



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

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS  
DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES: ARGUELLO BRAVO, DAVID ALEJANDRO  
VELASCO VILLAVICENCIO, FERNANDO DANIEL**

**TEMA: “INVESTIGACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN  
CALENTADOR SOLAR BIFACIAL CON CAPACIDAD DE  
CALENTAMIENTO DE AGUA DE 600 LITROS PARA EL LABORATORIO  
DE ENERGÍAS RENOVABLES”**

**DIRECTOR: ING. GUASUMBA, JOSÉ  
CODIRECTOR: ING. IBARRA, ALEXANDER**

**SANGOLQUÍ, JULIO 2015**

## CERTIFICADO

El proyecto “INVESTIGACION, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALENTADOR SOLAR BIFACIAL CON CAPACIDAD DE CALENTAMIENTO DE AGUA DE 600 LITROS PARA EL LABORATORIO DE ENERGIAS RENOVABLES” fue realizado en su totalidad por los señores David Alejandro Arguello Bravo y Fernando Daniel Velasco Villavicencio como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.



Ing. José Guasumba

**DIRECTOR**



Ing. Alexander Ibarra

**CODIRECTOR**

Sangolquí, 13 de julio del 2015

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD****Nosotros, DAVID ALEJANDRO ARGUELLO BRAVO****FERNANDO DANIEL VELASCO VILLAVICENCIO****DECLARAMOS QUE:**

EL proyecto de grado titulado “INVESTIGACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALENTADOR SOLAR BIFACIAL CON CAPACIDAD DE CALENTAMIENTO DE AGUA DE 600 LITROS PARA EL LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES” ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme con las citas que constan en las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 13 de julio de 2015



Sr. Arguello David



Sr. Velasco Fernando

1718640368

1803316163

## **AUTORIZACIÓN**

Nosotros, DAVID ALEJANDRO ARGUELLO BRAVO  
FERNANDO DANIEL VELASCO VILLAVICENCIO

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado “INVESTIGACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALENTADOR SOLAR BIFACIAL CON CAPACIDAD DE CALENTAMIENTO DE AGUA DE 600 LITROS PARA EL LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES” ; cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 13 de julio de 2015

David Alejandro Arguello Bravo

Fernando Daniel Velasco Villavicencio

1718640368

1803316163

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto de grado a mi familia la cual siempre estuvo a mi lado y en donde encontré un apoyo incondicional con sus consejos y motivaciones alcanzando así la meta que me plante.

A mi padre Efraín y a mi madre Mélida los cuales son una inspiración y un ejemplo de personas los cuales me han impartido los valores necesarios para llegar a ser la persona que me convertido hoy en día, este objetivo alcanzado es debido a sus esfuerzos y a mí lo que me corresponde decirles como hijo es un gracias de todo corazón.

A mi hermana la cual me ha enseñado a madurar como persona y a tomar las decisiones correctas que se dan en la vida.

David Alejandro Arguello Bravo

## DEDICATORIA

A mi padre Héctor por ser un hombre que se ha sacrificado por mí y quien me ha apoyado en todo momento a pesar de mis errores.

A mi madre Susana por ser la mejor mujer de este mundo quien ha estado siempre a mi lado con amor, cariño y afecto.

A mis hermanos, Verónica, Alex y Luis quienes siempre han estado presentes en mi formación y han alegrado cada momento de mi vida.

Fernando Daniel Velasco Villavicencio

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres y hermana por implantar en mí los conocimientos y herramientas apropiadas para desarrollarme a plenitud como ser humano, persona y profesional.

A la familia por su apoyo en los momentos buenos y difíciles de mi vida.

Al Ing. José Guasumba y al Ing. Alexander Ibarra por su dirección y guía en la elaboración del presente proyecto de grado.

A mis amigos y compañeros por su sincera amistad incondicional.

David Alejandro Arguello Bravo

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres quienes han estado siempre en cada decisión que tomo y con sus consejos logran guiarme hacia un buen camino.

A mis hermanos por toda su alegría y apoyo que me dan.

A todos los Ingenieros y profesores que en sus aulas han compartido sus conocimientos para mi formación profesional. Un agradecimiento especial al Ingeniero José Guasumba e Ingeniero Alexander Ibarra por su colaboración en el presente proyecto.

A mis compañeros quienes han dado un ambiente alegre en las aulas y se han convertido en grandes amigos, gracias por su enorme amistad.

Fernando Daniel Velasco Villavicencio



## INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO .....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	ii
AUTORIZACIÓN .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	vi
RESUMEN.....	xvii
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES .....	1
1.2. DEFINICION DEL PROBLEMA.....	7
1.3. OBJETIVOS.....	8
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	8
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	8
1.4. ALCANCE .....	8
1.5. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA DEL PROYECTO.....	9
<b>CAPITULO II .....</b>	<b>11</b>
<b>MARCO TEORICO .....</b>	<b>11</b>
2.1. TRANSFERENCIA DE CALOR MEDIANTE RADIACION TERMICA ...	11
2.1.1 DEFINICIONES .....	11
2.1.2 EMISION.....	13
2.1.3 IRRADIACION .....	13
2.1.4 RADIOSIDAD.....	15
2.1.5 LEY DE STEFAN-BOLTZMAN.....	17
2.1.6 EMISION SUPERFICIAL .....	17
2.1.7 REFLEXION, ABSORCION Y TRANSMISION SUPERFICIALES.....	18

2.1.8 RADIACION AMBIENTAL (SOLAR).....	27
2.2 ESTUDIO DE LA RADIACION SOLAR LOCAL .....	33
2.2.1 METODO DE ANSTROM - PAGE.....	33
2.2.2 DATOS DE RADIACION .....	37
2.2.3 TABLAS DEL INAMHI .....	38
2.2.4 MEDICION CON INSTRUMENTAL ESPECIALIZADO .....	39
2.2.5 RECURSO PROMEDIO SOLAR LOCAL.....	42
2.3 MODELO MATEMATICO DEL CALENTADOR BIFACIAL .....	47
2.3.1 ANALISIS ENERGETICO .....	47
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>60</b>
<b>ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>60</b>
3.1. COLECTOR SOLAR PLANO .....	60
3.2. COLECTOR DE TUBOS AL VACIO .....	66
3.3. COLECTOR DE TUBOS DE POLIETILENO Y POLIPROPILENO.....	69
3.4. TIPOLOGIAS COMPLEJAS DE CAPTADORES .....	71
3.5. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS .....	74
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>76</b>
<b>DISEÑO DEL CALENTADOR BIFACIAL .....</b>	<b>76</b>
4.1. DISEÑO TERMICO .....	76
4.1.1 CALCULO DE LAS TEMPERATURAS DE LA CUBIERTA Y DEL TUBO DE POLIETILENO EN BASE AL MODELO TERMOFISICO DEL INTERCAMBIADOR DE TUBOS CONCENTRICOS .....	81
4.2. ANALISIS HIDRAULICO .....	92
4.3. ANALISIS ESTRUCTURAL .....	100
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>115</b>
<b>CONSTRUCCION Y MONTAJE .....</b>	<b>115</b>
5.1. PROCESOS DE FABRICACION .....	115
5.2. MATERIALES.....	119
5.3. CONSTRUCCION DEL COLECTOR .....	121
5.4. CONSTRUCCION DE SOPORTES.....	122
5.5. ENSAMBLAJE .....	122

<b>CAPITULO VI</b> .....	<b>124</b>
<b>PRUEBAS</b> .....	<b>124</b>
6.1. PARAMETROS DEL ENSAYO .....	124
6.2. ENSAYO DEL COLECTOR BIFACIAL .....	127
6.3. EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS .....	128
6.4. LEVANTAMIENTO DE DATOS .....	134
6.5. ANALISIS DE DATOS .....	138
6.6. PROYECCIONES FUTURAS.....	170
<b>CAPITULO VII</b> .....	<b>172</b>
<b>ANALISIS ECONOMICO Y FINANCIERO</b> .....	<b>172</b>
7.1. ANALISIS ECONOMICO.....	172
7.2. ANALISIS FINANCIERO PARA MODELOS DE PRODUCCION EN SERIE .....	175
<b>CAPITULO VIII</b> .....	<b>178</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>178</b>
8.1. CONCLUSIONES.....	178
8.2. RECOMENDACIONES .....	179

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades solares radiativas para materiales seleccionados .....	27
Tabla 2: Absortividad solar $\alpha_s$ y emisividad $\epsilon$ de superficies .....	30
Tabla 3: Datos de entrada para el método de Page .....	34
Tabla 4: Irradiación Global Directa en la ciudad de Sangolquí (Método de Page) ...	35
Tabla 5: Datos básicos entre el sol y la tierra .....	43
Tabla 6: Resumen de materiales y herramientas utilizadas .....	119
Tabla 7: Resumen de materiales y herramientas utilizadas .....	120
Tabla 8: Valores de irradiancia por ensayo, mes y día .....	153
Tabla 9: Materiales utilizados para la construcción del colector bifacial .....	173
Tabla 10: Materiales utilizados para la construcción del tanque acumulador .....	173
Tabla 11: Materiales y equipos utilizados para la instalación del sistema hidráulico .....	174
Tabla 12: Mano de Obra .....	175
Tabla 13: Costo Total.....	175
Tabla 14: Valor total para una producción en serie de 10 unidades .....	176

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema del colector de placa plana con cubierta .....	4
Figura 2: Colector de placa plana sin cubierta .....	5
Figura 3: Distribución direccional .....	12
Figura 4: Naturaleza direccional de la radiación incidente .....	14
Figura 5: Radiosidad superficial .....	16
Figura 6: Procesos de absorción, reflexión y transmisión asociados con un medio semitransparente.....	18
Figura 7: Reflexión difusa y espectacular .....	22
Figura 8: Dependencia espectral de la absorptividad y reflectividad normal espectral de materiales seleccionados .....	25
Figura 9: Dependencia espectral de las transmisividades espectrales de materiales seleccionados.....	26
Figura 10: Radiación solar .....	27
Figura 11: Distribución direccional de la radiación solar en la superficie de la tierra (Distribución real) .....	28
Figura 12: Distribución direccional de la radiación solar en la superficie de la tierra (Aproximación difusa) .....	29
Figura 13: Efecto invernadero.....	31
Figura 14: Latitud en la ciudad de Sangolquí .....	34
Figura 15: Variación de la Irradiación Global Directa con respecto a los meses del año .....	36
Figura 16: Ingreso de datos .....	37
Figura 17: Resultado que se obtiene al ingresar los datos .....	38
Figura 18: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) .....	38
Figura 19: Pirheliómetro de primera clase Kipp-Zonen .....	40
Figura 20: Piranómetro negro y blanco de Eppley.....	40
Figura 21: Piranómetro con banda de sombra.....	41
Figura 22: Heliógrafo Campbell-Stockes .....	41
Figura 23: Mapa solar del Ecuador - Insolación difusa promedio .....	44
Figura 24: Mapa solar del Ecuador - Insolación directa promedio .....	45
Figura 25: Mapa solar del Ecuador - Insolación global promedio.....	46

Figura 26: Esquema del calentador de tubos Concéntricos .....	48
Figura 27: Esquema del corte longitudinal del calentador.....	55
Figura 28: Colector solar plano.....	62
Figura 29: Elementos de un colector solar plano .....	62
Figura 30: Elementos de un colector solar plano .....	63
Figura 31: Efectos de la radiación.....	63
Figura 32: Colector de tubos al vacío .....	67
Figura 33: Colector de tubos al vacío de flujo directo .....	68
Figura 34: Colector de tubos de calor (Heat Pipe).....	69
Figura 35: Colector solar de polietileno de alta densidad .....	70
Figura 36: Colector solar de polipropileno .....	71
Figura 37: Colector cilíndrico parabólico .....	72
Figura 38: Receptor lineal de Fresnel .....	72
Figura 39: Disco Parabólico.....	73
Figura 40: Colector por campo de heliostatos.....	74
Figura 41: Colector solar bifacial.....	75
Figura 42: Colector solar bifacial.....	76
Figura 43: Cono Truncado .....	77
Figura 44: Botellas Perforadas .....	80
Figura 45: Botellas Perforadas .....	80
Figura 46: Grafico de la tendencia del estado estacionario.....	91
Figura 47: Manguera.....	92
Figura 48: Manguera de Polietileno.....	92
Figura 49: Diagrama de Moody .....	94
Figura 50: Bomba Rule Pumps .....	97
Figura 51: Panel Fotovoltaico (SOLAICO).....	99
Figura 52 Geometría de la estructura de soporte del calentador solar .....	107
Figura 53: Deformación Total de la estructura de soporte del calentador solar .....	108
Figura 54: Esfuerzo Equivalente Elástico de la estructura de soporte del calentador solar .....	108
Figura 55: Esfuerzo Equivalente de la estructura de soporte del calentador solar...	109
Figura 56: Esfuerzo Máximo Principal de la estructura de soporte del calentador solar .....	109

Figura 57: Geometría de la estructura del soporte para el tanque de almacenamiento de agua .....	111
Figura 58: Deformación Total de la estructura de soporte para el tanque de almacenamiento de agua .....	112
Figura 59: Esfuerzo Equivalente Elástico de la estructura de soporte para el tanque de almacenamiento de agua .....	112
Figura 60: Esfuerzo Equivalente de la estructura de soporte para el tanque de almacenamiento de agua .....	113
Figura 61: Esfuerzo Máximo Principal de la estructura de soporte para el tanque de almacenamiento de agua .....	113
Figura 62: Maquina Roladora .....	116
Figura 63: Fases del proceso de termoconformado o termoformado.....	117
Figura 64: Termometro infrarrojo.....	128
Figura 65: Termometro analogo bimetalico.....	130
Figura 66: Rotametro .....	131
Figura 67: Medidor de radiacion solar .....	132
Figura 68: Medidor de temperatura ambiente y humedad relativa .....	133
Figura 69: Humedad relativa en 21 ensayos en calentador solar bifacial 2015 Hr (%) .....	138
Figura 70: Temperatura de salida del agua del tanque de almacenamiento al colector en 21 ensayos en el calentador solar bifacial 2015 T1 (°C) .....	139
Figura 71: Temperatura de entrada del agua del colector al tanque de almacenamiento en 21 ensayos en el calentador solar bifacial T2 (°C).....	140
Figura 72: Temperatura ambiente en 21 ensayos en el calentador solar bifacial Ta (°C).....	141
Figura 73: temperatura de la manguera por la que circula el agua en 21 ensayos en el calentador solar bifacial Tm (°C) .....	142
Figura 74: Temperatura de la botella en 21 ensayos en el calentador solar bifacial Tb (°C).....	143
Figura 75: Temperatura del cilindro que le contiene al tanque de almacenamiento de agua en 21 ensayos en el calentador solar bifacial Tacum (°C).....	144
Figura 76: Temperatura de evacuacion del agua del tanque de almacenamiento al consumo directo de las personas en 21 ensayos en el calentador solar bifacial Tevacu (°C) .....	145
Figura 77: Caudal del agua en 21 ensayos en el calentador solar bifacial Q (LPM) .....	146

Figura 78: Irradiancia global en 21 ensayos en el calentador solar bifacial $I_g$ ( $w/m^2$ ).....	147
Figura 79: Irradiancia de albedo en 21 ensayos en el calentador solar bifacial $I_a$ ( $w/m^2$ ).....	148
Figura 80: Irradiancia difusa en 21 ensayos en el calentador solar bifacial $I_d$ ( $w/m^2$ ).....	149
Figura 81: Irradiancia total en 21 ensayos en el calentador solar bifacial $I_t$ ( $w/m^2$ ).....	150
Figura 82: Eficiencia en 21 ensayos en el calentador solar bifacial $\eta$ (%) .....	151
Figura 83: Parametro adimensional que junta otras variables para poder obtener una curva de rendimiento con la eficiencia $UI(T_1-T_a)/I_t$ .....	152
Figura 84: Temperaturas $T_2, T_1, T_a$ del ensayo 6 en el calentador solar bifacial .....	154
Figura 85: Temperaturas $T_m, T_b, T_a$ del ensayo 6 en el calentador solar bifacial....	155
Figura 86: Temperaturas $T_{acum}, T_{evacu}, T_a$ del ensayo 6 en el calentador solar bifacial.....	156
Figura 87: Temperaturas $T_b, T_m, T_1, T_2, T_a$ del ensayo 6 en el calentador solar bifacial.....	157
Figura 88: Irradiancia $I_g, I_a, I_d$ del ensayo 6 en el calentador solar bifacial .....	158
Figura 89: Caudal $Q$ del ensayo 6 en el calentador solar bifacial .....	159
Figura 90: Eficiencia del ensayo 6 en el calentador solar bifacial .....	160
Figura 91: Rendimiento del ensayo 6 en el calentador solar bifacial .....	161
Figura 92: Temperaturas $T_2, T_1, T_a$ del ensayo 14 en el calentador solar bifacial ...	162
Figura 93: Temperaturas $T_m, T_b, T_a$ del ensayo 14 en el calentador solar bifacial ..	163
Figura 94: Temperaturas $T_{acum}, T_{evacu}, T_a$ del ensayo 14 en el calentador solar bifacial.....	164
Figura 95: Temperatura $T_b, T_m, T_1, T_2, T_a$ del ensayo 14 en el calentador solar bifacial.....	165
Figura 96: Irradiancia $I_g, I_d, I_a$ del ensayo 14 en el calentador solar bifacial .....	166
Figura 97: Caudal $Q$ del ensayo 14 en el calentador solar bifacial .....	167
Figura 98: Eficiencia del ensayo 14 en el calentador solar bifacial .....	168
Figura 99: Rendimiento del ensayo 14 en el calentador solar bifacial .....	169
Figura 100: Variación de la Irradiación Global Directa con respecto a los meses del año .....	171



**INDICE DE ANEXOS**

ANEXO A.....	183
IRRADIACION SOLAR TABLA Y MAPA DEL ECUADOR.....	183
ANEXO B.....	184
TABLAS DE HELIOFANIA EFECTIVA MENSUAL DE IZOBAMBA, QUITO Y TUMBACO.....	184
ANEXO C.....	185
DIAGRAMAS Y ESPECIFICACIONES DE LA BOMBA DE AGUA.....	185
ANEXO D.....	186
PROCESOS DE FABRICACION DEL COLECTOR Y SOPORTES.....	186
ANEXO E.....	187
TABLAS DE DATOS DE CADA ENSAYO DEL 1 AL 21 EN ORDEN Y GRAFICAS DE LAS VARIABLES UTILIZADAS.....	187
ANEXO F.....	188
TABLA DE LAS PROPIEDADES TERMOFISICAS DEL AIRE.....	188
ANEXO G.....	189
PLANOS.....	189
ANEXO H.....	190
FOTOGRAFIAS.....	190

## **RESUMEN**

El presente proyecto consiste en aprovechar la energía solar térmica para calentar 600 litros de agua utilizando materiales reciclados y ecológicos. Al reciclar y reutilizar botellas PET logramos disminuir el impacto que generan en el medio ambiente y por sus propiedades logramos obtener un efecto invernadero para calentar el agua a una mayor temperatura. El colector tiene una forma bifacial para aprovechar la radiación directa y el albedo; es decir, la radiación reflejada por la superficie. Para esto se realizó la investigación de un modelo matemático para el análisis energético del calentador, luego se procedió al diseño térmico en base al estudio de la radiación solar en la ciudad de Sangolquí para finalmente realizar la construcción de la estructura que soporta dos domos los cuales van a dar la forma bifacial al colector y alrededor de ellos va una manguera a la que se introdujeron botellas PET de 1,35 litros. Se utilizó una bomba electrosumergible conectada a un panel fotovoltaico el cual va desde un tanque de 600 litros y al estar en funcionamiento permite la circulación del agua por toda la manguera hasta regresar nuevamente al tanque y así elevar su temperatura. Posteriormente se realizó la toma de datos con instrumentos especializados en los meses de Abril y Mayo para realizar el respectivo análisis. Adicionalmente se realizó el análisis económico y financiero para finalizar con las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

### **PALABRAS CLAVES:**

- **ENERGÍA RENOVABLE**
- **ENERGÍA SOLAR**
- **CALENTADOR SOLAR BIBACIAL**
- **COLECTOR SOLAR**
- **BOTELLAS**

## **ABSTRACT**

This project is to harness solar thermal energy to heat 600 liters of water using recycled materials and environmentally friendly. By recycling and reusing PET bottles we reduce the impact generated on the environment and their properties we obtain a greenhouse to heat water at a higher temperatura. The collector has a bifacial way to take advantage of direct radiation and albedo; that is, the radiation reflected by the surface. For this research a mathematical model for the energy analysis of the heater is made, then proceeded to thermal design based on the study of solar radiation in the city of Sangolquí to finally realize the construction of the structure that supports two domes which they will give the bifacial form the collector and around them is a hose which 1.35 liters PET bottles were introduced. An electric submersible pump connected to a photovoltaic panel which runs from a tank of 600 liters and when in operation allows the movement of water across the hose back into the tank again and thus raise its temperature was used. Subsequently the specialized data collection instruments held in the months of April and May for the examination. Additionally, the economic and financial to finish with the conclusions and recommendations of the project analysis.

### **KEYWORDS:**

- **RENEWABLE ENERGY**
- **SOLAR ENERGY**
- **SOLAR HEATER BIBACIAL**
- **SOLAR COLLECTOR**
- **BOTTLES**

# CAPITULO I

## GENERALIDADES

### 1.1. ANTECEDENTES

Los colectores solares son dispositivos utilizados para coleccionar, absorber y transferir energía solar a un fluido, que puede ser agua o aire. La energía solar, puede ser utilizada para calentar agua, para sistemas de calefacción o para climatización de piscinas.

Desde su primera invención, hace 120 años (Runsheng Tang, 2010), se han desarrollado diversas formas de colectores solares térmicos, que van de los colectores planos a los colectores parabólicos y helióstatos. Se estima que en todo el mundo, el área instalada de colectores solares supera los  $58 \times 10^6 m^2$ . (Yuquin Yang, 2008) En Argentina el uso de colectores solares con este fin es muy bajo en contraste con otros países como los europeos y China.

Para calentar agua a temperatura media, para calefacción de espacios y para procesos industriales, las aplicaciones más utilizadas son los colectores planos, en los cuales el área de la superficie absorbadora es la misma que el área total del colector;

o tubulares, en los que el absorbedor se encuentra dentro de un tubo de vidrio al vacío. Estos últimos pueden incluir, ya sea dentro o fuera del tubo, espejos cilindro-parabólicos para centrar la energía solar en el absorbedor.

Temperaturas de 40 a 70 ° C (Wenfeng Gao, 2009) son alcanzadas fácilmente por los colectores planos; el uso de superficies selectivas y reflectores junto a la retención de calor, hace que los colectores de tubos de vacío alcancen temperaturas significativamente más elevadas.

Un colector necesita ser seleccionado cuidadosamente de acuerdo a la temperatura del fluido que debe proporcionar, para la aplicación prevista y de acuerdo al clima del lugar en el cuál va a estar emplazado. Un colector diseñado para aplicaciones en las que se necesitan fluidos a alta temperatura no resulta más eficiente cuando operan a bajas temperaturas

### COLECTOR SOLAR CON CUBIERTA

Los colectores de placa plana son los más usados para calentar agua en los hogares y para los sistemas de calefacción. Un colector de placa plana se compone básicamente de una caja metálica con aislamiento con una cubierta de vidrio o de plástico (la ventana) y de una placa absorbadora de color oscuro. 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

Este tipo de colectores, calientan el fluido que circula a una temperatura considerablemente inferior a la del punto de ebullición del agua y son los más adecuados para aplicaciones donde la demanda de temperatura es de 30°C a 70 °C. (B. Chaouachi, 2011)

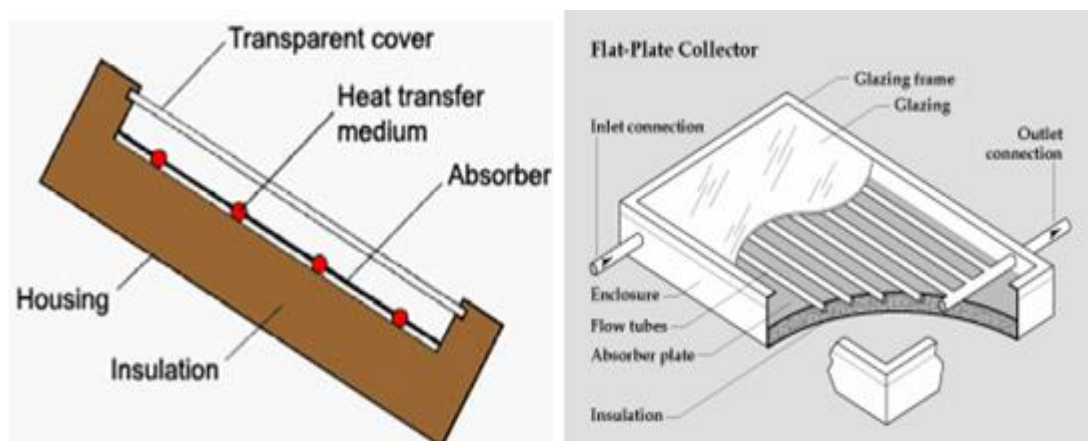
Son los más utilizados para calentar agua en sistemas domésticos y comerciales y en piscinas cubiertas

Un colector de placa plana consiste en un absorbedor, una cubierta transparente, un marco, y aislación. La cubierta transparente transmite una gran cantidad de la luz de onda corta del espectro solar y al mismo tiempo, sólo deja pasar muy poca radiación de onda larga (calor emitido por el absorbedor) produciendo un efecto invernadero.

Además, la cubierta transparente evita que el viento y las brisas se lleven el calor colectado (convección). Junto con el marco, la cubierta protege el absorbedor de las condiciones meteorológicas adversas. Típicamente el marco está fabricado de materiales de aluminio y de acero galvanizado, también se utiliza plástico reforzado con fibra de vidrio.

La aislación en la parte posterior del absorbedor y en las paredes laterales reduce las pérdidas de calor por conducción. Esta aislación es por lo general de la espuma de poliuretano, lana mineral, fibra de lana de vidrio, etc.

Estos colectores demostraron poseer una muy buena relación precio/calidad y tienen una amplia gama de posibilidades para su montaje (en el techo, como parte del techo, o solos).



**Figura 1:** Esquema del colector de placa plana con cubierta

**Fuente:** (Inenco, 2008)

### COLECTOR SOLAR SIN CUBIERTA

Este tipo de colectores, sencillos y baratos, consisten en un absorbedor pero carecen de la cubierta transparente.

No incluyen ningún aislamiento adicional, de manera que la ganancia de temperatura queda limitada a unos 20 °C sobre la del aire del ambiente, son los más adecuados para aplicaciones de baja temperatura. Actualmente, son utilizados para la calefacción de piscinas al aire libre, pero existen otros mercados, incluidos los de calefacción de temporada en las piscinas cubiertas, calefacción de agua para lavar coches, y calefacción del agua utilizada en piscicultura. También existe un mercado potencial de estos colectores para calentamiento de agua en lugares remotos, como campamentos de verano.

Los absorbedores de estos colectores son generalmente de plástico negro tratado para resistir la luz ultravioleta, o están contruidos por tubos de metal o plástico recubiertos de pigmentos ennegrecidos por los que circula el agua. Dado que estos

colectores no tienen cubierta, una gran parte de la energía solar absorbida se pierde principalmente por convección.



**Figura 2:** Colector de placa plana sin cubierta

**Fuente:** (Inenco, 2008)

### ¿QUE COLECTOR ES EL ADECUADO PARA CADA SITUACION?

El rango de temperaturas deseadas para el fluido que se calienta es el factor más importante cuando se elige el tipo de colector. Un absorbedor descubierto, no será apto para obtener temperaturas elevadas. La cantidad de radiación del lugar, la exposición a tormentas y granizo, y la cantidad de espacio que se necesita, deben ser cuidadosamente examinadas cuando se planifica un sistema solar.

Los costos específicos de los colectores también son importantes. Los tubos colectores al vacío son sustancialmente más caros que los colectores de placa plana. Un buen colector no garantiza un buen sistema solar. (Fuente: INENCO, Unsa-Conicet Colectores Solares para agua caliente)

### BALANCE TERMICO EN COLECTORES SOLARES

$$\text{Energía Útil} = \text{Radiación absorbida} - \text{Perdidas térmicas}$$



Para el colector plano:

$$Q_u = A_c [S - U_L(T_{pm} - T_a)] \quad (1.1)$$

Dónde:

Qu: Calor Útil (W)

S: radiación absorbida (W/m<sup>2</sup>)

Ac: Área colectora (m<sup>2</sup>)

UL: Coeficiente global de pérdidas placa ambiente (W/m<sup>2</sup>/K)

Tpm: Temperatura media de la placa (° C)

Ta: Temperatura ambiente (° C)

## EFICIENCIA DE UN COLECTOR SOLAR

La eficiencia de un colector solar se define como el cociente de la energía térmica útil frente a la energía solar total recibida. Además de las pérdidas térmicas existen las pérdidas ópticas. El factor de conversión u eficiencia óptica indica que porcentaje de los rayos solares que penetran en la cubierta transparente del colector (la transmisión) es absorbido. Básicamente, es el producto de la tasa de transmisión de la cubierta y la tasa de absorción del absorbedor

$$\eta = \frac{\int Q_u \cdot dt}{A_c \int G \cdot dt} = \frac{\text{Energía Util}}{\text{Radiación Incidente}} \quad (1.2)$$

## IRRADIANCIA:

Para expresar la potencia solar y en general, de cualquier radiación se utiliza el término irradiancia. La irradiancia,  $W/m^2$ , es la rapidez de incidencia de energía radiante sobre una superficie, por unidad de área.

