 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

DESARROLLO DE UN BANCO DE PRUEBAS EXPERIMENTAL PARA DETERMINAR EL CALOR ÚTIL Y LA EFICIENCIA DE UN COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA.

SERGIO ANDRÉS CAMPUZANO BOTERO

JULIO CÉSAR GÓMEZ VILORIA

INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

DIRECTOR: JUAN GONZALO ARDILA

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Enero 2019

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

En este trabajo se busca desarrollar un banco de pruebas experimental y la fabricación de un colector solar de placa plana para medir las variables que determinan el desempeño termo-hidro-dinámico para determinar su capacidad de trabajo tales como el calor útil y su eficiencia.

Después de tener en cuenta el estado del arte consultado se procedió a comprar los materiales necesarios para la fabricación de un colector solar, el tanque de almacenamiento y los sensores y elementos necesarios para el banco de prueba.

Además, se puede apreciar el paso a paso para hallar la eficiencia del sistema y el calor útil, teniendo en cuenta las pérdidas de calor en todos sus aspectos para poder encontrar el coeficiente de pérdidas global.

Con el desarrollo de este colector se evidenció que tiene una eficiencia optima teniendo en cuenta las características del colector y del lugar en el que se realizó la prueba; una forma de aumentar el calor útil del sistema es aumentando el área de este mismo. Empleando la bomba regularmente se aumentó la transferencia de calor por lo tanto se logra una mejor eficiencia.

Con el análisis de las pérdidas de calor del sistema se pudo evidenciar qué tan aislado estaba y cuál era el material por el cual se producía la mayor pérdida de calor.

Palabras clave: colector solar, energía solar, radiación solar, eficiencia, calor útil.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Primero que todo agradecemos a nuestros padres Alfonso Campuzano, Gladis Botero, Amelia Viloría Ríos por inculcarnos buenos valores y guiarnos por el camino de la superación. A mi señora esposa quien fue un apoyo incondicional en esta etapa de vida. A los profesores de la institución que nos exigieron para ser mejor persona y nos brindaron conocimientos útiles. Al municipio de Medellín por el apoyo que nos brinda desde la oficina de presupuesto participativo para poder acceder a la educación superior en la ciudad.

También le agradecemos al asesor Juan Gonzalo por guiarnos y darnos pautas para el desarrollo del trabajo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

n = eficiencia del colector solar

Q_i =calor recibido por radiación solar (W)

Q_o =Calor perdido (W)

Q_u =calor útil (W)

F_r =Factor de remoción de calor

I =radiación solar (W/m²)

m =masa del sistema (kg)

A =área expuesta del colector solar (m²)

A_{cond} = área de contacto entre el serpentín y la placa absorbadora (m²)

α =absortividad

τ =transmisividad

ϵ = Emisividad

U =Coeficiente general de perdida de calor (W/m²°C)

T_i =temperatura inicial de la prueba del agua (°C)

T_o =temperatura final alcanzada del agua (°C)

T_a =temperatura del ambiente (°C)

T_c =Temperatura promedio en la superficie de la placa absorbadora (°C)

T_s = Temperatura superficial del vidrio

C_p = Calor especifico del agua

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

R_{eL} = Reynolds laminar

R_1 = Radio interno de la tubería de cobre

R_2 = Radio externo de la tubería de cobre

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	7
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	9
2.2 REVISIÓN DEL ESTADO DE ARTE	9
3. METODOLOGÍA	14
3.1 DISEÑO Y FABRICACIÓN	14
3.2 PRESUPUESTO DETALLADO	27
3.3 PUESTA A PUNTO	27
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	37
REFERENCIAS	38

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1.INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la energía renovable juega un papel importante para las ciudades, debido al cuidado que hay que prestarle al medio ambiente para bajar el impacto que estamos teniendo en el planeta tierra y seguir gozando de la calidad del aire. En los países desarrollados, específicamente China le apuntan fuertemente a las tecnologías amigables con el medio ambiente con un 76% del mercado internacional en la fabricación de colectores solares (Peuser, Remmers, Heinz, & Schnauss, 2005). A pesar de que existen diferentes tecnologías para el calentamiento del agua mediante el sol, consideramos que el uso de estos sistemas es bajo en Colombia. Es necesario desarrollar un banco de pruebas que permita registrar las variables necesarias para determinar el calor útil y la eficiencia de un colector solar de placa plana, como ayuda en el análisis para determinar su viabilidad y para hacer las modificaciones que permitan mejorar su eficiencia.

En este trabajo se fabricará un colector solar de placa plana con su tanque acumulador y además se desarrollará todo un banco de pruebas para determinar el calor útil captado por el colector y la eficiencia de este, midiendo las variables que determinan el desempeño termo-hidro-dinámico del colector para determinar su capacidad de trabajo. Esto se logrará mediante el diseño del montaje experimental en el que se probará un colector solar de placa plana de circulación forzada, luego se procederá a fabricar el banco experimental diseñado tal que permita hacer pruebas de capacidad de trabajo del colector solar, para finalmente poder realizar las pruebas de puesta a punto del equipo fabricado para garantizar su funcionamiento de acuerdo al diseño realizado y además determinar el calor útil y su eficiencia.

En el ítem metodología se encuentra el procedimiento para la fabricación del colector solar y el tanque de almacenamiento con datos técnicos explicando el porqué del material seleccionado o del elemento empleado; se aprecia también la tabla de presupuesto del proyecto y se describe posteriormente la puesta a punto del equipo donde se calcula la eficiencia del sistema. En la sección resultados y discusión se analizan los valores encontrados y se plantea las razones de dicho resultado. Finalmente, en la sección conclusiones, recomendaciones y trabajo futuro se exponen los resultados con sus

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

deducciones y además lo que más adelante se puede mejorar o realizar en base a este proyecto.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Un colector solar de placas planas es un sistema compuesto por un captador de energía solar que es donde ocurre la transferencia térmica mediante radiación y un tanque acumulador encargado de almacenar el fluido caliente. Este sistema funciona mediante la obtención de radiación solar en el captador y evita las pérdidas por convección y conducción. A pesar de su demanda, acogida y avances tecnológicos que se ha llevado a cabo con respecto al tema, aún hay mucho por trabajar pensando en el beneficio del medio ambiente y de la comunidad.

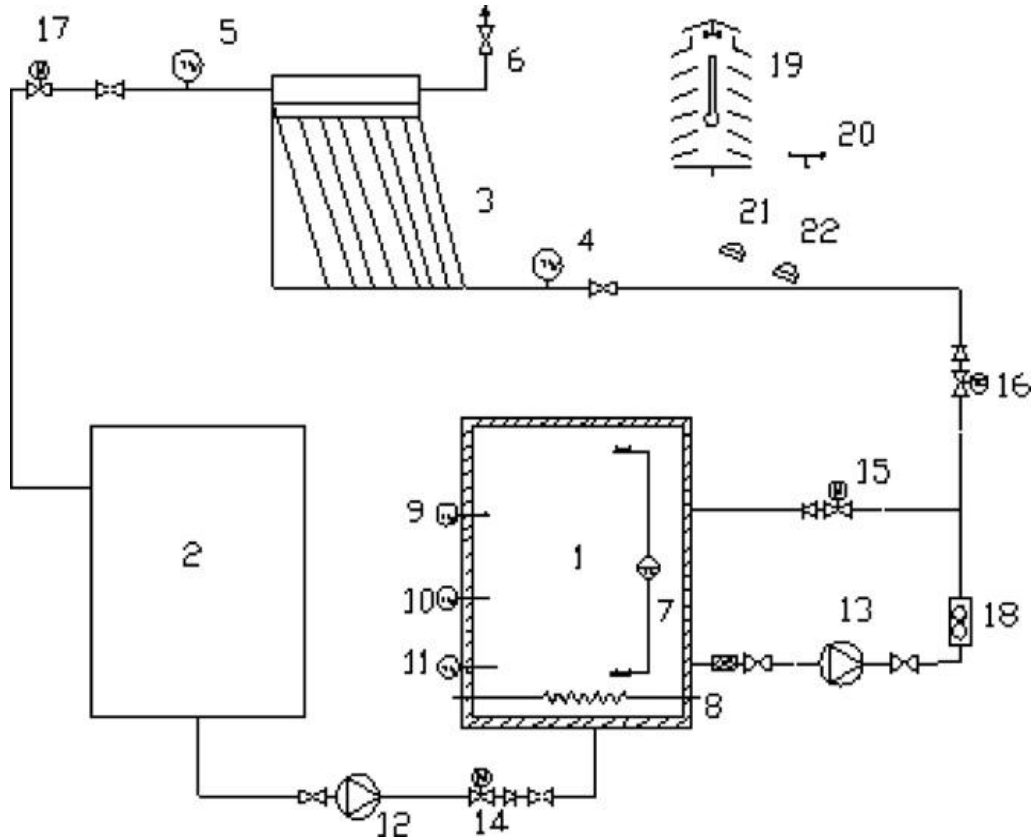
“El método de prueba de estado estable prevalece debido a su cálculo simple por su modelo matemático más sencillo, pero requiere condiciones estrictas de pruebas y no permite desviaciones grandes de los parámetros medidos. El método de prueba de estado estable suele resultar complicado y costoso desde el punto de vista de las empresas manufactureras de colectores solares, por eso son las universidades las llamadas al desarrollo de bancos experimentales que funcionen y garanticen el estado estable” (Kong, Wang, Li, Li, & Xiao, 2012).

