada para el consumo humano empleando un filtro purificador, y una etapa de control que permite garantizar una temperatura mínima del líquido.

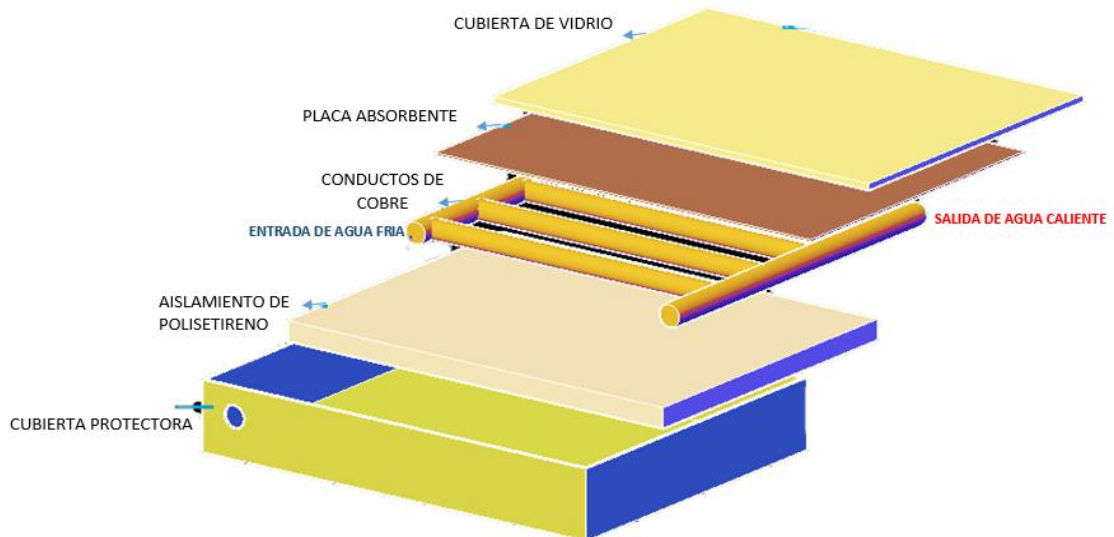
Por tanto, la finalidad de este proyecto es el diseño de un colector solar acoplado a una etapa de control que regula la temperatura mínima existente en el líquido (agua potable) buscando una buena relación beneficio-costos.

1. JUSTIFICACIÓN

Tomando como base estratégica aprovechar fuentes de energías como la solar, que además de ser renovable y prácticamente inagotable, se plantea el uso de colectores solares como alternativa para disminuir el uso de combustibles fósiles, contrarrestando sus efectos secundarios (polución, gases con efecto invernadero, contaminación entre otras), mitigando los daños causados al medio ambiente, promoviendo y creando conciencia del uso de recursos renovables en la sociedad actual.

Para el propósito de este trabajo se diseñó e implementó un colector solar de placas planas con cubierta (ver Figura 1) capaz de calentar 5 litros de agua. A este sistema se adaptó una etapa de control que regula y mantiene un mínimo de temperatura deseado por el usuario y se acondicionó un filtro, de modo que a la salida se obtenga agua adecuada para el consumo humano.

FIGURA 1 Colector solar de placas planas con cubierta (autor)



2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un prototipo de colector híbrido para aplicaciones prácticas y útiles de los colectores solares en función del calentamiento de agua.

2.1.1 Objetivos Específicos

- Realizar un estudio detallado de características físicas para el diseño de un prototipo de colector solar híbrido de placas planas en aplicación de calentamiento de agua, incorporando un sistema de control (montaje electrónico alimentado por una fuente convencional.) que garantice una temperatura determinada del agua para diferentes condiciones de radiación.
- Identificar, determinar y cuantificar las características esenciales de diseño y construcción del colector solar, como: Tipo de superficie captadora, ángulo de inclinación, ubicación geográfica, tamaño, fluido (agua) y rendimiento de los colectores solares.
- Estudio paramétrico de las condiciones ambientales del lugar, tales como: Temperatura ambiental, radiación solar y procesamiento de datos de acuerdo al modelo comparativo entre curvas: rendimiento vs temperatura, temperatura de salida vs tiempo.
- Estudios costo-beneficio del sistema a comparación con otras alternativas de obtención de energía térmica.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En este capítulo se expone la teoría básica de algunas fuentes de energía renovables como solución al déficit energético y ambiental causado por materiales y energías fósiles no renovables, se nombran algunas aplicaciones de la energía solar como lo son los colectores, con algunas propiedades características de cada sistema energético. Al finalizar este capítulo se nombran algunos elementos adicionales utilizados en la construcción del colector híbrido garantizando óptimo funcionamiento.

3.1. LA ENERGÍA SOLAR

La energía solar llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética procedente del Sol y puede ser convertida a energía útil por el ser humano, ya sea para calentamiento (sistema térmico), o para producir electricidad (sistema fotovoltaico) [4].

Actualmente es una de las energías renovables más desarrolladas y usadas en el mundo.

Para el desarrollo de este proyecto se considerará la energía térmica y una de sus aplicaciones.

3.1.1. Energía solar térmica o termosolar. Es aquella energía proveniente del sol, que es transformada en calor de forma limpia y respetuosa con el medio ambiente.

Existen dos sistemas para aprovechar este tipo de energía, sistemas de baja y alta concentración.

El sistema de alta concentración utiliza grandes plantas solares que operan con espejos curvos o discos parabólicos capaces de alcanzar temperaturas hasta 1000°C, este tipo de sistema es utilizado para generar vapor que cumple con la función de mover una turbina para la obtención de energía eléctrica [5].

El sistema de baja concentración emplea colectores solares instalados en los tejados de las casas o edificios para cubrir algunas necesidades básicas como calentamiento de agua, calefacción de habitaciones. Este sistema opera a temperaturas entre 40 y 400 °C. La energía térmica procedente del sol llega a los colectores, calentando el fluido circulante en su interior, este fluido caliente llega a otro circuito (por efecto termosifón) donde se acumula en un depósito hasta ser utilizada.

Uno de los elementos más usados en la actualidad en el aprovechamiento de la energía solar térmica de baja concentración es el colector solar, a continuación se muestra una breve descripción y algunas características de estos colectores.

El científico suizo Horace de Saussure en 1867 desarrolló el primer colector solar con materiales poco ortodoxos y costosos que dificultaban lograr que tuviera gran acogida. El científico francés Auguste Mouchout en el año 1900 usó calor de un colector solar para producir vapor y mover un motor. Desafortunadamente en esa época los elevados costos impidieron que su invento tuviera un uso comercial [6]. El abandono, para fines prácticos, de la energía solar duró hasta los años setenta, el aumento en el precio del petróleo y gas llevó a un resurgimiento en el uso de la energía solar para calentar hogares y agua, así como en la generación de electricidad [7].

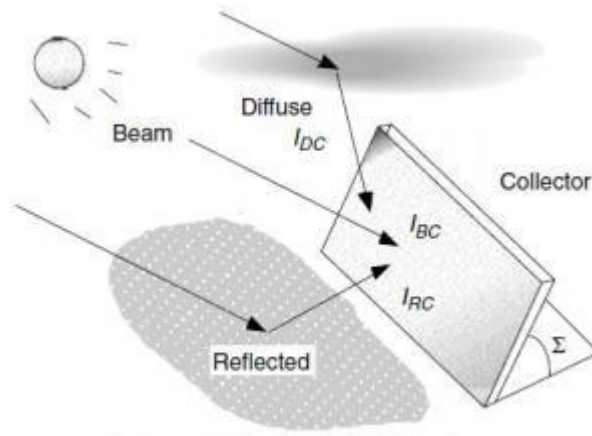
Actualmente existen varios tipos de colectores solares como los son: Colectores de concentración, tubulares y de placas planas.

Figura 2 Colector solar de placa plana [8]



Los colectores planos (Figura 2) tienen una eficiencia del 30 al 60% y hasta ahora son los colectores solares más desarrollados y utilizados [9], permiten alcanzar temperaturas entre 30 y 60°C. [9].

Figura 3 Tipos de radiación que llega a un colector [10]



Un colector solar requiere radiación proveniente del sol para su funcionamiento, siendo esta una combinación de tres tipos de radiación: Difusa, directa y reflejada (ver Figura 3).

Radiación directa (I_{BC}) la que pasa en línea recta desde el Sol a través de la atmósfera hasta el colector.

Radiación difusa (I_{DC}) es la que viniendo desde el Sol ha sido dispersada por moléculas y aerosoles en la atmósfera y llegan a incidir en el colector.

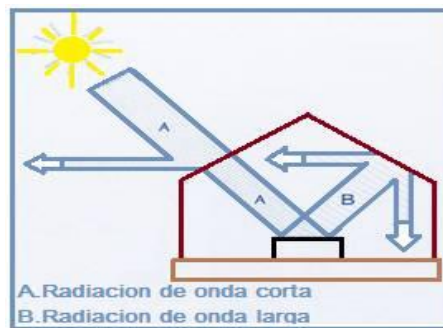
Radiación reflejada (I_{RC}) es aquella que desde el Sol rebota en el suelo u otra superficie frente al colector y luego incide sobre él.

El principio general de funcionamiento de un colector se basa en el *efecto invernadero*, la radiación solar calienta los cuerpos que se encuentran dentro. Este fenómeno produce un ascenso de la temperatura en el espacio interior. El efecto

invernadero será favorable o desfavorable según la época del año en que se utilice. Puede ser favorecido como medio pasivo de calentamiento de un espacio interior o, por el contrario limitado a base de protecciones solares exteriores, con un diseño ajustado a la orientación [11].

3.1.1.1. Efecto invernadero. Se produce cuando la energía solar incide en el vidrio con el ángulo óptimo (ver Figura 4), el vidrio actúa como filtro de algunas ondas solares. La luz solar se filtra y calienta la placa del fondo, emitiendo radiación de onda larga, provocando un ascenso de la temperatura al interior del recipiente, llegando a un nivel más alto de temperatura que en el exterior, por lo que se calientan los conductos anteriormente citados (tubos de cobre y lamina captadora) y de esta forma se transporta la energía a través del colector

Figura 4 Efectos invernadero a) radiación de onda corta, b) radiación de onda larga



Los objetos en el interior generalmente son de color negro, por tanto la combinación del efecto invernadero, la absorción de radiación de los objetos negros y el aislamiento para evitar las pérdidas de calor constituyen los principios físicos fundamentales para comprender el funcionamiento de un colector plano, el cual está entre los más utilizados en el calentamiento de fluidos a determinadas temperaturas.