### **1.2. DEFINICION DEL PROBLEMA**

El proyecto consiste en la Investigación, diseño y construcción de un calentador solar bifacial tipo enjambre de capacidad de 600 litros, con el uso de material de Tereftalato de Polietileno (PET) reciclado para optimizar el proceso de calentamiento del agua que normalmente se ocuparía en una casa promedio de 4 personas, este proyecto pretende utilizar las diferentes formas de transferencia de calor que se producirían por la captación de la energía solar, este calentador es bifacial por qué absorbe la radiación global ( $I_g$ ) y el albedo ( $I_d$ ), donde la radiación global es la suma de la radiación directa más la radiación difusa ( $I_{directa} + I_{difusa}$ ), además cuenta con tubería de polietileno de color negro en la cual se insertan botellas transparentes recicladas en todo el recorrido de ésta para cubrir al calentador en toda su forma es decir en sus partes superior e inferior, con esto realizado el agua recorre desde una bomba que proporciona que se eleve una distancia del suelo hacia el calentador y pasa por toda la tubería adquiriendo un tipo de calor por transferencia y al terminar este recorrido es depositada en un tanque con aislamiento térmico para poder proporcionar el agua caliente.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Investigación, diseño y construcción de un calentador solar bifacial con capacidad de calentamiento de agua de 600 litros para el laboratorio de energías renovables

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Investigar sobre las características del calentador solar bifacial y la manera de aprovechar la energía solar.
- Definir los parámetros de diseño del calentador solar bifacial tipo enjambre para su respectiva construcción.
- Realizar la implementación y validación del calentador bifacial en el laboratorio de Energías Renovables.

### **1.4. ALCANCE**

El presente proyecto tiene como alcance la investigación, diseño y construcción de un calentador solar bifacial tipo enjambre de capacidad de 600 litros, con el uso de material de Tereftalato de Polietileno (PET) reciclado para optimizar el proceso de calentamiento del agua para poder ser utilizado de una manera doméstica con partes artesanales y con base a este principio ser desarrollada de manera industrial, con el tiempo será una idea a tomar en cuenta para la creación de parques ecológicos con energía totalmente limpia y pura para el medio ambiente, además puede dar una increíble ayuda hoy en día para las personas que carecen de electricidad y gas natural, al calentar agua y obtener los beneficios de esta como por ejemplo cocinar alimentos, proporcionar un baño caliente, calefacción y otros. Ya que la mayoría de

estas personas están alejadas total o parcialmente de la ciudad y no disponen de los recursos necesarios, esta idea es una forma de minimizar costos ya que se lo realiza con el reciclado de botellas de plástico y con lo principal que es el sol el cual abastecerá estas fuentes de energía (radiación solar, viento, lluvia, etc.) durante los próximos cuatro mil millones de años.

### **1.5. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA DEL PROYECTO**

Este proyecto se plantea por la necesidad de enseñar a la gente que con el aprovechamiento de la energía alternativa, renovable económica (Energía Solar Térmica) y el reciclaje de material Tereftalato de Polietileno (PET) se pueden realizar cosas novedosas y de gran utilidad para disminuir costos elevados en la tecnología y materiales de cobre que normalmente se necesitan para un calentador solar ya establecido en su forma y diseño, de esta manera el calentador solar bifacial tipo enjambre es un ejemplo para el calentamiento de 600 litros de agua los cuales son muy bien aprovechados para una familia típica de 4 personas en la que puedan tener como alternativa este tipo de energía para un futuro próximo en el cual dejen de participar las energías fósiles y no renovables, de esta manera los recursos naturales tendrán una gran participación de la matriz energética de nuestro país.

La energía alternativa –renovable se denomina a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales, una energía alternativa, o más precisamente una fuente de energía alternativa es aquella que puede suplir a las energías o fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación.

La Energía Solar Térmica se la recoge para convertirla en calor el cual puede destinarse a satisfacer numerosas necesidades. Por ejemplo, se puede obtener agua caliente para consumo doméstico. Con este tipo de energía se podría reducir más del 25 % del consumo de energía convencional en viviendas de nueva construcción con la consiguiente reducción de quema de combustibles fósiles y deterioro ambiental. La obtención de agua caliente supone en torno al 28 % del consumo de energía en las viviendas. Una importante ventaja de la energía solar es que permite la generación de energía en el mismo lugar de consumo

El reciclaje de material PET (botellas plásticas) es un proceso cuyo objetivo es convertir desechos en nuevos productos para prevenir el desuso de materiales potencialmente útiles, reducir el consumo de nueva materia prima, reducir el uso de energía, reducir la contaminación del aire y del agua por medio de la reducción de la necesidad de los sistemas de desechos convencionales, así como también disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con la producción de plásticos. El reciclaje es un componente clave en la reducción de desechos contemporáneos y es el tercer componente de las 3R (“Reducir, Reutilizar, Reciclar”).

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. TRANSFERENCIA DE CALOR MEDIANTE RADIACION TERMICA**

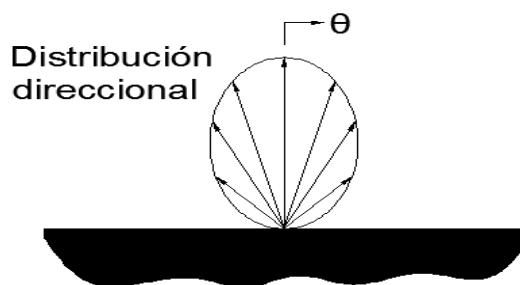
##### **2.1.1 DEFINICIONES**

Es una dimensión que muestra la porción de energía depositada por la radiación en el medio constante que es atravesado por esta. La transferencia de calor requiere la presencia de un gradiente de temperatura en alguna forma de materia cuando lo es por conducción y convección. Diferente de esto la transferencia de calor por radiación térmica la cual es la emitida por un cuerpo debido a su temperatura no solicita materia .Es de mucha importancia para procesos industriales de secado, enfriamiento y calentamiento, también es empleada para procedimientos de conversión con la utilización de radiación solar.

La radiación térmica es la magnitud con que la materia emite o proporciona energía debido a la temperatura finita como resultado, es decir la materia que nos rodea se encuentra emitiendo radiación por las paredes de una casa, por los objetos internos que conforman una habitación o un espacio determinado, la tierra, edificios,

en la parte exterior como el sol, la atmosfera, etc. La energía liberada es la consecuencia de las fluctuaciones o balanceos de la gran cantidad de electrones que son parte de la materia para desarrollar el respectivo dispositivo de emisión. Las fluctuaciones son mantenidas por la energía interna y por tanto la temperatura, de la materia. La emisión de radiación térmica se junta con limitaciones térmicamente provocadas en el interior de la materia.

La radiación es emitida por todas las formas de materia y que su posterior transferencia no utiliza la presencia de materia alguna. Sucesivamente la radiación la podemos ver como una dispersión de ondas electromagnéticas. La radiación térmica que es emitida por una superficie tiene una categoría de longitudes de onda. La radiación emitida consiste en una repartición continua no uniforme de elementos de una sola longitud de onda y la distribución energética varia con la temperatura y naturaleza de la superficie emisora. Una superficie tiene el dominio de emitir de forma sobresaliente en ciertas direcciones, con lo que inventa una distribución direccional de la radiación emitida, igualmente la radiación incidente encima de la superficie puede llegar de diferentes rumbos, y en la manera en que esta área contesta a esta radiación depende de la dirección .



**Figura 3:** Distribución direccional

**Fuente:** (Incropera & Witt, 1999)

### 2.1.2 EMISION

Es el proceso autoritario cuando los cuerpos están apartados del entorno o cuando presentan temperaturas muy altas .La intensidad de radiación está conectada con muchos flujos de radiación importantes. La emisión se presenta desde cualquier superficie que presenta una temperatura finita. Se incluye el termino de potencia emisiva para cuantificar la porción de radiación emitida por área superficial unitaria.

### 2.1.3 IRRADIACION

(Relacion con la Irradiacion , 1999)

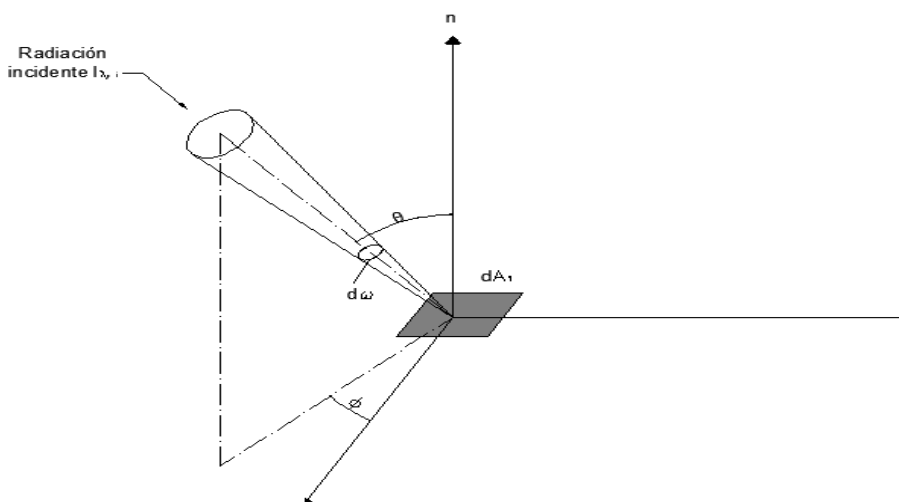
“Manifiesta que la radiación incidente se puede originar de la emisión y reflexión que ocurre en otras superficies y tendrá distribuciones espectrales y direccionales determinadas por la intensidad espectral<sup>1</sup>. Esta cantidad se define como la proporción en que la energía radiante de longitud de onda incide de la dirección, por unidad de área de la superficie interceptora normal a esta orientación, por unidad de ángulo solido alrededor de esta dirección, y por intervalo de longitud de onda unitaria alrededor de sí misma. ”

La intensidad de la radiación incidente se puede conectar con un flujo radiativo importante, llamado irradiación, que contiene la radiación incidente desde todas las orientaciones. La irradiación espectral se hace llamar como la velocidad a la que la radiación de longitud de onda recae sobre una superficie, por unidad de área de la zona y por la distancia de longitud de onda inseparable alrededor de la misma.

---

<sup>1</sup> Espectral es el estudio de los espectros de emisión y de absorción





**Figura 4:** Naturaleza direccional de la radiación incidente

**Fuente:** (Incropera & Witt, 1999)

El valor de la irradiación depende de la posición relativa del sol con la debida instalación del equipo a utilizarse, además de la postura de la instalación sobre la superficie terrestre, la dirección que tengan los captadores<sup>2</sup> solares y del aspecto que tenga la atmosfera. Por su desigual proceder, se divide la irradiación en tres partes importantes que hacen de ella que sea muy importante para su estudio y son:

**Irradiación Directa (B):** Es la porción de la energía luminosa del sol que aparece de forma directa, en línea recta procedente desde el sol. Desciende de un fragmento casi regular del cielo, lo que junto a la directividad<sup>3</sup> de su dispersión hace que sea único y sensible a la dirección del captador. En limitaciones normales es la más fuerte. Es distribuido a la claridad del ambiente, y puede llegar a anularse si el firmamento está completamente cubierto o tapado.

---

<sup>2</sup> Captador Solar es cualquier dispositivo diseñado para recoger la energía radiada por el sol y convertirla en energía térmica

<sup>3</sup> Directividad es un fenómeno característico de las ondas

Irradiación Difusa (D): La atmosfera adsorbe y esparce parte de la radiación procedente del sol. Una porción de esa energía difundida arriba a la tierra de un modo casual; es la irradiación difusa. La repartición de esta radiante incidencia es muy complicada de decidir, pero es un acercamiento suficiente que viene de manera uniforme desde el cielo por completo. Debido a esto es mayor cuando el captador está en forma horizontal, ya que esta posición le permite "observar" más el firmamento. No es potente o intensa, pero a su vez es amplia o extensa; es tanto muy importante cuando el cielo está cubierto.

Irradiación de Albedo (R): Por otra parte de la radiante energía del sol arriba al captador luego de haberse reflejado en una superficie o elementos circundantes. Excepto ambientes especiales (áreas lisas y blancas como la nieve), su aportación es pequeña a la irradiación global. Podemos en aquel momento usar, para estimarla, un tipo muy sencillo que cree que la superficie es un área infinita horizontal que refleja con idéntica intensidad completamente en sus orientaciones la irradiación difusa que le viene en una disposición determinada por la reflectividad del suelo  $\rho$ . bajo esta hipótesis, es máxima la irradiación de albedo cuando el captador esta de una forma vertical, y nula cuando permanece de la forma horizontal.

#### **2.1.4 RADIOSIDAD**

La radiosidad aclara la energía radiante que sale de una superficie. Como este tipo de radiación incorpora la fracción reflejada de la irradiación, como también manifiesta acerca de la emisión directa, la potencia emisiva es diferente en lo normal a la radiosidad. La radiosidad espectral personifica la velocidad a la que la radiación de longitud de onda parte de una entidad de área superficial, por una esfera de longitud de onda unitaria alrededor de sí misma. Como demuestra la radiación que

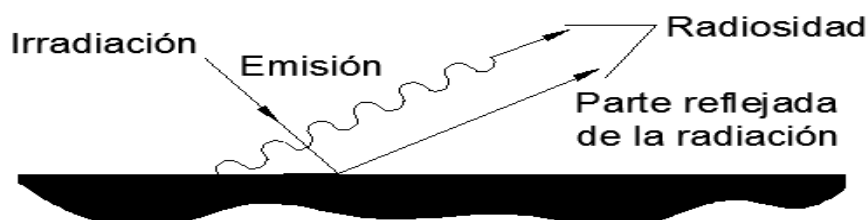
sale en todas las orientaciones, y se conecta con la intensidad asociada con la reflexión y emisión. El flujo de radiación, en la radiosidad en esta parte se basa en el área superficial real, entretanto la intensidad se basa en el área proyectada.

(Relacion con la Irradiacion , 1999)

“Establece que cuando se describen las características de radiación de superficies reales, es útil introducir el concepto de cuerpo negro. El cuerpo negro es una superficie ideal que tiene las siguientes propiedades:

- Un cuerpo negro absorbe toda la radiación incidente, sin importar la longitud de onda y la dirección
- Para una temperatura y longitud de onda establecidas ,ninguna superficie puede emitir más energía que un cuerpo negro
- Aunque la radiación emitida por un cuerpo negro es una función de la longitud de onda y la temperatura, es independiente de la dirección. Es decir , el cuerpo negro es un emisor difuso

Como observador y emisor perfecto, el cuerpo negro sirve como un modelo contra el que se pueden comparar las propiedades radiativas de superficies reales. ”



**Figura 5:** Radiosidad superficial

**Fuente:** (Incropera & Witt, 1999)

### 2.1.5 LEY DE STEFAN-BOLTZMAN

Esta ley faculta, el cálculo de la cantidad de emisión de radiación en todas las orientaciones y encima de todas las longitudes de onda simplemente desde el entendimiento de la temperatura del elemento o cuerpo negro.

Su valor numérico es:

$$\sigma = 5.670 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K^4}$$

### 2.1.6 EMISION SUPERFICIAL

La propiedad superficial radiativa renombrada como <sup>4</sup>emisividad es la razón de la radiación emitida por la superficie a la emitida radiación por un cuerpo negro donde se presenta igual temperatura. Esta propiedad puede tomar valores diferentes según el interés que se preste a la emisión a una longitud de onda presente o en una orientación dada, o bien en la media incorporada sobre dirección y longitud de onda. La emisividad direccional de un emisor difuso se presenta como una constante e independiente de la orientación. Sin embargo, es un acercamiento sensato, todas las superficies muestran alguna distensión del comportamiento difuso.

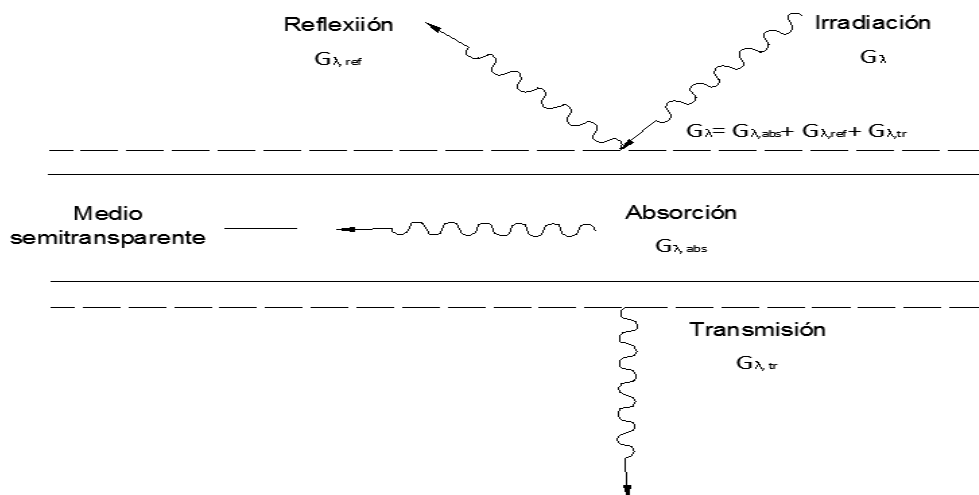
Los conductores presentan aumento de emisividad cuando se eleva la temperatura, pero de acuerdo al específico material, esta propiedad de emisividad en los no conductores puede elevarse o disminuirse al ampliar su temperatura. Podemos observar que la emisividad necesita de la naturaleza de la superficie, la cual puede estar intervenida por las reacciones con su medio, ciclos térmicos y métodos de elaboración.

---

<sup>4</sup> Emisividad es la proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debido a su temperatura

### 2.1.7 REFLEXION, ABSORCION Y TRANSMISION SUPERFICIALES

Esto se entiende en la intercepción de la radiación por un medio solido o líquido, la irradiación actúa en un medio semitransparente, porciones de esta irradiación se pueden absorber, reflejar y transmitir.



**Figura 6:** Procesos de absorción, reflexión y transmisión asociados con un medio semitransparente

**Fuente:** (Incropera & Witt, 1999)

La especificación de estos componentes es complicado ya que dependen de las condiciones de las distintas superficies superior e inferior , la disposición y grosor del medio ,así como también la longitud de onda de la radiación siendo esta la más importante. Estas limitantes pueden ser dominadas por efectos volumétricos que suceden en el interior del medio.

Es bueno saber que la irradiación es absorbida y reflejada por la superficie, con dimensiones referentes que obedecen de la longitud de onda y de la naturaleza del material el cual se encuentra en la superficie. No hay una consecuencia neta del

desarrollo de reflexión sobre el medio, entretanto que la absorción tiene el resultado de elevar la energía térmica del interior del medio.

La apreciación que tendríamos del color se da por el modo en que se presenta la absorción y reflexión superficial, selectiva de la parte evidente de la irradiación que alcanza del sol.

Una superficie de color negro absorbe toda la radiación incidente visible presente en el medio y si esta es blanca refleja la radiación. Para una irradiación establecida el color de la superficie puede o no señalar la capacidad global que esta presenta como absorbedor o reflector pues mucha de esta puede estar en la fase infrarroja. Un área blanca es enormemente reflejante a la radiación presente pero también absorbe firmemente la radiación infrarroja por ese motivo el claro comportamiento del cuerpo negro a longitudes de ondas largas

## ABSORTIVIDAD

([www.aq.upm.es](http://www.aq.upm.es))

“Establece que es la parte de energía radiante incidente absorbida por la superficie del cuerpo ( $A$ ) se transforma en un aumento de su energía interna ( $+\Delta U$ ) y, por tanto, en un aumento de su temperatura ( $+\Delta T$ ). La absorción de radiación es un fenómeno superficial y no un fenómeno de volumen, de forma que en el interior del sólido no afecta la absorción. Sin embargo, el calor generado en la absorción puede fluir hacia el interior del sólido por conducción.

Según el principio de conservación de la energía:

$$E = A + R + T \quad (2.1)$$

Dividiendo esta expresión por la energía incidente (E):

$$1 = \frac{A}{E} + \frac{R}{E} + \frac{T}{E} \quad (2.2)$$

O bien:

$$1 = \alpha + \rho + \tau \quad (2.3)$$

Siendo:

$\alpha = A/E$  = fracción de la radiación que es absorbida = poder absorbente = absorptividad.

$\rho = R/E$  = fracción de la radiación que se refleja = poder reflexivo = reflectividad.

$\tau = T/E$  = fracción de la radiación que se transmite = poder transmisivo = transmisividad."

En consecuencia  $\alpha$  depende de la repartición espectral de la radiación incidente, así como de su distribución direccional y de la naturaleza de la superficie de absorción.

## REFLECTIVIDAD

La reflectividad es la fracción de radiación incidente reflejada por una superficie. En general debe tratársela como una propiedad direccional, en función de la dirección reflejada, de la dirección incidente, y de la longitud de onda incidente. Su concepto específico puede tomar varias alternativas o caminos pues esta propiedad es inherente bidireccional, esto quiere decir que depende de algunas cosas entre ellas de la orientación de la radiación incidente, así como también de la dirección asistente de la radiación reflejada.

Sin embargo comúnmente es también promediada sobre el hemisferio reflejado para dar la reflectividad espectral hemisférica:

$$\rho(\lambda) = \frac{G_{\text{refl}}(\lambda)}{G_{\text{incid}}(\lambda)} \quad (2.4)$$

Donde  $G_{\text{refl}}(\lambda)$  y  $G_{\text{incid}}(\lambda)$  son las intensidades espectrales reflejadas e incidentes (por longitud de onda) respectivamente.

Así se puede promediar con todas las longitudes de onda, dando las reflectividades totales hemisféricas,

$$\rho = \frac{G_{\text{refl}}}{G_{\text{incid}}} \quad (2.5)$$

Las superficies se pueden presentar como difusas o especulares, de acuerdo a la manera en que estas reflejan la radiación. Una radiación difusa se presenta sin importar la orientación o dirección de la radiación incidente, de esta manera se establece que el ángulo de reflexión es independiente de la intensidad de la radiación reflejada, todo este análisis se transmite muy bien para superficies ásperas ya que estas actúan de esa manera. En cambio si la reflexión en toda su mayoría es en la dirección  $\Theta_2$ , el cual es idéntico al ángulo incidente  $\Theta_1$ , se manifiesta que existe la conocida reflexión especular, que se presentarían en superficies de espejo perfectamente pulidas. En superficies especulares, como metal pulido y vidrio, la reflectividad será cercana a cero en todos los ángulos excepto en el ángulo reflejado apropiado. En superficies difusas la reflectividad es uniforme y la radiación es



reflejada en todos los ángulos en forma igual, como pintura mate blanca estas superficies se consideran <sup>5</sup>lambertianas.



**Figura 7:** Reflexión difusa y especular

**Fuente:** (Incropera & Witt, 1999)

([www.aq.upm.es](http://www.aq.upm.es))

“La reflexión de los cuerpos opacos son en general, el coeficiente de reflexión (reflectividad) de un cuerpo opaco depende de la temperatura y de la superficie del material, de la longitud de onda incidente y del ángulo de incidencia.

Existen dos tipos principales de reflexión:

a) Reflexión especular. Se produce en superficies lisas y pulimentadas en las que el rayo reflejado forma el mismo ángulo que el rayo incidente. En estas superficies  $\rho \approx 1$  y  $\alpha \approx$

0

---

<sup>5</sup> Lambertianas son superficies ideales en la que la radiación procedente de ella tiene una distribución angular según la ley de Lambert la cual manifiesta que es una relación empírica que relaciona la absorción de luz con las propiedades del material atravesado.

b) Reflexión difusa. Se produce sobre superficies rugosas o sin brillo que reflejan de forma difusa en todas direcciones y no existe un ángulo de reflexión concreto. En éstas:  $\alpha \rightarrow 1$  y  $\rho \rightarrow 0$ .

La mayor parte de las superficies industriales utilizadas en construcción producen reflexión difusa y se puede aceptar la hipótesis de que  $\alpha$  y  $\rho$  son independientes del ángulo de incidencia. Para algunas superficies se puede aceptar, además, la hipótesis de que  $\alpha$  es el mismo para todas las longitudes de onda. A estas superficies se les llama *cuerpo gris*.

([www.aq.upm.es](http://www.aq.upm.es))

#### “CASOS LÍMITE

- CUERPO TRANSPARENTE O DIATÉRMANO: Transmite toda la radiación incidente.  $\tau = 1$ .
- CUERPO BLANCO: Refleja toda la radiación incidente.  $\rho = 1$ .
- CUERPO NEGRO: Absorbe toda la radiación incidente.  $\alpha = 1$ .”

Sin embargo ninguna superficie es completamente difusa o especular, pero para la mayoría de las aplicaciones de ingeniería se trabaja con la reflexión difusa la cual es muy razonable para estas prácticas.

#### TRANSMISIVIDAD

Es la disposición que tiene un material al dejar pasar radiación infrarroja, es decir de poder transmitirla. Por ejemplo tiene una elevada transmisividad una lámina fina de plástico, ya que la transmisividad de la mayoría de los materiales es prácticamente cero y se puede despreciar.

(www.aq.upm.es)

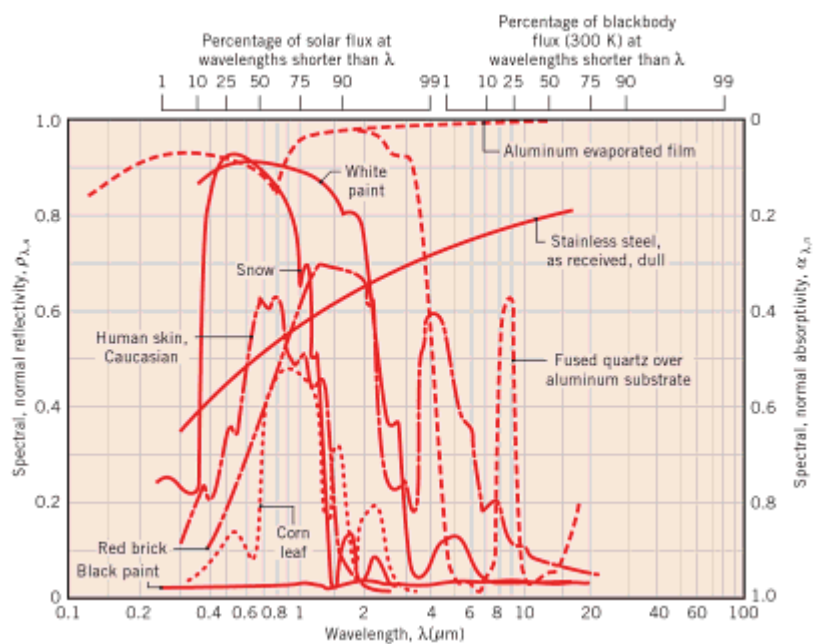
“La mayor parte de los sólidos con los que se trabaja en ingeniería y arquitectura son cuerpos opacos a la radiación, es decir, poseen una transmisividad tan baja que puede considerarse nula frente a la absorptividad y reflectividad. Para éstos se verifica:

$$\tau = 0 \Rightarrow \alpha + \rho = 1$$

Sin embargo, el vidrio, ciertos materiales plásticos y algunos minerales, así como los gases, tienen una transmisividad muy alta y, por tanto, baja absorptividad y reflectividad. En el caso del aire (seco y limpio) las radiaciones térmicas lo atraviesan como si fuera el vacío, verificándose:

$$\tau \approx 1 \Rightarrow \alpha \approx \rho \approx 0 \quad \text{”}$$

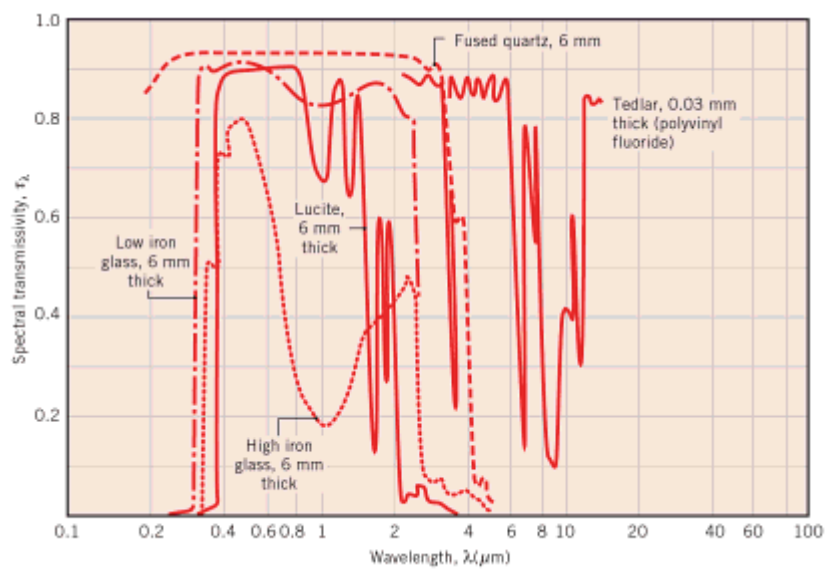
Por otra parte el entendimiento de una propiedad compromete el conocimiento de la otra. En la siguiente imagen se presentan distribuciones espectrales de la reflectividad y absorptividad habituales para distinguidas superficies opacas. Por ejemplo en esta figura se observa que el vidrio o agua, que es semitransparente a longitudes de onda cortas, se vuelve opaco a longitudes de onda más grande.