“Los estándares para flujo de estado estable descritos en ISO 9806-1,3 y ASHRAE 93-77, y el de flujo cuasi transitorio EN 12975, especifican métodos de pruebas para validar los requerimientos de los colectores de calefacción de líquidos para determinar su durabilidad, confiabilidad y seguridad” (Perers & Bergquist, 2001, p. 1).

2.2 REVISIÓN DEL ESTADO DE ARTE

En La Figura 1 se pueden observar un esquema con los sensores y equipos usados en un banco de pruebas de un colector solar de flujo transitorio, es decir usando una bomba de circulación de flujo; además utilizan una resistencia eléctrica como sistema de calentamiento de apoyo, varias termocuplas, solenoides de paso de agua, medidores de

flujo, pirómetro, entre otros, en la Figura 2 puede apreciarse una fotografía del montaje real (Kong, Wang, Li, Li, & Xiao, 2012).



- | | |
|--|--|
| 1, Temperatura constante de tanque | 12, Bomba suplementaria |
| 2, Tanque de almacenamiento de agua | 13, Bomba de mezclado/ alimentación |
| 3, Colector solar | 14, Válvula suplementaria de solenoide |
| 4, Transductor de temperatura de entrada | 15, Válvula solenoide de mezclado |
| 5, Transductor de temperatura de salida | 16, Válvula solenoide de alimentación |
| 6, Válvula de purga de aire | 17, Válvula solenoide de retroceso |
| 7, Medidores de nivel de líquido | 18, Medidor de flujo |
| 8, Calentador eléctrico | 19, Cubierta del termómetro |
| 9, Temperatura del tanque superior | 20, Anemómetro |
| 10, Temperatura del tanque nivel medio | 21, Radiómetro de dispersión |
| 11, Temperatura del tanque inferior | 22, Pirómetro |

Figura 1. Esquema del banco de pruebas (Kong, Wang, Li, Li, & Xiao, 2012).

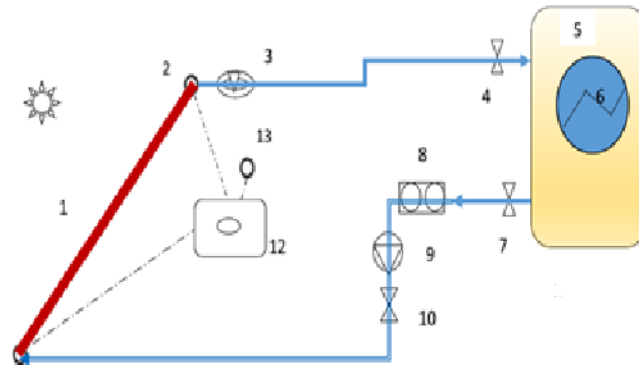


Figura 2. Banco de pruebas de flujo dinámico (Kong, Wang, Li, Li, & Xiao, 2012).

En la Figura 3 se observa un colector de placas planas y un termo acumulador donde determinan la eficiencia usando nano fluido (SiO_2), en el esquema presentado en la Figura 4 se puede apreciar sus elementos componentes, incluyendo todos los elementos de control y sensores de variables medibles (Noghrehabadi, Hajidavaloo, & Moravej, 2016).



Figura 3. Montaje del colector de placa plana con nano fluido (Noghrehabadi, Hajidavaloo, & Moravej, 2016).



- | | |
|----------------------------|---|
| 1, Colector Cuadrado | 6, Intercambiador de calor en el tanque |
| 2, 11, 13 Termocuplas | 8, Medidor de flujo |
| 3, Interruptor de vacío | 9, Bomba |
| 4, 7, 10 Válvulas de línea | 12, Registrador de datos. |
| 5, Tanque | |

Figura 4. Esquema del colector solar con nano fluido (Noghrehabadi, Hajidavaloo, & Moravej, 2016).

En la Figura 5 se logran identificar las diferentes variables necesarias para el cálculo de la eficiencia de un colector solar (necesarias para el desarrollo de este trabajo), como son la radiación solar (I), la energía entregada (Q_i), la energía perdida (Q_o) y la energía absorbida (Q_u) del colector, la temperatura de entrada (T_i) y la temperatura de salida (T_o) (Struckmann, 2008).

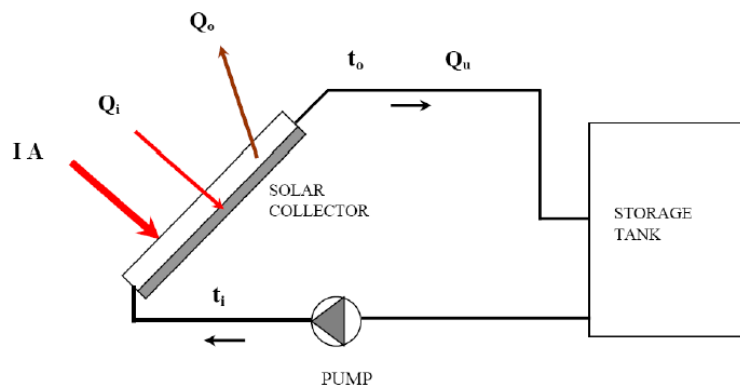


Figura 5. Variables empleadas en el cálculo de la eficiencia del colector solar (Struckmann, 2008).

Para este diseño se deben identificar las partes de un colector solar de placa plana típico, en la Figura 6 se puede observar un esquema genérico del colector a estudiar en el banco experimental a desarrollar, allí se presenta sus partes principales.



Figura 6. Partes de un colector solar (visualdictionaryonline).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

3.1 DISEÑO Y FABRICACIÓN

En referencia a las partes que componen el colector, vale la pena apuntar que, desde el punto de vista de los materiales, se siguieron ciertos criterios comunes, tales como, la tubería es de cobre que cuenta con buena conductividad térmica, para la placa de absorción se empleó aluminio con recubrimiento negro. Entre los materiales más usados en la placa de absorción está el cobre con recubrimiento selectivo (llamado níquel negro), el aluminio con recubrimiento de negro anodizado, el hierro galvanizado con recubrimiento auto adherente de níquel-cromo negro y otros como el latón (UPME, 2003), en nuestro caso usamos una lámina de aluminio recubierta con pintura negra selectiva para aumentar la absorción solar y disminuir la emisividad térmica o infrarroja, y además, cuenta con una alta conductividad térmica; para la estructura empleamos lamina mdf para darle rigidez al colector, y para la cubierta utilizamos vidrio templado.