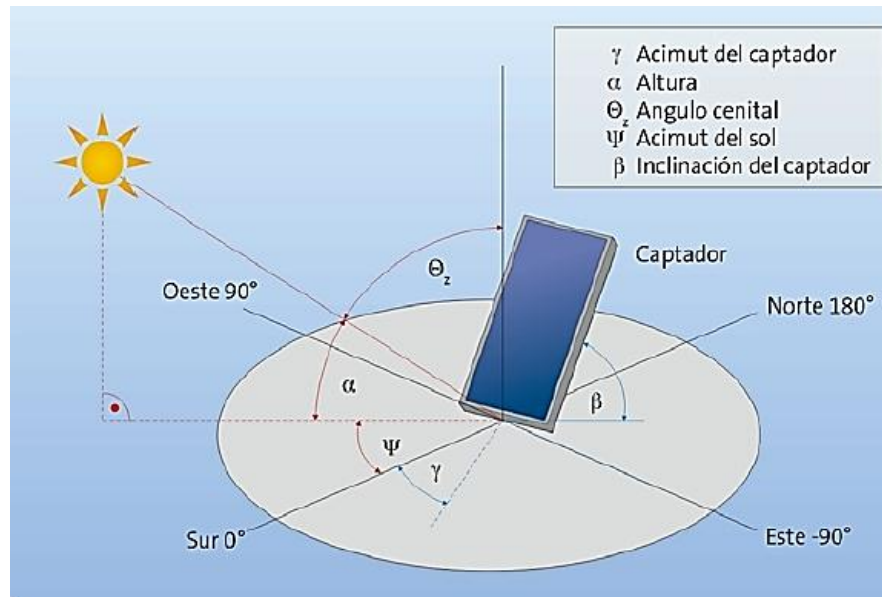
Este proyecto se enfoca en el diseño de un colector solar de placa plana.

Los colectores de placa plana son básicamente un conjunto de capas, partiendo por una caja metálica, aislamiento térmico, placas captadoras de color oscuro y una cubierta de vidrio. [12] La radiación solar es absorbida por la placa que está construida de un material que transfiere rápidamente el calor a un fluido que circula a través de tubos en el colector. La cubierta transparente transmite una gran cantidad de luz en forma de longitud de onda corta y al mismo tiempo, sólo deja pasar muy poca radiación de onda larga (calor emitido por el captador) produciendo un efecto invernadero. La cubierta protege el captador de las condiciones meteorológicas adversas. Típicamente el marco está fabricado de materiales de aluminio o acero galvanizado. El aislamiento en la parte posterior del captador y en las paredes laterales reduce las pérdidas de calor por conducción, este aislamiento puede ser de espuma de poliuretano, fibra de lana de vidrio, entre otros. También se emplean en sistemas domésticos, comerciales y en piscinas cubiertas. Estos colectores tienen una buena relación costo/beneficio. [13]

Los colectores solares generalmente se colocan a cierta altura bajo el tanque almacenador del líquido para realizar el movimiento del fluido, este flujo es causado por el efecto termosifón, que consiste en un movimiento térmico circular en el cual, entre mayor sea la diferencia de temperatura existente entre un fluido almacenado en dos recipientes unidos existirá mayor fluidez de sustancia a través del circuito, esto se debe a que cuando el fluido se calienta, [14] disminuye su densidad, ocasionando que el líquido de mayor temperatura tenga menor densidad y se desplace hacia la parte superior del líquido que tenga mayor densidad (que está más frío) [15].

Se debe tener en cuenta la posición del colector solar respecto a la posición de energía incidente proveniente del sol, para esto se debe colocar la inclinación adecuada dependiendo del periodo del año en que se encuentre (ver Figura 3), tratando que los rayos provenientes del sol lleguen con un ángulo de 90° respecto a su superficie. Un colector ubicado en el hemisferio norte del planeta deberá orientarse hacia el sur y un colector ubicado en el hemisferio sur deberá orientarse hacia el norte buscando contrarrestar el ángulo de inclinación de la tierra [16], sin embargo aunque no se cumpla esta condición el colector seguirá absorbiendo radiación incluso sin la presencia de luz solar directa, es por esta razón que sigue funcionando incluso en los días nublados.

Figura 5 Diversos ángulos de inclinación en diferentes meses del año [17]



En la Figura 5 se observa que el ángulo óptimo de inclinación (β) es igual a la latitud de la localidad, con intervalo de variación de 5° hasta 15° dependiendo de la aplicación, de esta manera el sol debe estar perpendicular al colector en épocas de verano o de intensa radiación. Si la aplicación es de calefacción solar, el ángulo óptimo de funcionamiento es la latitud $+10^\circ$ [16].

Se expone a continuación la manera como se calcula la eficiencia en un colector solar de placas planas paralelas, y además, se presentan algunas especificaciones del filtro que se desea mostrar.

3.2. DISEÑO DEL COLECTOR SOLAR Y CÁLCULO DE EFICIENCIA

3.2.1. Ecuación fundamental del colector solar de placas planas

La ecuación fundamental del colector se obtiene del balance energético:

$$A (I_D \tau \alpha + I_D \tau \alpha) = Q_u + Q_p + Q_c \quad [1]$$

Donde:

A = área del captador [m²].

I_D = radiación solar directa incidente por unidad de área y tiempo [W/m²].

I_d = radiación solar difusa incidente por unidad de área y tiempo [W/m²].

τ = transmitancia media de la cubierta transparente.

α = absorbancia media del captador.

Q_u = calor útil transmitido al fluido, por unidad de tiempo [W].

Q_p = pérdidas de calor por conducción, convección y radiación. [W].

Q_c = calor que se almacena en el colector a mayor temperatura que el ambiente [W]. [18]

Teniendo en cuenta lo anterior se calcula la eficiencia de la siguiente forma:

$$n = \frac{\int \frac{Q_u}{A_c} d\tau}{\int HR d\tau} \quad [2]$$

Donde HR es la radiación sobre la superficie del colector, Q_u es la ganancia útil de energía para esa hora y A_c es el área del colector. La eficiencia diaria no es el promedio de la eficiencia horaria sino que se debe calcular de la siguiente forma:

$$n_{diaria} = \frac{\sum Q_u}{A_c \sum HR} \quad [3]$$

Donde la suma se lleva a cabo para las horas del día donde Q_u es mayor que cero. Así, se obtiene que la eficiencia para cierto mes del año es: [19]

$$n_{mes} = \frac{\sum Q_u}{A_c \sum HR} \quad [4]$$

3.3. FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO EN BLOQUE

Hoy en día existen diversas maneras de purificar el agua de bebida en casa con sistemas de carbón activo. Los filtros más habituales son los de encimera, que se

instalan junto al fregadero de la cocina y se conectan a la toma de agua del grifo. Accionando una sencilla válvula se obtiene agua filtrada, a través del pequeño grifo complementario, o bien se puede continuar obteniendo agua sin tratar.

También existen filtros de pequeño tamaño, y por tanto menor duración, que es posible acoplar directamente en el grifo para obtener agua filtrada.

Un caso especial son los filtros para ducha, que filtran el agua sólo en ese punto. El cloro en el agua de ducha puede reseca el cabello y la piel, e incluso puede provocar irritación en personas de piel sensible, ancianos y niños. Filtrar el agua de la ducha evita estos problemas y también mejora el rendimiento de jabones y shampoos.

En este proyecto se empleó un filtro de carbón activado en bloques de 5 micrones, por lo que tiene un gran poder de filtración. El filtro de carbón activado reduce el sabor y olor del agua, posee un elemento filtrante que está impregnado con plata coloidal, permitiendo retener más del 98,6% de las bacterias y más del 95% de otros contaminantes químicos como el cloro, pesticidas, detergentes, plomo, etc.

El uso del filtro de carbón activado da como resultado obtener agua limpia, libre de bacterias y sustancias químicas eliminando el sabor, olor o color que pudiera tener el agua, antes de ser filtrada. Según el fabricante en pruebas de laboratorio el filtro puede retener y eliminar prácticamente todas las bacterias. Si el agua tiene una concentración elevada de bacterias se retienen más del 98% de estas [20].

El filtro de carbón activado en bloque está compuesto por:

- 1x Pre filtro de 5 micras - Conexión rosca k33pp
- 1x Filtro carbón activo gac - Conexión rosca k33c
- 1x Filtro carbón activo bloque cb - Conexión rosca k33cb
- 1x Pos filtro carbón activo t33 - Conexión rosca
-

El filtro presenta las siguientes propiedades:

1. Módulo: Pre filtro de 5 micras de polipropileno prensado. Elimina arena, óxidos, partículas de tierra, etc.

2. Módulo: Filtro carbón activo gac. Elimina cloro, contaminantes orgánicos y químicos.
3. Módulo: Filtro carbón activo bloque cb. Elimina cloro y contaminantes orgánicos
4. Módulo: Pos filtro carbón activo t33c [21]

4. DISEÑO DEL COLECTOR SOLAR HÍBRIDO

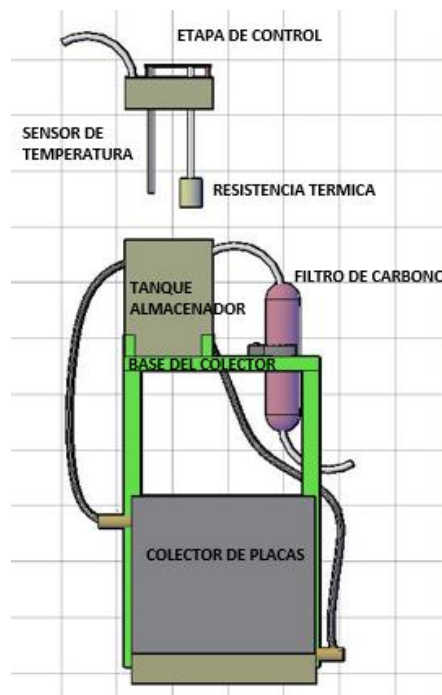
En este capítulo se presenta información sobre el diseño del colector solar híbrido, es decir, medidas, materiales para la construcción y diseño del sistema de control, entre otros.

Se llama colector solar híbrido a un sistema colectivo compuesto por un colector solar de placas planas, un filtro purificador de agua y una etapa de control que nos mantiene una temperatura mínima deseada, que unidas cumplen con unas características específicas de diseño para el calentamiento de agua.

4.2. ESQUEMA DEL COLECTOR SOLAR HÍBRIDO

En la Figura 6 se presenta el esquema inicial del prototipo que se diseñó, especificando cada una de sus partes y la posición en la cual pretenden ensamblar.

Figura 6 Esquema general del colector solar híbrido



El diseño propuesto en este proyecto consta de un colector solar de placas planas usado para calentamiento de fluidos, una etapa de control que permite mantener una temperatura mínima de agua dentro del tanque almacenador (mediante la detección por parte del sensor de temperatura y la activación instantánea de la resistencia térmica), además a la salida del colector se coloca un filtro que garantice obtener agua potable apropiada para el consumo humano.

Teniendo en cuenta los parámetros analizados anteriormente se determinan las dimensiones de cada una de las partes del prototipo (base, tanque, colector), con base a estas medidas y los parámetros obtenidos se comparan algunos materiales y se eligen aquellos que cumplan con los requerimientos para obtener los resultados deseados.