**Figura 8:** Dependencia espectral de la absorptividad y reflectividad normal espectral de materiales seleccionados

**Fuente:** (Incropera & Witt, 1999)

Este tipo de conducta también la podemos mirar en la imagen de la transmisividad espectral de algunos materiales semitransparentes frecuentes. Apreciando que la transmisividad de los plásticos es mayor que ciertos materiales como el vidrio en las partes del infrarrojo. Estos aspectos poseen un peso importante en la determinación de los materiales de cubierta para estudios y aplicaciones de colectores solares.



**Figura 9:** Dependencia espectral de las transmisividades espectrales de materiales seleccionados

**Fuente:** (Incropera & Witt, 1999)

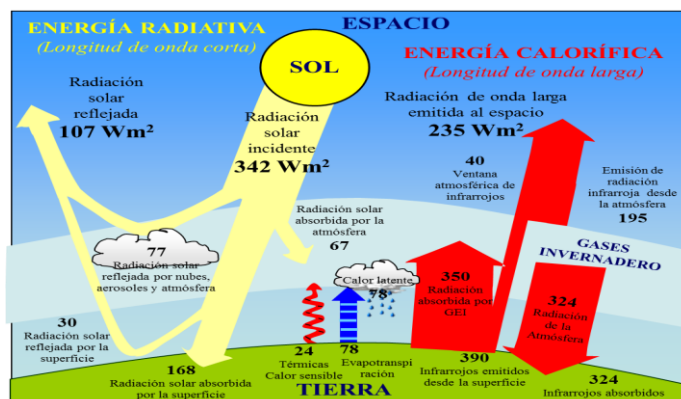
Además es importante presentar valores de transmisividad total de radiación solar de materiales habituales para colectores solares (cubierta), así como también datos y valores para las propiedades de absorptividad superficiales solares y emisividad de poca temperatura.

**Tabla 1:** Propiedades solares radiativas para materiales seleccionados

Descripcion/composicion	$\alpha_s$	$\epsilon^b$	$\alpha_s/\epsilon$
Concreto	0.60	0.88	0.68
<b>Pinturas:</b>			
• Negra (Parsons)	0.98	0.98	1.0
• Blanco, acrílico	0.26	0.90	0.29
• Blanco, óxido de cinc	0.16	0.93	0.17

Fuente: (Incropera &amp; Witt, 1999)

## 2.1.8 RADIACION AMBIENTAL (SOLAR)

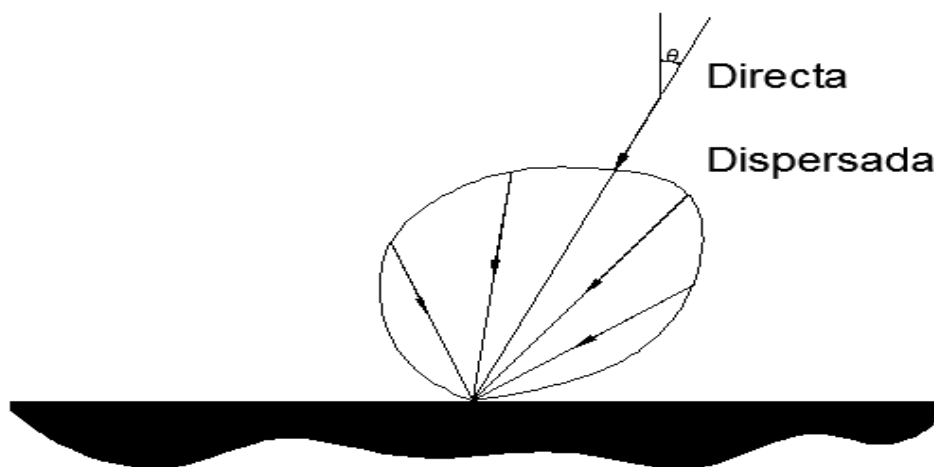
**Figura 10:** Radiación solar

Fuente: (Flujos de Energia entre el sol y la tierra, 2005)

La vida de la tierra se debe en gran parte a la radiación solar que se presenta. Es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol que es una fuente de radiación casi esférica que tiene  $1.39 \times 10^9$  m de diámetro y se ubica a  $1.50 \times$

$10^{11}$  m de la tierra, esta energía del sol se transmite gracias a la radiación solar. No toda esta radiación llega a la superficie de la tierra porque las ondas más cortas son absorbidas por los gases de la atmosfera. A la tierra llega la radiación solar la cual es medida por la magnitud de la irradiancia la misma que determina la energía que por unidad de tiempo y área alcanza al planeta tierra.

El proceso de fotosíntesis, es el encargado de satisfacer nuestras demandas alimenticias, combustible y fibra. La radiación solar que alcanza la superficie terrestre se la puede observar en la siguiente figura ya que la parte de la radiación que pasa la atmosfera sin ser absorbida está en la orientación del ángulo <sup>6</sup>cenital y se llama radiación directa.



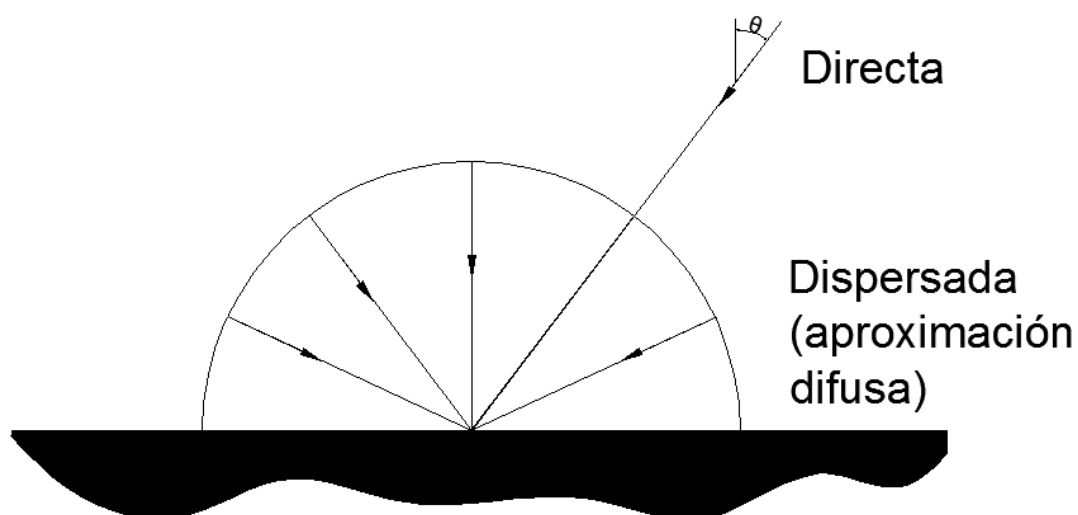
**Figura 11:** Distribución direccional de la radiación solar en la superficie de la tierra (Distribución real)

**Fuente:** (Incropera & Witt, 1999)

---

<sup>6</sup> Angulo Cenital es el ángulo formado entre la línea que une el cenit con el observador y la que une al observador con el sol (varía entre 0 y 90°). El cenit es el punto de la esfera celeste que está justo por encima de la cabeza del observador.

La radiación difundida incurre de todas las direcciones, pero tiene mayor potencia para las direcciones cercanas a la de la radiación directa. La intensidad de la radiación es independiente de la dirección, entonces la radiación se nombra difusa. De esta manera se establece que la llamada radiación solar total que se manifiesta en la superficie terrestre es por lo general la suma de las aportaciones directa y difusa. La aportación difusa es variable en un 10% de la radiación total solar en un día iluminado y cerca del 100% en día completamente cubierto o nublado.



**Figura 12:** Distribución direccional de la radiación solar en la superficie de la tierra (Aproximación difusa)

**Fuente:** (Incropera & Witt, 1999)

La emisión de la superficie terrestre, así como la emisión de algunos constituyentes atmosféricos son introducidas en las formas de longitud de onda larga de la radiación ambiental. En la superficie terrestre se puede determinar de manera común la potencia emisiva. Es decir,

$$E = \varepsilon\sigma T^4 \quad (2.6)$$



En las que  $\varepsilon$  y  $T$  se presentan como emisividad y temperatura, son por lo general cercanas a la unidad las respectivas emisividades.

La absorptividad solar de una superficie  $\alpha_s$  puede diferir de su emisividad de su emisividad  $\varepsilon$ . En la siguiente tabla se ponen valores de absorptividad y emisividad a temperaturas medidas para superficies representativas.

**Tabla 2:** Absorptividad solar  $\alpha_s$  y emisividad  $\varepsilon$  de superficies

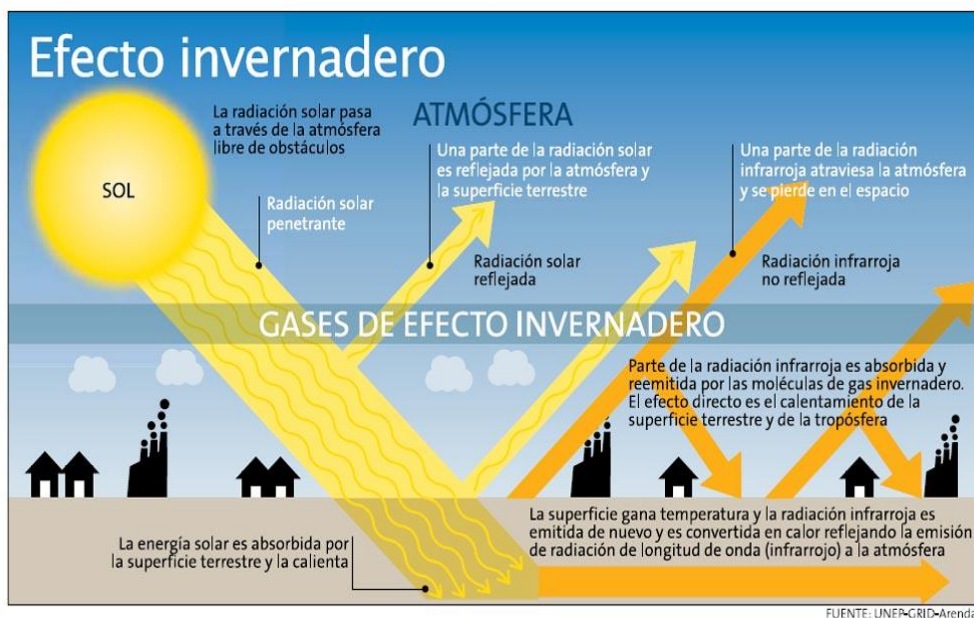
Superficie	$\alpha_s$	$\varepsilon(300K)$	$\alpha_s/\varepsilon$
Pintura Blanca	0.21	0.96	0.22
Pintura Negra	0.97	0.97	1.0
Nieve	0.28	0.97	0.29

**Fuente:** (Incropera & Witt, 1999)

## BALANCE TOTAL DE ENERGIA - EFECTO INVERNADERO

El efecto invernadero es un fenómeno por el cual ciertos gases que son parte de la atmosfera terrestre, conservan parte de la energía que la superficie de la tierra emite por haber sido calentada por la radiación solar. Este efecto invernadero elude que la energía obtenida continuamente vuelva de manera inmediata al espacio, produciendo un efecto parecido al de un invernadero. Si este efecto invernadero no existiera la vida en la tierra no sería posible debido a que la temperatura en la superficie estaría más o menos alrededor de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

El aire forma en la troposfera una mezcla de gases bastante uniforme a una temperatura y presión determinadas, hasta que su comportamiento es semejante al que tendría si estuviera por un solo gas.



**Figura 13:** Efecto Invernadero

**Fuente:** (Cambio Climático, 2010)

(es.wikipedia.org)

“La temperatura media en la Tierra se mantiene prácticamente constante en unos 15 °C, pero la que se calcula que tendría, si no existiera la atmósfera, sería de unos -18 °C. Esta diferencia de 33 °C tan beneficiosa para la vida en el planeta se debe al efecto invernadero. El motivo por el que la temperatura se mantiene constante es porque la Tierra devuelve al espacio la misma cantidad de energía que recibe. Si la energía devuelta fuera algo menor que la recibida se iría calentando paulatinamente y si devolviera más se iría enfriando.

Por tanto la explicación del efecto invernadero no está en que parte de la energía recibida por la Tierra se quede definitivamente en el planeta. La explicación está en que se retrasa su devolución porque, aunque la cantidad de energía retornada es igual a la recibida, el tipo de energía que se retorna es distinto. Mientras que la energía recibida es una mezcla de radiación ultravioleta, visible e infrarroja, la energía que devuelve la Tierra es fundamentalmente infrarroja y algo de visible.

Las radiaciones que llegan del Sol vienen de un cuerpo que está a 6000 °C, pero las radiaciones que la superficie devuelve tienen la composición de longitudes de onda correspondientes a un cuerpo negro que esté a 15 °C. Por este motivo las radiaciones reflejadas tienen longitudes de onda de menor frecuencia que las recibidas. Están en la zona del infrarrojo y casi todas son absorbida por el CO<sub>2</sub>, el vapor de agua, el metano y otros gases, por lo que se forma el efecto invernadero. Así se retrasa la salida de la energía desde la Tierra al espacio y se origina el llamado efecto invernadero que mantiene la temperatura media en unos 15 °C y no en los -18 °C que tendría si no existiera la atmósfera.”

## 2.2 ESTUDIO DE LA RADIACION SOLAR LOCAL

### 2.2.1 METODO DE ANSTROM - PAGE

El Método de Page consiste en hallar la relación entre el promedio mensual diario de radiación difusa y el promedio diario mensual de radiación global recibido en una superficie horizontal con una correlación que permite utilizar este coeficiente desde su valor mínimo hasta su máximo. Esta dada por la siguiente expresión:

$$\frac{H}{H_0} = a + b \left( \frac{S}{S_0} \right) \quad (2.7)$$

Dónde:

H: es la radiación global media mensual sobre superficie horizontal

H<sub>0</sub>: es la radiación extraterrestre diaria promedio mensual

S: es el promedio de horas de luz solar diaria mensuales

S<sub>0</sub>: es el promedio máximo de horas posibles de sol diario

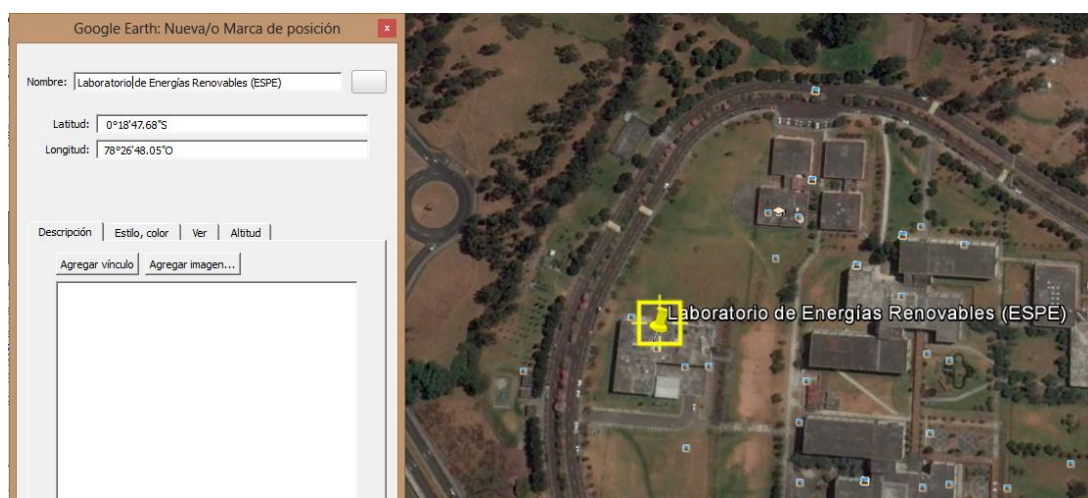
Para obtener los resultados de este método se realizó por medio de una hoja de cálculo en Excel en donde se ingresó los siguientes datos:

**Tabla 3:** Datos de entrada para el método de Page

<b>Datos de entrada</b>			
	<b>Grados</b>	<b>Minutos</b>	<b>segundos</b>
<b>Latitud</b>	0	18	47,68
<b>Latitud</b>	0,313244444		
<b>Beta</b>	35		
<b>Angstrom page</b>			
<b>a</b>	0,25	<b>Factor climatico</b>	
<b>b</b>	0,45		
<b>factor de albedo</b>	0,4		

**Fuente:** (Page, 1975)

La latitud para la ciudad de Sangolquí se obtuvo por Google Earth ( $0^{\circ}18'47.68''S$ ) dándonos un valor de  $\phi=0,313244444$

**Figura 14:** Latitud en la ciudad de Sangolquí

**Fuente:** (UBICACION-LATITUD, 2015)

También se consideró los factores climáticos para la Sierra ( $a=0,25$  y  $b=0,45$ )<sup>1</sup> los cuales dependen de las condiciones ambientales y de la región donde se colocará el calentador. El factor de albedo es  $\rho=0,4$  ya que la instalación se realizará sobre una

superficie de cemento. Se ha decidido que la orientación del calentador esté a  $\beta=35^\circ$  el cual es ingresado también en la hoja de cálculos.

Una vez ingresados los datos en la hoja de cálculo, nos entrega como resultados la irradiación global directa ( $H_o$ ) para cada mes del año los cuales se encuentran en la siguiente tabla:

**Tabla 4:** Irradiación Global Directa en la ciudad de Sangolquí (Método de Page)

	Irradiación Global Directa $H_o$			
	[W-h/m <sup>2</sup> ]	[Ly] (langley)	[BTU/ft <sup>2</sup> ]	[MJ/m <sup>2</sup> ]
<i>Enero</i>	4554	392	1445	16,39
<i>Febrero</i>	4596	395	1458	16,54
<i>Marzo</i>	4508	388	1431	16,23
<i>Abril</i>	4231	364	1343	15,23
<i>Mayo</i>	3890	335	1234	14,00
<i>Junio</i>	3696	318	1173	13,31
<i>Julio</i>	3772	325	1197	13,58
<i>Agosto</i>	4065	350	1290	14,63
<i>Septiembre</i>	4377	377	1389	15,76
<i>Octubre</i>	4539	391	1440	16,34
<i>Noviembre</i>	4543	391	1442	16,35
<i>Diciembre</i>	4516	389	1433	16,26
<i>Promedio</i>	4274	368	1356	15,39

Fuente: (Page, 1975)

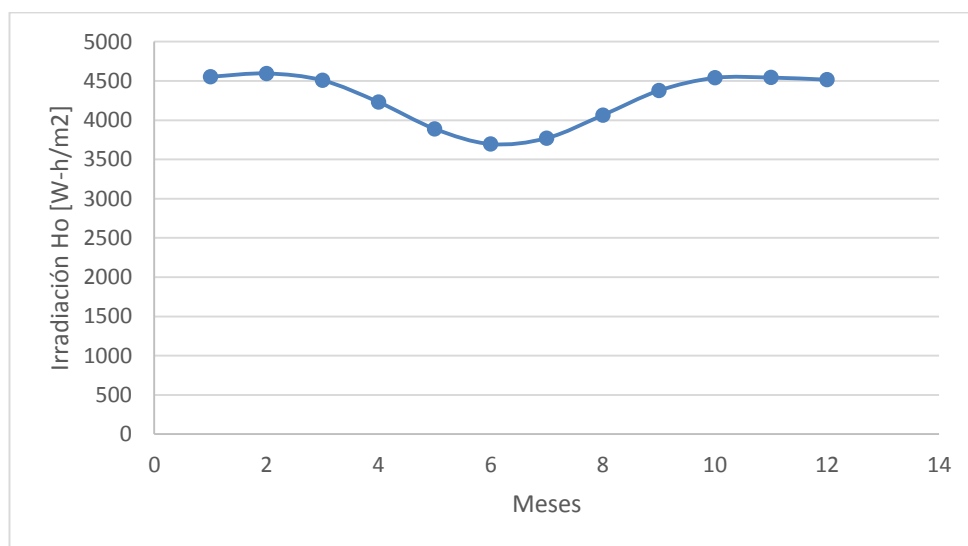
$\frac{Wh}{m^2}$  = Es una unidad que equivale a la energía desarrollada por 1 Watt recibido por un metro cuadrado de superficie durante una hora ( $3600 \frac{J}{m^2}$ ).

$Ly$  = Unidad que se utiliza para medir la radiación solar en la superficie de la tierra en un día o mes ( $41800 \frac{J}{m^2}$ )

BTU= Unidad de energía del sistema ingles de unidades (1055,056 julios)

MJ= Megajulio submúltiplo o múltiplo del julio unidad de energía, calor y trabajo

A continuación se muestra la siguiente gráfica donde se ve la variación de la irradiación con respecto a los meses:



**Figura 15:** Variación de la Irradiación Global Directa con respecto a los meses del año

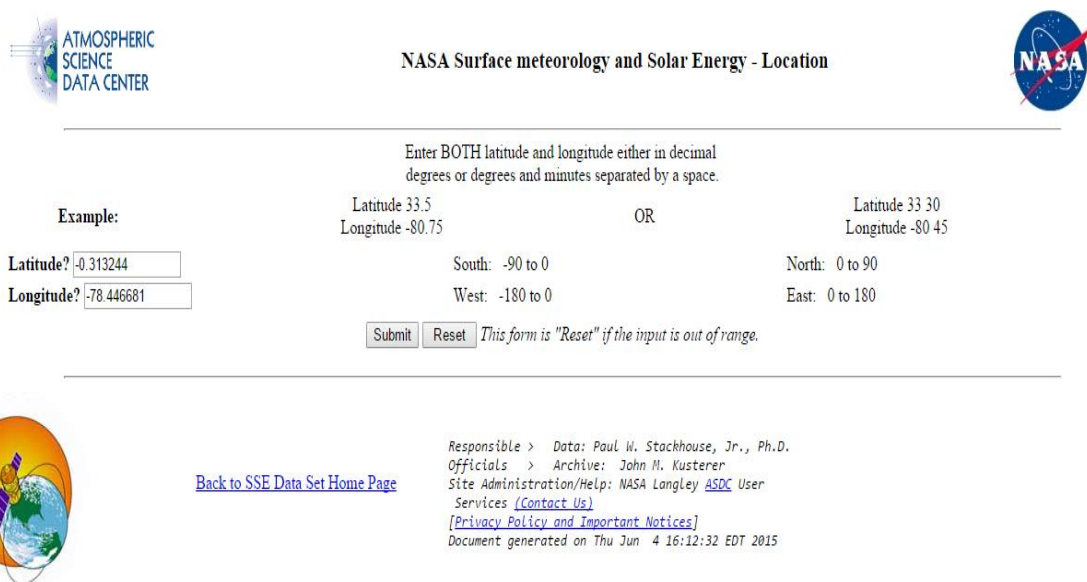
**Fuente:** (Page, 1975)

Como se puede observar en la figura el valor mínimo de radiación global directa es en el mes de Junio con un valor de  $3696 \text{ [W-h/m}^2\text{]}$  y el valor máximo es en el mes de Febrero con un valor de  $4596 \text{ [W-h/m}^2\text{]}$ .

## 2.2.2 DATOS DE RADIACION

Los siguientes datos se obtuvieron de la página web de la NASA ingresando la longitud y latitud del lugar donde se realizará la investigación. En este caso para la Universidad de las Esfuerzas Armadas-ESPE la latitud y longitud es de  $0^{\circ}18'47.68''S$  y  $78^{\circ}26'48.05''O$  respectivamente.

En la página de la NASA ingresamos estos datos transformados a decimales, para la latitud tenemos  $-0.313244$  y para la longitud  $-78.446681$ .



ATMOSPHERIC SCIENCE DATA CENTER

NASA Surface meteorology and Solar Energy - Location

Enter BOTH latitude and longitude either in decimal degrees or degrees and minutes separated by a space.

Example: Latitude 33.5 Longitude -80.75 OR Latitude 33 30 Longitude -80 45

Latitude?  South: -90 to 0 North: 0 to 90

Longitude?  West: -180 to 0 East: 0 to 180

*This form is "Reset" if the input is out of range.*

[Back to SSE Data Set Home Page](#)

Responsible > Data: Paul W. Stackhouse, Jr., Ph.D.  
 Officials > Archive: John H. Kusterer  
 Site Administration/Help: NASA Langley ASDC User Services ([Contact Us](#))  
[\[Privacy Policy and Important Notices\]](#)  
 Document generated on Thu Jun 4 16:12:32 EDT 2015

**Figura 16:** Ingreso de datos

**Fuente:** (NASA, 2015)

Al ingresar los datos, la Nasa nos da los siguientes datos de radiación solar sobre una superficie horizontal:



Parameters for Tilted Solar Panels:

Monthly Averaged Radiation Incident On An Equator-Pointed Tilted Surface (kWh/m <sup>2</sup> /day)													
Lat -0.313 Lon -78.447	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
SSE HRZ	4.13	4.34	4.55	4.33	4.12	4.01	4.26	4.46	4.26	4.24	4.30	3.98	4.25
K	0.40	0.41	0.43	0.42	0.42	0.43	0.45	0.45	0.41	0.40	0.42	0.39	0.42
Diffuse	2.16	2.27	2.35	2.23	2.06	1.96	1.98	2.13	2.28	2.28	2.18	2.11	2.17
Direct	2.98	3.00	3.10	3.01	3.08	3.16	3.46	3.38	2.80	2.80	3.15	2.85	3.06
Tilt 0	4.08	4.29	4.49	4.27	4.07	3.97	4.21	4.40	4.21	4.18	4.24	3.93	4.20
Tilt 15	4.19	4.32	4.41	4.30	4.22	4.18	4.42	4.49	4.15	4.18	4.33	4.04	4.27
Tilt 90	2.22	2.02	1.70	1.99	2.35	2.53	2.58	2.24	1.66	1.87	2.22	2.21	2.13
OPT	4.19	4.33	4.49	4.31	4.22	4.21	4.45	4.49	4.22	4.20	4.33	4.04	4.29
OPT ANG	16.0	10.0	2.00	10.0	19.0	24.0	23.0	14.0	2.00	7.00	15.0	17.0	13.2

NOTE: Diffuse radiation, direct normal radiation and tilted surface radiation are not calculated when the clearness index (K) is below 0.3 or above 0.8.

**Figura 17:** Resultado que se obtiene al ingresar los datos

**Fuente:** (NASA, 2015)

Como se puede observar en la figura el valor mínimo de radiación solar una superficie horizontal es en el mes de Junio con un valor de 4.01 [W-h/m<sup>2</sup>/día] y el valor máximo es en el mes de Marzo con un valor de 4.55 [W-h/m<sup>2</sup>/día].

### 2.2.3 TABLAS DEL INAMHI

El INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) es una Institución del Estado Ecuatoriano, creada en el año 1961 como una necesidad y un derecho fundamental de la comunidad, con el objeto de obtener, recopilar, procesar y difundir la información estadística de las estaciones meteorológicas e hidrométricas.



**Figura 18:** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)

**Fuente:** (INAMHI, 2015)

El Instituto nos proporciona anualmente datos estadísticos de la radiación solar en el Ecuador presentadas en tablas y mapas de cada ciudad tomadas en diferentes estaciones.

De acuerdo al Mapa de Irradiación Solar Global del Ecuador, la ciudad de Sangolquí se encuentra en un rango de 5.0 – 5.5 [KW-h/m<sup>2</sup>] de Irradiación, dándonos un promedio de 5.25 [KW-h/m<sup>2</sup>].

En el anexo A podemos encontrar el mapa de Irradiación global del Ecuador y en el anexo B las tablas de Heliofonía Efectiva Mensual (horas) en los sectores de Ilobamba, Quito y Tumbaco, datos de radiación en diferentes ciudades del Ecuador.

#### **2.2.4 MEDICION CON INSTRUMENTAL ESPECIALIZADO**

Existen diferentes tipos de instrumentos para la radiación directa, global y difusa los cuales son los siguientes:

- **Instrumentos para radiación directa:** Son conocidos como pirheliómetros. Estos instrumentos miden la energía que proviene directamente del sol, evitando la radiación difusa desde otras direcciones. Para la medición, el instrumento debe ser orientado continuamente hacia el sol y utilizan una placa negra como sensor, cuya temperatura se mide con un sistema de termocuplas que varía con la radiación solar directa que llega a la placa.



**Figura 19:** Pirheliómetro de primera clase Kipp-Zonen

**Fuente:** (Instrumentos de Radiación Solar, 2012)

- **Instrumentos para radiación global y difusa:** Para la radiación global se utilizan los piranómetros. Este instrumento se utiliza a veces para la medición de la radiación solar incidente sobre superficies inclinadas respecto a la horizontal y se dispone en posición invertida para medir la radiación global reflejada o albedo. Utilizan unas placas pintadas de blanco y negro. Debido a que las placas negras están más calientes porque absorben más radiación, se puede obtener la diferencia de temperatura entre las placas mediante termocuplas la cual es función de la radiación global. Para obtener la radiación difusa se instala un sistema que evita la radiación solar directa sobre el sensor o sino los piranómetros con banda de sombra.