Para este proyecto es indispensable conocer los rangos de trabajo de las variables relacionadas mediante la normativa 9806 del 2013 para evaluar la eficiencia del colector solar, la cual indica que la radiación solar en la superficie del colector debe ser mayor a 700 W/m^2 , la velocidad promedio en la cubierta del colector teniendo en cuenta sus variaciones deberá ser entre 2 y 4 m/s, y el caudal de trabajo $\pm 0,02 \text{ kg/s}$ por m^2 del área del colector y no debería variar más del 10% en un periodo de prueba a otro (FDIS, 2013, pp. 51,52). Por lo tanto con estos datos se identifican los equipos, como motobomba, y sensores termopares, necesarios para cumplir con los requisitos; para conocer la radiación solar en el punto de trabajo se consultó en bases de datos de mediciones de radiación solar en la ciudad; para conocer la velocidad del viento se utilizó una fuente confiable con dicho valor y para homogenizar la temperatura del agua se utilizó una motobomba, tal como se aprecia en los montajes presentados en la sección Estado del Arte.

Además, para diseñar conceptualmente el banco experimental, aplicamos conocimientos más allá de la normativa 9806 del 2013 que se limita al colector solar, debido a que el banco requiere la medición de temperatura en el sistema, por lo tanto, se utilizó tres termocuplas; una termocupla en la superficie del colector (lamina absorbadora) (T_c), la segunda para la

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

temperatura ambiente (T_a), y la tercera en el tanque de almacenamiento para medir la temperatura inicial (T_i) y la temperatura final o alcanzada en la prueba (T_o).

El lugar escogido para el desarrollo de este proyecto es en un corregimiento de Medellín llamado San Sebastián de Palmitas ubicado en el occidente del Valle de Aburrá, cerca al Túnel de Occidente. La selección del lugar se debe a que el clima es frío y hay suficiente espacio para su desarrollo.

Los sensores y las partes del colector solar y el tanque de almacenamiento se seleccionaron debidamente teniendo en cuenta su función y su rango de operación, se seleccionó una motobomba de $\frac{1}{2}$ Hp o 370 W con el propósito de igualar la temperatura del sistema siendo accionada cada hora por cerca de 10 a 15 minutos.

En la Figura 7, se aprecia un diseño del sistema al cual se quiere llegar.

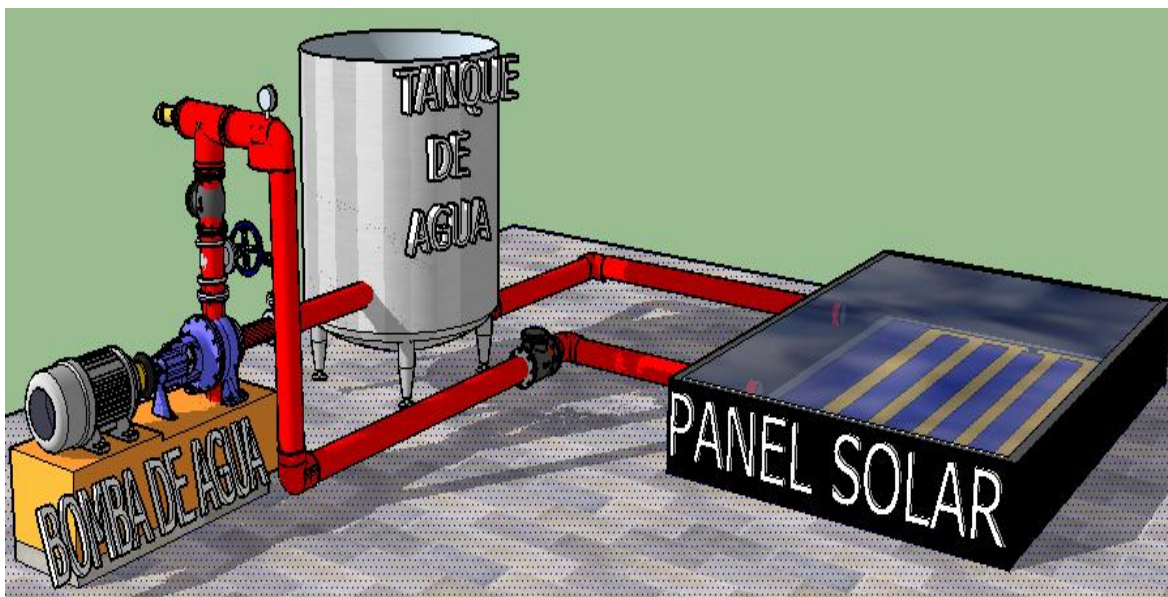


Figura 7. Sistema del colector solar.

En la Figura 8, observamos el proceso para fabricar el emparrillado de cobre. La tarjeta de adquisición de datos seleccionada fue una tarjeta Arduino Uno, ya que posee suficientes entradas de sensores y además se puede visualizar los datos en el computador, mediante la aplicación software Arduino. En la figura 9 y 10, se observa dos planos detallados del colector solar con sus respectivas medidas y componentes.



Figura 8. Unión de la tubería de cobre con los accesorios para la fabricación del emparrillado.