El prototipo consta de un tanque de almacenamiento el cual está a una altura de 30 cm por encima del colector, el agua fría fluye del tanque hacia el colector donde se calienta y termina nuevamente en el interior del tanque. El sistema cuenta con una etapa de control para mantener una temperatura mínima establecida por el usuario, ésta etapa activa una resistencia térmica de agua cuando el sensor detecta que el líquido tiene una temperatura inferior a 35°C. La salida del tanque va conectada a un filtro purificador que suministra agua apta para el consumo humano.

4.2.1. Dimensiones. Teniendo en cuenta la Figura 4 y con ayuda de herramientas digitales se utilizó la herramienta de diseño AUTOCAD, para dar una mejor concepción de las dimensiones utilizadas en la construcción del prototipo. Las dimensiones utilizadas en la construcción del modelo se especifican a continuación.

4.2.1.1. Tanque. El tanque se diseñó de forma rectangular con orificios de entrada y salida del agua, en dichos orificios se le colocan tuercas para el acople de las mangueras. En la Figura 7 se muestra el tanque, la Figura 8 muestra la tapa del tanque con agujeros donde estará ubicada y acoplada la PCB (del inglés PrintedCircuitBoard) con la etapa de control.

Figura 7 Medidas del tanque almacenador de agua

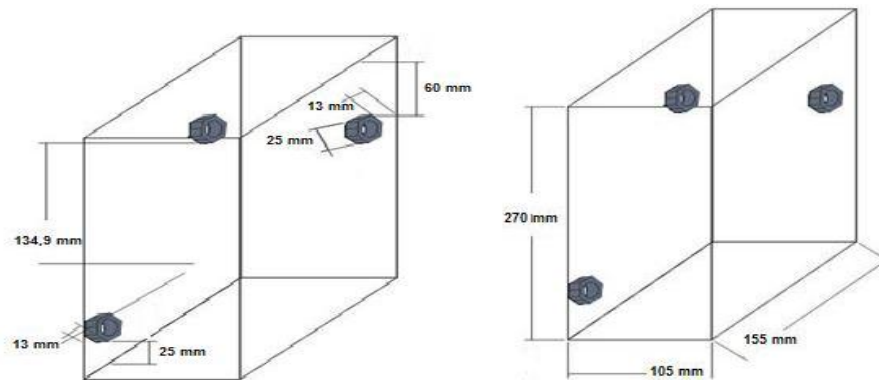
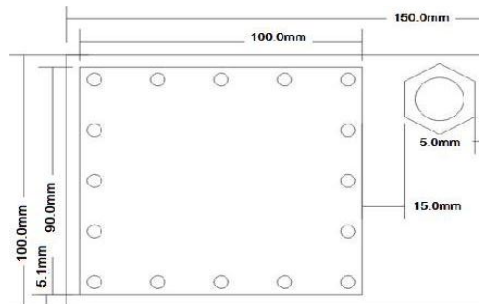
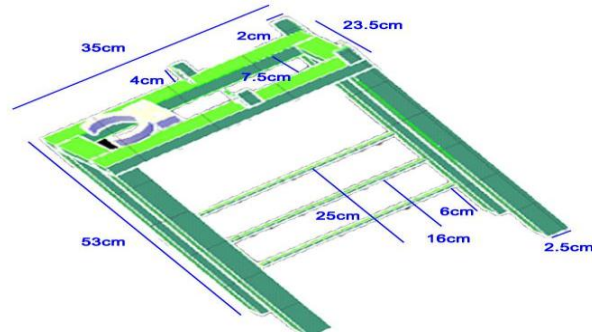


Figura 8 Medidas de la tapa del tanque almacenador de agua



4.2.1.2. Base. En la Figura 9 se observa la base estructural que soporta el colector, el tanque y el filtro, está diseñada para que el colector pueda ser colocado en 3 posiciones angulares distintas para hacer comparaciones de eficiencia como se mostrará posteriormente.

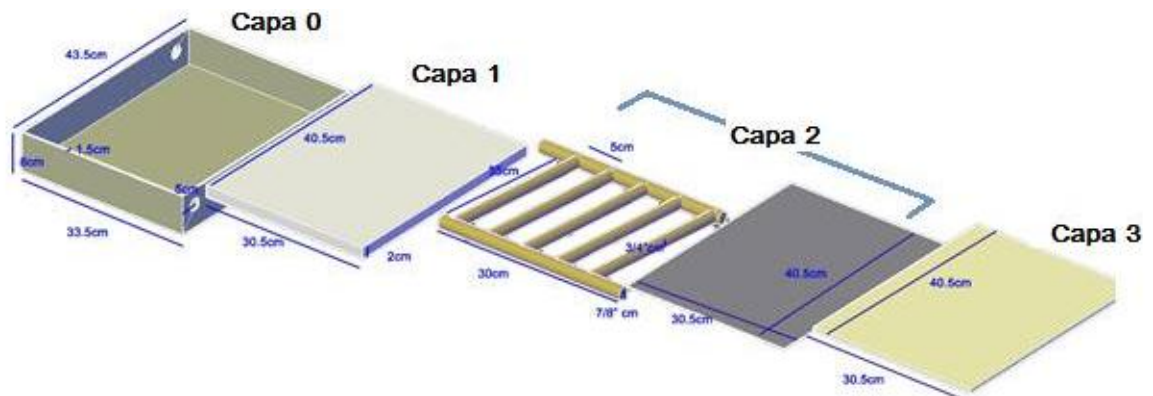
Figura 9 Medidas de la base estructural



4.2.1.3. Colector solar. En la Figura 10 se muestran las capas que conforman el colector solar de placas planas paralelas con cubierta.

- Carcasa (capa 0)
- Aislante(icipor) (capa 1)
- Placa absorbente solar(tubos de cobre en forma de rejilla en contacto con una lámina de aluminio color negro) (capa 2)
- Vidrio templado (capa 3)

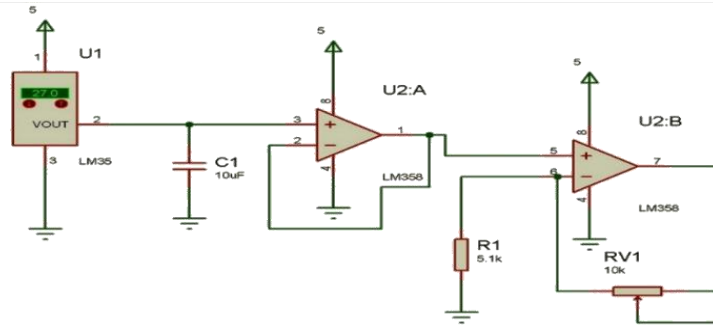
Figura 10 Medidas de las capas del colector solar



4.3. DISEÑO DE LA ETAPA DE CONTROL

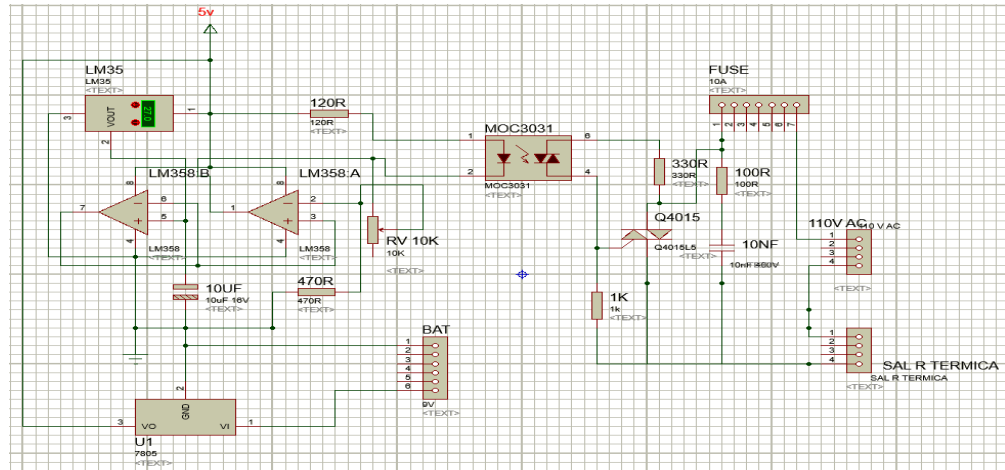
Para la etapa de control se diseñó un circuito de acople para un sensor lineal de temperatura, se implementó con el amplificador operacional LM358 y el sensor de temperatura LM35.

Figura 11 Diagrama esquemático para acople del sensor LM35



En la (Figura 11) se observa el sistema de acople alimentado con una fuente convencional de 9[V] que es regulada mediante el LM7805 garantizando una tensión de 5[V] en todo el circuito lo cual hace mas estable la señal. Tambien se observa el sensor de temperatura LM35 aprovechando su forma lineal, por cada grado °C detectado genera una salida de 10mv, dicha salida pasa por un filtro construido por un capacitor electrolítico para evitar corrientes parasitas y atenuar señales de ruido. Dicha señal filtrada ingresa al amplificador operacional LM358; la parte A del LM358 actúa como una configuracion de seguidor [22] usada como buffer, para eliminar efectos de carga, mejorando la calidad de la señal y entregando potencia para una mejor exactitud en la medida. La parte B del LM358 trabaja como un comparador de forma tal que cuando perciba una temperatura inferior a 35°C(este valor de temperatura puede variar de acuerdo a la posicion del potenciómetro) equivalente a 350[mV] genere una señal ON, esta señal es dirigida hacia el MOC3031. La funcion del optoacoplador (MOC3031) es activar la etapa de potencia cuando recibe la señal de la etapa de acople del sensor de forma aislada como se muestra en la Figura 12, la etapa de potencia es usada para encender la resistencia térmica y mantener una temperatura minima de 35°C [23]

Figura 12 Diagrama completo etapa de control



4.4. SELECCIÓN DE MATERIALES

En la selección de materiales óptimos para construir el prototipo se realizó un estudio detallado de cada una de las propiedades químicas y físicas de diferentes materiales para construcción y aislamiento. Entre las propiedades que más se hizo énfasis fueron conductividad térmica, aislamiento y corrosión.

En la Tabla 1 se resumen algunas propiedades de los materiales que se examinaron [24].

Tabla 1 Propiedades térmicas de algunos materiales de construcción y aislantes

PROPIEDADES TÉRMICAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y AISLANTES				
Material	Densidad(kg/m ³)	Calor específico(J/(kg·K))	Conductividad térmica(W/(m·K))	Difusividad térmica (m ² /s) (x10 ⁻⁶)
Acero galvanizado	7850	460	47-58	13,01-16,06
Aluminio	2700	909	209-232	85,16-94,53
Baquelita	1270	900	0,233	0,201
Cobre	8900	389	372-385	107,45-111,20
Fibra de vidrio	220	795	0,035	0,200
Lana de vidrio	100-200	670	0,036-0,040	0,537-0,299
Plata	10500	234	418	170,13
Poliestireno	1050	1200	0,157	0,125
Vidrio	2700	833	0,81	0,360

4.4.1. Materiales para la construcción del colector. Para la construcción del colector solar de placas planas se escogieron los materiales que se describen a continuación.