**Figura 20:** Piranómetro negro y blanco de Eppley

**Fuente:** (Instrumentos de Radiación Solar, 2012)



**Figura 21:** Piranómetro con banda de sombra

**Fuente:** (Instrumentos de Radiación Solar, 2012)

- **Heliógrafo:** Este instrumento se utiliza para medir la insolación o “sol eficaz”, es decir, contar las horas que ha lucido el sol en determinado lugar durante un día. El heliógrafo más utilizado es el Campbell-Stockes el cual está constituido por una esfera de vidrio de 10 cm de diámetro montada concéntricamente en el interior de un casquete esférico, cuyo diámetro es tal que los rayos solares forman un foco muy intenso sobre una banda de cartulina encajada en unas ranuras del casquete.



**Figura 22:** Heliógrafo Campbell-Stockes

**Fuente:** (Instrumentos de Radiación Solar, 2012)

### **2.2.5 RECURSO PROMEDIO SOLAR LOCAL**

El sol es un astro muy inmediato a la tierra y el más grande del sistema solar. El sol es nuestro primordial surtidor de energía, y el cual se expresa sobre todo en forma de calor y luz, donde sustenta a casi todas las formas de vida en el planeta tierra por medio de la determinación del clima de la tierra, la meteorología y principalmente la fotosíntesis. El 99% de la materia del sistema solar es abarcada por el sol y establece una fuerte atracción gravitatoria a los planetas, donde los hace girar a su alrededor. El origen del sol fue hace 4.650 millones de años y tiene combustible para 5.000 millones más.

La energía solar en la superficie terrestre es muy utilizada por los seres vivos, la fotosíntesis es realizada por las plantas las cuales absorben directamente esta energía y los animales herbívoros adquieren esta de una manera indirecta al consumir como alimento principal las plantas y así continua esta cadena de energía los animales carnívoros al consumir a los animales herbívoros. De una manera indirecta del sol derivan las fuentes de energía usadas por el hombre como la fósil, hidroeléctrica, etc. Lamentablemente el uso de la energía solar de una manera directa para la obtención de otra energía no está aún muy desarrollado ya que los métodos y mecanismos del presente no son muy eficaces.

La localización geográfica del Ecuador, le otorga el derecho de ser un país totalmente privilegiado en lo que al recurso solar se refiere. Esto se da gracias al ángulo de incidencia de la luz solar, ya que durante la mayoría del año esta es perpendicular a nuestra superficie, la cual es difícil que exista en otras partes o lugares del planeta tierra por que el ángulo de incidencia de la luz es muy variable y esto se debe a las estaciones del año las cuales se deben tomar en consideración para

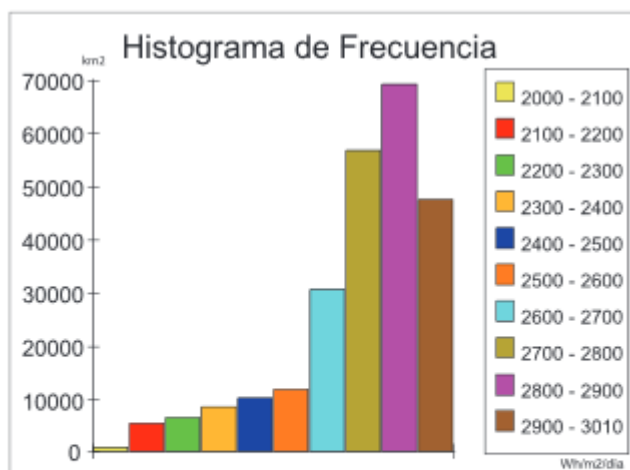
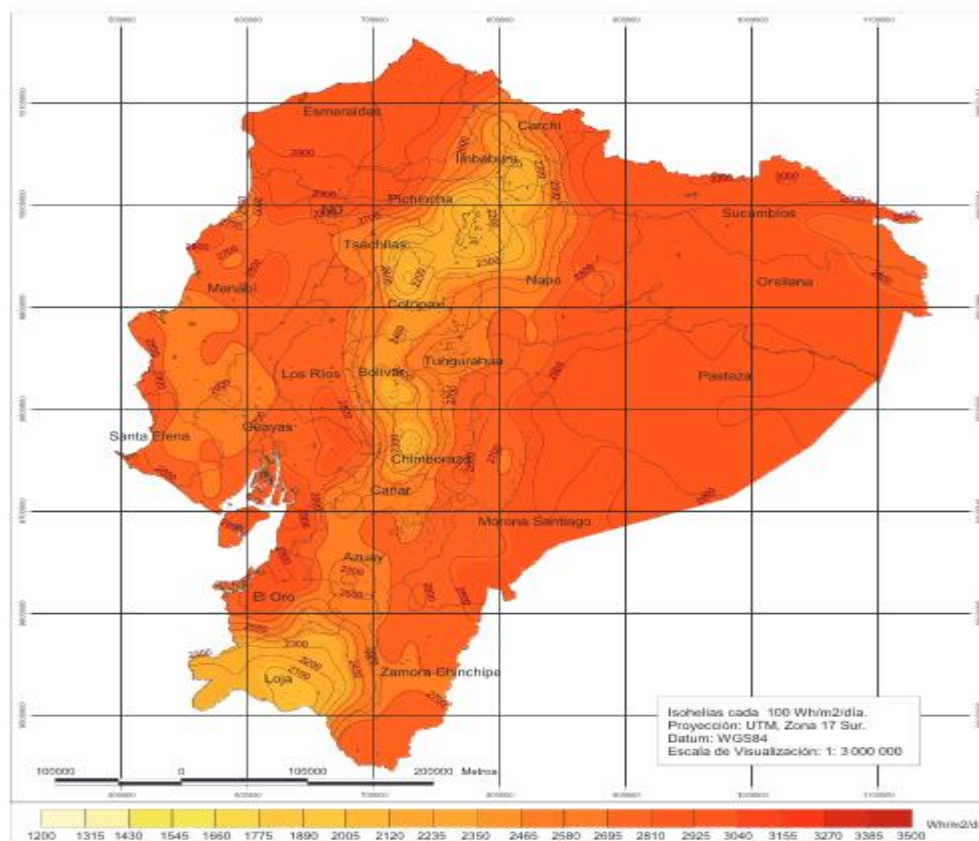
cualquier estudio próximo. Este atributo del lugar en el que se encuentra Ecuador, se lo observa en la entrada de una mayor y perseverante cantidad de radiación solar, la cual varía de acuerdo a la cercanía o lejanía del sol, así como también por condiciones climatológicas locales dentro del territorio nacional.

Ecuador en la actualidad cuenta con un atlas de irradiación solar el cual fue desarrollado por la Corporación para la Investigación Energética donde se pueden encontrar datos georeferenciados de radiación directa, difusa y global en todo el Ecuador continental para la elaboración del presente proyecto sobre energía solar esta información es muy importante tener en cuenta.

**Tabla 5:** Datos básicos entre el sol y la tierra

Datos básicos	El Sol	La Tierra
Tamaño: radio ecuatorial	695.000 km.	6.378 km.
Periodo de rotación sobre el eje	de 25 a 36 días *	23,93 horas
Masa comparada con la Tierra	332.830	1
Temperatura media superficial	6000 ° C	15 ° C
Gravedad superficial en la fotosfera	274 m/s <sup>2</sup>	9,78 m/s <sup>2</sup>

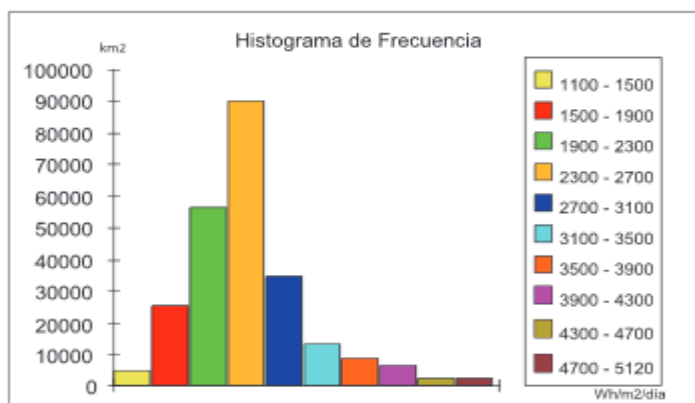
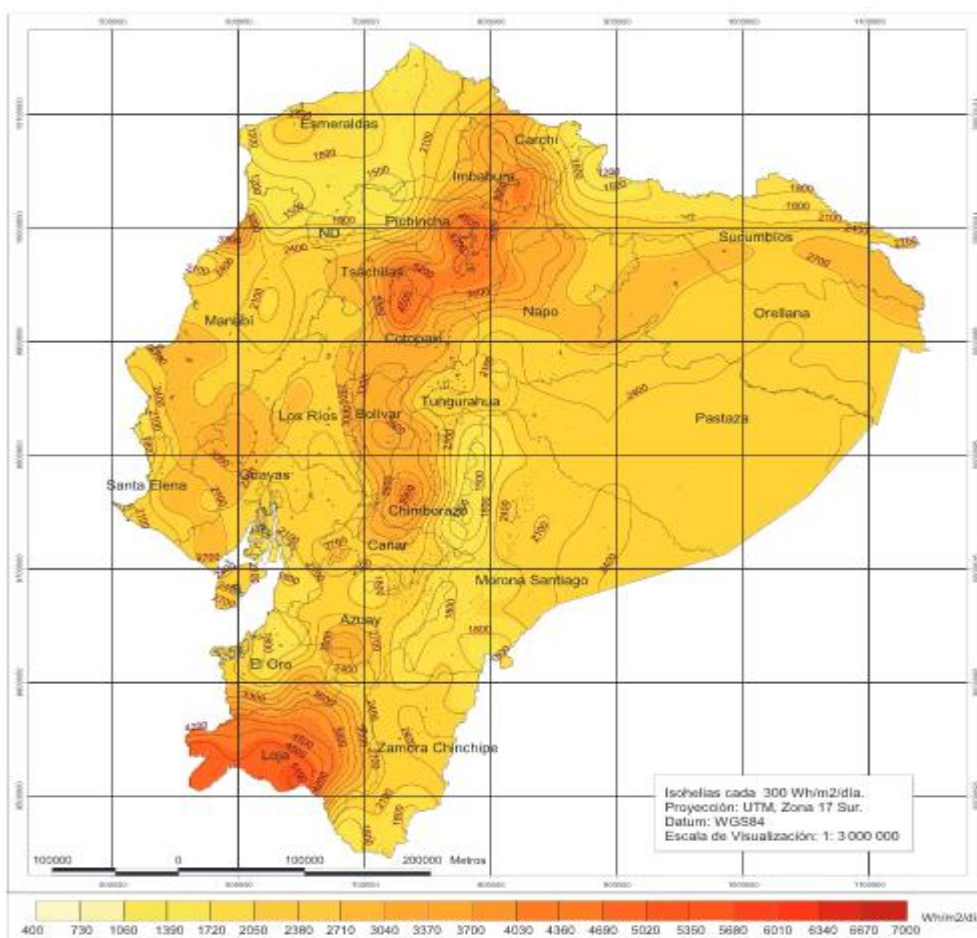
**Fuente:** (Astronomía, 2015)



Valor Máximo: 3 105 Wh/m2/día  
 Valor Mínimo: 2 032 Wh/m2/día  
 Valor Promedio: 2737,05 Wh/m2/día  
 Desviación Estándar: 196,8432 Wh/m2/día

**Figura 23:** Mapa solar del Ecuador - Insolación difusa promedio

**Fuente:** (Atlas de Insolación, 2008)

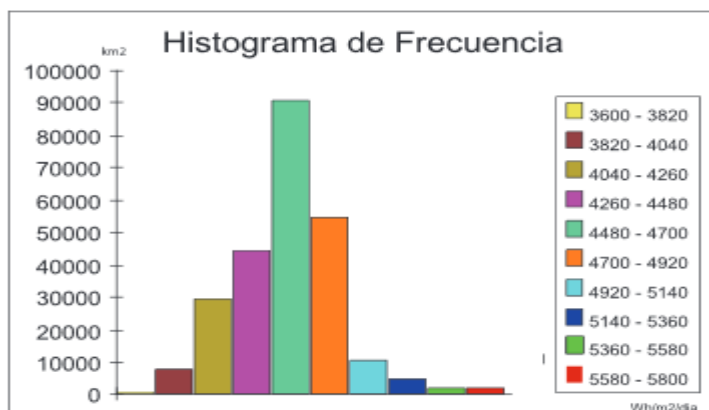
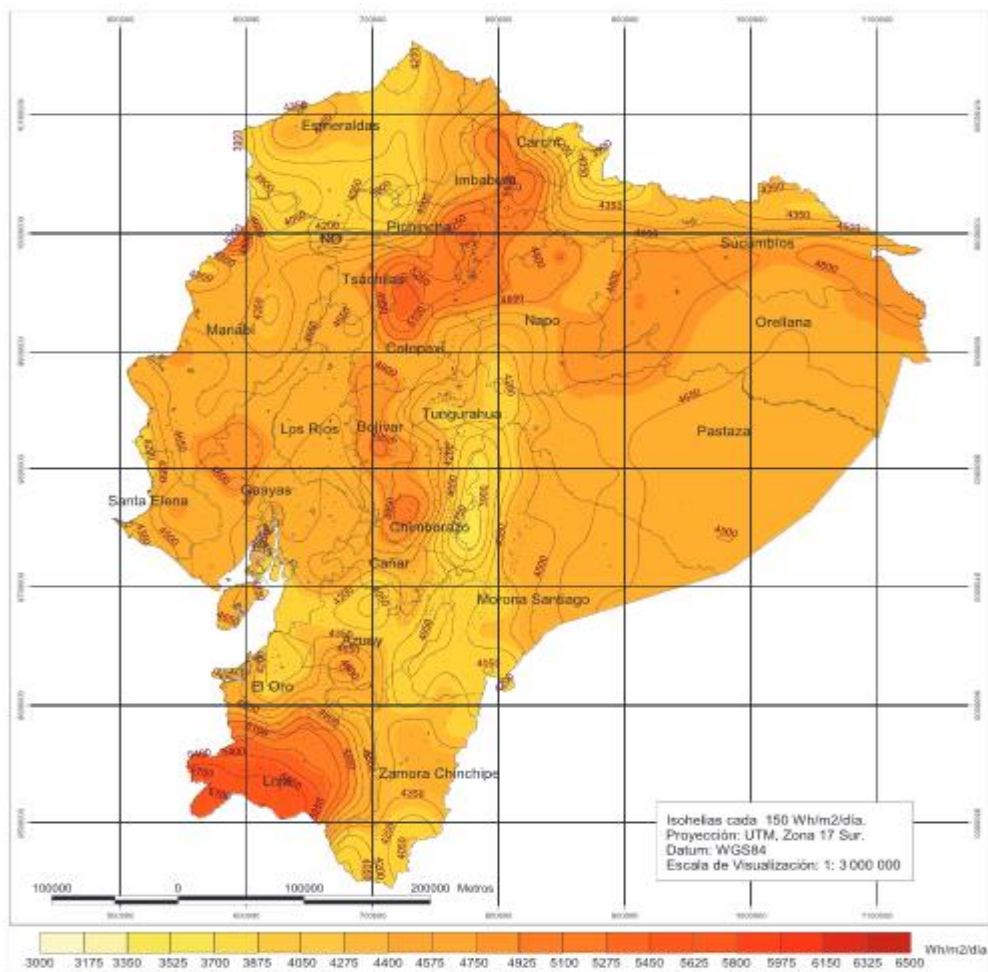


Valor Máximo: 5 119 Wh/m<sup>2</sup>/día  
 Valor Mínimo: 1 147 Wh/m<sup>2</sup>/día  
 Valor Promedio: 2543,01 Wh/m<sup>2</sup>/día  
 Desviación Estándar: 643,1827 Wh/m<sup>2</sup>/día

**Figura 24:** Mapa solar del Ecuador - Insolación directa promedio

**Fuente:** (Atlas de Insolación, 2008)





Valor Máximo: 5 748 Wh/m<sup>2</sup>/día  
 Valor Mínimo: 3634 Wh/m<sup>2</sup>/día  
 Valor Promedio: 4574,99 Wh/m<sup>2</sup>/día  
 Desviación Estándar: 301,4093 Wh/m<sup>2</sup>/día

**Figura 25:** Mapa solar del Ecuador - Insolación global promedio

**Fuente:** (Atlas de Insolación, 2008)

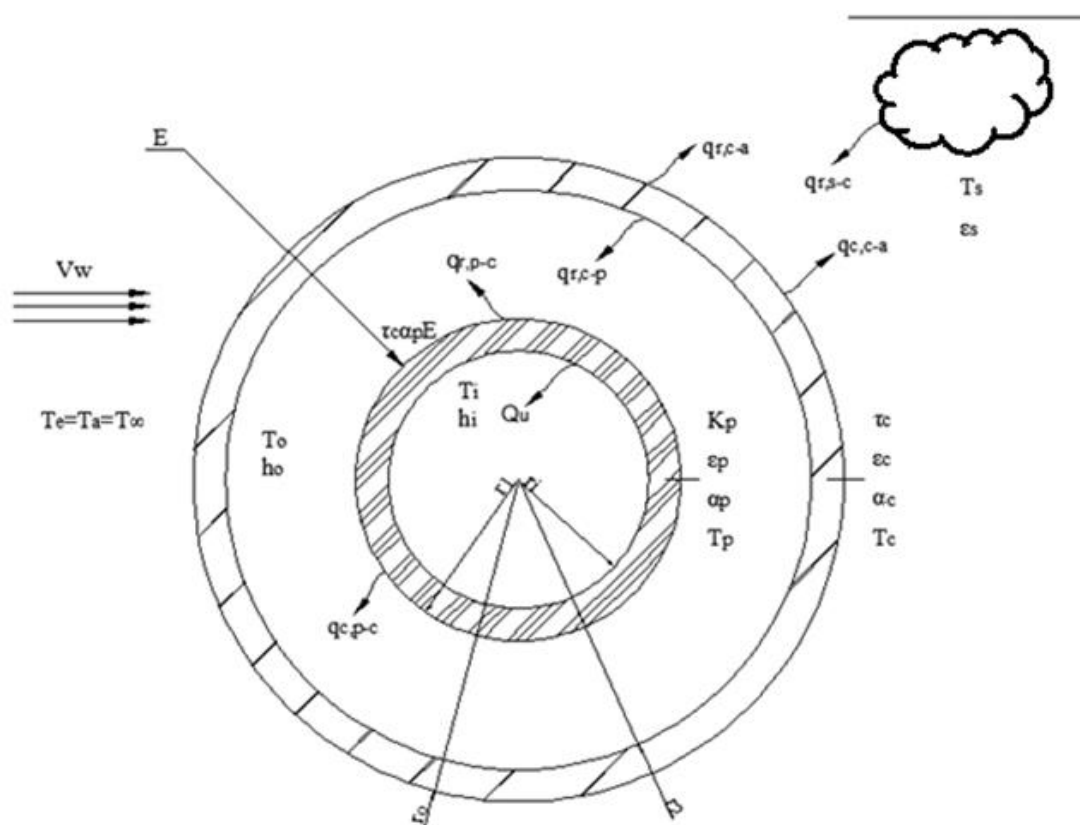
## **2.3 MODELO MATEMATICO DEL CALENTADOR BIFACIAL**

A continuación se realiza el análisis energético del calentador solar de forma parabólica de tubos concéntricos en espiral, es importante indicar que por el tubo interior circula el fluido térmico, que se calienta a lo largo del colector. Además, en la región anular donde se encuentra el aire estancado, el efecto invernadero es producido por el recipiente de PET debido a que deja pasar radiación solar de longitud de onda menor a  $3 \mu\text{m}$  con la consecuente absorción de energía térmica en la tubería de polietileno, al calentarse emite radiación de onda larga que depende de la temperatura del tubo. El PET no deja pasar esta radiación consiguiendo un incremento de la temperatura del aire que se encuentra en la región anular. Al calentarse transfiere calor por convección y conducción hacia el fluido del proceso que en este caso es el agua.

### **2.3.1 ANALISIS ENERGETICO**

#### **BALANCE ENERGETICO DEL CALENTADOR (TUBOS CONCENTRICOS)**

Para el estado estacionario se debe analizar los flujos térmicos para la cubierta de PET y para la tubería de polietileno



**Figura 26:** Esquema del calentador de tubos Concéntricos

Fuente: (Arguello & Velasco., 2015)

Área de la cubierta PET:  $A_c = d_o \cdot L_c$

Área del tubo de polietileno (pipe):  $A_p = d_1 \cdot L_p$

### Balance energético para la cubierta de PET

$$Q_e = Q_s$$

$$q_{r,s-c} + q_{r,p-c} + q_{c,p-c} = q_{r,c-a} + q_{r,c-p} + q_{c,c-a} \quad (2.8)$$

Dónde:

$q_{r,s-c}$ : Es la transferencia por radiación de la bóveda celeste hacia la cubierta de PET

$$q_{r,s-c} = h_{r,s-c} \cdot A_c \cdot (T_s - T_c) \quad (2.9)$$

$$h_{r,s-c} = 4 \cdot \varepsilon_s \cdot \sigma \cdot T_{m,s-c}^3 \quad (2.10)$$

$$T_{m,s-c}^3 = \frac{T_s + T_c}{2} \quad (2.11)$$

$q_{r,p-c}$ : Es la transferencia por radiación del tubo de polietileno hacia la cubierta de PET

$$q_{r,p-c} = h_{r,p-c} \cdot A_c \cdot (T_p - T_c) \quad (2.12)$$

$$h_{r,p-c} = 4 \cdot \varepsilon_p \cdot \sigma \cdot T_{m,p-c}^3 \quad (2.13)$$

$$T_{m,p-c} = \frac{T_p + T_c}{2} \quad (2.14)$$

$q_{c,p-c}$ : Es la transferencia por convección del tubo de polietileno hacia la cubierta de PET

$$q_{c,p-c} = h_{o,p-c} \cdot A_c \cdot (T_p - T_c) \quad (2.15)$$

Para el caso del coeficiente de convección  $h_{o,p-c}$  vamos a utilizar la ecuación de Hollands y Raithby que se aplica para la transferencia de calor en espacios anulares, tomado del libro de Kreith, p.326.

$$\frac{K_{eff}}{K_{aire}} = 0,386 \left( \frac{\ln \frac{d_2}{d_1}}{b^{3/4} \left( \frac{1}{d_1^{3/5}} + \frac{1}{d_2^{3/5}} \right)^{5/4}} \right) \cdot \left( \frac{Pr}{0,861 + Pr} \right)^{1/4} \cdot Ra \cdot b^{1/4} \quad (2.16)$$

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (0,7 \leq Pr \leq 6000)$$

$$b = \frac{d_2 - d_1}{2}$$

La conductividad térmica efectiva ( $K_{eff}$ ) es la conductividad térmica que un fluido en reposo con conductividad térmica  $K$  en el espacio anular debe tener para transferir la misma cantidad de calor que el fluido en movimiento.

$q_{r,c-a}$ : Es la transferencia por radiación de la cubierta PET hacia el ambiente

$$q_{r,c-a} = h_{r,c-a} \cdot A_c \cdot (T_c - T_a) \quad (2.17)$$

$$h_{r,c-a} = 4 \cdot \varepsilon_c \cdot \sigma \cdot T_{m,c-a}^3 \quad (2.18)$$

$$T_{m,c-a} = \frac{T_c + T_a}{2} \quad (2.19)$$

$q_{r,c-p}$ : Es la transferencia por radiación de la cubierta PET hacia el tubo de polietileno

$$q_{r,c-p} = h_{r,c-p} \cdot A_c \cdot (T_c - T_p) \quad (2.20)$$

$$h_{r,c-p} = 4 \cdot \varepsilon_c \cdot \sigma \cdot T_{m,c-p}^3 \quad (2.21)$$

$$T_{m,c-p} = \frac{T_c + T_p}{2} \quad (2.22)$$

$q_{c,c-a}$ : Es la transferencia por convección de la cubierta PET hacia el ambiente

$$q_{c,c-a} = h_e \cdot A_c \cdot (T_c - T_a) \quad (2.23)$$

$$h_e = 2,8 + 3V_w \quad (2.24)$$

### **Balance energético para el tubo de polietileno (pipe)**

$$Q_e = Q_s$$

$$q_{r,c-p} + \tau_c \cdot \alpha_p \cdot E \cdot A_p = q_{r,p-c} + q_{c,p-c} + Q_u \quad (2.25)$$

Dónde:

$q_{r,c-p}$ : Es la transferencia por radiación de la cubierta de PET hacia el tubo de polietileno

$$q_{r,c-p} = h_{r,c-p} \cdot A_p \cdot (T_c - T_p) \quad (2.26)$$

$$h_{r,c-p} = 4 \cdot \varepsilon_c \cdot \sigma \cdot T_{m,c-p}^3 \quad (2.27)$$

$$T_{m,c-p}^3 = \frac{T_c + T_p}{2} \quad (2.28)$$

$q_{r,p-c}$ : Es la transferencia por radiación del tubo de polietileno hacia la cubierta de PET

$$q_{r,p-c} = h_{r,p-c} \cdot A_c \cdot (T_p - T_c) \quad (2.29)$$

$$h_{r,p-c} = 4 \cdot \epsilon_p \cdot \sigma \cdot T_{m,p-c}^3 \quad (2.30)$$

$$T_{m,p-c} = \frac{T_p + T_c}{2} \quad (2.31)$$

$Q_u$ : Calor útil

$$Q_u = h_i \cdot A_p \cdot (T_p - T_i) \quad (2.32)$$

Para el caso del coeficiente de convección  $h_i$  vamos a utilizar la ecuación de Dittus y Boelter

$$\frac{h_i \cdot d_i}{K_{agua}} = 0,023 \cdot Re_{di}^{0,8} \cdot Pr^n \quad (2.33)$$

$$(10000 \leq Re_{di} \leq 120000)$$

O en el caso de  $Re \geq 10000$  se utiliza la ecuación de Sieder y Tate

$$\frac{h_i \cdot d_i}{K_{agua}} = 0,023 \cdot Re_{di}^{0,8} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \cdot \left( \frac{\mu_b}{\mu_s} \right) \quad (2.34)$$

### **Coefficiente global de transferencia de calor para tubos concéntricos**

Antes de analizar el perfil de temperaturas correspondientes a la tubería de polietileno, es necesario hallar el coeficiente global de transferencia de calor para lo cual se sigue el siguiente procedimiento:

$$U_L = U_i + U_o \quad (2.35)$$

$$U = \frac{1}{A \sum Rt} \quad (2.36)$$

Donde las áreas son

$$A_{ip} = 2\pi r_i L$$

$$A_{op} = 2\pi r_1 L$$

$$A_{ic} = 2\pi r_2 L$$

$$A_{oc} = 2\pi r_o L$$

Para  $U_i$

$$R_i = \frac{1}{2\pi r_i L h_i}$$

$$R_p = \frac{\ln \frac{r_1}{r_i}}{2\pi L K_p}$$

Por lo tanto se tiene que



$$U_i = \frac{1}{2\pi r_i L \left( \frac{\ln \frac{r_1}{r_i}}{2\pi L K_p} + \frac{1}{2\pi r_i L h_i} \right)} = \frac{1}{r_i \ln \frac{r_1}{r_i} \frac{1}{K_p} + \frac{1}{h_i}} \quad (2.37)$$