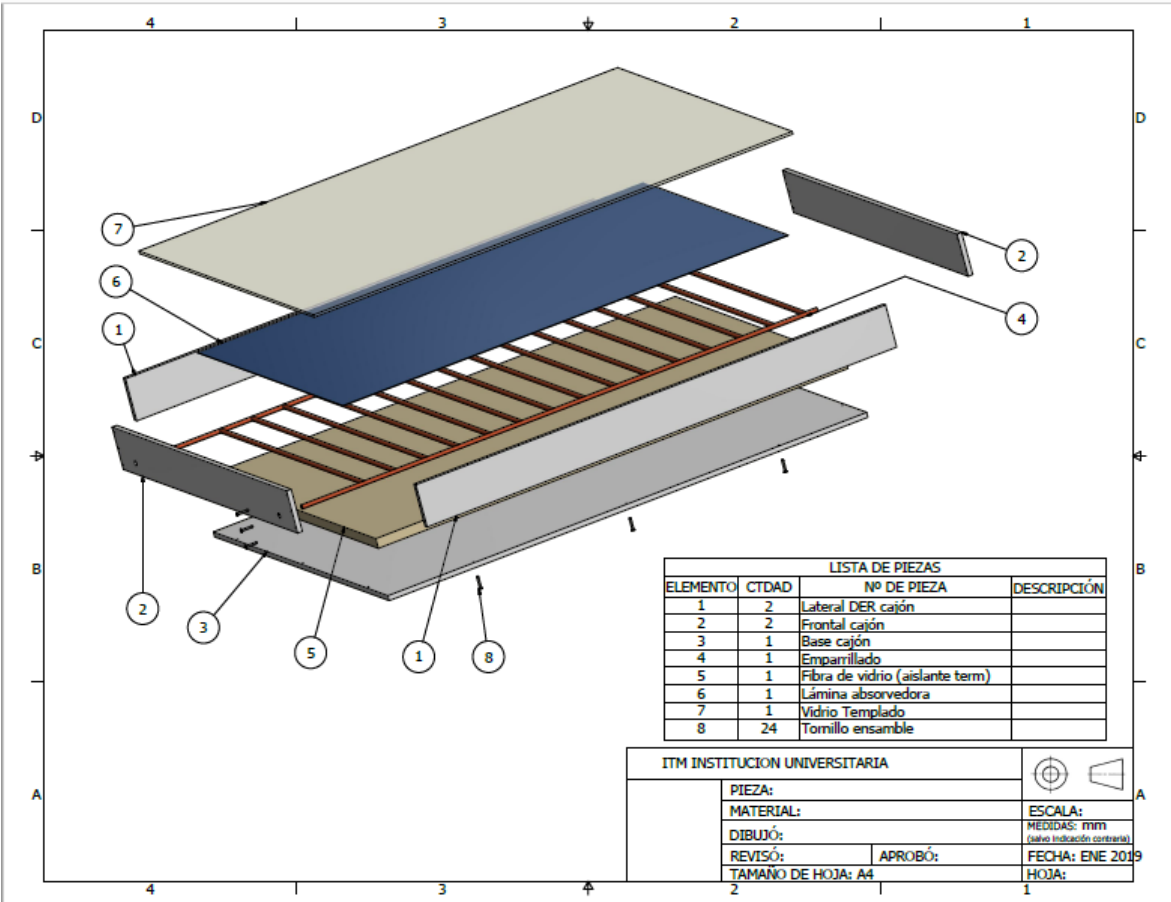


Figura 9. Partes del colector solar

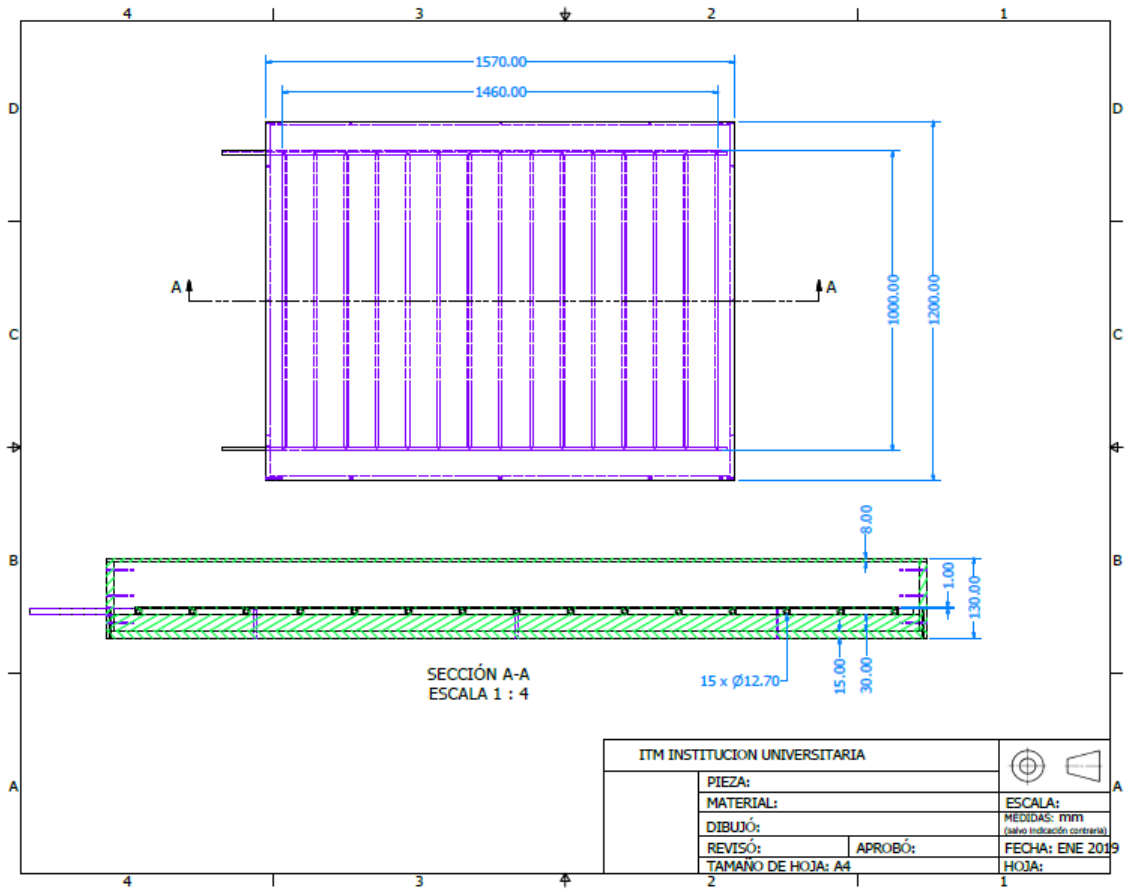


Figura 10. Planos del colector solar

En la Figura 11, podemos observar el plano del tanque acumulador indicando sus dimensiones teniendo en cuenta que su tamaño determina la cantidad de líquido a almacenar, y por consiguiente, la cantidad de calor que se acumula durante la prueba.

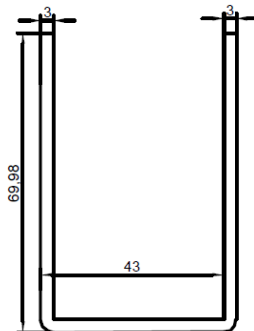


Figura 11. Tanque de almacenamiento aislado, unidades en Cm.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El área del colector junto al diámetro de la tubería y su longitud son variables independientes del modelo de cálculo de la eficiencia del colector. Sin embargo, se sabe que entre más grande es el diámetro usado, la transferencia de calor es más rápida como se observa en la Ecuación 2 (sección Puesta a Punto) donde la absorptividad (α) y transmisividad (τ) propias del material juegan un rol importante, donde entre más grande sea el área expuesta más rápida es la transferencia de calor como se observa en las ecuaciones 1, 2 y 3 (sección Puesta a Punto).

En la Figura 12, podemos observar el proceso de fabricación del emparrillado de tubos, en el cual después de haber recortado la tubería y lijarla, se procede a soldar con estaño y gasmap para garantizar una buena unión del emparrillado.



Figura 12. Proceso de fabricación del emparrillado del colector.

En la Figura 13, se puede observar cómo quedó el cajón donde quedará empotrado el emparrillado del colector solar, el cual evitará que haya una pérdida de calor y/o deterioró del equipo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 13. Cajón del emparrillado

El aislante utilizado fue fibra de vidrio el cual tiene una propiedad térmica aislante de 0,035 W/mK y un espesor de 3 cm. A la placa absorbente se le dieron dos capas de pintura selectiva que preparamos mezclando dióxido de titanio, anticorrosivo y dispersol para mejorar la absorción solar de la placa y disminuir la emisividad de onda larga. El proceso para la fabricación de la pintura selectiva fue agregar dióxido de titanio y diluirlo con dispersol y después agregar anticorrosivo hasta conseguir el tono deseado. En la Figura 14 se puede apreciar el proceso de pintura de la placa absorbente del emparrillado para mejorar las propiedades del aluminio de absorber radiación de los rayos solares.



Figura 14. Proceso de pintar la lamina absorbente

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la Figura 15, se puede observar el ensamble del cajón, la fibra de vidrio, el emparrillado y la lamina absorbedora.



Figura 15. Ensamble del cajón con el emparrillado

En la Figura 16, podemos observar el ensamble del vidrio templado de 8 mm con el cajón que nos va a evitar las pérdidas de calor y el deterioro del proyecto.



Figura 16. Colector solar terminado

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

También se puede utilizar pintura en tres capas una de SiO₂ (óxido de silicio), otra de aluminio, y la última de SiO₂. De este modo se consigue una reflectividad menor del 0,1 para frecuencia de energía solar y superior al 0,9 para onda de larga en el infrarrojo, las cuales no son necesarias para el calentamiento. En la tabla 1, podemos observar el comportamiento de algunas pinturas selectivas sobre diferentes láminas metálicas absorbentes.

Tabla 1. Propiedades de absorptividad y emisividad en diferentes superficies (Díez).

Tipo de superficie	α	ϵ
Negro de Ni sobre Ni	0,93	0,06
Negro de Cr sobre Ni	0,92	0,10
Negro de Cr	0,90	0,10

La transmisividad del vidrio templado incoloro es de 0,89 (Cristaldur).

Luego de tener claro el diseño del colector solar (tubos de cobre en paralelo) y el del tanque se procedió a comprar los materiales. La construcción del emparrillado del colector se realizó haciendo las soldaduras pertinentes en las te mediante fundente y estaño y con ayuda de un soplete a gasmap. La elaboración del cofre del colector solar se realizó en madera aglomerada RH; el ensamble de la madera se realizó con tornillos de ensamble. Luego de haber construido por separado el emparrillado de tubos de cobre y el cofre a la medida del emparrillado, se procedió a ensamblar el cofre, el emparrillado, y el vidrio que es el que permite el efecto invernadero y evita la pérdida de calor por convección.