4.4.1.1. Capa 0 carcasa (la cubierta externa del colector). Se compararon varios materiales tales como acero galvanizado, acero al carbón y aluminio inoxidable, analizando sus propiedades térmicas, corrosión para evitar contaminar el agua y costo. Se llega a la conclusión que el acero galvanizado es el material que más se acomoda a las necesidades técnicas y económicas debido a su baja conductividad térmica.

El acero galvanizado se obtiene luego de un proceso de recubrimiento de varias capas de la aleación de hierro y zinc.

4.4.1.2. Capa 1 aislante térmico. Para el aislamiento térmico se compararon las propiedades del corcho, poliestireno expandido y lana de vidrio. El material seleccionado fue la lámina de poliestireno expandido debido a la facilidad de adquirir y manejar, costo y aislamiento térmico [25].

El poliestireno expandido mejor conocido en Colombia como “icopor”, es un material formado por una espuma rígida de estructura celular cerrada, caracterizado por su ligereza y versatilidad. La materia prima para obtener Icopor es el poliestireno expandible, el cual se obtiene de la polimerización del estireno [26].

El poliestireno expandido (EPS-icopor) está conformado por aire en un 98% de su volumen, y en un 2,5% por materia sólida. Teniendo en cuenta que el aire en reposo es el mejor aislante térmico conocido, los productos de EPS son excelentes aislantes térmicos, tanto frente al calor como frente al frío. [27].

4.4.1.3. Capa 2 Placa absorbente. Esta capa está compuesta por una rejilla de tubos paralelos en contacto con una lámina plana ambos de material absorbente.

Para la elaboración de la rejilla de tubos se compararon los materiales con mayor absorción y conductividad térmica obteniendo los resultados de la Tabla 2.

Tabla 2 Comparativa de conductividades térmicas

METAL	CONDUCTIVIDAD TERMICA K (W/m*K)
Aluminio	209,3
Aceros	45
Cobre	389,6
Latón	85,5
Plata	418,7
Plomo	34,6

Comparando la relación beneficio-costos, se eligió como material de los tubos el cobre, aunque por sus propiedades térmicas y absorbentes el material más eficiente es la plata. Para mejorar la absorción los tubos se recubrieron de pintura negra.

Para la placa se empleó una lámina de aluminio como material absorbente, y se recubrió de pintura negro mate, para optimizar la absorción.

4.4.1.4. Capa 3 Cubierta protectora. Por último la cubierta protectora se construyó con una lámina de vidrio templado transparente que permita el ingreso de los rayos provenientes del sol.

Son vidrios sometidos a un proceso de calentamiento (aprox.700°C) y luego a un enfriamiento brusco con aire dirigido a temperatura ambiente (aprox.24°C). El resultado es un vidrio capaz de soportar esfuerzos de origen mecánico superiores a su estado original (vidrio sin templar).

Las propiedades del vidrio templado son:

Conductividad térmica de 0,81 W/mK. [28]

Todo vidrio tratado térmicamente tiene una gran resistencia al impacto térmico. Temperatura máxima sin daño de quiebre entre 240°C y 300°C.

El vidrio templado es impermeable a las radiaciones de onda larga lo que genera el efecto invernadero [28].

4.4.2. Materiales para la construcción del tanque. Para la elaboración del tanque se utiliza el mismo material de la carcasa del colector es decir, acero galvanizado. Para el armado del colector y del tanque se utilizó soldadura eléctrica y halógena, asegurando que no exista fuga ni filtrado de agua.

El tanque almacenador se cubrió con una capa de lana de vidrio para evitar que haya pérdidas por transferencia de calor con el medio ambiente. Como se mencionó anteriormente el espacio libre con aire atrapado entre las fibras aumenta la resistencia a la transmisión de calor [29].

4.4.3. Filtro. Por último se utilizó un filtro in-line de carbón activado por bloque (ver Figura 13) de modo que a la salida del tanque se recolectará agua adecuada para el consumo humano (agua potable). Los datos del filtro se presentaron en el marco teórico.

Figura 13 filtro in-line de carbón activado por bloque



4.4.4. Materiales para la construcción de la base. Para la construcción de la base se empleó varilla de hierro para soportar el peso del tanque, del filtro y del colector. Se diseñó de forma que se cumpla la distancia de separación mínima entre el tanque almacenador y el captador (30 cm). La base cuenta con dos separaciones en las cuales se ubican el filtro y el tanque, además se acondiciono un sistema de muescas en la parte inferior para poder variar el ángulo del colector, comenzando con el ángulo de inclinación recomendado $17,6^\circ$ (es la latitud de Bucaramanga, Santander, Colombia más diez grados recomendados en época de baja radiación solar), posteriormente inclinaciones con ángulos de $28,14^\circ$, $36,86^\circ$ de inclinación para realizar diferentes pruebas de eficiencia.

5. ELABORACIÓN DEL PROTOTIPO Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

En este capítulo se presenta paso a paso el proceso de elaboración del prototipo de colector híbrido, se propone una solución teórica para el cálculo de la eficiencia, y se muestran los datos obtenidos experimentalmente con un análisis de resultados diarios. Finalmente se comparan las eficiencias obtenidas experimental y teóricamente, se analizan las ventajas respecto a los colectores convencionales.

5.2. FABRICACIÓN DEL MODELO A ESCALA

La fabricación del modelo experimental se llevó a cabo en 4 fases.

5.2.1. Primera fase. La primera fase consiste en la construcción de la placa colectora, la cual pasa por diferentes procesos para llegar a su forma final. Los procesos realizados fueron los siguientes:

- Se cortaron 5 tubos de cobre de diámetro $\frac{3}{4}$ " (1,905 cm) de largo 30cm, 2 tubos de cobre de $\frac{7}{8}$ " (2,2225 cm) de largo 35cm, armándose posteriormente en forma de retícula, añadiendo a la entrada y a la salida de la rejilla unas tuercas de 1,3mm en su rosca y $\frac{7}{8}$ " (2,2225 cm) en su diámetro externo, soldándose todo con soldadura autógena (debido a que es la más usada en uniones de cobre evitando fugas y porosidad [30]), fundente y electrodos de plata, comprobándose que no hubiera fugas ni escape de agua.
- Para la elaboración de la carcasa protectora del colector se utilizó acero galvanizado el cual se soldó con soldadura eléctrica, doblando las esquinas de la lámina para facilitar su soldadura y posterior armado.
- Se recortaron los demás elementos constitutivos del colector para su armado colocando sus capas de la siguiente forma: inicialmente el poliestireno expandido (icopor), los tubos de cobre pintados de negro, la lámina de aluminio pintada de negro y finalmente el vidrio templado sujetado a la carcasa con cinta doble faz, especial para dicho material (ver Figura 14).

Figura 14 Colector solar terminado



5.2.2. Segunda fase. En esta fase se llevó a cabo de la elaboración del termotanque y su respectiva unión con la placa colectora. A continuación se describe el proceso realizado para la elaboración del termotanque:

- Para la elaboración del termotanque se utilizó acero galvanizado el cual se soldó con soldadura autógena, doblando las esquinas de la lámina para facilitar su soldadura y posterior armado, se hicieron perforaciones en las cuales se soldaron unas tuercas para facilitar la inserción de los racores [31] y las mangueras para entrada y salida de agua.
- La tapa del termotanque se diseñó de forma tal que pueda ser extraíble, además, de servir de soporte de la etapa de control con un aislamiento acrílico para evitar contacto con el metal conductor e impedir daño por humedad presente en el medio ambiente (corto circuito, oxidación de los caminos conductores, degradación de los componentes electrónicos).
- Finalmente se forró y aisló herméticamente con lana de vidrio para evitar pérdidas de calor (ver Figura 15).

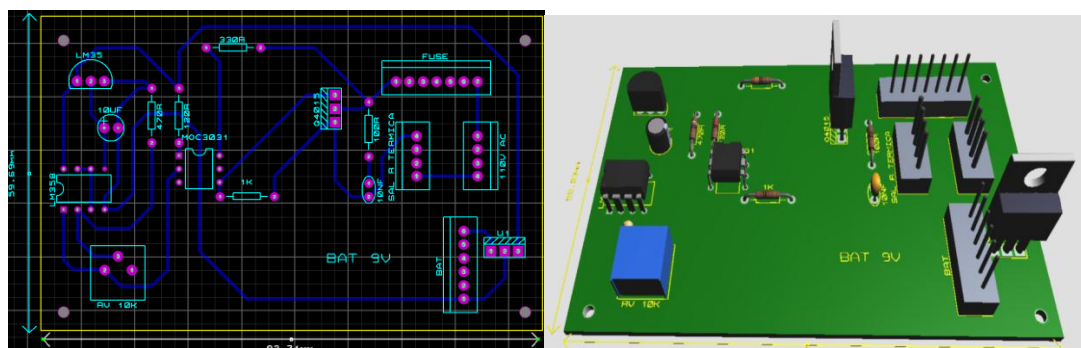
Figura 15 Termotanque



5.2.3. Tercera fase. En esta fase se implementó la etapa de control de la siguiente forma:

- Se creó un archivo en Proteus8.1 (licencia libre) de la etapa de control en el cual se diseña el Layout enrutado de la PCB con sus respectivos elementos y finalmente se genera la vista 3D de la etapa terminada(ver Figura 16).

Figura 16 a) Vista Layout enrutado de la PCB b) Vista 3D de la etapa de control



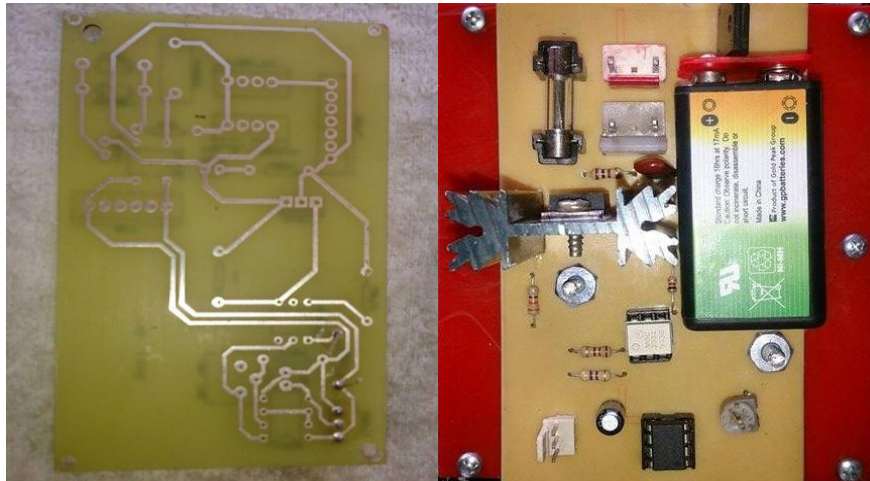
(a)

(b)

- Se revela la PCB y se sueldan los componentes electrónicos (Ver Figura 17).