Para  $U_o$

$$R_o = \frac{1}{2\pi r_e L h_o}$$

$$R_c = \frac{\ln \frac{r_o}{r_2}}{2\pi L K_c}$$

$$R_a = \frac{1}{2\pi r_o L h_e}$$

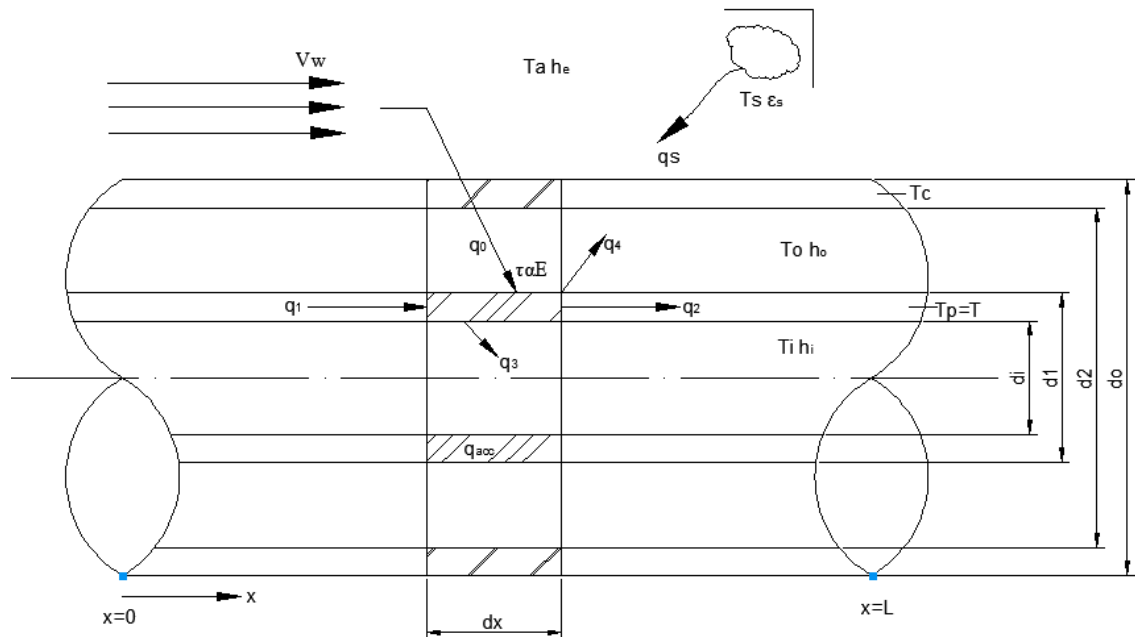
Por lo tanto se tiene que

$$U_o = \frac{1}{2\pi r_o L \left( \frac{1}{2\pi r_e L h_o} + \frac{\ln \frac{r_o}{r_2}}{2\pi L K_c} + \frac{1}{2\pi r_o L h_e} \right)} = \frac{1}{\frac{r_o}{r_e h_o} + \frac{r_o \ln \frac{r_o}{r_2}}{K_c} + \frac{1}{h_e}} \quad (2.38)$$

Donde

$$r_e = \frac{d_2 - d_1}{2}$$

### Balance energético del calentador de tubos concéntricos en sentido longitudinal



**Figura 27:** Esquema del corte longitudinal del calentador

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

$$\text{Área: } A = \frac{\pi}{4} (d_1^2 + d_2^2)$$

$$Q_e - Q_s = Q_{acc} \quad (2.39)$$

$$q_1 + q_0 - q_2 - q_3 - q_4 = q_{acc}$$

Dónde:

$$q_1 = -KA \frac{\partial T}{\partial x}$$

$$q_2 = -KA \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( -KA \frac{\partial T}{\partial x} \right) \partial x$$

$$q_0 = \tau \alpha E \pi d_1 \partial x$$

$$q_3 = h_i \pi d_i \partial x (T - T_i)$$

$$q_4 = h_o \pi d_1 \partial x (T - T_c)$$

$$q_{acc} = \rho C p A \partial x \frac{\partial T}{\partial t}$$

Por lo tanto al reemplazar los valores

$$\begin{aligned} &= -KA \frac{\partial T}{\partial x} + \tau \alpha E \pi d_1 \partial x + KA \frac{\partial T}{\partial x} + KA \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \partial x - h_i \pi d_i \partial x (T - T_i) \\ &\quad - h_o \pi d_1 \partial x (T - T_c) = \rho C p A \partial x \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.40) \end{aligned}$$

$$KA \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \tau \alpha E \pi d_1 - h_i \pi d_i (T - T_i) - h_o \pi d_1 (T - T_c) = \rho C p A \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.41)$$

En algún momento dado se tiene que  $T_c \approx T_i$

$$KA \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \tau \alpha E \pi d_1 - \pi (h_i d_i + h_o d_1) (T - T_c) = \rho C p A \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.42)$$

Suponiendo que se pierde calor por los fluidos aire y agua utilizamos el coeficiente global de transferencia

$$KA \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \tau \alpha E \pi d_1 - U_L \pi d_1 (T - T_a) = \rho C p A \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.43)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\tau \alpha E \pi d_1}{KA} - \frac{U_L \pi d_1}{KA} (T - T_a) = \frac{\rho C_p}{K} \frac{\partial T}{\partial t}; \quad \alpha_p = \frac{K}{\rho C_p}$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\tau \alpha E \pi d_1}{KA} - \frac{U_L \pi d_1}{KA} (T - T_a) = \frac{1}{\alpha_p} \frac{\partial T}{\partial t}$$

Realizamos el cambio de variable  $\theta = T - T_a$

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\tau \alpha E \pi d_1}{KA} - \frac{U_L \pi d_1}{KA} \theta = \frac{1}{\alpha_p} \frac{\partial \theta}{\partial t}; \quad \theta = f(x, t) = XT$$

Solución para el estado estacionario:  $\frac{\partial \theta}{\partial t} = 0$

$$\frac{d^2 \theta}{dx^2} + \frac{\tau \alpha E \pi d_1}{KA} - \frac{U_L \pi d_1}{KA} \theta = 0$$

Sea:

$$K_1 = \frac{\tau \alpha E \pi d_1}{KA} \quad y \quad K_2 = \frac{U_L \pi d_1}{KA}$$

Entonces se tiene:

$$\frac{d^2 \theta}{dx^2} - K_2 \theta = -K_1$$

Solución:

$$\theta_G = \theta_H + \theta_P$$

Para la solución homogénea:

$$\frac{d^2 \theta}{dx^2} - K_2 \theta = 0$$

$$K_2 = m^2 \rightarrow m = \sqrt{K_2}$$

$$\theta = e^{\lambda x}$$

$$\theta' = \lambda e^{\lambda x}$$

$$\theta'' = \lambda^2 e^{\lambda x}$$

$$\lambda^2 - m^2 = 0 \rightarrow \lambda = \pm m$$

$$\theta_H = C_1 e^{mx} + C_2 e^{-mx}$$

Condiciones de borde para  $x = 0 \rightarrow \theta = \theta_0$

$$\theta_0 = C_1 + C_2$$

Derivamos

$$\frac{d\theta}{dx} = C_1 m e^{mx} - C_2 m e^{-mx}$$

Para  $\frac{d\theta}{dx} = 0 \rightarrow C_1 = C_2$

Por lo tanto la solución homogénea es:

$$\theta_H = C_1 e^{mx} + C_2 e^{-mx} = \frac{\theta_0}{2} (e^{mx} + e^{-mx})$$

Para la solución particular

$$\theta_P = A$$

$$\theta_P' = 0$$

$$\theta_P'' = 0$$

Por lo tanto

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} - K_2\theta = -K_1$$

$$0 - K_2\theta_P = -K_1$$

$$\theta_P = \frac{K_1}{K_2}$$

Solución general

$$\theta_G = \frac{\theta_0}{2}(e^{mx} + e^{-mx}) + \frac{K_1}{K_2}; \theta_0 = T - T_0$$

## **CAPITULO III**

### **ESTADO DEL ARTE**

#### **3.1. COLECTOR SOLAR PLANO**

Estos captadores o colectores solares planos se desempeñan en el aprovechamiento del efecto invernadero donde realizan la actividad y el trabajo de hacer pasar un líquido por el interior de este, de esta manera convierte la energía luminosa del sol en calor y alzando la temperatura del fluido (agua) que circula por este.

Se trata de exponer una superficie negra al sol para que esta adquiriera más temperatura o se ponga mucho más caliente que una de cualquier otro color. De esta manera en la superficie se coloca negro y mejor si esta es un negro mate al poner en contacto con un líquido con la parte posterior, este fluido o liquido se calentara de una forma muy eficiente. El absorbente es así como se lo llama es una lámina de metal con callejones para el fluido liquido los mismo que están de color negro mate por un lado. Cuando ya se convierte en calor esta energía solar y en el momento que es absorbida por el fluido líquido, se procede alejar el absorbente térmicamente para evitar desperdiciar el calor. La parte trasera del absorbente y los lados de este deben

ser confinados con espuma o fibra de vidrio. Para eludir los desperdicios o pérdidas de calor y temperatura del absorbente en la parte soleada se coloca una cubierta de vidrio. Este material de la cubierta transfiere la radiación solar de alta energía alrededor del absorbente y detiene la radiación de pequeña energía la cual es emitida por el absorbente caliente en torno al exterior y otra ventaja de esta cubierta es detener las corrientes de aire que circulan en el ambiente las cuales enfriarían el interior.

Existen varios componentes que determinan la utilidad o rendimiento de los colectores estos son:

- La posición del colector (ausencia de sombra , dirección e inclinación)
- La <sup>7</sup>insolación que se presenta en el lugar del colector (localización geográfica y horas del sol )

Es importante tener presente la caja que contiene al colector ya que esta presenta perdidas al ambiente exterior y una forma de evitar estas pérdidas es que la temperatura de trabajo sea menor; otras de las cosas a tomar en cuenta es la placa captadora mientras mayor sea su temperatura esta será más energética en cuanto a su radiación generando así más transparencia en el vidrio, disminuyendo de esta manera la eficiencia del colector.

---

<sup>7</sup> Insolación es la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a un lugar de la tierra en un día concreto



Las características primordiales de un colector plano son:

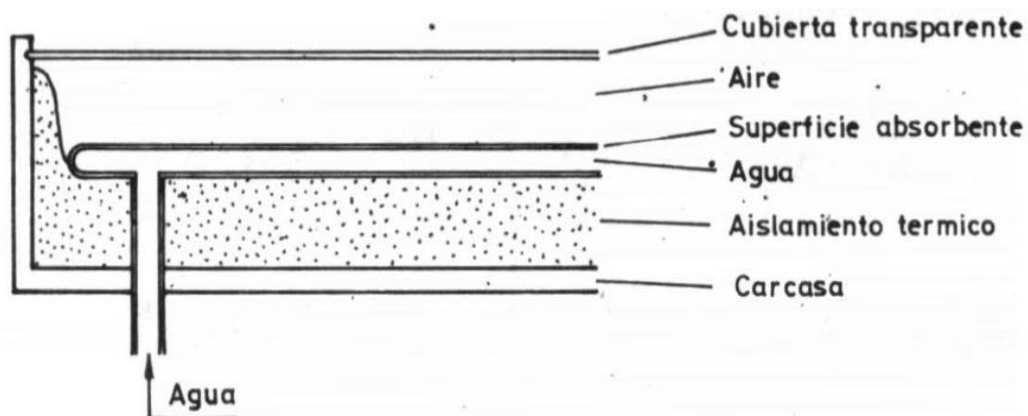
- Capta la suma de la energía directa y difusa
- Tiene una sola dirección u orientación
- Tiene temperaturas menores a los 90 °C



**Figura 28:** Colector solar plano

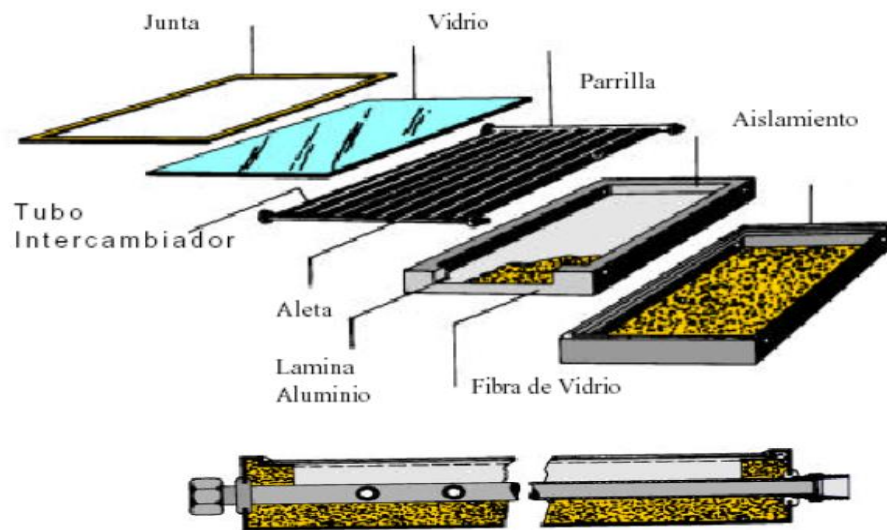
Fuente: (Tipos de Colectores Solares, 2015)

Elementos de un colector solar plano :



**Figura 29:** Elementos de un colector solar plano

Fuente: (Tipos de Colectores Solares, 2015)



**Figura 30:** Elementos de un colector solar plano

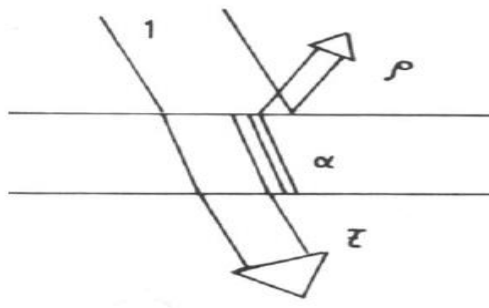
**Fuente:** (Tipos de Colectores Solares, 2015)

Efectos de la radiación :

- Parcialmente reflejada (R)
- Parcialmente transmitida (T)
- Parcialmente absorbida (A)

$$I = R + T + A \quad (3.1)$$

I= Intensidad de radiación



**Figura 31:** Efectos de la radiación

**Fuente:** (Relacion con la Irradiación , 1999)

$$\rho + \tau + \alpha = 1 \quad (3.2)$$

$\alpha$  = Coeficiente de absorción, absortancia

$\rho$  = Coeficiente de reflexión, reflectividad o reflectancia

$\tau$  = Coeficiente de transmisión, transmisividad o transmitancia

#### Cubiertas transparentes:

En un colector con una cubierta transparente se produce el fenómeno conocido como efecto invernadero el cual disminuye las pérdidas por convección.

Propiedades:

- Alta transmisividad para  $0,3 < \lambda < 3 \mu m$
- Baja transmisividad para  $\lambda > 0,3 \mu m$

Materiales:

- Vidrios
- Plásticos

#### Superficie absorbente:

Propiedades:

- Conductividad térmica alta
- Reflectividad baja
- Emitancia baja
- Absorbancia alta

Fluido caloportador:

Propiedades:

- Las propiedades térmicas sean muy buenas (Agua)

Aislamiento térmico:

Propiedades:

- No degradarse
- Resistir la humedad
- Tolerar la temperatura
- Conductividad térmica baja

Balance térmico en colectores solares:

Energía Útil = Radiación absorbida – Perdidas térmicas

Para el colector plano:

$$Q_u = A_c [S - U_L(T_{pm} - T_a)] \quad (3.3)$$

Dónde:

Qu: Calor Útil (W)

S: radiación absorbida (W/m<sup>2</sup>)Ac: Área colectora (m<sup>2</sup>)UL: Coeficiente global de perdidas placa ambiente (W/m<sup>2</sup>/K)

T<sub>pm</sub>: Temperatura media de la placa (°C)

T<sub>a</sub>: Temperatura ambiente (°C)

Eficiencia de un colector solar:

La eficiencia de un colector solar se define como el cociente de la energía térmica útil frente a la energía solar total recibida. Además de las pérdidas térmicas existen las pérdidas ópticas. El factor de conversión u eficiencia óptica indica que porcentaje de los rayos solares que penetran en la cubierta transparente del colector (la transmisión) es absorbido. Básicamente, es el producto de la tasa de transmisión de la cubierta y la tasa de absorción del absorbedor

$$\eta = \frac{\int Q_u . dt}{A_c \int G . dt} = \frac{\text{Energia Util}}{\text{Radiacion Incidente}} \quad (3.4)$$

### 3.2. COLECTOR DE TUBOS AL VACIO

Los colectores de tubos al vacío tienen como base del funcionamiento placas absorbentes de energía y tubos aislados al vacío permitiendo así un mayor aislamiento térmico y una disminución de las pérdidas de calor. Estos colectores alcanzan temperaturas mayores a 100°C por lo que su principal aplicación se encuentran en sistemas de acondicionamiento de aire, procesos industriales, etc.

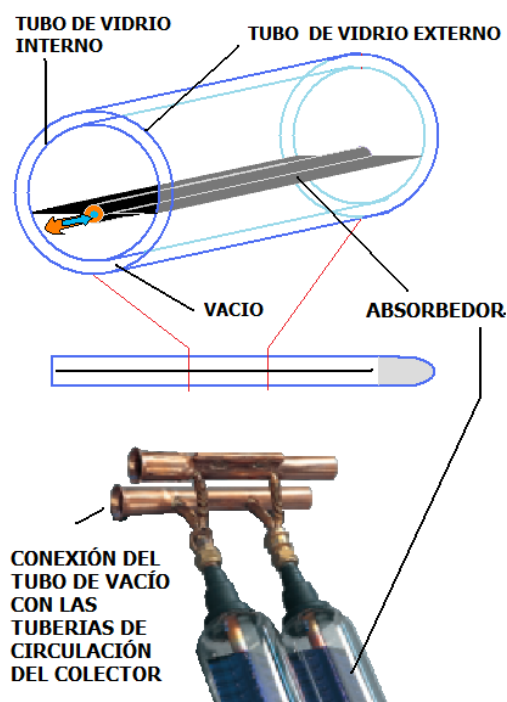


**Figura 32:** Colector de tubos al vacío

**Fuente:** (Sitio Solar, 2013)

Existen dos tipos de colectores de tubos de vacío que son los de flujo directo y los de tubo de calor (heat pipe).

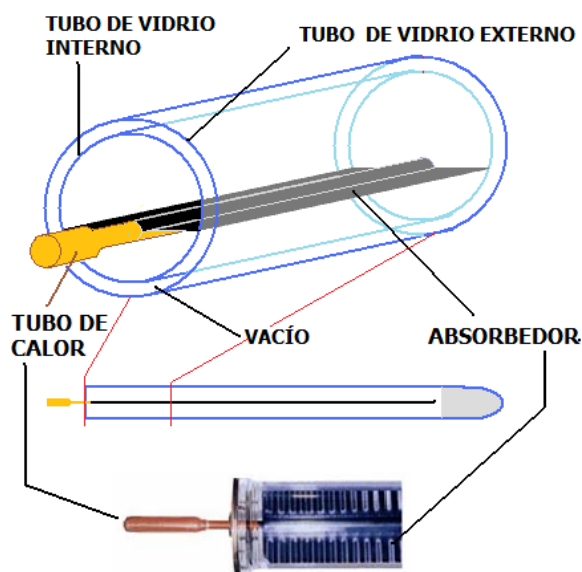
- **Tubo de vacío de flujo directo:** Estos colectores tienen en el interior del tubo evacuado una plancha de material absorbente que permite transformar la radiación solar en calor. Este absorbente es recorrido en su superficie por un tubo con flujo directo donde circula un fluido que eleva la temperatura al estar en contacto con él.



**Figura 33:** Colector de tubos al vacío de flujo directo

**Fuente:** (Sitio Solar, 2013)

- **Tubo de calor (Heat Pipe):** Este tipo de colector consiste en un tubo hueco cerrado por los dos extremos, sometido al vacío y en su interior se encuentra un fluido vaporizante (mezcla de alcohol). Al calentarse la parte donde se encuentra este fluido, éste se evapora absorbiendo el calor latente de vaporización. El vapor se desplaza hacia la parte del tubo con menor temperatura, produciéndose así una condensación y la liberación del calor latente. El ciclo de evaporación-condensación se repite debido a la capilaridad o también por la gravedad.



**Figura 34:** Colector de tubos de calor (Heat Pipe)

**Fuente:** (Sitio Solar, 2013)

### 3.3. COLECTOR DE TUBOS DE POLIETILENO Y POLIPROPILENO

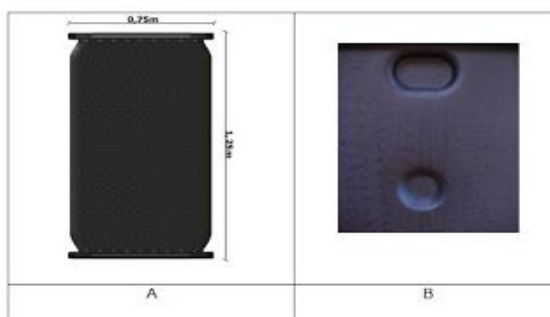
#### Colectores de polietileno (alta densidad):

Estas láminas colectoras son puestas contra la labor de los rayos UV y presentan las siguientes propiedades:

- De sencillo montaje y conservación
- Son fuertes a diversas acciones de la naturaleza (granizo, lluvia, congelamiento)
- De gran resistencia a la corrosión del medio ambiente presente
- Los embalses e incrustaciones no se presentan debido a la gran resistencia del material
- Peso bajo



- Extraordinaria manera de relacionar el beneficio con el costo
- Uso de bajas presiones (0.5 bar)
- Su uso principal es el calentamiento de piscinas y cuando lo realiza en 250/hora por lamina tiene un eficiencia energética media de 82%
- Este colector puede calentar de 25 a 27 °C



**Figura 35:** Colector solar de polietileno de alta densidad

**Fuente:** (Terma Solar, 2010)

#### Colectores de polipropileno:

Este tipo de captador o colector permite una gran circulación de fluido el cual tiene láminas de polipropileno de color negro y son considerados como un surtidor de energía renovable teniendo las siguientes propiedades:

- Tienen una resistencia mayor para los procesos que suceden en el ambiente como la lluvia , granizo, congelamiento, rayos UV y corrosión
- Con una alta fluidez de circulación se puede calentar grandes volúmenes de agua
- Son muy livianos
- Su tiempo de vida útil es mayor a 15 años

- No requiere de mantenimiento
- Son más económicos en un 50 % que otros colectores convencionales sean con cubierta de cristal o de aislamiento
- Construcción e instalación asequible con tuberías de PVC
- Puede calentar agua de 26 a 30 °C
- Alta durabilidad ya que tiene materiales flexibles
- Elevada eficiencia térmica de acuerdo a la transferencia de calor optima por la superficie de contacto



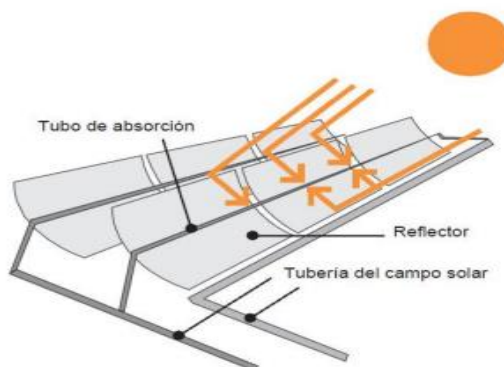
**Figura 36:** Colector solar de polipropileno

**Fuente:** (Terma Solar, 2010)

### **3.4. TIPOLOGIAS COMPLEJAS DE CAPTADORES**

#### Colector Cilíndrico Parabólico (CCP):

Los colectores cilindros parabólicos transforman la radiación solar directa en energía térmica gracias a las propiedades que poseen las parábolas en el que todo rayo que choque sobre la parábola será reflejado en dirección a un punto llamado foco. En este caso la superficie en forma de parábola será la encargada de reflejar los rayos solares hacia un tubo receptor (foco) permitiendo calentar un fluido de trabajo que puede alcanzar hasta los 400°C.

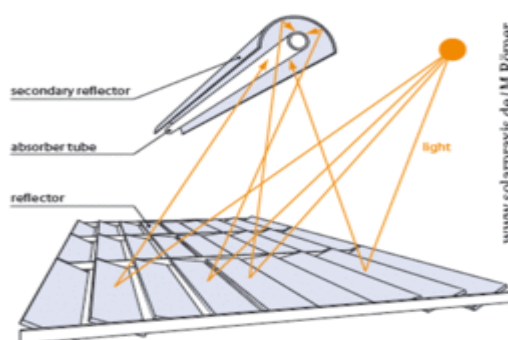


**Figura 37:** Colector cilíndrico parabólico

**Fuente:** (Terma Solar, 2010)

#### Receptor lineal de Fresnel:

Esta tecnología consiste en la colocación de espejos lineales planos los cuales pueden rotar alrededor de un eje. Los rayos son reflejados hacia un tubo de absorción ubicado encima de los espejos. A comparación de los colectores parabólicos, este sistema es más económico sin embargo su rendimiento es bajo. En cuanto a su aplicación, estos sistemas se emplean para la generación de vapor de baja temperatura alcanzando temperaturas máximas de 300°

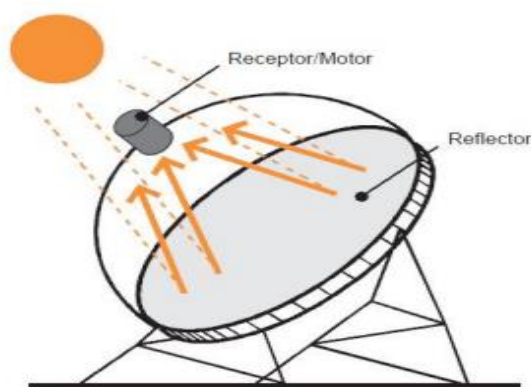


**Figura 38:** Receptor lineal de Fresnel

**Fuente:** (Terma Solar, 2010)

### Disco parabólico:

Estos colectores contienen un reflector en forma de paraboloide de revolución que sigue al sol para reflejar los rayos a un receptor ubicado en el punto focal del paraboloide. En el foco está un motor o una turbina más un alternador encargado de la generación de la energía eléctrica. Estos sistemas son más eficientes y pueden alcanzar temperaturas de hasta 1500°C.

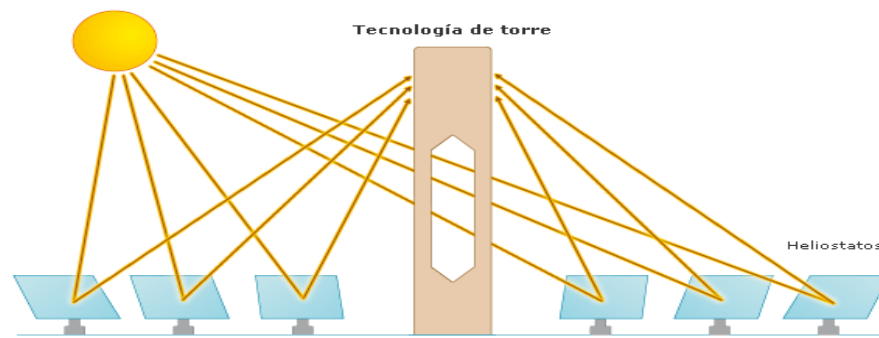


**Figura 39:** Disco Parabólico

**Fuente:** (Terma Solar, 2010)

### Colector por campo de heliostatos:

Los heliostatos son espejos que se mueven sobre dos ejes con el objetivo de dirigir los rayos solares hacia un punto central ubicado en una torre. Este sistema se utiliza para generar electricidad, para observaciones en el espacio y para la experimentación de nuevos materiales. Debido a que la concentración se produce en tres dimensiones, son muy eficientes y pueden llegar a alcanzar temperaturas de hasta 2000°C.



**Figura 40:** Colector por campo de heliostatos

Fuente: (Terma Solar, 2010)

### 3.5. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Las alternativas de captadores o colectores solares son muchas en el mercado actualmente existen varios tipos con diversas características y tecnologías para proporcionar un producto de calidad y óptimo.

Las aplicaciones de estos son:

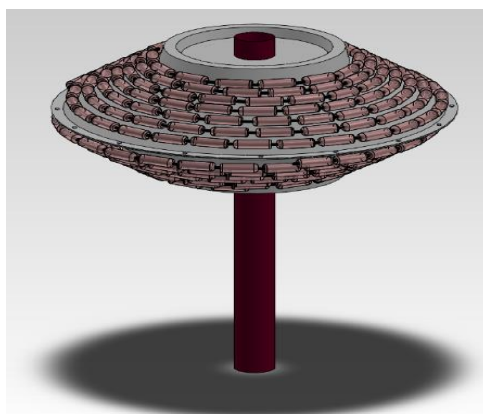
- Agua caliente para usos sanitarios
- Calefacción
- Temperación (climatización) de piscinas
- Cocinar
- Lavado , secado
- Vapor

Dependiendo de la zona geográfica la energía solar térmica puede facilitar entre el 30 y el 100 % de agua caliente demandada, la utilización de paneles solares es exclusivamente apropiada para la climatización de piscinas, ya que la baja

temperatura de ocupación requerida admite incluso algunas tipologías de captadores sin vidrio protector.

En el proyecto "Calentador solar bifacial para calentamiento de agua" que se está llevando a cabo hemos tomado la decisión de usar un colector solar de tubos de polietileno y polipropileno debido a que estos materiales se los puede reciclar lo que abarata enormemente tanto los costes como el impacto ambiental de la instalación. Además no necesita acumulador puesto que es la propia agua la que actúa como tal.

Estos colectores no tienen ningún aislamiento adicional, de manera que la ganancia de temperatura queda limitada a unos 20 °C sobre la del aire del ambiente, son los más adecuados para aplicaciones de baja temperatura y estos se los puede utilizar en lugares muy remotos de difícil acceso para el verano. Los absorbedores de estos colectores son por lo general de plástico negro para resistir la luz ultravioleta y están hechos de un recubrimiento de pigmentos ennegrecidos por los que circula el agua. De esta manera gran parte de energía solar absorbida se pierde principalmente por convección.