Después se acondicionar el tanque acumulador de agua, es decir, al tanque de almacenamiento se le colocó un recubrimiento aislante de fibra de vidrio y luego se cubrió con plástico para protegerlo del agua; lo ideal sería cubrirlo con una lámina en aluminio brillante para evitar la pérdida por radiación.

Por último, se realizó el montaje, ubicando el tanque y el colector previamente ensamblados, y realizando todas las conexiones mediante tubería para ubicar y anclar la motobomba al sistema y los sensores, y la tarjeta de adquisición de datos en el respectivo lugar del sistema, además de realizar la conexión de la tarjeta al computador que permita tomar los datos requeridos; como se observa en las Figuras 17, 18 y 19, donde podemos apreciar la toma de datos necesarios para calcular la eficiencia del colector.



Figura 17. Sistema del colector solar empalmado.



Figura 18. Tomas de datos



Figura 19. Toma de datos.

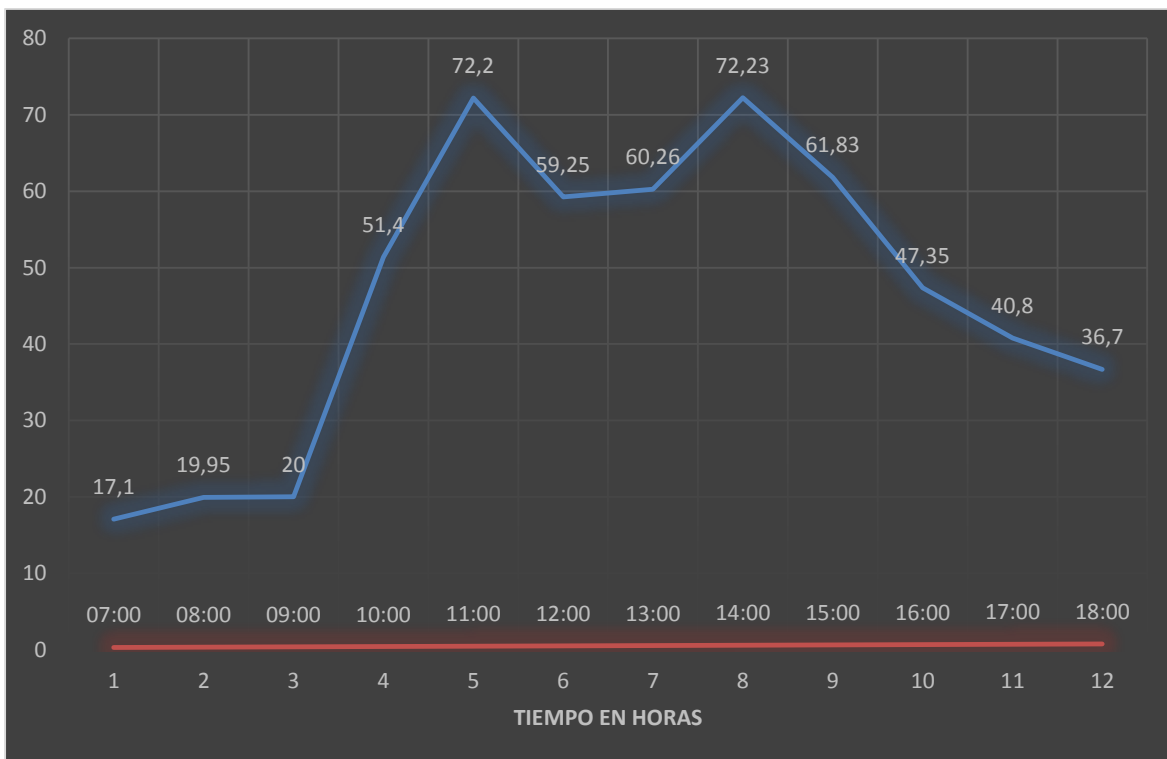
En la tabla 2, se puede apreciar los valores promedios obtenidos de la temperatura en la toma de los datos para verificar la eficiencia del colector solar, los cuales se toman desde las 07:00 del día hasta las 18:00 horas del día, siendo el período comprendido entre las 09:00 y las 16:00 horas donde se aprecian cambios significativos de la temperatura en dicha placa.

Tabla 2. Valores obtenidos en la placa absorbadora durante la toma de datos.

VALORES OBTENIDOS EN LA PLACA ABSORBEDORA	
TEMPERATURA PROMEDIO EN °C	TIEMPO EN HORAS
17,1	7:00
19,95	8:00
20	9:00
51,4	10:00
72,2	11:00
59,25	12:00

TEMPERATURA PROMEDIO EN °C	TIEMPO EN HORAS
60,26	13:00
72,23	14:00
61,83	15:00
47,35	16:00
40,8	17:00
36,7	18:00

En la gráfica 1, podemos apreciar el comportamiento de la temperatura VS tiempo, siendo el período comprendido entre las 10:00 y las 15:00 donde obtuvimos los picos más altos de la temperatura en la placa absorbadora.



Gráfica 1. Gráfica de los valores de temperatura VS tiempo en la placa absorbadora.

En la tabla 3, se puede apreciar los valores promedios obtenidos de la temperatura en el medio ambiente para verificar la eficiencia del colector solar, los cuales se toman desde las 07:00 del día hasta las 18:00 horas del día, siendo el período comprendido entre las 10:00 y las 16:00 horas donde se aprecian cambios significativos en la temperatura del medio ambiente.

Tabla 3. Valores obtenidos en el medio ambiente durante la toma de datos.

VALORES OBTENIDOS EN EL MEDIO AMBIENTE	
TEMPERATURA PROMEDIO EN °C	TIEMPO EN HORAS
13,9	7:00
18,1	8:00
21,1	9:00
26,1	10:00
30,8	11:00
25,5	12:00
28,1	13:00
29,97	14:00
30,5	15:00
26,6	16:00
28,3	17:00
21,4	18:00

En la gráfica 2, podemos apreciar el comportamiento de la temperatura VS tiempo en el medio ambiente, siendo el período comprendido entre las 10:00 y las 17:00 donde obtuvimos los picos más altos de la temperatura.



Gráfica 2. Gráfica de los valores de temperatura VS tiempo en el medio ambiente.

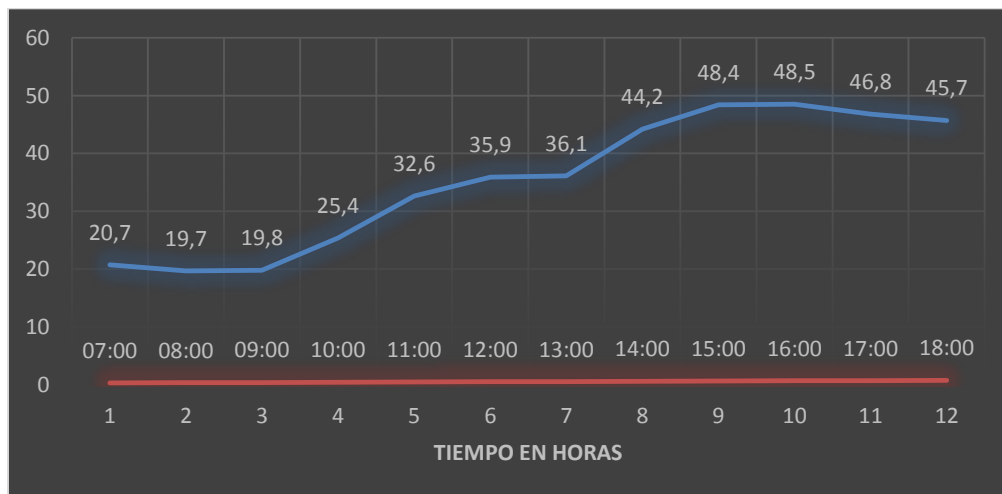
En la tabla 4, se pueden apreciar los valores promedios obtenidos de la temperatura en el tanque de almacenamiento para verificar la eficiencia del colector solar, los cuales se toman desde las 07:00 del día hasta las 18:00 horas del día, siendo el período comprendido entre las 10:00 y las 18:00 horas donde se aprecian cambios significativos en la temperatura del

agua, posiblemente después de este tiempo tendríamos valores altos de temperatura del agua por la cantidad de calor que queda en la placa absorbidora del colector.