Figura 17 a) PCB revelada,

b) PCB con los elementos soldados

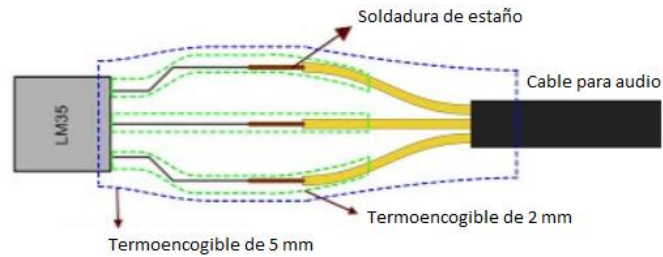


- Se ensambla por medio de tornillos a la tapa del termo tanque de forma que quede fija, manteniendo el acople de la resistencia eléctrica para agua y la sonda con el sensor de temperatura.

Nota:

- *El cableado de la resistencia fue totalmente aislado del termotanque con una válvula elaborada con goma y acrílico para impedir el contacto con el agua, solo la resistencia eléctrica para agua está en contacto con el fluido.*
- *La sonda con el sensor de temperatura (LM35) previamente debe estar impermeabilizado por completo (ver Figura 18) dado que es un elemento electrónico y va a estar sumergido en el agua del termo tanque, su elaboración se desarrolló con 20cm de cable para audio, termo encogibles de 2 mm-5mm y soldadura de estaño, se soldaron los terminales del integrado(Lm35) con el cable de audio, se recubre cada terminal con el termo encogible de 2mm, finalmente se recubre con el termo encogible de 5mm toda la zona que tiene cables expuestos, incluyendo una pequeña parte inferior del sensor LM35 hasta llegar al cable para audio y se obtiene una sonda impermeabilizada. Se probó con otros aislantes para impermeabilizar como la resina, acrílico y silicona pero sin ningún éxito debido a que habían filtraciones de agua o el sensor no funcionaba con normalidad.*

Figura 18 Construcción e impermeabilización de la sonda.



5.2.4. Cuarta fase. En esta última fase se llevaron las siguientes tareas:

- Construcción de una estructura metálica la cual soporta el termo tanque almacenador cumpliendo la distancia de separación mínima entre el tanque y el colector (30 cm), asimismo, la adaptación que sostiene el filtro, y otorga la posibilidad de colocar el colector en distintas posiciones angulares.(ver Figura 19)
- Aplicación del recubrimiento en el colector, termo tanque y base estructural (recubrimiento color negro acabado mate para evitar la reflectancia y aumentar la absorción del calor).
- Ensamble de los racores con las respectivas mangueras, colocación de filtro, válvula manual para salida de agua y armado total del prototipo (ver Figura 20).

Figura 19 Base estructural



Figura 20 Prototipo final



5.3. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Para llevar a cabo las pruebas se requiere de una metodología, la cual indicará los pasos a seguir, para adquirir una serie de datos con la cual a través de la aplicación de conceptos teóricos se pueda demostrar el funcionamiento y eficiencia del equipo.

Teniendo en cuenta los parámetros de la Tabla 3, se pudieron realizar los cálculos de eficiencia y se encontraron los resultados presentados en la Tabla 4.

Tabla 3 Parámetros del colector para cálculo de eficiencia

PARAMETRO	SIMBOLO	MEDIDA	UNIDAD
Longitud del colector	l	0,435	m
Ancho del colector	a	0,335	m
Altura del colector	h	0,08	m
Inclinación del colector	θ	17	grados
Espesor de la lamina	δ	0,001	m
Distancia entre los tubos	W	0,05	m
Diámetro de los tubos interior	$D1$	0,0176	m
Diámetro de los tubos exterior	D	0,01904	m
Distancia entre el absorbente y el vidrio	-	0,02	m
Grosor del vidrio	-	0,005	m
Índice de refracción del vidrio	$n2$	1,526	
Índice de refracción del aire	$n1$	1	
Coefficiente de extinción del vidrio	Kex	0,16	1/cm
Emitancia del vidrio	ϵc	0,88	
Emitancia del absorbente	ϵp	0,95	
Absorbancia angular de la placa absorbente	α	0,95	

Flujo del agua a través del tubo	G	0,03	kg/seg
Conductividad térmica del absorbente	Kp	48	W/mK
Coefficiente de transferencia de calor entre el fluido y el tubo	hfi	1500	w/m2K
Calor específico a presión constante del agua	Cp	4186	Joules/kgK
Conductividad térmica del tubo	-	250	W/mK
Conductividad térmica del aislante	K	0,045	W/mK
Conductividad térmica de la soldadura	Cb	110	W/mK
Grosor del aislante	L	0,04	m
Temperatura del absorbente	Tp	40	313
Temperatura ambiente máxima	Ta	30	303
Velocidad del viento	v	5	m/seg
Valor constante Stefan-Boltzman	σ	5,67E-08	

Luego de realizar los cálculos teóricos se obtuvieron los siguientes resultados

Tabla 4 Variables calculadas para evaluar la eficiencia teórica.

Hora	Qu(W)	HR (W/m ²)	T _{ambiente} (k)	T _{interior del tanque} (k)
7am	31,96	28	293	296
8am	23,75	446	295	297
9am	25,27	652	296	299
10am	71,76	847	297	313
11am	68,81	930	300	317
12m	68,81	960	300	317
1pm	68,81	1072	300	317
2pm	67,30	926	299	315
3pm	69,53	705	298	314
4pm	58,28	413	298	311
5pm	50,79	120	298	309
	605,12	7099		

La eficiencia teórica se calculó mediante la ecuación (3) hallándose como se muestra en la tabla 4 la sumatoria de HR y de Q_u

$$n_{diaria} = \frac{\sum Q_u}{A_C \sum HR} n_{diaria} = 58,49\%$$

5.3.1. Cálculo de la eficiencia experimental. Para obtener la eficiencia cada media hora y diaria, se mide la temperatura de salida del agua con un termómetro digital modelo MC-245 [32] el cual garantiza la medición con una incertidumbre de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ durante quince días. Además los valores de radiación solar fueron suministrados por la estación meteorológica UIS para los días de prueba. Las constantes que se analizaron fueron el área del colector, flujo del agua y el calor específico del agua. Con estos datos se puede obtener la eficiencia. Se pretende analizar la relación que hay entre la temperatura de salida de agua del colector solar de placas planas y la hora del día, para saber su tendencia o regresión.

La eficiencia [33] del proceso se evalúa con la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{\dot{m}C_p(T_s - T_e)}{A_C G_T}$$

[5]

Donde:

\dot{m} = Flujo del agua en el colector (Kg/s)

C_p =Calor específico del agua(J/(kg*°C))

T_e =Temperatura del agua en la entrada del colector (°C)

T_s =Temperatura del agua en la salida del colector (°C)

A_c =Área del colector (m²)

G_T =Calor de radiación solar por unidad de área (W/m²)

Para efectos del trabajo, es de interés evaluar la eficiencia instantánea del colector pues de ella depende el rendimiento térmico del sistema. En dicha evaluación se tomaron datos de radiación solar (G_T) del lugar de realización de pruebas, suministrados por la estación meteorológica UIS, correspondientes a los quince días de prueba mencionados anteriormente.

\dot{m} =0,015 (Kg/S)

C_p =4186 (J/(kg*°C))

A_c =0,145725 (m²)

5.3.1.1. Mejoras al modelo del colector de placas planas. Cuando se evaluó la eficiencia con el modelo descrito anteriormente se obtuvieron resultados desfavorables por ello se realizaron unas mejoras al modelo.

5.3.1.1.1. Modelo 1. El modelo nombrado anteriormente presentaba algunas pérdidas causadas por falta de aislante (poliestireno), en la parte lateral de la base, provocando que el calor acumulado en la rejilla de tubos de cobre se perdiera hacia el exterior. Además, la lámina absorbente de aluminio, no hacía el 100% de contacto con los tubos de cobre debido a la existencia de dos calibres distintos en la rejilla, dando lugar a espacios llenos de aire, el cual actúa como aislante, provocando pérdidas adicionales.

Figura 21 Modelo 1 del colector solar



5.3.1.1.2. Modelo 2. En este modelo se retira la lámina de aluminio de la capa captadora y se rellenan todos los huecos dejados por la rejilla de tubos con material aislante, además de ellos se pintan de color negro, para disminuir pérdidas de absorción en los tubos.

Figura 22 Modelo 2 del colector solar



5.3.1.1.3. Modelo 3. Con el modelo 2 se obtuvieron unas mejoras en la eficiencia, pero no correspondían con los valores esperados, por esta razón se realizó una nueva modificación al diseño; que consistió en acoplar la lámina de aluminio nuevamente, pero esta vez, se recortó de modo tal que solo cubra los tubos verticales que tienen el mismo calibre, se ajustaron comprobando que existiera un máximo de contacto entre la lámina y los tubos, aumentando la zona de absorción térmica.

Figura 23 Modelo 3 del colector solar



Con este último modelo se pudieron alcanzar los valores de eficiencia esperados teóricamente minimizando al máximo la cantidad de pérdidas por falta de aislamiento térmico

Las medidas y cálculos realizados dan los resultados mostrados en la Tabla 5.

Tabla 5 Datos para cálculo de eficiencia experimental

T2-T1	qr	m*Ce*(T2-T1)
0	196	0,00
3	267	188,37
0,7	391	43,95
0,3	529	18,84
0,8	591	50,23
7,7	706	483,48
0,7	241	43,95
1,8	602	113,02
1	193	62,79
0,8	674	50,23
0,2	633	12,56
1,3	680	81,63
0,7	697	43,95
1,5	576	94,19
0,5	398	31,40
-1	590	-62,79
-1	581	-62,79
-1,8	377	-113,02
-1	291	-62,79
-2,2	146	-138,14
-1	76	-62,79
0	0	0,00
sumatoria	9435,00	816,27
$n_{diaria} = \frac{mC_p \sum (T_s - T_c)}{A_c \sum G_T}$		
eficiencia promedio diaria =59,37%		

Se obtuvo una eficiencia mayor en comparación con colectores de tubos de acero [34]

Además de esto se realizaron comparaciones de temperatura entre los tres modelos planteados obteniendo como resultado las gráficas mostradas en las Figuras 24 y 25.