**Figura 41:** Colector solar bifacial

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

## CAPITULO IV

### DISEÑO DEL CALENTADOR BIFACIAL

#### 4.1. DISEÑO TERMICO

Establecemos los parámetros o variables de la forma del calentador, la cual es la de un cono truncado por la parte superior e inferior así se obtiene una estructura bifacial para aprovechar la radiación del suelo:



**Figura 42:** Colector solar bifacial

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

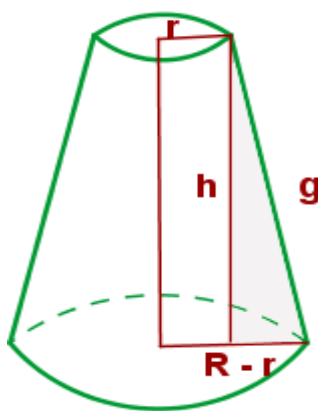
$$D := 1.50 \quad \text{m}$$

$$d := 0.60 \quad \text{m}$$

$$h := 0.40 \quad \text{m}$$

Los parametros de diseño del cono truncado

Con estos valores de la altura y el diámetro superior e inferior de la forma se obtiene la generatriz del respectivo cono truncado:



**Figura 43:** Cono Truncado

**Fuente:** (Vitutor, 2014)

$$gp := \sqrt{\left(\frac{D - d}{2}\right)^2 + (h)^2} = 0.602 \quad \text{m} \quad \text{Generatriz del cono truncado}$$

Calculada la generatriz se procede a sacar el área del cono truncado con los valores del radio mayor y menor en la siguiente formula



Radios mayor y menor

$$R_g := 0.75 \text{ m}$$

$$r_p := 0.30 \text{ m}$$

$$A_{\text{cono}} := \pi \cdot \left[ [g_p \cdot (R_g + r_p)] + (R_g)^2 + (r_p)^2 \right] = 4.036 \text{ m}^2 \quad \text{Area de un cono truncado}$$

$$A_{\text{conot}} := A_{\text{cono}} \cdot 2 = 8.072 \text{ m}^2$$

Area del colector solar bifacial,  
es decir de las 2 superficies de  
cono truncado superior e inferior

Se calcula el flujo másico para establecer el calor latente del calentador:

$$M_{\text{tanque}} := 600 \text{ kg}$$

Parametros para la obtencion del flujo masico

$$T_{\text{calor}} := 4.8 \text{ h}$$

$$f_{\text{masico}} := \frac{M_{\text{tanque}}}{T_{\text{calor}}} = 125 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Flujo masico

Con los siguientes valores procedemos a calcular el calor que se producirá en una exposición al sol de 4.8 horas:

$$c_p := 1$$

$$T_{\text{dife}} := 42 - 18 = 24 \text{ C}$$

Parametros para la obtencion del calor ,  
como el calor especifico y la diferencia de  
temperaturas entre la maxima y la minima

$$Q := f_{\text{masico}} \cdot c_p \cdot T_{\text{dife}} = 3 \times 10^3 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

Formula requerida  
para la obtener el  
Calor

$$Q_1 := \frac{Q}{860} \cdot 1000 = 3.488 \times 10^3 \text{ w}$$

Establecemos los coeficientes térmicos de los distintos parámetros que intervienen para el cálculo de la eficiencia térmica de la botella:

$\rho := 0.4$		Coefficiente de reflectividad
$\epsilon_{\text{suelo}} := (834) \cdot \rho = 333.6$	$\frac{\text{w}}{\text{m}^2}$	Emisividad del suelo
$\tau_{\text{botella}} := 0.9$		
$\alpha_{\text{tubo}} := 0.9$		Parametros para la obtencion de la eficiencia termica con los coeficientes de transmisividad , absorptividad , reflectividad y la radiacion global
$k_{\text{sombra}} := 0.9$		
$\rho_{\text{domo}} := 0.9$		
$\text{Radiacion} := 834$	$\frac{\text{w}}{\text{m}^2}$	
$\eta := \tau_{\text{botella}} \cdot \alpha_{\text{tubo}} \cdot k_{\text{sombra}} \cdot \rho_{\text{domo}} = 0.656$		Eficiencia Termica

De inmediato se procede a la obtención del área de la botella con la base y la altura:

$A_{\text{botella}} := 0.08 \cdot 0.28 = 0.022$	$\text{m}^2$	Area de la botella con las dimensiones de la de 1.35 litros de capacidad
---	--------------	--

Con los respectivos valores anteriormente calculados se encuentra la potencia útil de la botella:

$P_{\text{util}} := \eta \cdot \text{Radiacion} \cdot A_{\text{botella}} = 12.257$	w	Potencia util
--	---	---------------

Y enseguida se establece el número de botellas que se necesitan en el calentador solar bifacial:

$N_{\text{botellas}} := \frac{Q1}{P_{\text{util}}} = 284.602$		Numero de botellas utilizadas
---	--	-------------------------------

Utilizando 285 botellas, a las cuales se las perfora con un tubo caliente de  $\frac{3}{4}$  en la parte superior e inferior y un cuchillo para permitir que la manguera pase a través de esta y así obtener el efecto adecuado



**Figura 44:** Botellas Perforadas

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)



**Figura 45:** Botellas Perforadas

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

#### 4.1.1 CALCULO DE LAS TEMPERATURAS DE LA CUBIERTA Y DEL TUBO DE POLIETILENO EN BASE AL MODELO TERMOFISICO DEL INTERCAMBIADOR DE TUBOS CONCENTRICOS

##### BALANCE ENERGETICO PARA LA CUBIERTA Y PARA EL TUBO DE POLIETILENO

Se ponen valores de la emisividad de la tubería de polietileno, de la cubierta, del cielo y se encuentra la constante de Stefan-Boltzman para utilizarlas en las diversas formulas

$\epsilon_p := 0.94$  Emisividad de la tubería de polietileno

$\epsilon_s := 0.4$  emisividad del cielo +

$\epsilon_c := 0.63$  Emisividad de la cubierta es decir la botella

$\sigma := 5.670 \cdot 10^{-8} = 5.67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$  Constante de Stefan-Boltzmann

Se calcula el valor numérico de los coeficientes de transferencia de calor por convección y radiación sin tomar en cuenta la temperatura media que multiplica a los mismos ya que esta aparece en función de una variable que no se conoce su valor, en lo posterior se resolverá el sistema de ecuaciones y se obtendrá los valores de estas

$$hrsc := 4 \cdot \varepsilon_s \cdot \sigma = 9.072 \times 10^{-8}$$

$$hrpc := 4 \cdot \varepsilon_p \cdot \sigma = 2.132 \times 10^{-7}$$

$$hrca := 4 \cdot \varepsilon_c \cdot \sigma = 1.429 \times 10^{-7}$$

$$hrpc := 4 \cdot \varepsilon_c \cdot \sigma = 1.429 \times 10^{-7}$$

Coefficientes de transferencia de calor por conveccion y radiacion

Llamamos a los valores de los diámetros exterior de la manguera, al interior de la botella y a la variable que relaciona a estos para usarlos en formulas

$$d1 := 0.01905 \quad m$$

$$d2 := 0.079 \quad m$$

d1 es el diametro exterior de la manguera  
d2 es el diametro interior de la botella

$$b := \frac{d2 - d1}{2} = 0.03 \quad m$$

Colocamos el número de Prandtl

$$Pr := 0.7078$$

Numero de Prandtl es adimensional y proporciona al cociente entre la viscosidad cinematica y la difusiva termica

Establecemos la conductividad térmica del aire

$$K_{aire} := 0.024 \quad \frac{W}{m \cdot K}$$

Conductividad termica del aire

Se colocan las temperaturas ambiente y de la bóveda celeste basándonos en los 21 ensayos tomados

$$T_a := 298.45 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_s := 307.25 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Temperatura ambiente y de la  
bodega celeste

$$g_r := 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Gravedad

Se calculan los parámetros del coeficiente de expansión térmica y viscosidad cinemática en base a la temperatura ambiente en las propiedades termo físicas del aire a presión atmosférica las cuales se las encuentra en el anexo F

$$\beta := \frac{1}{T_a} = 3.351 \times 10^{-3} \text{ } \text{K}^{-1}$$

Coeficiente de expansion termica

$$\nu := 15.7521 \cdot 10^{-6} = 1.575 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Viscocidad cinematica

Se calcula el número de Grashof y el de Rayleigh

$$\text{Grb} := \frac{g_r \cdot \beta \cdot (T_s - T_a) \cdot b^3}{\nu^2} = 3.136 \times 10^4$$

Numero de Grashof es adimensional es proporcional al cociente entre las fuerzas de flotacion y las fuerzas viscosas que actuan en un fluido

$$\text{Rab} := \text{Grb} \cdot \text{Pr} = 2.22 \times 10^4$$

Numero de Rayleigh es adimensional asociado con la transferencia de calor en el interior de un fluido

Se plantea la siguiente ecuación:

Ecuacion de Raithby y Hollands transferencia de calor por conveccion natural a traves del espacio libre entre dos cilindros concetricos

$$K_{eff} := 0.386 \cdot \left[ \frac{\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)}{b^{\frac{3}{4}} \cdot \left(\frac{1}{d_1^{\frac{3}{5}} + d_2^{\frac{3}{5}}}\right)^{\frac{5}{4}}} \right] \cdot \left(\frac{Pr}{0.861 + Pr}\right)^{\frac{1}{4}} \cdot (Ra_b)^{\frac{1}{4}} \cdot K_{aire} = 0.425 \quad \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Calculamos en base a la velocidad del viento

$$V_w := 14 \frac{m}{s} \quad \text{Velocidad del viento}$$

$$h_e := 2.8 + (3 \cdot V_w) = 44.8 \quad \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad \text{Coeficiente de radiacion exterior (medio ambiente)}$$

Se colocan los valores de transmisividad, absortividad y de la irradiación

$$\tau_c := 0.85 \quad \text{Transmisividad de la botella (cubierta), Absortividad de la tuberia (manguera) y la Irradiacion solar}$$

$$\alpha_p := 0.85$$

$$E := 227 \quad \frac{W}{m^2}$$

$$\text{Coef} := \tau_c \cdot \alpha_p \cdot E = 164.007 \quad \frac{W}{m^2}$$

Numero de Reynolds calculado en el análisis hidráulico

$$\text{Rey} := 3.241 \cdot 10^3 = 3.241 \times 10^3 \quad \text{Numero de Reynolds}$$

Temperaturas T1 y T2

$$\begin{aligned} T1 &:= 305.5 \quad ^\circ\text{K} \\ T2 &:= 304.44 \quad ^\circ\text{K} \end{aligned} \quad \text{Temperatura T1 y T2 de entrada y salida del agua en el tanque de almacenamiento}$$

Calculo en base a las temperaturas

$$\mu_b := \frac{T1 + T2}{2} = 304.97 \quad ^\circ\text{K}$$

$$\mu_{ss} := 313.15 \quad ^\circ\text{K} \quad \text{Temperatura superficial del tubo (Tm)}$$

Conductividad térmica del agua y temperatura de evacuación

$$K_{\text{agua}} := 0.58 \quad \frac{\text{m}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \text{Conductividad termica del agua}$$

$$T_{\text{aguaevacu}} := 291 \quad ^\circ\text{K} \quad \text{Temperatura de evacuacion del agua}$$

Coefficiente de convección en el interior del tubo de polietileno

$$h_i := 0.023 \cdot (\text{Rey})^{0.8} \cdot (\text{Pr})^{\frac{1}{3}} \cdot \left( \frac{\mu_b}{\mu_{ss}} \right)^{0.14} \cdot K_{\text{agua}} = 7.622 \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad \text{Coefficiente de radiacion interior del tubo o manguera}$$



Se establece la ecuación del balance energético de la cubierta con los valores obtenidos anteriormente

$$\begin{aligned} & \left(9.072 \times 10^{-8}\right) \cdot \left(\frac{307.25 + T_c}{2}\right)^3 \cdot (307.25 - T_c) + \left(2.132 \cdot 10^{-7}\right) \cdot \left(\frac{T_p - T_c}{2}\right)^3 \cdot (T_p - T_c) + (0.425) \cdot (T_p - T_c) = \\ & \left(1.429 \cdot 10^{-7}\right) \cdot \left(\frac{T_c + 298.45}{2}\right)^3 \cdot (T_c - 298.45) + \left(1.429 \cdot 10^{-7}\right) \cdot \left(\frac{T_c + T_p}{2}\right)^3 \cdot (T_c - T_p) + (44.8) \cdot (T_c - 298.45) \end{aligned}$$

Se establece la ecuación del balance energético para la tubería de polietileno con los valores obtenidos anteriormente

$$\begin{aligned} & \left(1.429 \cdot 10^{-7}\right) \cdot \left(\frac{T_c + T_p}{2}\right)^3 \cdot (T_c - T_p) + 164.007 = \\ & \left(2.132 \cdot 10^{-7}\right) \cdot \left(\frac{T_p - T_c}{2}\right)^3 \cdot (T_p - T_c) + (0.425) \cdot \left(\frac{T_p - T_c}{0.03}\right) + (7.622) \cdot (T_p - 291) \end{aligned}$$

Solucion al sistema de 2 ecuaciones, 2 variables Tc y Tp planteadas anteriormente en los balaces energeticos

$$\text{Find}(T_p, T_c) = \begin{pmatrix} 303.164 \\ 299.219 \end{pmatrix} \quad \text{donde} \quad \begin{array}{l} T_p: 30.164 \text{ }^\circ\text{C} \\ T_c: 26.219 \text{ }^\circ\text{C} \end{array}$$

Estos valores Tp o Tm , Tc o Tb obtenidos estan dentro de lo estimado en el promedio de los 21 ensayos ya que su variacion es insignificante con los datos reales del conjunto

## BALANCE ENERGETICO DEL CALENTADOR DE TUBOS CONCENTRICOS EN SENTIDO LONGITUDINAL

Coeficiente global de transferencia de calor

Radio interno del tubo de polietileno, externo del tubo de polietileno y externo de la cubierta

$$r_i := \frac{0.01705}{2} = 8.525 \times 10^{-3} \quad \text{m}$$

Radio interno del tubo de polietileno o manguera de agua

$$r_1 := \frac{0.01905}{2} = 9.525 \times 10^{-3} \quad \text{m}$$

Radio externo del tubo de polietileno o manguera de agua

$$r_o := \frac{0.08}{2} = 0.04 \quad \text{m}$$

Radio externo de la cubierta o botella

Radio interno de la cubierta e hidráulico de la región anular

$$r_2 := \frac{0.079}{2} = 0.04 \quad \text{m}$$

Radio interno de la cubierta o botella

$$r_e := \frac{d_2 - d_1}{2} = 0.03 \quad \text{m}$$

Radio hidráulico de la región anular

Conductividad térmica del tubo de polietileno

$$K_p := 0.49 \quad \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$$

Conductividad térmica del tubo de polietileno

Coefficientes de radiación interno del tubo de polietileno, externo del medio ambiente y de la región anular

$$h_i = 7.622 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Coefficiente de conveccion interior del tubo o manguera

$$h_e = 44.8 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Coefficiente de conveccion exterior (medio ambiente)

$$h_o := 0.425 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Coefficiente de conveccion de la region anular

Conductividad térmica de la cubierta

$$K_c = 0.24 \frac{W}{m \cdot K}$$

Conductividad termica de la cubierta o de la botella

Coefficiente de transferencia de calor del tubo de polietileno

$$U_i := \frac{1}{\left( \frac{r_i \cdot \ln\left(\frac{r_1}{r_i}\right)}{K_p} + \frac{1}{h_i} \right)} = 7.511 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Coefficiente de transferencia de calor del tubo de polietileno

Coefficiente de transferencia de calor de la cubierta

$$U_o := \frac{1}{\left( \frac{r_o}{r_e \cdot h_o} + \frac{r_o \cdot \ln\left(\frac{r_o}{r_2}\right)}{K_c} + \frac{1}{h_e} \right)} = 0.316 \quad \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad \text{Coeficiente de transferencia de calor de la cubierta}$$

Coeficiente global de transferencia de calor

$$U_L := U_i + U_o = 7.827 \quad \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad \text{Coeficiente global de transferencia de calor}$$

Se establece la ecuación para el balance energético del calentador de tubos concéntricos en sentido longitudinal en estado estacionario

Diámetro interior del tubo de polietileno y el área del mismo

$$d_i := 0.01705 \quad \text{Diámetro interior del tubo de polietileno}$$

$$A_{ip} := \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} = 2.283 \times 10^{-4} \quad \text{Área interna del tubo de polietileno}$$

Coeficientes de la ecuación del estado estacionario en función de otras variables

$$K11 := \frac{\tau_c \cdot \alpha_p \cdot \pi \cdot d1}{Kagua \cdot Aip} = 326.525$$

Coefficientes de la ecuacion del estado estacionario

$$K2 := \frac{UL \cdot \pi \cdot d1}{Kagua \cdot Aip} = 3.537 \times 10^3$$

Coefficientes de la ecuacion del estado estacionario

$$m1 := \sqrt{K2} = 59.477$$

Coefficientes de la ecuacion del estado estacionario

$$\frac{K11}{K2} = 0.092$$

Temperatura ambiente y el valor de la division de los coeficientes de la ecuacion estacionaria

$$To := 298.45$$

Ecuación del estado estacionario en función de x, para dar valores y obtener T=f(x)

$$f(x) := \frac{\left[ 298.45 \cdot \left( e^{59.477 \cdot x} + e^{-59.477 \cdot x} \right) \right] - 0.184}{\left( e^{59.477 \cdot x} + e^{-59.477 \cdot x} \right)}$$

Ecuacion del estado estacionario en funcion de un x , para calcular la temperatura T

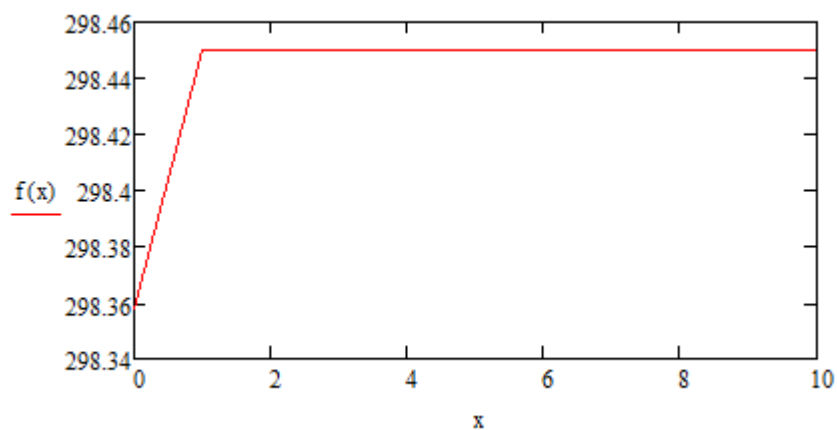
Valores de x y f(x):

$x := 0, 1.. 10$

x =	f(x) =
0	298.358
1	298.45
2	298.45
3	298.45
4	298.45
5	298.45
6	298.45
7	298.45
8	298.45
9	298.45
10	298.45

Se dan valores a x para que la función f(x) nos proporcione valores de la temperatura del agua o del tubo de polietileno  $T_{\text{fluido}}=T_{\text{tubo}}$  esto ocurre cuando el fluido no cambia de fase

Observando la tendencia de la gráfica se entiende que la temperatura del fluido o del tubo tiene un incremento al inicio, pero conforme avanza en longitud esta permanece constante con una temperatura de  $25.45^{\circ}\text{C}$  ya que está dentro del estado estacionario



**Figura 46:** Grafico de la tendencia del estado estacionario

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

## 4.2. ANALISIS HIDRAULICO

Se establecen los parámetros de la manguera por la cual va a pasar el fluido (H<sub>2</sub>O):



**Figura 47:** Manguera

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)



**Figura 48:** Manguera de Polietileno

**Fuente:** (Manguera de Polietileno, 2015)

Se establece el área interna y el diámetro de la manguera

$$A_{\text{manguera}} := \frac{228.32}{(1000)^2} = 2.283 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Parametros de la maguera por  
la cual va a pasar el fluido agua

$$D_{\text{manguera}} := 0.01705 \text{ m}$$

De inmediato se procede con el cálculo del caudal:

$$M := 600 \text{ kg}$$

$$T_{\text{calor}} := 4.8 \text{ h}$$

$$Q_{\text{caudal}} := \frac{M}{T_{\text{calor}}} = 125 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Caudal del agua

$$Q_{\text{caudal1}} := Q_{\text{caudal}} \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{1}{1000} \cdot \frac{3600}{1} = 0.125 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Ahora se sigue con la velocidad del fluido:

$$Q = V \times A$$

Formula del caudal

$$Vel := \frac{Q_{\text{caudal1}}}{A_{\text{manguera}}} = 547.477 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

$$Vel1 := Vel \cdot \frac{1}{3600} = 0.152 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Velocidad del fluido

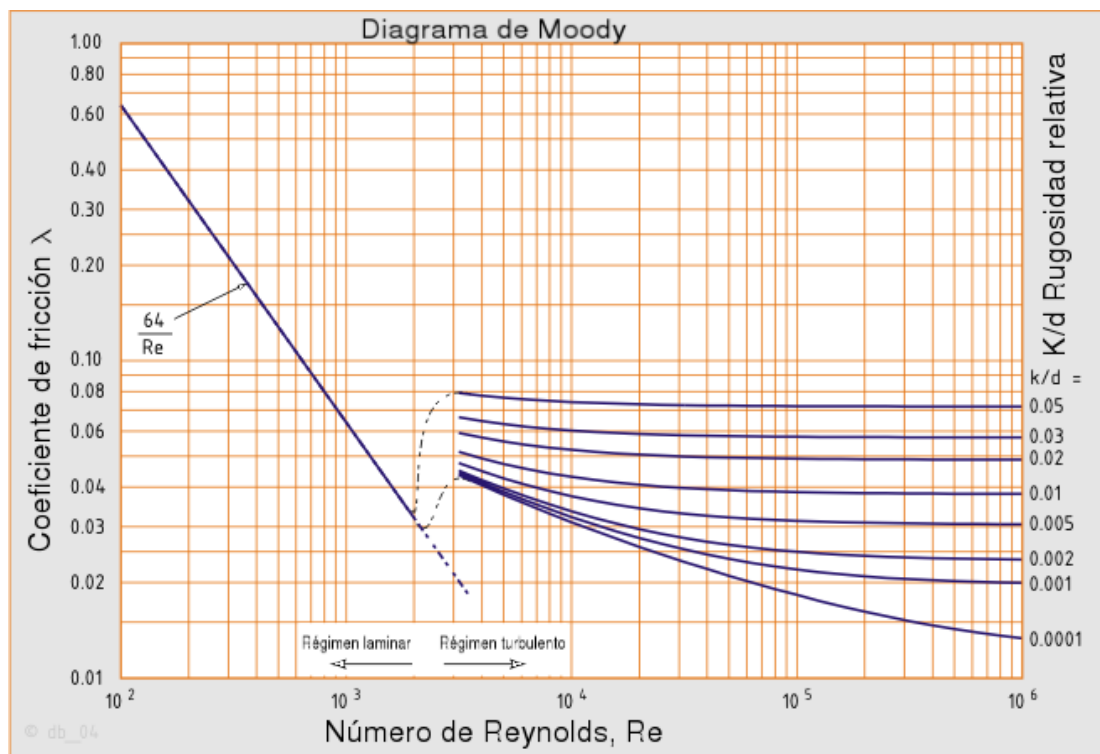
Con los valores obtenidos se prosigue con el cálculo del número de Reynolds el cual es un número adimensional que se utiliza para caracterizar a un fluido donde se establece el tipo de flujo:



$$\nu_{\text{cinematica}} := 0.8 \cdot (10)^{-6} = 8 \times 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad \text{Viscosidad cinematica}$$

$$\text{Re1} := \frac{V_{\text{el1-Dimanguera}}}{\nu_{\text{cinematica}}} = 3.241 \times 10^3 \quad \text{Numero de Reynolds}$$

Se observa el coeficiente de fricción de acuerdo al diagrama de moody:



**Figura 49:** Diagrama de Moody

**Fuente:** (Diagrama de Moody, 1982)

$$f := \frac{64}{Re1} = 0.02$$

Coeficiente de fricción de acuerdo al diagrama de moody

Se calcula las perdidas por caída de presión por longitud donde se utiliza la longitud de la manguera la cual fue de 50 m, la velocidad del fluido, el diámetro interno de la manguera utilizada en el calentador:

$$h_{\text{longitud}} := f \cdot \frac{L_{\text{manguera}} \cdot (V_{e1})^2}{D_{\text{manguera}} \cdot 2 \cdot g} = 0.068 \quad \text{m de agua} \quad \text{Perdidas por caída de presión por longitud}$$

Se obtiene las perdidas por caída de presión por accesorios, coeficientes de fricción en accesorios:

$$k_{\text{bushing}} := 0.26$$

$$k_{\text{adaptador}} := 0.85$$

$$k_{\text{válvula}} := 9.2$$

Coeficientes de fricción en accesorios

$$k_{\text{codo}} := 0.81$$

$$k_{\text{tee}} := 0.54$$

$$k_{\text{union}} := 0.08$$

$$h_{fabushing} := k_{bushing} \cdot \frac{(V_{ell})^2}{2 \cdot g_{avedad}} \cdot 3 = 9.194 \times 10^{-4} \text{ m de agua}$$

$$h_{faadaptador} := k_{adaptador} \cdot \frac{(V_{ell})^2}{2 \cdot g_{avedad}} \cdot 3 = 3.006 \times 10^{-3} \text{ m de agua}$$

$$h_{faavavula} := k_{avavula} \cdot \frac{(V_{ell})^2}{2 \cdot g_{avedad}} \cdot 1 = 0.011 \text{ m de agua}$$

$$h_{facodo} := k_{codo} \cdot \frac{(V_{ell})^2}{2 \cdot g_{avedad}} \cdot 3 = 2.864 \times 10^{-3} \text{ m de agua}$$

$$h_{fatee} := k_{tee} \cdot \frac{(V_{ell})^2}{2 \cdot g_{avedad}} \cdot 3 = 1.91 \times 10^{-3} \text{ m de agua}$$

$$h_{faunion} := k_{union} \cdot \frac{(V_{ell})^2}{2 \cdot g_{avedad}} \cdot 5 = 4.715 \times 10^{-4} \text{ m de agua}$$

Se calculan las pérdidas totales en accesorios:

$$h_{fataccessorios} := h_{fabushing} + h_{faadaptador} + h_{faavavula} + h_{facodo} + h_{fatee} + h_{faunion} = 0.02 \text{ m de agua}$$

Pérdidas totales en todo el sistema:

$$Perdidastotales := h_{flongitud} + h_{fataccessorios} = 0.088 \text{ m de agua}$$

De acuerdo al análisis hidráulico se estableció que el caudal es de 0,125 metros cúbicos por hora por lo que se escoge una bomba de acuerdo a las condiciones planteadas.

#### BOMBA ELECTROSUMERGIBLE (ACHIQUE):

Se determinó que la bomba necesaria de achique es la Rule Pumps no automática de 12 Volt DC, 500 GPH o 1,8925 metros cúbicos por hora, de modelo 25D la cual cumple con el requerimiento de caudal del sistema, en el ANEXO C se muestran los diagramas y las especificaciones de funcionamiento, así como también el manual de uso de la misma.



**Figura 50:** Bomba Rule Pumps

**Fuente:** (Bomba de Achique, 2012)

#### Descripción:

Bomba de modelo 25D, no automático 500 GPH totalmente a 12 voltios, es una bomba de achique sumergible de corriente (DC) ofrece muchas características de diseño, manteniendo el tamaño y el costo al mínimo. Es de fácil limpieza, funcionamiento silencioso y sin vibraciones, tiene compacto motor de larga vida,

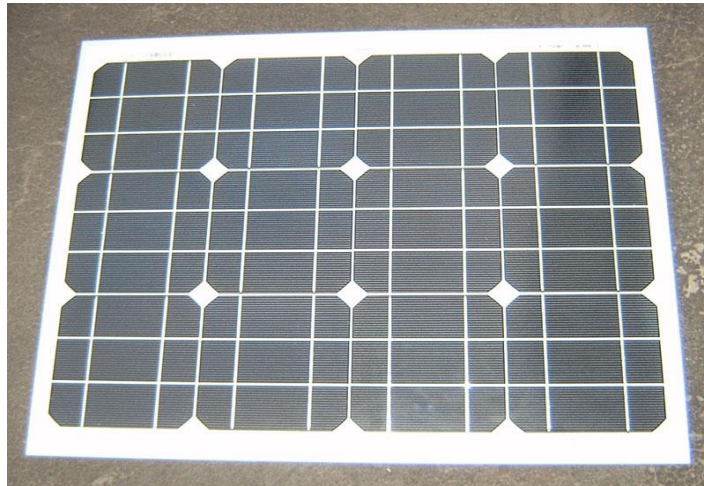
eficiente, el cableado es protegido contra el agua, protección de encendido, óxido y la corrosión

#### PANEL FOTOVOLTAICO:

La Bomba de modelo 25D se enciende de acuerdo a la luminosidad solar que se genere en el medio en el cual está el panel fotovoltaico, en el indicador se produce electricidad a partir de la luz que cae sobre ellos (energía solar), estos paneles tienen la potencia pico que corresponde con la potencia máxima que el modulo puede entregar bajo condiciones ideales que son:

- Radiación de  $1000 \text{ W/m}^2$
- Temperatura de la célula de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$

Este panel es de marca SOLAICO modelo SL25M con tipo de célula cristalina con una subdivisión monocristalina las cuales se componen por secciones de un único cristal de silicio (Si).