Tabla 4. Valores obtenidos en el tanque de almacenamiento durante la toma de datos.

VALORES OBTENIDOS EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO	
TEMPERATURA PROMEDIO EN °C	TIEMPO EN HORAS
20,7	7:00
19,7	8:00
19,8	9:00
25,4	10:00
32,6	11:00
35,9	12:00
36,1	13:00
44,2	14:00
48,4	15:00
48,5	16:00
46,8	17:00
45,7	18:00

En la gráfica 3, podemos apreciar el comportamiento de la temperatura VS tiempo en el tanque de almacenamiento, se puede ver que la temperatura del agua aumento con el paso del tiempo, ganando más de 20° C en el período de tiempo de la toma de datos, lo que genera un parte de satisfacción debido a que se logra pasar de una de 20° C a 48°C.



Gráfica 3. Gráfica de los valores de temperatura VS tiempo en el tanque de almacenamiento.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.2 PRESUPUESTO DETALLADO

Tabla 5. Listado de presupuesto

Descripción	Precio por unidad (\$)	Cant.	Donde se cotizó	Precio total (\$)
Lamina aluminio	81100	1	Los Fierros	81100
Lamina RH de aglomerado	180000	1	Madecentro	180000
Caneca plástica de 88 L	10000	1	Laboratorios laproff S. A	10000
Vidrio templado	227100	1	Vitelo de Colombia S A S	227100
Tubería de cobre ½"	25900	6	Homecenter	155400
Te de cobre	1645	29	Homecenter	47700
Cortador tubería de cobre	23200	1	Homecenter	23200
Codo de cobre	2500	2	Homecenter	5000
Tubería PVC	12000	4	Ferretería San Sebastián de palmitas	48000
Tarjeta Arduino UNO-R3	26000	1	Suconel	26000
Termocupla Tipo J ¼*3	50575	3	Surti industria S A S	151275
Adaptador macho ½" cobre	2100	2	Homecenter	4200
Lija de agua	1000	1	J.A. Grifos y enchapes	1000
Soldadura estaño	15000	1	J.A. Grifos y enchapes	15000
Válvula en PVC	5000	1	Ferretería Palmitas	5000
Universal PVC	3000	6	Ferretería Palmitas	18000
Plástico negro para tanque acumulador	3000	2	Ferretería Palmitas	6000
Fundente	4500	1	J.A. Grifos y enchapes	4500
			TOTAL	1008475

3.3 PUESTA A PUNTO

A la tarjeta de adquisición de datos Arduino Uno se adaptó un componente llamado Max 6675 para poder leer los valores de las termocuplas. Además, se le cargó un programa para poder ver la temperatura en el computador.

En el transcurso de un día y según las condiciones de trabajo se tomaron los valores registrados por la tarjeta de adquisición de datos para proceder a realizar los cálculos y

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

determinar el calor útil de trabajo y la eficiencia del sistema según las ecuaciones planteadas a continuación.

La cantidad total de calor recibido por radiación solar (Q_i) en el colector solar, se calcula por la ecuación 1. Donde (I) es la radiación solar incidente y (A) es el área expuesta del colector solar.

$$Q_i = IA \quad \text{(Ecuación 1)}$$

$$A=1,57m*1,20m \quad A=1,88m^2$$

Sin embargo, la placa absorbadora tiene una absorptividad (α) y transmisividad (τ) propia del material, por lo tanto, el calor captado viene dado por la ecuación 2.

$$Q_i = IA(\alpha \tau) \quad \text{(Ecuación 2)}$$

El colector solar pierde calor (Q_o) al medio ambiente según la ecuación 3; donde (U) es el coeficiente promedio de pérdida de calor, (T_c) temperatura de la superficie del colector y (T_a) temperatura del ambiente.

$$Q_o = UA(T_c - T_a) \quad \text{(Ecuación 3)}$$

En la ecuación 4 podemos observar las variables que juegan un rol importante en la conducción de calor desde la placa absorbadora y el serpentín; donde T_1 y T_2 son temperatura en cada superficie, d es el espesor de la pieza y A_{cond} es el área de contacto entre el emparrillado y la placa absorbadora.

$$Q_{cond} = -K \cdot A_{cond} \cdot \frac{T_2 - T_1}{d} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

Por consiguiente, el calor útil extraído (Q_u) en la ecuación 5 por el colector solar se expresa mediante el calor total absorbido menos el calor perdido mostrado en la ecuación 3.

$$Q_u = I \cdot A(\alpha \tau) - U \cdot A(T_c - T_a) \quad \text{(Ecuación 5)}$$

Aplicando el principio de la primera ley de la termodinámica, se tiene que con la diferencia de temperatura inicial (T_i) con la final (T_o), la masa del sistema (m) y el calor específico (C_p), se puede hallar el calor útil (Q_u) mediante la ecuación 6.

$$Q_u = m c_p (T_o - T_i) \quad \text{(Ecuación 6)}$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El c_p del agua para una temperatura entre 25 y 75°C la cual es la temperatura promedio de trabajo, es de 4.18 KJ/ KgK (Cengel & Ghajar).

La eficiencia según la ecuación 7, se da por la relación del calor útil recibido en el sistema y el calor recibido en la superficie del colector. Esta se da en rango de 0 a 1 donde uno es el mayor valor e indica que todo el calor absorbido es aprovechado.

$$\eta = \frac{Q_u}{A.I} \quad \text{(Ecuación 7)}$$

Por lo tanto:

$$\eta = \frac{I.A(\alpha T) - U.A(T_c - T_a)}{A.I} \quad \text{(Ecuación 8)}$$

A continuación, se presenta el proceso para encontrar U (Coeficiente general de pérdida de calor) ya que se necesita para encontrar la eficiencia en la ecuación 8.

En la ecuación 9 se puede observar la relación para hallar la transferencia de calor por la pared del colector; y en la ecuación 10 la relación para hallar la resistencia térmica de la pared del colector.

$$Q_{\text{conducción pared}} = \frac{T_1 - T_2}{R_{\text{pared}}} \quad \text{(Ecuación 9)}$$

$$R_{\text{pared}} = \frac{L}{K.A} \quad \text{(Ecuación 10)}$$

L= Grueso de la pared

En las ecuaciones 11 y 12 se puede observar la transferencia de calor mediante convección y la resistencia térmica por convección respectivamente.

$$\dot{Q}_{\text{convección}} = \frac{T_s - T_\infty}{R_{\text{convección}}} \quad \text{(Ecuación 11)}$$

$$R_{\text{convección}} = \frac{1}{h * A_s} \quad \text{(Ecuación 12)}$$

En la ecuación 13 relaciona el coeficiente general de pérdida de calor, del cual se despejará.

$$U * A = \frac{1}{R_{\text{total}}} \quad \text{(Ecuación 13)}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Como en la prueba empleamos convección forzada entonces el Nusselt es como se muestra en la ecuación 14.

$$Nu = C * R_{eL}^m P_r^n \quad (\text{Ecuación 14})$$

Para hallar el coeficiente de fricción utilizamos la ecuación 15.

$$\text{Flujo laminar } C_f = \frac{1.33}{R_{eL}^{\frac{1}{2}}} \quad R_{eL} < 5 * 10^5 \quad (\text{ecuación 15})$$

(Cengel & Ghajar, pág. 422)