Figura 24 Comparación de temperaturas de los 3 modelos

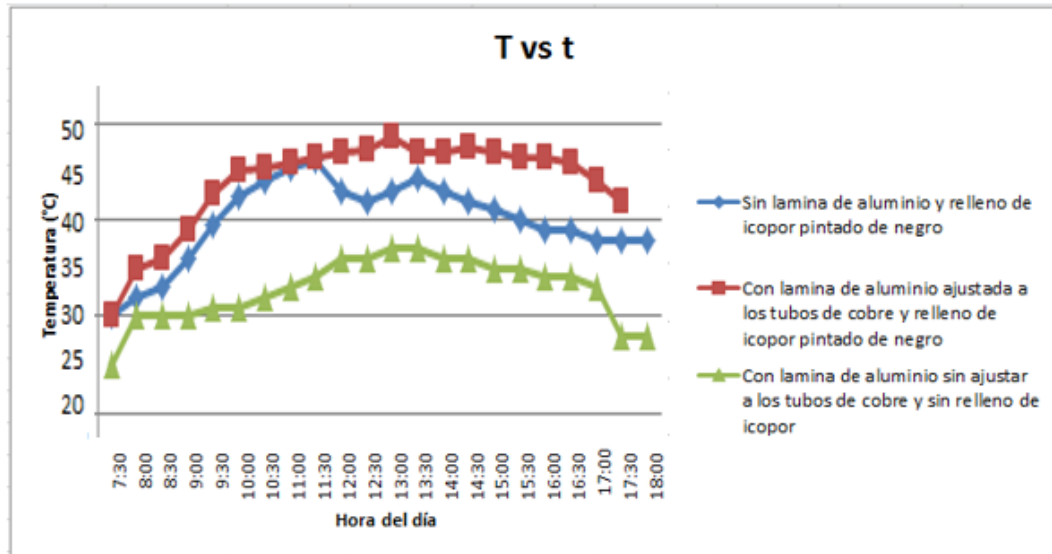
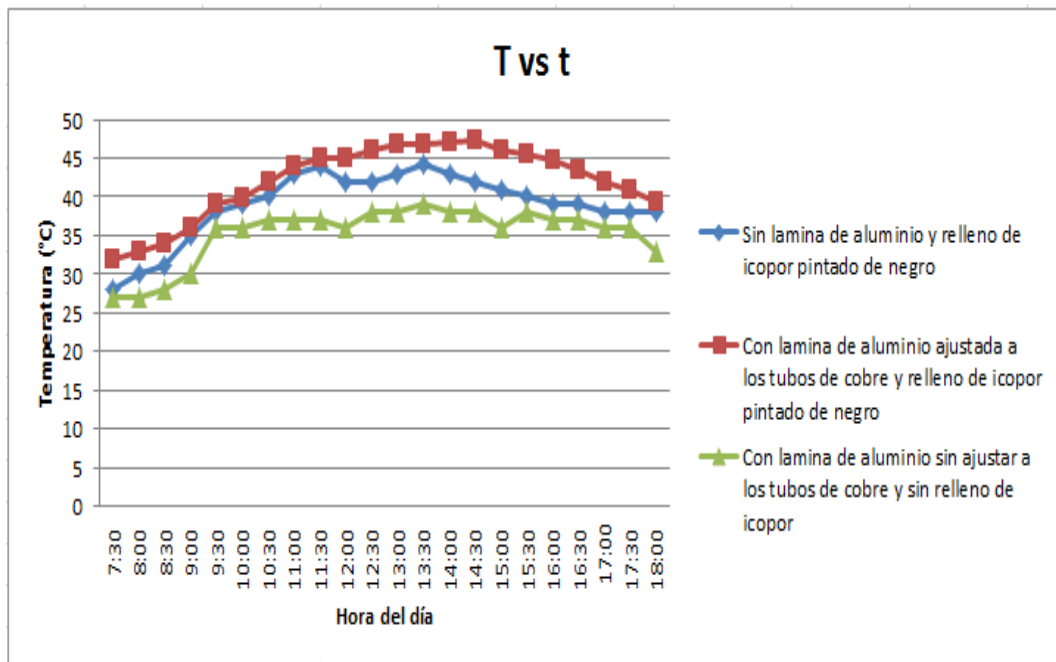


Figura 25 Comparación de temperaturas de los 3 modelos



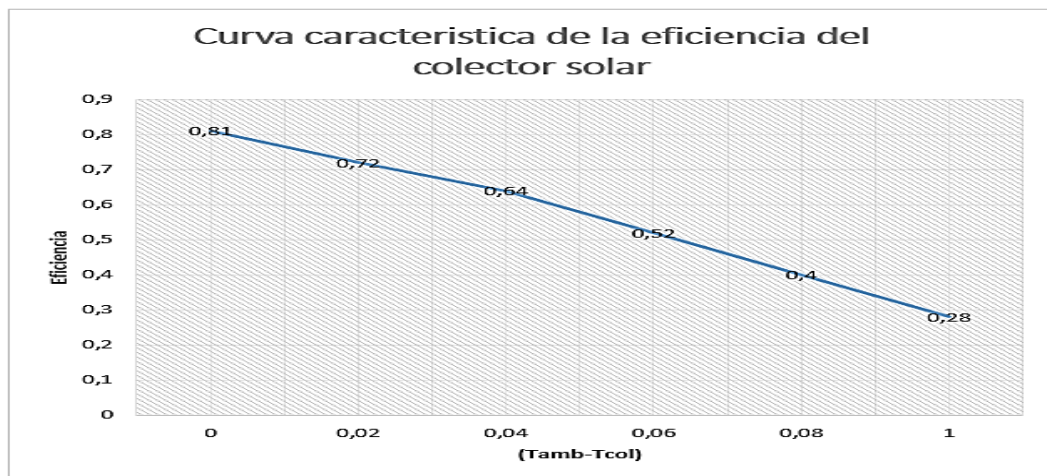
En las Figuras 24 y 25 se presentan las diferente temperaturas alcanzadas por el colector solar con cada uno de los modelos presentados anteriormente, se

tomaron las medidas en días donde la radiación solar era semejantes (promedio de 64,81) para tener una referencia única.

Las caídas de temperaturas en las gráficas anteriores pueden ser mejoradas si se utiliza un mejor aislante térmico como la espuma de poliuretano que evite grandes pérdidas de calor y así se reducirá el uso de la etapa de control, minimizando el consumo de energía eléctrica en horas de la noche. Además es importante mencionar que la carcasa que cubre el colector solar también deberá ser aislada para una mejor conservación del calor en el colector.

Además se obtuvo la gráfica característica de la eficiencia en función de la diferencia entre el valor absoluto de la temperatura ambiente y la temperatura del colector sobre la radiación solar térmica (Figura 26). Ésta gráfica se obtuvo midiendo la temperatura en un día en el que se presentaba buena radiación solar midiendo la temperatura a la salida del colector, y comparándola con la temperatura ambiente, se calcula la eficiencia para diversos valores de temperatura medidos, obteniendo la curva característica.

Figura 26 curva característica de eficiencia obtenida



6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se construyó un colector solar híbrido con una eficiencia máxima de 59,37%, el cual permite tomar agua potable a una temperatura mínima definida por el usuario.

De acuerdo a las mediciones realizadas con el colector solar híbrido modelo 3, se apreció que la temperatura máxima alcanzada por el agua se da entre las 11:00 y 16:00. En días con radiaciones entre 800 Y 1200 W/m², la temperatura típica promedio fue de 52°C.

En ausencia radiación solar, comienza a bajar la temperatura en el fluido del termo tanque, cuando se llega a una temperatura mínima de 35°C, se activa la etapa de control alimentada por la red de energía eléctrica que asegura el mínimo de temperatura programada por el usuario.

Las Figuras 24 y 25 representan el cambio en la temperatura del agua respecto a la hora del día (T vs t) sin etapa de control. Se puede apreciar la tendencia de los puntos hacia una curva parabólica la cual empieza de manera ascendente desde una temperatura inicial de 30°C, se mantiene una temperatura promedio de 48°C entre las 10 am y las 4 pm y conforme se aproxima la noche hay una caída en la temperatura.

Las pérdidas de energía del termo tanque se deben a dos factores principales:

1. El aislamiento térmico no es suficiente para mantener la temperatura en el interior del tanque.
2. Al caer la noche el colector comienza a enfriarse debido a la transferencia térmica con el medio ambiente.

La eficiencia promedio alcanzada durante los días observados fue del 56,67%, este resultado se encuentra en el rango superior de eficiencia de los colectores solares comunes que está entre 35% y 65% [35], la eficiencia más baja fue del 51,55% y se presentó el día 13 de abril del 2015, debido que se presentó parcial nubosidad y lluvia, lo cual afectó la eficiencia del colector. Aun con este último

resultado se muestra que el colector solar de placa plana híbrido tiene una eficiencia superior en comparación a los colectores solares comunes.

En ausencia de calor en el fluido del termotanque, se activa la etapa de control alimentada por la red de energía eléctrica que asegura un mínimo de temperatura programada por el usuario. Los cálculos fueron realizados a partir de los datos registrados de radiación solar que brinda el sistema meteorológico UIS [36], los registros inician a partir de las 7:30 y finalizan a las 18:00 con un intervalo de 30 minutos. Se presentaron algunos inconvenientes porque los días en que la plataforma estuvo en mantenimiento no se reportaron datos, por lo tanto no se registraron los cálculos.

Es pertinente recalcar que el uso de colectores de placa plana está limitado por la temperatura que pueda alcanzar la placa absorbente, a medida que la diferencia de temperaturas entre la placa y el ambiente disminuye, mejora la eficiencia del colector.

Es de aclarar que la temperatura ambiente fue tomada con un intervalo idéntico al de las pruebas. [37]

6.1. ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL COLECTOR

A continuación se analizará el consumo de energía eléctrica de la etapa de control requerido en un día, con y sin radiación solar incidente en la placa absorbente; obteniendo los datos del tiempo en los cuales está en funcionamiento la resistencia térmica para calentar el agua.

Tomando como referencia el precio de la energía eléctrica de la electrificadora de Santander (ESSA) el valor de 1 [kWh/mes] oscila entre \$161,31 y \$456,13 [38] dependiendo del estrato y el mes del año. [38]. De esta forma se tiene una referencia en cuanto al gasto energético de la etapa de control consumido mensualmente.

6.2. PRUEBA CON AYUDA DEL COLECTOR, ETAPA DE CONTROL Y RADIACIÓN SOLAR FAVORABLE.

La Tabla 6 muestra los datos obtenidos en la prueba del colector solar utilizando la etapa de control.

La etapa de control del colector solar híbrido consta de una resistencia térmica de agua de 15 [ohm] la cual está conectada a la red eléctrica (110 [V]), consumiendo una potencia equivalente de 806,66 [W]. Se calculó el tiempo promedio que dura la resistencia activa antes de desconectarse y dar paso al calentamiento de agua mediante el colector dando como resultado 1,5 minutos. Para esta prueba se consideró que la resistencia estaría activa los 30 días del mes, llegando a la conclusión que estará encendida 45 minutos o su equivalente 0,75 horas. Haciendo el cálculo de potencia consumida durante este tiempo se obtiene que el consumo mensual es de 604,99 [W]. Ahora bien si se considera como referencia una vivienda de estrato 4 en la cual el costo de kWh es de \$380,0889, el costo de la energía consumida por la resistencia térmica es de \$229,95 COP mensualmente.

Tabla 6 Datos recolectados del colector solar con etapa de control y radiación solar favorable

Intervalos de tiempo de 30 minutos	Temperatura inicial del agua(°C)	Temperatura ambiente(°C)	Temperatura de salida del agua (°C)	Radiación [W/m ²]
7:30	20	20	35	332,00
8:00	35	20	35	527,00
8:30	35	23	35	555,00
9:00	35	24	37	654,00
9:30	37	25	40	731,00
10:00	40	25	42	803,00
10:30	42	25	43	863,00
11:00	43	25	44	926,00
11:30	45	27	45	944,00
12:00	45	26	45	970,00
12:30	45	26	45	990,00
13:00	45	26	47	858,00
13:30	47	26	48	889,00
14:00	48	26	48	833,00
14:30	48	26	46	770,00
15:00	46	26	43	768,00
15:30	43	25	42	195,00
16:00	42	26	42	111,00
16:30	42	26	40	77,00
17:00	40	26	38	116,00
17:30	38	25	37	70,00
18:00	37	25	37	0,00

6.3. PRUEBA CON AYUDA DEL COLECTOR, ETAPA DE CONTROL Y RADIACIÓN SOLAR NULA.

La Tabla 7 muestra los datos obtenidos en la prueba del colector solar utilizando la etapa de control y sin radiación solar incidente en el colector.

Tabla 7 Datos recolectados del colector solar con etapa de control y sin radiación solar incidente

Hora de activación de la resistencia térmica	Tiempo de funcionamiento de la resistencia térmica [s]	Temperatura inicial del agua(°C)	Temperatura ambiente(°C)	Temperatura de salida del agua (°C)
17:47	92	20	20	35
17:59	10	35	20	35
18:05	10	35	23	35
18:10	10	35	23	35
18:16	10	35	22	35
18:23	10	35	20	35
18:26	5	35	21	35
18:30	7	35	22	35
18:33	10	35	22	35
18:36	7	35	20	35
18:50	17	35	23	35
19:06	10	35	23	35
19:10	30	35	22	35
19:12	10	35	20	35
19:16	10	35	20	35
19:25	8	35	22	35
19:28	10	35	23	35
19:36	10	35	22	35
19:38	14	35	20	35
19:49	12	35	20	35
20:00	10	35	22	35
20:12	25	35	22	35
20:15	15	35	20	35
20:20	10	35	23	35
20:33	60	35	23	35
20:54	10	35	22	35
21:04	10	35	20	35
21:14	15	35	20	35
21:30	60	35	20	35
21:45	10	35	20	35
21:50	10	35	23	35
21:57	40	35	23	35
22:06	7	35	22	35
22:17	43	35	20	35
22:28	40	35	21	35
22:38	8	35	22	35
22:45	8	35	22	35

22:54	10	35	20	35
23:01	10	35	23	35
23:05	10	35	23	35
23:10	8	35	22	35
23:16	14	35	20	35
23:24	12	35	20	35
23:27	60	35	22	35
23:33	10	35	23	35
23:37	43	35	22	35
23:50	18	35	20	35
00:00	17	35	20	35
00:10	10	35	22	35
00:16	10	35	22	35
00:25	8	35	20	35
00:36	10	35	23	35
00:49	25	35	23	35
01:12	10	35	22	35
01:20	60	35	20	35
01:37	10	35	20	35
01:57	20	35	20	35
02:03	10	35	20	35
02:13	15	35	22	35
02:29	10	35	23	35
02:44	10	35	22	35
02:58	40	35	20	35
03:15	20	35	20	35
03:26	30	35	20	35
03:33	25	35	20	35
03:44	60	35	22	35
03:57	12	35	23	35
04:02	10	35	22	35
04:20	20	35	20	35
RESULTADOS	Sumatoria activación de la resistencia térmica	1320 [s]	Temperatura constante	35°C

La prueba anterior se realizó con la etapa de control pero esta vez en ausencia de radiación solar de modo que la resistencia térmica estuviera en funcionamiento casi en la totalidad del tiempo, ya que se realizó con el mismo valor de resistencia la potencia promedio que consume es de 806,66 [W], la medición se obtuvo en el intervalo de 5:45 pm y 4:20 am; se captó que la resistencia estuvo activa durante un tiempo de 1320 [s], concluyendo que mensualmente consumiría por un tiempo de 660 minutos lo que equivale a 11 horas, dado que el consumo por hora es de 806,66 [W] se genera un consumo mensual de 8873,26 [W] con un costo de \$3372,72 mensual. Se especifica que como la etapa de control se desconecta cuando el líquido (agua) alcanza el valor de temperatura establecida y a su vez la ausencia de radiación solar, la temperatura del agua a la salida del colector es de 35°C.

Es pertinente recalcar que el uso de colectores de placa plana está limitado por la temperatura que pueda alcanzar la placa absorbente, bajo unas condiciones dadas para una necesidad específica, a medida que la diferencia de temperaturas entre la placa y el ambiente disminuye, crece la eficiencia del colector.

A medida que se hicieron las mejoras al modelo del colector solar y pasaban las horas la temperatura aumentaba y se mantenía estable y finalmente disminuía creando una forma de parábola, esto se debe a que al tener el aislante en cada espacio vacío y la lámina captadora haciendo contacto con los tubos se dispersa de manera uniforme el calor a lo largo del colector evitando cambios bruscos en la temperatura del líquido

6.4. COMPARACIÓN DEL COLECTOR SOLAR CON OTRAS FUENTES DE CALENTAMIENTO DE AGUA.

Tabla 8 Comparación consumo energético con otros sistemas de calentamiento

SISTEMA	COLECTOR SOLAR	CALENTADOR A GAS (BOSCH)	DUCHA ELECTRICA
VALOR ADQUISITIVO	\$ 800.000	\$ 500.000	\$ 80.000
CONSUMO DE POTENCIA MENSUAL	604,99W-9,4kW	9300 Kcal +17 kW	26250W
CONSUMO MONETARIO MENSUAL	\$ 229,95-\$3600	\$ 9.000	\$13150 por persona
VIDA UTIL	15 años	10 años	1.5 años

7. CONCLUSIONES

- Después de la elaboración de este proyecto se puede concluir que la energía solar es una posible solución a muchos problemas que se tienen en la generación de energía eléctrica. Se conoce que el sol aporta en la ciudad de Bucaramanga una radiación promedio de $5\text{kW/m}^2\text{día}$ [39], una cantidad considerable de energía que bien puede ser aprovechada por los diferentes tipos de sistemas basados en la utilización de energía solar, alguno de ellos presentados anteriormente (colector solar de placas planas). Adicionalmente Colombia es privilegiada por la posición geográfica y en consecuencia a ello el aprovechamiento de la energía solar constituye sin lugar a duda una gran solución energética limpia para instalaciones con un consumo importante de agua caliente, provocando ahorro de grandes cantidades de petróleo, gas, electricidad y biomasa, con gran impacto en la instalación de viviendas y cafeterías.
- Se logró fabricar un colector solar que presenta eficiencias comparables con los colectores solares de uso comercial, en el rango superior, aun en días nublados o lluviosos.
- Este colector tiene un diseño innovador ya que presenta algunas modificaciones respecto a los colectores convencionales; estos son, un sistema de control que regula la temperatura y un filtro purificador que otorga a su salida agua apta para el consumo humano. Entre las mejoras obtenidas están: mayor eficiencia en comparación con colectores de tubos de acero [34], agua purificada, temperatura mínima constante, aislamientos en los componentes electrónicos.
- El colector solar híbrido entrega a su salida agua potable a una temperatura mínima deseada, por tanto puede ser una solución para usarse en cafeterías y viviendas, ayudando a minimizar costos energéticos, económicos y a conservar el medio ambiente.
- Se determinó el beneficio del colector en el ahorro energético consumido por la etapa de control mediante el análisis con y sin radiación solar incidente, se obtiene como resultado un ahorro aproximado del 90% en días con radiación solar superior a 750 W/m^2

8. RECOMENDACIONES

- Mejorar el diseño del tanque almacenador, acople de la tubería de entrada y salida del fluido.
- Optimizar el aislamiento del colector para disminuir pérdidas por transferencias de calor
- Sistematizar la etapa de control mediante un display como visualizador de temperatura en el tanque almacenador y un mando de control para aumento o disminución de la temperatura.
- Alejar el sistema de control para evitar daños provocados por la intemperie.

CITAS

- [1] Finkero, «Abc del finkero la importancia de lo ambientalmente amigable,» 2013. [En línea]. Available: <http://abc.finkeros.com/la-importancia-de-lo-ambientalmente-amigable/> .
- [2] E. J. Arnoletto, «EL IMPACTO DE LA TECNOLOGIA EN LA TRANSFORMACION DEL MUNDO,» noviembre 2007. [En línea]. Available: www.motorpasion.com/tecnologia/se-acaba-el-petroleo-o-no-nos-estan-mareando.
- [3] Irena, «Membresía IRENA,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.irena.org/menu/index.aspx?mnu=cat&PriMenuID=46&CatID=67>.
- [4] Censolar, «Centro de estudios de la energia solar,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.censolar.es/menu2.htm>.
- [5] Twenergy, «¿que es la energia solar termica?,» 2012. [En línea]. Available: <http://twenergy.com/a/que-es-la-energia-solar-termica-599> .
- [6] E. Lorenzo, «Archivo historicos de la energia solar. Instituto de la energia solar,» Universidad Politecnica de Madrid, Madrid, 2004.
- [7] EnergiaSolar, «EnergiaSolar.mx,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.energiasolar.mx/inventos/historia-energia-solar.html>.
- [8] H. Z. Danny Arenas, «Libro interactivo sobre energia solar y sus aplicaciones,» Pereira, Universidad Tecnologica de Pereira, 2011, p. 44.
- [9] E. A. Cortes, Apuntes sobre energia y recursos energeticos, Bogota: Punto llano Ltda, 1993.
- [10] Solartronic, «Irradiaciones global, directa y difusa, en superficies horizontales e inclinadas,» 2003. [En línea]. Available: <http://www.solartronic.com/download/radiacion.pdf>.
- [11] L. S. C. C. Cora Placco, «Colectores Solares para agua caliente,» 2011. [En línea]. Available: http://www.inti.gob.ar/e-renova/pdf/colectores_solares_aguacaliente.pdf.
- [12] K. McCartney, Agua caliente solar, Madrid: Hermann Blume Ediciones Madrid, 1982.