Para flujo Laminar el Nusselt es como se muestra en la ecuación 16

$$Nu = \frac{h * L}{K} = 0.332 R_{ex}^{0.5} * P_r^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Ecuación 16})$$

Donde $P_r > 0.6$; $R_e < 5 * 10^5$

(Cengel & Ghajar)

Para encontrar el número Reynolds laminar utilizamos la ecuación 17.

$$R_{eL} = \frac{V * L}{\nu} \quad (\text{Ecuación 17})$$

El viento promedio en San Sebastián de Palmitas es de 5 Km/h.

$$V = 5 \frac{\text{Km}}{\text{h}} * \frac{1000\text{m}}{1\text{Km}} * \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = 1.39 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Reemplazamos valores para hallar el número Reynolds.

$$R_{eL} = \frac{V * L}{\nu} = \frac{1.39 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 2\text{m}}{1.516 * 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$R_{eL} = 183.38 * 10^3$$

$$L = 1,57\text{m}$$

V= velocidad del fluido (viento)

L= Longitud de la placa por donde pasa el fluido

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

V = propiedad de viscosidad en $\frac{m^2}{s}$

En la ecuación 18 se relaciona dos ecuaciones para encontrar el valor de Nusselt.

$$Nu = \frac{h \cdot L}{K} = C * R_{eL}^m * P_r^n \quad (\text{Ecuación 18})$$

C =constante placa plana =0.664

(Cengel & Ghajar)

$$Nu = 0.664 * R_{eL}^{0.5} * P_r^{\frac{1}{3}}$$

En la ecuación 19 se observa la transferencia de calor por convección del colector.

$$\dot{Q}_{\text{convección}} = h * A_s(T_s - T_{\infty}) \quad (\text{Ecuación 19})$$

(Cengel & Ghajar, pág. 427)

Realizando el promedio de la temperatura ambiente y la temperatura de la placa absorbidora entre las 9 y las 6 pm respectivamente es de

$T_a=26,5^{\circ}C$; $T_c=52^{\circ}C$ y la temperatura superficial del vidrio es $T_s=32^{\circ}C$

$$T_{\text{promedio}} = \frac{T_s + T_a}{2}$$

$$T_{\text{promedio}} = \frac{32 + 26,5}{2}$$

$T_{\text{promedio}} = 29^{\circ}C$

Las propiedades para el aire a T promedio (para $30^{\circ}C$) según la tabla A-15 (Cengel & Ghajar):

$$\rho = 1.164 \frac{Kg}{m^3} \quad Pr=0.7282$$

$$K = 0.02588 \frac{W}{m \cdot ^{\circ}C} \quad V = 1.608 * 10^{-5} \frac{m^2}{s} \text{ (Viscosidad cinemática)}$$

$$Nu = 0.664 * R_{eL}^{0.5} * P_r^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 0.664 * (183.38 * 10^{3^{0.5}}) * 0.7282^{0.333}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$Nu = 0.664 * 428.23 * 0.9 = 255.62$$

Reemplazando valores para hallar a h.

$$h = \frac{K}{L} * Nu = \frac{0.02588 \frac{W}{m^{\circ}C}}{1.57m} * 255.62$$

$$h = 4.214 \frac{W}{m^2^{\circ}C}$$

Para poder encontrar el valor global de pérdidas de calor (U), necesitamos encontrar las resistencias térmicas del sistema.

En la ecuación 20 encontramos la resistencia total del colector solar.

$$R_{total} = R_{convección viento} + R_{conducción aire} + R_{conducción tubos} + R_{conducción aislante} + R_{conducción madera}$$

(Ecuación 20)

En la ecuación 21 se halla la resistencia térmica por convección del viento.

$$R_{convección viento} = \frac{1}{h * A_s} \quad R_{convección} = \frac{1}{4.214 \frac{W}{m^2^{\circ}C} * 1.88m^2} \quad \text{(Ecuación 21)}$$

$$R_{convección} = 0.126 W/^{\circ}C$$

En las ecuaciones 22, 23, 24 y 25 se hallan los valores de las diferentes resistencias térmicas.

$$R_{conducción tubos} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 * \pi * L * K} \quad \text{(Ecuación 22)}$$

$$\text{Diámetro exterior tubo de cobre de } \frac{1}{2}'' = r_2 = 15,875mm = 0,015875m$$

$$\text{Diámetro interior tubo de cobre de } \frac{1}{2}'' = r_1 = 14,453mm = 0,014453m$$

$$L = (15 \text{ tubos} * 1m) + (1,5m + 1,5m) \quad L = 18m$$

$$K_{cobre} = 401 W/m \cdot ^{\circ}C$$

(Cengel & Ghajar)

$$R_{conducción tubos} = \frac{\ln\left(\frac{0,015875m}{0,014453m}\right)}{2 * \pi * 18m * 401} \quad R_{conducción tubos} = \frac{0,0938}{45352,03}$$

$$R_{conducción tubos} = 2,0682 * 10^{-6} W/^{\circ}C$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$R_{\text{conducción aire}} = \frac{L}{K \cdot A} \quad (\text{Ecuación 23})$$

La conductividad para el aire a 40°C $K_{\text{aire}} = 0.02662 \text{ W}/\text{°C}$

(Cengel & Ghajar, pág. Tabla A15)

$$L_{\text{aire}} = 4 \text{ cm} = 0,04 \text{ m}$$

$$R_{\text{conducción aire}} = \frac{0,04}{0,02662 \cdot 1,88} \quad R_{\text{conducción aire}} = 0,8 \text{ W}/\text{°C}$$

$$R_{\text{conducción aislante}} = \frac{L}{K \cdot A} \quad (\text{Ecuación 24})$$

$$K_{\text{aislante}} = 0,035 \text{ W}/\text{m}^{\circ}\text{K} \text{ (Diez)} \quad L_{\text{aislante}} = 3 \text{ cm} = 0,03 \text{ m}$$

$$R_{\text{conducción aislante}} = \frac{0,03}{0,035 \cdot 1,88} \quad R_{\text{conducción aislante}} = 0,456 \text{ W}/\text{°C}$$

$$R_{\text{conducción madera}} = \frac{L}{K \cdot A} \quad (\text{Ecuación 25})$$

$$K_{\text{madera}} = 0,14 \text{ W} \cdot \text{m}/\text{°C} \quad L = 1,5 \text{ cm} = 0,015 \text{ m}$$

$$R_{\text{conducción madera}} = \frac{0,015}{0,14 \cdot 1,88} \quad R_{\text{conducción madera}} = 0,057 \text{ W}/\text{°C}$$

$$R_{\text{total}} = 0,126 \text{ W}/\text{°C} + 2,0682 \cdot 10^{-6} \text{ W}/\text{°C} + 0,8 \text{ W}/\text{°C} + 0,456 \text{ W}/\text{°C} + 0,057 \text{ W}/\text{°C}$$

$$R_{\text{total}} = 1,439 \text{ W}/\text{°C}$$

Por lo tanto, despejando a U y reemplazando los valores conocemos su valor:

$$U = \frac{1}{R_{\text{total}} \cdot A} \quad U = \frac{1}{1,439 \text{ W}/\text{°C} \cdot 1,88 \text{ m}^2} \quad U = 0,37 \text{ °C}/\text{W} \cdot \text{m}^2$$

Por último, reemplazando los datos y los valores obtenidos se tiene:

$$C_p = 4,18 \text{ KJ}/\text{Kg} \cdot \text{°C}$$

(Cengel & Ghajar)

M = masa de la caneca + masa del emparrillado

$$M = 88 \text{ L} + 2,8 \text{ L}$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$I=4,5\text{KWh/m}^2$$

(UPME, IDEAM)

$$\alpha = 0,88 \text{ Para pintura negra}$$

(Cengel & Ghajar, pág. tabla A18)

$$\tau = 83\%=0,83$$

(Uraset)

Se tiene en cuenta solo las horas donde el colector solar recibió los rayos solares directamente, esas horas son entre las 9 am y las 4 pm

$$I_{\text{total}} = 4,5\text{KWh/m}^2 * 7\text{h} \quad I_{\text{total}} = 31,5\text{KW/m}^2$$

$$T_o=48\text{ }^\circ\text{C} \quad T_i=20\text{ }^\circ\text{C} \quad T_c=55,4\text{ }^\circ\text{C} \quad T_a=27\text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_u = I.A(\alpha \tau) - U.A(T_c - T_a)$$

$$Q_u = 31,55\text{KW/m}^2 * 1,88\text{m}^2(0,88 * 0,83) - 0,37\text{ }^\circ\text{C/W.m}^2 * 1,88\text{m}^2(55,4\text{ }^\circ\text{C} - 27\text{ }^\circ\text{C})$$

$$Q_u = 23,63\text{KW} \quad Q_u = 23,63\text{KW} * \frac{3600\text{Kj}}{\text{KW}} \quad Q_u = 85068\text{Kj}$$

$$\eta = \frac{I.A(\alpha \tau) - U.A(T_c - T_a)}{A.I} \quad \eta = \frac{31,5 * 1,88(0,88 * 0,83) - 0,37 * 1,88(55,4 - 27)}{1,88 * 31,5}$$

$$\eta = \frac{43,23 - 19,6}{59,22} \quad \eta = \frac{23,63}{59,22}$$

$$\eta = 0,40 * 100\%$$

$$\eta = 40\%$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según los datos anteriores podemos afirmar que el colector solar obtuvo una eficiencia del 40%, resultado poco alentador, aunque obtuvo una buena ganancia de calor útil de 23,63 KW o de 85068 KJ; en total se logró subir 28 °C el agua del tanque de almacenamiento, resultado considerablemente apreciable.

Debido a que esta potencia es obtenida del sol y la podemos aprovechar sin ningún costo, el precio promedio de un KW en la productora de energía de nuestro país es de 509.8 pesos a nivel residencial, si multiplicamos este valor por los 23.63 KW necesarios para aumentar en 28°C el agua del recipiente en San Sebastián de Palmitas a una eficiencia de 40%, tendríamos un gasto de 12047 pesos diarios. Tardaríamos aproximadamente 3 meses en librar el colector solar. Cabe recalcar que se tendría que trabajar bajo las mismas condiciones del día de la toma de los datos.

En las gráficas de temperatura VS tiempo podemos apreciar que son buenos los valores obtenidos aún con una eficiencia del colector baja, sin embargo todos estos pequeños detalles se pueden solucionar o mejorar solo con trasladar el colector solar a una zona más despejada y soleada de la ciudad, solo con esto mejoraríamos notablemente la eficiencia del proyecto, a proyectos futuros se debe tener muy en cuenta este tema para que logren mejores resultados y mejor aprovechamiento del calor entregado por los rayos solares.

San Sebastián de Palmitas es una zona del occidente de la ciudad muy nublada y poco favorable para este tipo de experimentos, se logró obtener estos valores por la temporada de verano que teníamos el día de la toma de datos y esto permitió que los resultados fuesen favorables para nosotros.

No se tuvieron en cuenta unas horas en la mañana y en la tarde ya que una montaña y un árbol impedían que le entrara la luz directa del sol, condición que impidió un mayor aumento de la temperatura.

El flujo constante del agua contribuyó a mejorar la transferencia de calor hacia el agua del tanque de almacenamiento.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Cabe aclarar que si en la zona instalada hay presencia de neblina o hay muy poca radiación el colector solar no trabaja adecuadamente; condición desfavorable para su utilización en la zona.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5.CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Se pudo llegar a la conclusión de que a pesar de que el colector solar no posee una buena eficiencia; consideramos que un colector de este tipo cumple bien su función principal, transferir calor al agua que circula por él.

Ampliando el área del colector solar se puede llegar a captar una mayor cantidad de calor útil; pero la eficiencia es la misma.

Como recomendación a trabajos futuros para mejorar la eficiencia del colector, es mejorar su ubicación en donde a toda hora le de los rayos del sol directamente.

Emplear la circulación forzada del agua en todo momento para garantizar una mayor transferencia de calor.

Además, para uno obtener una eficiencia más precisa es indispensable contar con un piranómetro para medir la radiación solar.

Como trabajo futuro se piensa conectar otro colector en serie o en paralelo, y determinar cuál es la mejor forma de la instalación.

También se analizará la temperatura máxima que puede alcanzar si disminuimos la cantidad de masa de trabajo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- Cengel, Y., & Ghajar, A. (Edits.). (s.f.).
 Cengel, Y., & Ghajar, A. (Edits.). (s.f.).
 Cristaldur. (s.f.). *Cristaldur*. Obtenido de <http://www.reviesa.es/?sec=caracteristicas>
 Díez, P. F. (s.f.). *pfernandezdiez.es tablas*. Recuperado el 01 de octubre de 2018, de pfernandezdiez.ed
 Díez, P. F. (s.f.). *PROPIEDADES ÓPTICAS DE MATERIALES UTILIZADOS EN PROCESOS TÉRMICOS DE ENERGÍA SOLAR*.
 FDIS. (2013). *ISO/FDIS 9806:Solar energy — Solar thermal collectors — Test methods*.
 Google. (s.f.). *Google*. Recuperado el 02 de 11 de 2018, de viento Palmitas
 Google. (s.f.). *viento Palmitas*. Recuperado el 01 de 11 de 2018
 Kong, W., Wang, Z., Li, X., Li, X., & Xiao, N. (2012). Theoretical analysis and experimental verification of a new dynamic test method for solar collectors. *Solar Energy*, 398–406.
 Noghrehabadi, A., Hajidavaloo, E., & Moravej, M. (2016). Experimental investigation of efficiency of square flat-plate solar collector using SiO₂/water nanofluid. *Case Studies in Thermal Engineering*, 378–386.
 Perers, B., & Bergquist, P. (2001). Collector test method under quasi-dynamic conditions according to the European Standard EN 12975-2. *ISES Solar World Congress*.
 Peuser, F., Remmers, K., Heinz, & Schnauss, M. (2005). *Sistemas Solares Térmicos: Diseños e instalación*. Madrid: Censolar.
 Polvongsri, S. (2013). *ASHRAE STANDARD 93-2003 METHODS OF TESTING TO DETERMINE THE THERMAL PERFORMANCE OF FLAT-PLATE SOLAR COLLECTORS*. CHING MAI: THERMAL SYSTEM RESEARCH UNIT.
 SRC. (s.f.). *SRCSL*. Obtenido de <http://srcsl.com/>
 Struckmann, F. (2008). *Analysis of a flate-plate solar collector*. Lund, Sweden: Lund University.
 Thermcoat. (s.f.). *TH coat, aislamientos termicos*. Obtenido de <http://www.thcoat.com>
 UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA(UPME). (marzo de 2003). *GUÍA DE ESPECIFICACIONES DE SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA PARA USO DOMESTICO CON ENERGIA SOLAR EN COLOMBIA*. Bogota, Colombia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

UPME, IDEAM. (s.f.). *Atlas de radiación solar de Colombia*. Bogota: Ministerio de Minas y Energía.

Urasat. (s.f.). *Urasat*. Recuperado el 26 de 12 de 2018, de ouraset.com/ex_sp/escolect.htm

visualdictionaryonline. (s.f.). Recuperado el 12 de Abril de 2017, de [visualdictionaryonline: http://www.visualdictionaryonline.com/energy/solar-energy/flat-plate-solar-collector_2.php](http://www.visualdictionaryonline.com/energy/solar-energy/flat-plate-solar-collector_2.php)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES Julia Gómez V.
Sergio

FIRMA ASESOR Julia Gómez V.

FECHA ENTREGA: 23 de enero de 2019, primera entrega informe final para evaluación

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

ACEPTADO _____ ACEPTADO CON MODIFICACIONES _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____