- [13] H. Rodriguez, «Diseño construcción y caracterización de un colector plano de aire,» 2012. [En línea]. Available: <http://fisica.usach.cl/sites/fisica/files/tesis-hernan-rodriguez-valencia.pdf>.
- [14] Thermosolutions, «Energía solar térmica: tipo termosifón,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.thermosolutionsgroup.com/manualespdf/245-Sistema-Termosifon.pdf>.
- [15] U. d. t. U. UTU.CEPT, «Cursos de proyectos de sistemas de calentamiento solar,» 2014. [En línea]. Available: http://industriales.utu.edu.uy/archivos/energias/Energia%20solar%20termica%20e%20instalaciones%20asociadas/TR_05-Principios%20Funcionamiento.pdf.
- [16] T. Metcalfe, «¡La inclinación del eje de la tierra es la causa de las estaciones del año!,» 2006. [En línea]. Available: http://www.windows2universe.org/earth/climate/cli_seasons.html&lang=sp.
- [17] I. E. d. Cantabria, «Energía Solar Térmica,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.scalofrios.es/Calor/solar.htm>.
- [18] U. N. d. G. Ecuatorial, «Energías alternativa,» p. <http://www.unge.gq/ftp/biblioteca%20digital/Libro%20Energia%20alternativas/Solar/Solar3%20.pdf>, 2014.
- [19] J. Paz, «Colectores solares planos tratamiento teórico,» 2007. [En línea]. Available: http://bidi.unam.mx/libroe_2007/colectores1/A14.pdf.
- [20] Aguamarket, «Filtro de carbono activado en bloque,» p. http://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=4663&nomb_reproducto=filtro+de+carbon+activado+en+bloque, 2014.
- [21] solostock, «Filtros ósmosis inversa,» 2013. [En línea]. Available: <http://catalog.ssstatic.com/catalog-2842683-67.pdf>.
- [22] A. Azpitarte, «Daq circuitos,» 2013. [En línea]. Available: <http://daqcircuitos.net/index.php/circuitos-tipicos-con-amplificadores-operacionales/circuito-seguidor-de-tension/81-circuito-seguidor-de-tension>.
- [23] J. Sanchez, «Sensor de precisión de temperatura centígrada,» marzo 2011. [En línea]. Available: <http://blog.utp.edu.co/jnsanchez/files/2011/03/LM351.pdf>.

- [24] M. Aureum, «Miliarium.com Ingenieria civil y medio ambiente,» 2009. [En línea]. Available: <http://www.miliarium.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp>.
- [25] G. Valenciana, «Prodctos y materiales propiedades de aislantes termicas para rehabilitacion energetica,» *Cuadernos de rehabilitacion*, pp. 1-7, 2011.
- [26] T. cientificos, «Poliestireno,» 2006. [En línea]. Available: <http://www.textoscientificos.com/polimeros/poliestireno>.
- [27] Isopor, «EPS-icopor,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.isopor.com.co/epsicopor/>.
- [28] Tecnoglass, «Vidrio templado,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.tecnoglass.com/templado.pdf>.
- [29] F. a. a. o. o. t. u. Nations, «Materiales termoaislantes, características técnicas y criterios de selección,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/docrep/008/y5013s/y5013s07.htm>.
- [30] D. Nuncira, «Asociacion nacional de empresarios de Colombia,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.andi.com.co/cdm/Documents/Documentos%20de%20Interes/Daniel%20Nuncira.pdf>.
- [31] M. tornillos, «Mundial de tornillos el tornillero mundial,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.mundialdetornillos.com/Descubra-la-importancia-de-los-racores>.
- [32] Omron, «Omron Termometro digital,» 2011. [En línea]. Available: http://www.alvearmedicalcenter.com/pdf/manuales/2012/MC-245INT_SP_r3.pdf.
- [33] J. P. W. C. L. S. Luis Montoya, «Evaluacion de un calentador solar de agua de acuerdo a norma tecnica peruana,» 14-19 noviembre 2011. [En línea]. Available: <http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2012/02/25.Evaluaci%C3%B3n-de-un-calentador-solar-de-agua-de-acuerdo-a-Norma-T%C3%A9cnica-Peruana..pdf>.
- [34] S. R. Nelson Jaimes, *Diseno y construccion de un colector solar de tubos al vacio*, Bucaramanga, 2012.

- [35] S. d. Energia, «Comision nacional para el uso eficiente de la energia,» 2014. [En línea]. Available: http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/componentes_solar.
- [36] UIS, «Datos Climatológicos Escuela ingenieria civil UIS,» 2015. [En línea]. Available: <http://albatros.uis.edu.co/eisi/eisi.jsp?IdServicio=S558>.
- [37] Tv5monde, «servicio meteorologico Tv5monde,» 2015. [En línea]. Available: http://www.tv5monde.com/cms/chaine-francophone/meteo/p-176-lg5-Bucaramanga.htm?id_ville=1908.
- [38] ESSA, «ESSA siempre adelante,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.essa.com.co/site/clientes/es-es/tarifas/consultartarifas.aspx>.
- [39] Solutecnia, «Radiacion solar en las principales ciudades del pais,» 2013. [En línea]. Available: <http://solutecnia.com.co/recursos/radiacion%20solar%20principales%20ciudades%20Colombia.pdf>.
- [40] P. C. S. L. & Cadena, «COLECTORES SOLARES PARA AGUA CALIENTE,» 2010. [En línea]. Available: http://www.inti.gob.ar/e-renova/pdf/colectores_solares_aguacaliente.pdf.
- [41] Batanga, «tipos de movimiento de la Tierra,» 2012. [En línea]. Available: <http://curiosidades.batanga.com/3611/tipos-de-movimientos-de-la-tierra> .
- [42] E. R. Jose Ramirez, «SISTEMAS DE CONTROL I,» *Universidad del Valle*, 2007.
- [43] F. solar, «Las energias renovables y sus usos productivos,» enero 2013. [En línea]. Available: <http://www.gt.undp.org/content/dam/guatemala/01%20Energ%C3%ADas%20renovables%20y%20su%20uso%20productivo.pdf>.
- [44] Nervion, «¿que es la corrosion? como ocurre y como evitarla.,» p. <http://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=4663&nombreproducto=filtro+de+carbon+activado+en+bloque>, 2012.
- [45] U. d. p. m. e. UPME, «Atlas de radiacion solar de Colombia,» 2013. [En línea]. Available: http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/1-Atlas_Radiacion_Solar.pdf.
- [46] U. d. P. M. E. UPME, «Energías Renovables: Descripción, Tecnologías y Usos Finales.,» 2013. [En línea]. Available:

<http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Iluminacion/CarFNCE.pdf>.

- [47] AsierPH, «Ovtoaster Tecnologia libre para mentes curiosas,» 2013. [En línea]. Available: <http://ovtoaster.com/resistencias-pull-down-y-pullup/>.
- [48] T. Instruments, «Datasheet LM35,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>.
- [49] T. Instruments, «Datasheet LM358,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm158-n.pdf>.
- [50] T. Instruments, «Datasheet MOC3031,» 2015. [En línea]. Available: <http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet/fairchild/MOC3031-M.pdf>.
- [51] T. Instruments, «Datasheet TRIAC Q4015,» 2015. [En línea]. Available: http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheets/560/357934_DS.pdf.
- [52] T. Instruments, «Datasheet regulador de tension 7805,» 2015. [En línea]. Available: http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheets/400/249955_DS.pdf.
- [53] J. S. R. C. Amalia Osorio, «Escuela de ciencias y humanidades y escuela de ingeniería de la universidad EAFIT,» 2012. [En línea]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-91652012000100003&script=sci_arttext.
- [54] Cleanergysolar, «Angulo de inclinacion de los colectores solares,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.cleanergysolar.com/2011/11/03/angulo-de-inclinacion-de-los-colectores-solares/>.
- [55] W. t. s. Lenntech, «Efectos ambientales del aluminio,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cu.htm#ixzz3WGK7JS00>.
- [56] W. t. s. Lenntech, «Efectos ambientales del cobre,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cu.htm#ixzz3WGK7JS00>.
- [57] V. Salguero, «Valoración de colectores solares térmicos planos de vacío para la producción de frío,» pp. http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/5380/PFC_Victor_Salguero_Fernandez.pdf?sequence=1, 2008.
- [58] «Elementos.org,» 2014. [En línea]. Available: <http://elementos.org.es/cobre>.

- [59] H. Rodriguez, «Diseño de un colector solar plano,» 2012. [En línea]. Available: <http://fisica.usach.cl/sites/fisica/files/tesis-hernan-rodriguez-valencia.pdf>.
- [60] H. Rodriguez, «Diseño construcción y caracterización de un colector solar plano de aire,» 2012. [En línea]. Available: ww.face.com.
- [61] H. Rodriguez, Diseño construcción y caracterización de un colector solar plano de aire., Santiago de Chile, 2012.

BIBLIOGRAFIA

A. Azpitarte, «Daq circuitos,» 2013. [En línea]. Available: <http://daqcircuitos.net/index.php/circuitos-tipicos-con-amplificadores-operacionales/circuito-seguidor-de-tension/81-circuito-seguidor-de-tension>.

E. R. Jose RAMIREZ, «SISTEMAS DE CONTROL I,» *Universidad del Valle*, 2007.

H. RODRIGUEZ, «Diseño de un colector solar plano,» 2012. [En línea]. Available: <http://fisica.usach.cl/sites/fisica/files/tesis-hernan-rodriguez-valencia.pdf>.

H. RODRIGUEZ, «Diseño construccion y caracterizacion de un colector solar plano de aire,» 2012. [En línea]. Available: ww.facebook.com.

H. RODRIGUEZ, Diseño contruccion y caracterizacion de un colector solar plano de aire., Santiago de Chile, 2012.

H. RODRIGUEZ, «Diseño construccion y caracterizacion de un colector plano de aire,» 2012. [En línea]. Available: <http://fisica.usach.cl/sites/fisica/files/tesis-hernan-rodriguez-valencia.pdf>.

J. PAZ, «Colectores solares planos tratamiento teorico,» 2007. [En línea]. Available: http://bidi.unam.mx/libroe_2007/colectores1/A14.pdf.

J. SANCHEZ, «Sensor de precision de temperatura centigrada,» marzo 2011. [En línea]. Available: <http://blog.utp.edu.co/jnsanchez/files/2011/03/LM351.pdf>.

L. S. C. C. Cora Placco, «Colectores Solares para agua caliente,» 2011. [En línea]. Available: http://www.inti.gob.ar/e-renova/pdf/colectores_solares_aguacaliente.pdf.

S. R. NELSON JAIMES, Diseno y construccion de un colector solar de tubos al vacio, Bucaramanga, 2012.

T. Instruments, «Datasheet LM35,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>.

T. Instruments, «Datasheet LM358,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm158-n.pdf>.

T. Instruments, «Datasheet MOC3031,» 2015. [En línea]. Available: <http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet/fairchild/MOC3031-M.pdf>.

T. Instruments, «Datasheet TRIAC Q4015,» 2015. [En línea]. Available: http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheets/560/357934_DS.pdf.

T. Instruments, «Datasheet regulador de tension 7805,» 2015. [En línea]. Available: http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheets/400/249955_DS.pdf.

Thermosolutions, «Energia solar termica: tipo termosfon,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.thermosolutionsgroup.com/manualespdf/245-Sistema-Termosifon.pdf>.

UIS, «Datos Climatológicos Escuela ingenieria civil UIS,» 2015. [En línea]. Available: <http://albatros.uis.edu.co/eisi/eisi.jsp?IdServicio=S558>.