**Figura 51:** Panel Fotovoltaico (SOLAICO)

**Fuente:** (Solaico, 2015)

Las especificaciones del panel fotovoltaico son:

- Intensidad máxima potencia: 1,405 A
- Corriente de cortocircuito: 1,531 A
- Punto de máxima potencia : 17,78 V-
- Tensión en circuito abierto : 21,52 V-
- Voltaje del sistema máximo : 1000 V-

### 4.3. ANALISIS ESTRUCTURAL

En esta etapa se analiza la estructura del soporte del calentador y del tanque de almacenamiento de agua con el cilindro de acero que lo contiene para determinar si estas sostienen las diferentes cargas muertas o vivas que presentan de acuerdo al paso del fluido en el funcionamiento del equipo.

#### CARGAS MUERTAS Y VIVAS DE LAS ESTRUCTURAS DE SOPORTE DEL CALENTADOR SOLAR Y DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA

##### Cargas Muertas de la estructura de soporte del Calentador Solar

Se establecen los valores de las constantes necesarias para poder calcular la carga de la manguera que soporta la estructura del calentador

##### Manguera:

##### **Manguera :**

$$De := 19.05 \quad \text{mm}$$

Diametro interno y externo de la manguera

$$Di := 17.05 \quad \text{mm}$$

$$\rho := 9.55 \cdot (10)^{-7} = 9.55 \times 10^{-7} \quad \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3}$$

Densidad del polietileno material de la manguera

$$L_{\text{mang}} := 40000 \quad \text{mm}$$

Longitud de la manguera sobre la estructura

$$A_{\text{int}} := \frac{\pi \cdot (Di)^2}{4} = 228.317 \quad \text{mm}^2$$

Area interior

$$A_{\text{ext}} := \frac{\pi \cdot (De)^2}{4} = 285.023 \quad \text{mm}^2$$

Area exterior

$A_t := A_{ext} - A_{int} = 56.706 \text{ mm}^2$	Area transversal
$V_{mang} := A_t \cdot L_{mang} = 2.268 \times 10^6 \text{ mm}^3$	Volumen de la manguera
$m_1 := \rho \cdot V_{mang} = 2.166 \text{ kg}$	Masa de la manguera en la estructura del calentador

### Botellas:

Se calcula la carga de las botellas puestas en el calentador

#### **Botellas :**

$N_{botellas} := 285$	Numero de botellas en la estructura del calentador
$Peso := 0.045 \text{ kg}$	Peso individual de la botella
$m_2 := N_{botellas} \cdot Peso = 12.825 \text{ kg}$	Masa de las botellas en la estructura del calentador

### Cono truncado (forma del calentador):

#### **Cono truncado (forma del calentador) :**

$h := 0.40 \text{ m}$	Datos del cono truncado
$R_g := 0.75 \text{ m}$	
$r_p := 0.3 \text{ m}$	
$esp := 3 \cdot (10)^{-3} = 3 \times 10^{-3} \text{ m}$	Espesor del cono truncado
$\rho_{domo} := 1.18 \cdot (10)^{-6} = 1.18 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3}$	Densidad del polimetilmetacrilato (acrilico) material del domo



$$V1 := \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot [(Rg)^2 + (rp)^2 + (Rg \cdot rp)] = 0.368 \quad m^3 \quad \text{Volumen del cono truncado}$$

$$V11 := V1 \cdot (1000)^3 = 3.676 \times 10^8 \quad mm^3$$

$$V2 := \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot (h - esp) \cdot [(Rg - esp)^2 + (rp - esp)^2 + [(Rg - esp) \cdot (rp - esp)]] = 0.361 \quad m^3$$

$$V22 := V2 \cdot (1000)^3 = 3.609 \times 10^8 \quad mm^3$$

$$Vt := V11 - V22 = 6.674 \times 10^6 \quad mm^3 \quad \text{Volumen de la pared del cono truncado}$$

$$m3 := \rho_{\text{domo}} \cdot Vt = 7.876 \quad kg \quad \text{Masa de un domo}$$

$$mt3 := m3 \cdot 2 = 15.751 \quad kg \quad \text{Masa de los dos domos}$$

La carga Muerta total que soporta la estructura del colector solar es:

#### LA CARGA MUERTA QUE SOPORTA LA ESTRUCTURA DEL CALENTADOR ES:

$$m11 := m1 + m2 + mt3 = 30.742 \quad kg$$

$$MT11 := m11 \cdot 1.25 = 38.428 \quad kg \quad \text{La carga muerta se multiplica por 1.25 que es un factor de seguridad}$$

### Cargas Vivas de la estructura de soporte del Calentador Solar

Se calcula la carga viva con la ayuda de las constantes requeridas de las partes del calentador

#### Manguera:

##### **Manguera :**

$$A_{int} = 228.317 \text{ mm}^2$$

$$L_{mang} = 4 \times 10^4 \text{ mm}$$

$$\rho_{agua} := 1 \cdot (10)^{-6} = 1 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3}$$

$$V_{2mang} := A_{int} \cdot L_{mang} = 9.133 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

Valores de algunas constantes para poder calcular la carga viva de la estructura del calentador

#### **LA CARGA VIVA QUE SOPORTA LA ESTRUCTURA DEL CALENTADOR ES:**

$$m_{22} := \rho_{agua} \cdot V_{2mang} = 9.133 \text{ kg}$$

$$MT_{22} := m_{22} \cdot 1.25 = 11.416 \text{ kg}$$

La carga viva se multiplica por 1.25 que es un factor de seguridad

Fuerza Total que se encuentra en la estructura de soporte del calentador tomando en cuenta las cargas muertas y vivas, utilizando el método de diseño de factor de resistencia a la carga.

#### FUERZA TOTAL

$$F_1 := (1.2 \cdot MT_{11}) + (1.6 \cdot MT_{22}) = 64.379 \text{ kg}$$

Metodo LRFD diseño de factor de resistencia a la carga

$$F_2 := F_1 \cdot 9.81 = 631.557 \text{ N}$$

$$F_T := \frac{F_2}{8} = 78.945 \text{ N}$$

Fuerza distribuida en las superficies de contacto

Cargas Muertas de la estructura del tanque de almacenamiento de agua

Tanque de Agua:

Calculo de la carga muerta

**Tanque de agua :**

$$D := 0.97 \quad \text{m}$$

Datos del tanque de agua

$$r := \frac{D}{2} = 0.485 \quad \text{m}$$

$$h := 1.12 \quad \text{m}$$

$$\text{esp} := 3.5 \cdot (10)^{-3} = 3.5 \times 10^{-3} \quad \text{m}$$

$$\rho := 9.55 \cdot (10)^{-7} = 9.55 \times 10^{-7} \quad \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3}$$

Densidad del polietileno material del tanque de agua

$$V1 := \pi \cdot (r)^2 \cdot h = 0.828 \quad \text{m}^3$$

Volumen del tanque de agua

$$V11 := V1 \cdot (1000)^3 = 8.277 \times 10^8 \quad \text{mm}^3$$

$$V2 := \pi \cdot (r - \text{esp})^2 \cdot (h - \text{esp}) = 0.813 \quad \text{m}^3$$

$$V22 := V2 \cdot (1000)^3 = 8.132 \times 10^8 \quad \text{mm}^3$$

$$Vt := V11 - V22 = 1.445 \times 10^7 \quad \text{mm}^3$$

Volumen de la pared del tanque de agua

$$m1 := \rho \cdot Vt = 13.801 \quad \text{kg}$$

Masa del tanque de agua

Cilindro de Acero:**Cilindro de acero :**

$$Dc := 1.15 \quad \text{m}$$

$$rc := \frac{Dc}{2} = 0.575 \quad \text{m}$$

Datos del cilindro de acero

$$hc := 1.30 \quad \text{m}$$

$$espc := 3 \cdot (10)^{-3} = 3 \times 10^{-3} \quad \text{m}$$

$$\rho_{\text{acero}} := 7.85 \cdot (10)^{-6} = 7.85 \times 10^{-6} \quad \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3}$$

Densidad del acero

$$Vc1 := \pi \cdot (rc)^2 \cdot hc = 1.35 \quad \text{m}^3$$

Volumen del cilindro de acero

$$Vc11 := Vc1 \cdot (1000)^3 = 1.35 \times 10^9 \quad \text{mm}^3$$

$$Vc2 := \pi \cdot (rc - espc)^2 \cdot hc = 1.336 \quad \text{m}^3$$

$$Vc22 := Vc2 \cdot (1000)^3 = 1.336 \times 10^9 \quad \text{mm}^3$$

$$Vtc := Vc11 - Vc22 = 1.405 \times 10^7 \quad \text{mm}^3$$

Volumen de la pared del cilindro de acero

$$m2 := \rho_{\text{acero}} \cdot Vtc = 110.318 \quad \text{kg}$$

Masa del cilindro de acero

Tapa de Acero del Cilindro:**Tapa de acero del cilindro :**

$$Vta := \pi \cdot (rc)^2 \cdot espc = 3.116 \times 10^{-3} \quad \text{m}^3$$

Volumen de la tapa de acero del cilindro

$$Vta1 := Vta \cdot (1000)^3 = 3.116 \times 10^6 \quad \text{mm}^3$$

$$m3 := Vta1 \cdot \rho_{\text{acero}} = 24.461 \quad \text{kg}$$

Masa de la tapa de acero del cilindro

La carga muerta total de la estructura del tanque de almacenamiento es:

**LA CARGA MUERTA TOTAL DE LA ESTRUCTURA DEL TANQUE ES :**

$$m_t := m_1 + m_2 + m_3 = 148.581 \quad \text{kg}$$

$$MT_1 := m_t \cdot 1.25 = 185.726 \quad \text{kg}$$

La masa total de las cargas muertas se multiplican por un factor de seguridad de 1.25

Cargas Vivas de la estructura del tanque de almacenamiento de agua

Tanque de Agua:

**Tanque de agua :**

$$V_{cv} := 6 \cdot (10)^8 = 6 \times 10^8 \quad \text{mm}^3$$

$$\rho_{agua} := 1 \cdot (10)^{-6} = 1 \times 10^{-6} \quad \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3}$$

+

**LA CARGA VIVA TOTAL DE LA ESTRUCTURA DEL TANQUE ES :**

$$m_4 := \rho_{agua} \cdot V_{cv} = 600 \quad \text{kg}$$

$$MT_2 := m_4 \cdot 1.25 = 750 \quad \text{kg}$$

La masa total de las cargas vivas se multiplican por un factor de seguridad de 1.25

Fuerza Total que se encuentra en la estructura de soporte del tanque de almacenamiento de agua tomando en cuenta las cargas muertas y vivas, utilizando el método de diseño de factor de resistencia a la carga.

**LA FUERZA TOTAL ES :**

$$F_1 := (1.2 \cdot MT_1) + (1.6 \cdot MT_2) = 1.423 \times 10^3 \quad \text{kg}$$

$$F_2 := F_1 \cdot 9.81 = 1.396 \times 10^4 \quad \text{N}$$

$$F_T := \frac{F_2}{4} = 3.49 \times 10^3 \quad \text{N}$$

Método LRFD diseño de factor de resistencia a la carga

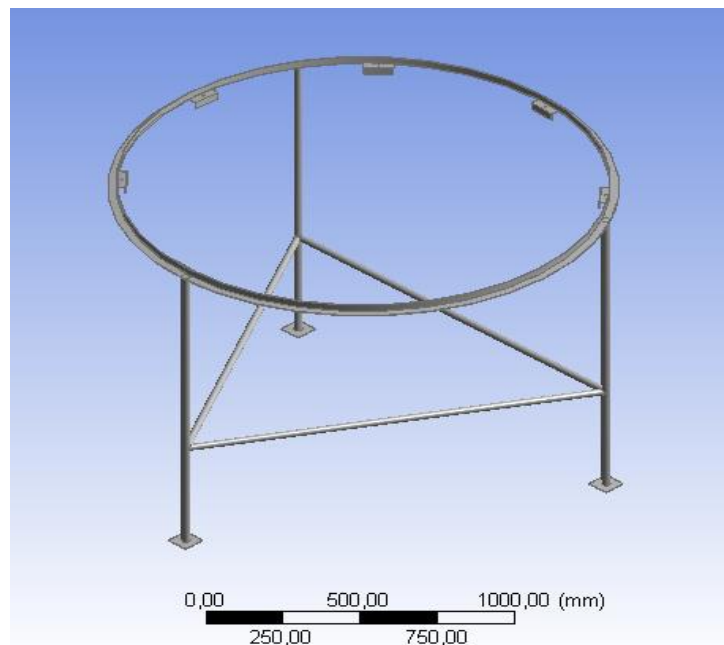
Fuerza distribuida en las superficies de contacto

## ANALISIS DE LAS ESTRUCTURAS DEL CALENTADOR Y DEL TANQUE

Este análisis se realizó con la ayuda de un software para establecer los esfuerzos máximos y mínimos para determinar si la estructura cumple con mantenerse de pie con los pesos que soportan cada una, es decir si están dentro de las propiedades mecánicas del acero estructural A36.

### Estructura del soporte del Calentador Solar:

#### Geometría:

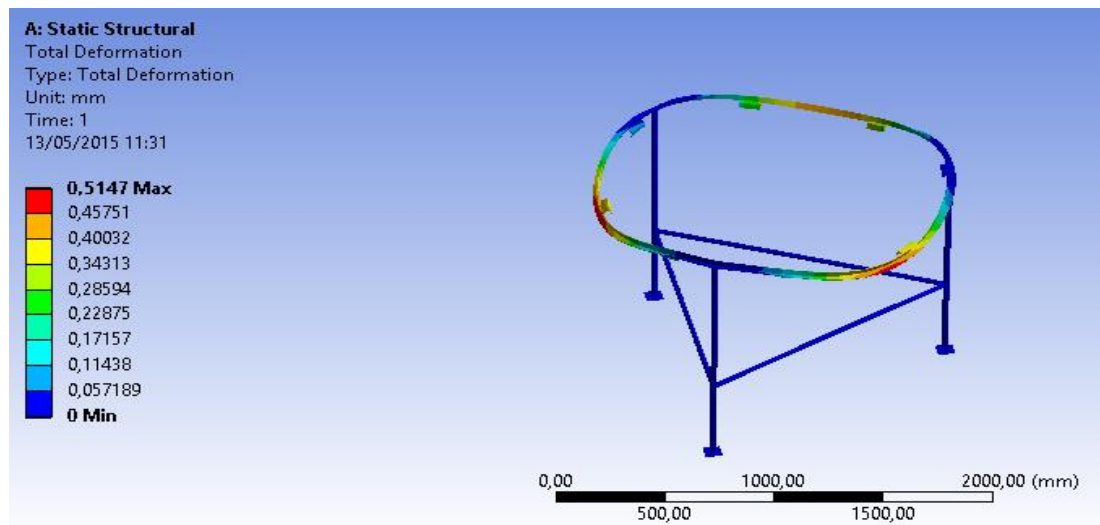


**Figura 52** Geometría de la estructura de soporte del calentador solar

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

#### Modelo:

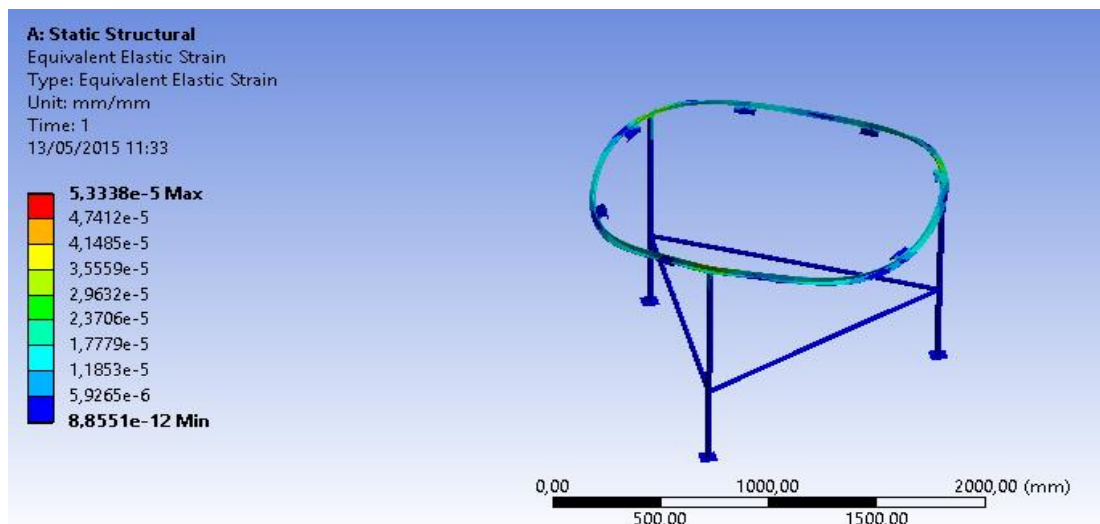
Deformación Total :



**Figura 53:** Deformación Total de la estructura de soporte del calentador solar

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

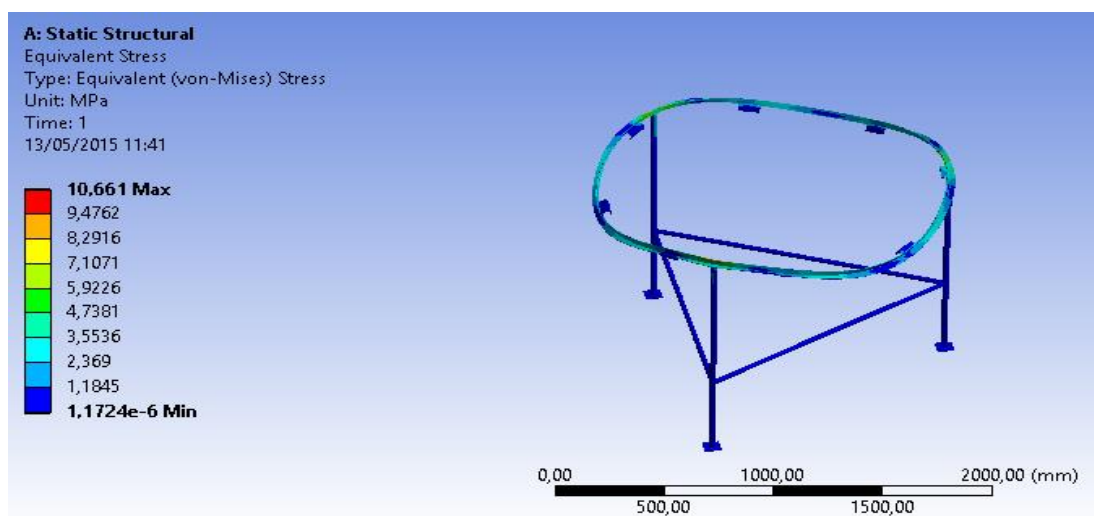
Esfuerzo Equivalente Elastico:



**Figura 54:** Esfuerzo Equivalente Elástico de la estructura de soporte del calentador solar

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

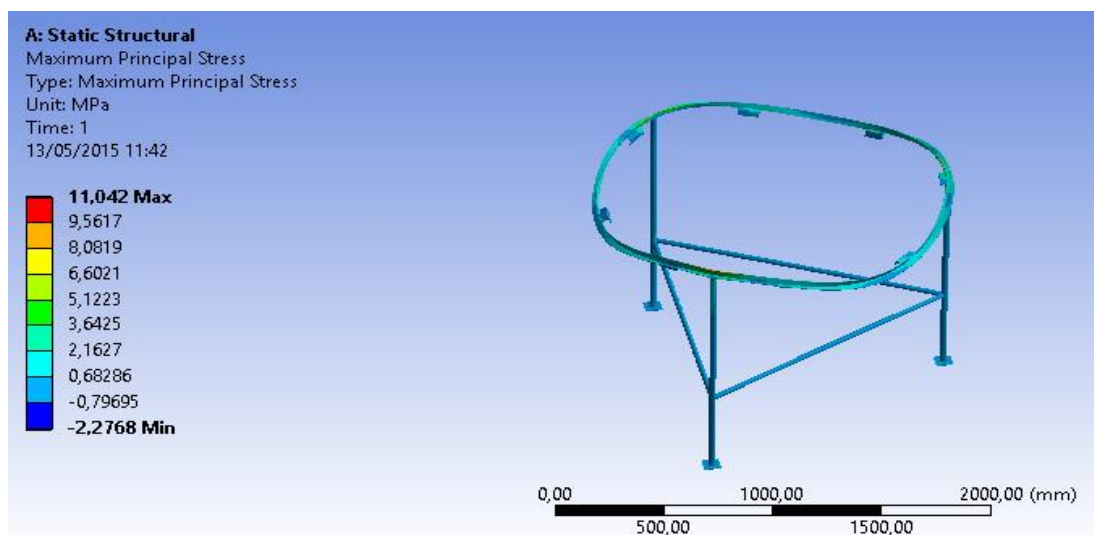
Esfuerzo Equivalente:



**Figura 55:** Esfuerzo Equivalente de la estructura de soporte del calentador solar

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

Esfuerzo Maximo Principal:



**Figura 56:** Esfuerzo Máximo Principal de la estructura de soporte del calentador solar

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

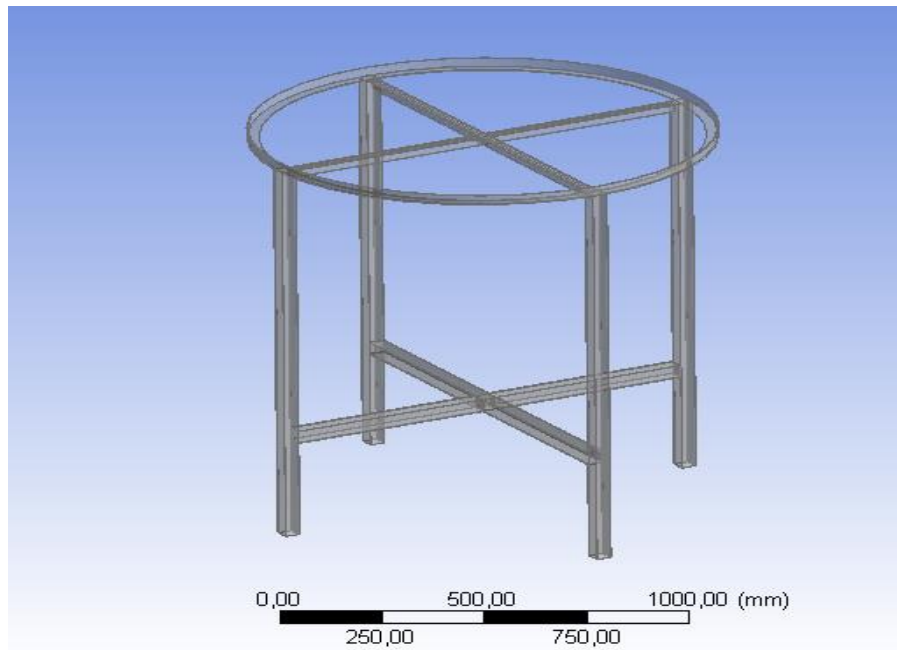


Analisis:

- De acuerdo a la observacion y a la investigacion de la estructura del soporte del calentador se pudo concluir que esta se encuentra dentro de los parametros de la propiedades mecanicas del acero estructural A36 es decir se mantiene de pie y no falla con el peso del calentador debido a que su esfuerzo equivalente según VON- MISES es de 10.661 MPa y su esfuerzo maximo principal es de 11.042 MPa de esta manera se demuestra que no supera el limite de fluencia del acero A36 que es de 250 MPa

Estructura del soporte para el Tanque de almacenamiento del agua:

Geometría:

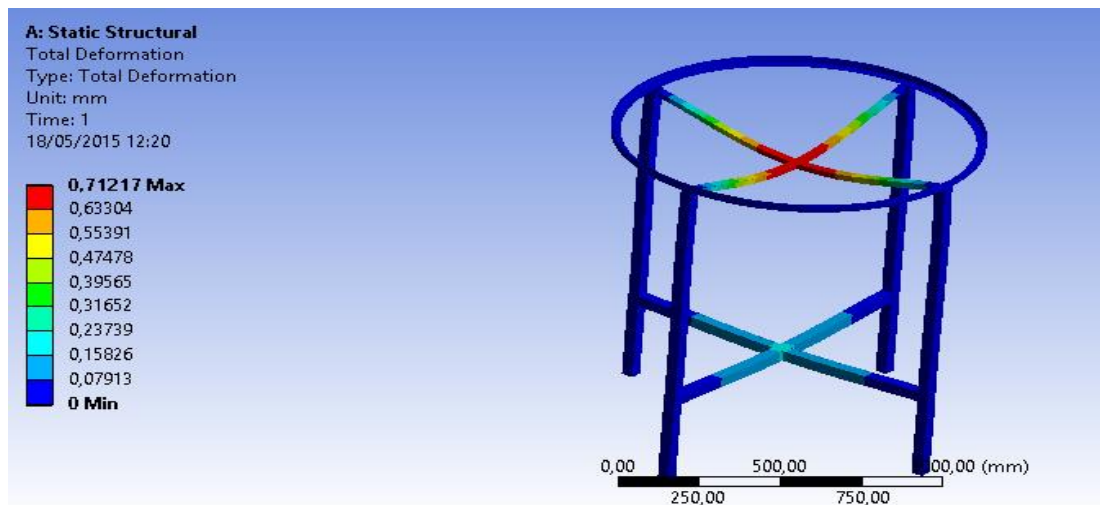


**Figura 57:** Geometría de la estructura del soporte para el tanque de almacenamiento de agua

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

Modelo:

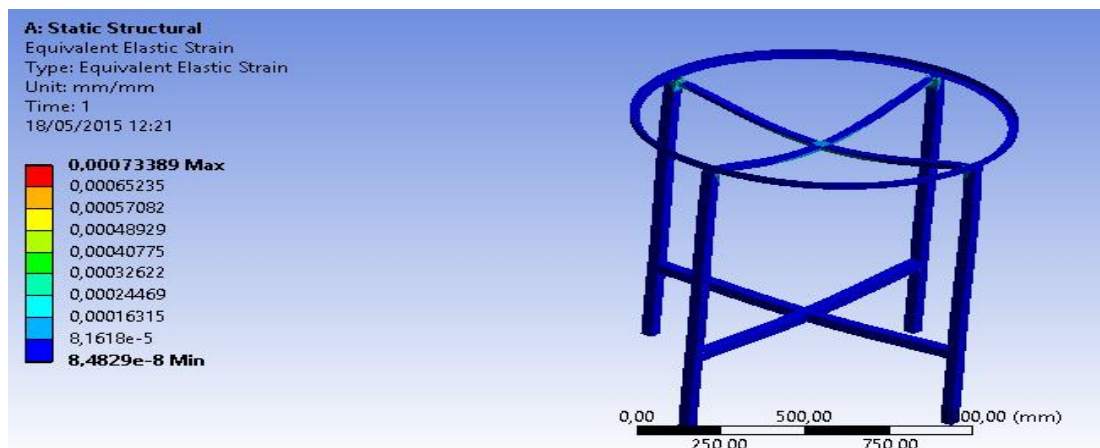
Deformación Total :



**Figura 58:** Deformación Total de la estructura de soporte para el tanque de almacenamiento de agua

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

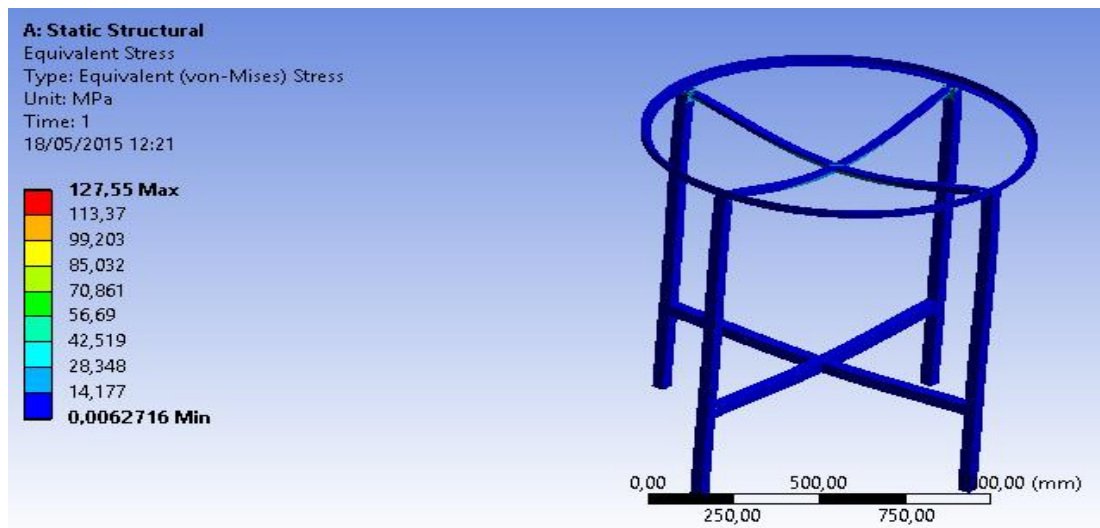
Esfuerzo Equivalente Elastico:



**Figura 59:** Esfuerzo Equivalente Elástico de la estructura de soporte para el tanque de almacenamiento de agua

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

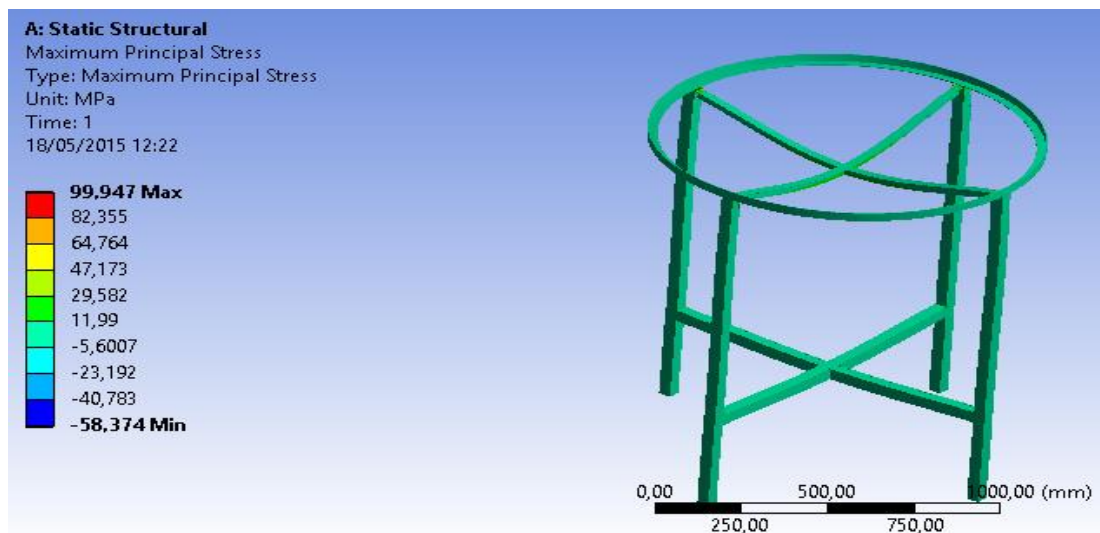
Esfuerzo Equivalente:



**Figura 60:** Esfuerzo Equivalente de la estructura de soporte para el tanque de almacenamiento de agua

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

Esfuerzo Maximo Principal:



**Figura 61:** Esfuerzo Máximo Principal de la estructura de soporte para el tanque de almacenamiento de agua

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

Analisis:

- De acuerdo a la observacion y a la investigacion de la estructura del soporte para el tanque de almacenamiento de agua se pudo concluir que esta se encuentra dentro de los parametros de la propiedades mecanicas del acero estructural A36 es decir se mantiene de pie y no falla con el peso del cilindro y del tanque de polietileno cargado totalmente de agua debido a que su esfuerzo equivalente según VON- MISES es de 127.55 MPa y su esfuerzo maximo principal es de 99.947 MPa de esta manera se demuestra que no supera el limite de fluencia del acero A36 que es de 250 MPa

## CAPITULO V

### CONSTRUCCION Y MONTAJE

#### 5.1. PROCESOS DE FABRICACION

##### Colector y Soporte

- Fabricación del colector y soporte
- Diseño del colector y soporte con sus medidas respectivas
- Almacenamiento de medidas
- Material (Distribuidora de materia prima)
- Confección de las matrices interna y externa utilizando una maquina roladora
- Termoformado del colector, es decir calentando el material (acrílico) en un horno con una temperatura aproximada de 160 ° C
- Se realiza el prensado en la mesa de trabajo
- Se cortan y se limpian las dos caras del colector
- Armado y soldadura de la estructura de soporte tipo trípode para la colocación del colector
- Rectificación de algunas medidas durante y después de terminado el proceso de fabricación

- Instalación en el sitio requerido

Maquina Roladora:

(Thefabricator, 2015)

“Es una maquina donde puedes darle forma curva o más bien tubular a una lámina o placa, consta de tres cilindros que tienen movimiento circular dos en la parte baja y uno en la superior el cual se mueve hacia arriba y hacia abajo para darle ajuste al rolado. Los rodillos dobladores de placa u hoja se ofrecen en dos diferentes categorías: apriete sencillo y apriete doble, pero pueden variar en geometría o estilo. Los estilos de máquina generales son sistemas con apriete inicial de tres rodillos, apriete doble de tres rodillos, apriete doble de cuatro rodillos, traslación variable de tres rodillos, pirámide de tres rodillos, y sistemas de dos rodillos. Los rodillos de placa también se construyen en un formato vertical para aplicaciones especiales. Es importante combinar el estilo de máquina más apropiado con la aplicación. ”



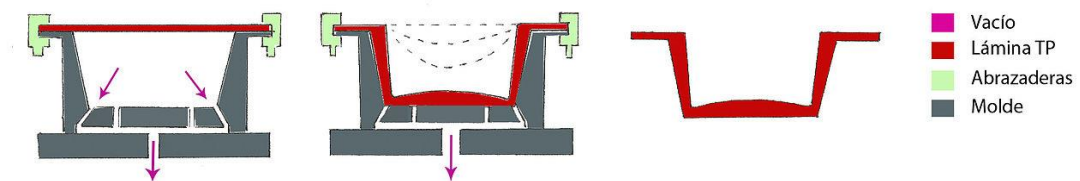
**Figura 62:** Maquina Roladora

**Fuente:** (Thefabricator, 2015)

### Proceso de Termoformado:

(Interempresas, 2015)

“Originalmente, la disponibilidad de planchas de materiales termoplásticos dio lugar a la idea de construir moldes hembra, emplazar sobre ellos una plancha de estos materiales, fijarla de modo que el hueco entre molde y pieza fuese estanco, calentarla hasta su temperatura de reblandecimiento y hacer el vacío en dicho hueco, de modo que el material se estire y se adapte a la superficie del molde. Una vez fría la pieza, se extrae, se recorta el material en exceso y se obtiene una pieza acabada”



**Figura 63:** Fases del proceso de termoconformado o termoformado

**Fuente:** (Interempresas, 2015)

### Cilindro y soporte

- Fabricación del cilindro que contiene al tanque de almacenamiento de agua y soporte
- Diseño del cilindro y soporte
- Almacenamiento de medidas
- Material (Distribuidora de materia prima)
- Soldadura y corte de las planchas de tool galvanizado de acuerdo a la medida especificada



- Soldadura y corte de la estructura del soporte del cilindro con las medidas especificadas
- Las planchas se ingresan a una maquina roladora para obtener la forma de cilindro
- El ángulo que sirve de base para el cilindro se lleva a una maquina roladora para obtener la forma de circulo y poder asentar sin inconvenientes
- Soldadura en un borde del cilindro y en el ángulo del soporte para cerrar la forma de cada una de estas
- Se confecciona la tapa del cilindro con los cortes y la soldadura requerida para alcanzar la forma
- Se fabrica la escalera y las patas del soporte realizando cortes en los tubos cuadrados y soldadura
- Se confecciona una base inclinada de  $25^{\circ}$  encima de la tapa para la colocación del panel solar
- Se monta en el taller para verificar errores y detalles de lo elaborado
- Se procede a pintar de negro para que tenga una buena apariencia
- Rectificación de algunas medidas durante y después del proceso de fabricación
- Instalación en el sitio requerido

## 5.2. MATERIALES

### Colector y Soporte

**Tabla 6:** Resumen de materiales y herramientas utilizadas

ITEM	DETALLE	CANTIDAD
1	Ángulo 30 x 3 mm	1
2	Diluyente Thiñer Acrílico 1 gl	1
3	Botella PET 1,35 l	250
4	Perno M4x25	8
5	Pintura Alto Tráfico Acrílica Blanca 1 gl	1
6	Plancha Acrílica Cristal 1160 x 1800 x 4 mm	2
7	Rodillo de Felpa 4"	1
8	Tubo Redondo 1" x 2 mm	1
9	Tubo Redondo 1 1/4" x 2 mm	1

ORDEN	HERRAMIENTAS
1	MAQUINA PARA SOLDAR
2	ESMERIL
3	ENTENALLA
4	ARCO DE SIERRA
5	ESCUADRA
6	COMPAS
7	PUNTO
8	FLEXSOMETRO
9	MARTILLO
10	TALADRO
11	COMPRESOR
12	RODILLO DE FELPA
13	LLAVE STILSON

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

Cilindro y Soporte**Tabla 7:** Resumen de materiales y herramientas utilizadas

ITEM	DETALLE	CANTIDAD
1	Ángulo 20 x 3 mm	1
2	Ángulo 30 x 3 mm	1
3	Lana de Borrego	5
4	Perno M5x0,8x20	4
5	Perno M5x0,8x50	2
6	Plancha 2 mm	1
7	Platina 19 x 3 mm	1
8	Regatones Cuadrados 30x30	4
9	Tanque PVC 600 l	1
10	Tee 30 x 3 mm	1
11	Tool Galvanizado 1/16"	2
12	Tubo Cuadrado 40 x 40 x 2 mm	2
13	Tubo Rectangular 40 x 20 x 1,5 mm	1
14	Tubo Rectangular 50 x 25 x 1,5 mm	1
15	Varilla Redonda Lisa 1/2"	1

ITEM	DETALLE	CANTIDAD
1	Abrazadera Acero Inoxidable 10-22 x 12 7 mm	2
2	Adaptador para Tanque 1/2"	2
3	Adaptador para Tanque 1 1/2"	1
4	Bomba Electrosumergible 12 V, 500 GPH 25D	1
5	Bushing Reductor 3/4" x 1/2"	1
6	Bushing Reductor 1 1/4" x 3/4"	2
7	Cable Sucre 2 x 12 AWG	3
8	Rotámetro	1
9	Codo HH 90° 1/2"	1
10	Codo MH 90° 1/2"	1
11	Llave para Manguera de Bronce 1/2"	1
12	Manguera PVC 3/4" x 100 m	1
13	Medidor de Temperatura Análogo	3
14	Neplo 1/2" x 10 cm	2
15	Neplo 3/4" x 6 cm	1
16	Neplo 3/4" x 10 cm	1
17	Neplo Flex 3/4"	2
18	Neplo Tuerca 1/2"	1
19	Panel Solar	1

20	Sella Rosca IPS	1
21	Taípe Eléctrico 10Y Negro	1
22	Tee 1/2"	2
23	Tee 3/4"	1
24	Teflon Aleman 1/2"	2
25	Tubo PVC Roscable 1/2"	1
26	Unión RR 1/2"	2
27	Unión RR 3/4"	1
28	Unión Universal 1/2"	1

<i>ORDEN</i>	<i>HERRAMIENTAS</i>
<b>1</b>	<b>MAQUINA PARA SOLDAR</b>
<b>2</b>	<b>ESMERIL</b>
<b>3</b>	<b>ENTENALLA</b>
<b>4</b>	<b>ARCO DE SIERRA</b>
<b>5</b>	<b>ESCUADRA</b>
<b>6</b>	<b>COMPAS</b>
<b>7</b>	<b>PUNTO</b>
<b>8</b>	<b>FLEXSOMETRO</b>
<b>9</b>	<b>MARTILLO</b>
<b>10</b>	<b>TALADRO</b>
<b>11</b>	<b>COMPRESOR</b>

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

### **5.3. CONSTRUCCION DEL COLECTOR**

Todos los elementos o partes del colector construidos están detallados y especificados en el Anexo D y en el Anexo G.

La construcción de las partes del colector se realizó en un taller especializado en Termoformado de planchas de acrílico para alcanzar la forma y los procedimientos necesarios para la obtención de dicho colector, con personal capacitado para el manejo correspondiente del material utilizado en este proyecto.

#### **5.4. CONSTRUCCION DE SOPORTES**

Todos los elementos o partes de los soportes construidos están detallados y especificados en el Anexo D y en el Anexo G.

La construcción de las partes de los soportes se realizó en un taller especializado en cerrajería (estructura metálica) para alcanzar la forma y los procedimientos necesarios para la obtención de dichos soportes, con personal capacitado para el manejo correspondiente del material utilizado en este proyecto.

#### **5.5. ENSAMBLAJE**

Los detalles y especificaciones del ensamble se los puede observar en el Anexo G el cual presenta la vista explotada del calentador solar bifacial.

Los ensambles realizados se los ejecutaron en el lugar donde se colocó el proyecto del calentador solar bifacial es decir en la terraza del laboratorio de energías renovables con la ayuda del personal de cada taller especializado para que estas estructuras estén ubicadas de la mejor manera y en perfecto estado.

Lo que se ensambló fue el colector solar bifacial en la estructura de soporte de tres patas y se pintó la superficie del suelo de color blanco para aumentar la reflectividad de la radiación incidente a la cara inferior del colector, la armadura por partes del cilindro en el soporte de cuatro patas para de esta manera montar en el interior el tanque de agua de capacidad de 600 litros, además se insertó lana animal en el espacio entre las paredes del tanque de agua y el cilindro para establecer el aislamiento térmico y conservar así la temperatura del agua, el panel solar se ubicó en la tapa superior de la estructura del cilindro, la bomba se conectó directamente al panel solar para recircular el agua, se puso manguera de agua en la periferia del

colector en toda su forma bifacial , botellas plásticas de 1.35 litros de capacidad insertadas dentro de la manguera con orificios realizados con tubo de acero de  $\frac{3}{4}$  in y con la punta de un cuchillo calentados al rojo vivo para de esta manera facilitar los huecos en la botella , así estas entren de una manera adecuada y sin complicaciones , cables de luz tipo sucre con recubrimiento para evitar daños por el agua conectados de la bomba al panel , se acoplo tubería de Policloruro de vinilo (PVC) para acoples y reducciones en el ingreso , salida de agua y para la colocación de indicadores de temperatura y caudal del tanque hacia el colector bifacial.

## **CAPITULO VI**

### **PRUEBAS**

#### **6.1. PARAMETROS DEL ENSAYO**

En esta parte se determinan los parámetros necesarios del ensayo para establecer valores del funcionamiento del calentador solar bifacial de acuerdo a las diversas condiciones que se pueden dar durante un día y un mes de toma de datos.

Los parámetros del ensayo que se plantearon son:

##### Orden:

En este ítem se enumera los datos tomados durante el día de 8:00 am a 16:00 pm los cuales equivalen a 49 valores.

##### Hora:

Se coloca la hora del día cada 10 minutos desde las 8:00 am hasta las 16:00 pm

Tiempo (minutos):

Se pone el tiempo transcurrido cada 10 minutos sumados al anterior desde la primera hora hasta su final

Humedad Relativa Hr (%):

En este aspecto se mide la humedad relativa del día en porcentaje cada 10 minutos

Temperatura T1 (°C):

Es la temperatura de la salida del agua del tanque de almacenamiento al colector solar bifacial

Temperatura T2 (°C):

Es la temperatura de ingreso del agua del colector solar bifacial al tanque de almacenamiento

Temperatura Ta (°C):

Es la temperatura ambiente

Temperatura Tm (°C):

Es la temperatura de la manguera del colector solar bifacial por la cual transcurre el fluido agua

Temperatura Tb (°C):

Es la temperatura de la botella la que genera el efecto invernadero a la manguera



Temperatura Tacum (°C):

Es la temperatura del cilindro que contiene al tanque de almacenamiento de agua

Temperatura Tevacu (°C):

Es la temperatura de evacuación después de haberse realizado todo el proceso de recirculación del agua por el calentador solar bifacial y sale del tanque de almacenamiento hacia el consumo de las personas de forma directa

Caudal Q (LPM):

Es la medida del caudal del agua que se presenta en el funcionamiento del calentador solar bifacial

Irradiancia Ig (w/m<sup>2</sup>):

Es la medida de irradiancia global que se presenta en cada lapso de 10 minutos

Irradiancia Ia (w/m<sup>2</sup>):

Es la medida de irradiancia de albedo que se produce en la superficie terrestre donde se encuentra ubicado el calentador solar bifacial en cada lapso de 10 minutos

Irradiancia Id (w/m<sup>2</sup>):

Es la medida de la irradiancia difusa que se manifiesta en la bóveda celeste en cada lapso de 10 minutos

Irradiancia It (w/m<sup>2</sup>):

Es la suma de la irradiancia global y la de albedo

Eficiencia  $\eta$  (%):

Es una medida adimensional que entrega el rendimiento del calentador solar bifacial en porcentaje

 $U(T_1 - T_a)/I_t$ :

Es un parámetro que tiene un valor adimensional el cual junta algunas variables como  $T_1$ ,  $T_a$ ,  $I_t$  y constantes como  $U$  que es el coeficiente global de transferencia de calor para poder obtener una curva de rendimiento con la eficiencia

**6.2. ENSAYO DEL COLECTOR BIFACIAL**

Dentro del ensayo del colector bifacial se manifiesta el procedimiento de toma de datos de los ensayos con los diversos instrumentos utilizados y de acuerdo al tiempo establecido.

El procedimiento es el siguiente:

- Se empieza a las 8:00 am del día con intervalos de 10 minutos para la toma de datos hasta las 16:00 pm de la tarde
- La toma de datos se inicia con la humedad relativa y la temperatura ambiente
- De inmediato se establecen los valores de temperatura con la ayuda de los instrumentos de medición instalados en el tanque de almacenamiento y se observa  $T_1, T_2$  y  $T_{vacu}$
- A continuación se mira el caudal del agua  $Q$ , posteriormente con el medidor láser de temperatura se observa  $T_{acum}$
- De la misma manera con el medidor laser se mira la temperatura de la manguera y la botella

- Ya por finalizar con el medidor de irradiancia se apunta los distintos valores de  $I_a$  e  $I_d$  ; y para ver el dato de  $I_g$  se va a un medidor de irradiancia global ubicado cerca del calentador solar bifacial el cual utiliza un panel fotovoltaico para su funcionamiento

### 6.3. EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Para la toma de datos se utilizaron los siguientes instrumentos:

#### Termómetro de infrarrojo:

El termómetro de infrarrojo nos permite medir la temperatura de un objeto a cierta distancia ya que utiliza un láser para apuntar y tomar la medida.

En cuanto al funcionamiento, este termómetro tiene un lente para captar la emisividad infrarroja del objeto apuntado. Dicho lente capta la energía infrarroja emitida por el objeto, de esta forma aparece en la pantalla en forma numérica al ser captada en señal eléctrica.



**Figura 64:** Termómetro infrarrojo

**Fuente:** (Instrumentos de Radiación Solar, 2012)

El instrumento utilizado en el proyecto tiene las siguientes características:

- Rango de temperatura de -50 a 1000 °C
- Puntero láser incorporado para mejorar la puntería
- Amplia pantalla LCD retroiluminada
- Emisividad ajustable
- Alta resolución de 0,1° hasta 199,9°
- Puntos de referencia alto/bajo de alarma

Instrucciones de operación:

1. Sostenga el termómetro por el mango y apúntelo hacia la superficie a medir.
2. Presione y sostenga el gatillo para encender el medidor e iniciar las pruebas.
3. Suelte el gatillo y la lectura permanecerá durante 7 segundos aproximadamente.

Nota: Seleccione las unidades de temperatura (°F/°C).

#### Termómetro análogo bimetalico:

Estos termómetros se utilizan generalmente en las industrias químicas, alimenticias, farmacéuticas, etc. Están diseñados para medir temperaturas de fluidos.

Para medir la temperatura, tienen un tubo de acero inoxidable y en su interior se encuentra una espiral helicoidal bimetalica. En un extremo se encuentra una varilla de transmisión conectada a la aguja indicadora. Al momento que hay un cambio de temperatura, el bimetálico se deforma la cual transmite a la aguja indicadora gracias a la rotación de la varilla.



**Figura 65:** Termometro analogo bimetalico

**Fuente:** (Instrumentos de Radiación Solar, 2012)

El instrumento utilizado en el proyecto tiene las siguientes características:

- Rango de temperatura de -30 a 500 °C
- Caja y bulbo en acero inoxidable
- 5 distintas formas de conexión
- Combinable con una gran variedad de diseños de vainas

Instrucciones de operación:

1. Utilizar herramientas adecuadas para atornillar el aparato.
2. Al realizar la instalación, es importante exponer el sensor con toda su longitud a la temperatura a medir.

### Rotámetro:

El rotámetro se utiliza para medir el caudal de líquidos y gases. Este instrumento se basa en el principio de área variable que consiste en elevar un flotador debido al movimiento del flujo a través de un tubo, lo cual permite el aumento del área para el paso del fluido.



**Figura 66:** Rotámetro

**Fuente:** (Instrumentos de Radiación Solar, 2012)

El instrumento utilizado en el proyecto tiene las siguientes características:

- Rango de caudal de 1 a 10 lpm
- Presión máxima: 20 bar
- Exactitud: +5%, -5%
- Tubo acrílico

Instrucciones de operación:

1. Utilizar herramientas adecuadas para atornillar el aparato.

2. Al realizar la instalación, es importante que el rotámetro quede perpendicular para que la medición y el desplazamiento del flotante estén libres y sin rozamientos.

#### Medidor de Radiación Solar:

Gracias a este instrumento se puede obtener la medida de la radiación solar. Está diseñado para mediciones al aire libre de la luz solar natural. En su interior poseen un sensor fotovoltaico.



**Figura 67:** Medidor de radiacion solar

**Fuente:** (Instrumentos de Radiación Solar, 2012)

El instrumento utilizado en el proyecto tiene las siguientes características:

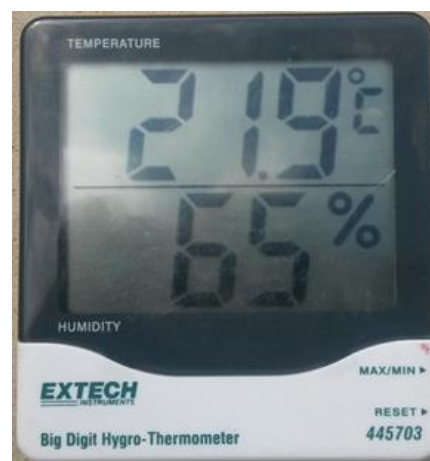
- Lectura exacta (3%) de 0 a 1.200 Watts / m<sup>2</sup>
- Resolución de 1 W / m<sup>2</sup>,
- El valor de irradiancia se presenta en una pantalla LCD de fácil lectura 0,75".
- 9-V de la batería como fuente de alimentación independiente.

Instrucciones de operación:

1. Sujete o coloque el medidor de energía solar en la misma orientación que el campo fotovoltaico.
2. Registre la lectura de radiación (energía solar) en vatios por metro cuadrado.

Medidor de temperatura ambiente y humedad relativa:

Gracias a este instrumento se puede obtener de forma directa la temperatura del ambiente y la humedad relativa.



**Figura 68:** Medidor de temperatura ambiente y humedad relativa

**Fuente:** (Instrumentos de Radiación Solar, 2012)

El instrumento utilizado en el proyecto tiene las siguientes características:

- Rango de temperatura de 0 a 200°C
- Rango de humedad relativa de 0 a 100%



#### 6.4. LEVANTAMIENTO DE DATOS

Los valores de los parámetros de la tabla se tomaron con instrumentos de medición de una manera directa, salvo unos pocos que necesitaron ser calculados con fórmulas en Excel con los valores ya obtenidos y estos son:

- la irradiancia total  $I_t$  se la obtuvo sumando en la hoja de Excel las irradiancias global  $I_g$  y la de albedo  $I_a$
- la eficiencia del calentador solar bifacial  $\eta$  se la calculo mediante la siguiente formula:

$$\eta(\%) = (FR * \tau * \alpha * \rho) - \frac{[UL*FR*(T1-Ta)]}{I_t} \quad (6.1)$$

Dónde:

FR: Factor de remoción, es decir cantidad de calor que se lleva el agua y su valor es de 0,8 a 0,75 escogiendo el más bajo

UL: Coeficiente global de transferencia de calor y su valor es de 7 a 10 ( $W/m^2K$ ) escogiendo el más alto para colectores nacionales

$\tau$ : Transmisividad con valor de 0,9

$\alpha$ : Absortividad con valor de 0,9

$\rho$ : Reflectividad con valor de 0,9

T1: Temperatura de salida del agua del tanque de almacenamiento al colector solar bifacial

Ta: Temperatura ambiente

It: Irradiación total

- $UL(T1-Ta)/It$  parámetro adimensional donde se utiliza la misma fórmula con los datos que se midieron en los ensayos

$$\frac{UL * (T1 - Ta)}{It} \quad (6.2)$$

Dónde:

UL: Coeficiente global de transferencia de calor y su valor es de 7 a 10 ( $W/m^2K$ ) escogiendo el más alto para colectores nacionales

T1: Temperatura de salida del agua del tanque de almacenamiento al colector solar bifacial

Ta: Temperatura ambiente

A continuación se presenta una de las tablas de datos que se tomó en cada ensayo con sus respectivos parámetros y valores.

Todas las tablas y graficas de los 21 ensayos tomados se encuentran en el Anexo E

## Ensayo5

ORDEN	HORA	TIEMPO (min)	Hr %	T1 (°C)	T2 (°C)	Ta (°C)	Tm (°C)	Tb (°C)	Tacum (°C)	Tevacu (°C)	Q (LPM)	Ig (w/m <sup>2</sup> )	Ia (w/m <sup>2</sup> )	Id (w/m <sup>2</sup> )	It (w/m <sup>2</sup> )	η	η (%)	UI(T1-Ta)/It	
1	8:00	0	61	19,5	17,5	17,3	20,4	12,6	35	20,5	3,3	396	169	162	565	0,52	51,75	0,04	
2	8:10	10	62	20,5	16,5	17,4	19,6	11,8	31,6	19,5	3,5	395	157	172	552	0,50	50,46	0,06	
3	8:20	20	75	19,5	14,5	16,8	15,4	13,1	23,2	19	0	234	97	200	331	0,49	48,56	0,08	
4	8:30	30	60	20	15	18,4	20,5	18	23,2	17	3	165	98	100	263	0,50	50,11	0,06	
5	8:40	40	59	22	19	19,6	18	17,6	36	17	6	191	86	99	277	0,48	48,18	0,09	
6	8:50	50	56	23	18	19,1	17	14,3	19	20	0	165	83	80	248	0,43	42,88	0,16	
7	9:00	60	46	25	25	23,5	26	20,7	41,8	23	6,5	650	280	580	930	0,53	53,47	0,02	
8	9:10	70	45	30	30	23,8	18	19	40	28	4	760	283	40	570	1043	0,50	50,22	0,06
9	9:20	80	40	30	30	24,6	23,8	15,7	44,5	28	2	274	146	562	420	0,45	45,03	0,13	
10	9:30	90	34	30	30	26,4	27,6	22,5	29,9	31	4	300	250	608	550	0,50	49,77	0,07	
11	9:40	100	32	30	30	25,9	29,4	23,1	31,5	31	6	380	145	306	525	0,49	48,82	0,08	
12	9:50	110	39	31	31	25,5	27,5	20,7	35,4	33	7	614	261	658	875	0,50	49,96	0,06	
13	10:00	120	37	32	31	25,6	29,3	22	30	34	7	440	230	620	670	0,48	47,51	0,10	
14	10:10	130	37	32	31	24,8	31,8	26,7	33,1	33,5	7	1076	305	640	1381	0,51	50,76	0,05	
15	10:20	140	35	32	31,5	25	35,5	30,5	34,7	34	5	485	198	380	683	0,47	46,99	0,10	
16	10:30	150	34	32,5	32	25,3	32,3	26,8	36,7	33	7,5	1058	315	680	1373	0,51	50,74	0,05	
17	10:40	160	33	32	32	25,1	29,5	24,8	32,7	28	3	540	196	367	736	0,48	47,64	0,09	
18	10:50	170	32	33	32	25,2	33	30	33,5	28	8	1185	325	672	1510	0,51	50,80	0,05	
19	11:00	180	34	33	33	25,3	28,5	28,1	29,6	29	6,8	1032	287	607	1319	0,50	50,30	0,06	
20	11:10	190	30	34	33	26,6	38,2	32,8	36,9	29	7	1066	258	523	1324	0,50	50,48	0,06	
21	11:20	200	29	34	34	26,9	34,7	30,1	37,1	30	7,5	1220	316	630	1536	0,51	51,21	0,05	
22	11:30	210	29	29	34	27,2	34,5	28,9	36,2	29,5	6	1236	371	588	1607	0,54	53,83	0,01	
23	11:40	220	27	35	35	28,1	35,5	32	33,8	30	7	1232	250	356	1482	0,51	51,18	0,05	
24	11:50	230	28	35	35	28	41,2	36,7	33,5	30	7,5	1351	300	410	1651	0,51	51,50	0,04	
25	12:00	240	28	34	30	26,3	20,6	17,2	21,5	28	0	286	114	236	400	0,40	40,24	0,19	
26	12:10	250	30	35	35	26,6	19,5	14,2	24,1	27	7	1252	310	655	1562	0,51	50,64	0,05	
27	12:20	260	27	35	35	28,1	28,5	24,2	28,1	27,5	4	480	160	270	640	0,47	46,59	0,11	
28	12:30	270	25	35	35	29,2	28	22	25,5	28	2	455	196	329	651	0,48	47,99	0,09	
29	12:40	280	25	34	34	28,9	30,6	25,2	28	28	2,8	424	172	305	596	0,48	48,26	0,09	
30	12:50	290	24	34,5	35	29,6	32,8	28,2	27	28	1,4	378	161	291	539	0,48	47,86	0,09	
31	13:00	300	25	34	35	28,5	24,4	22,7	26,5	27	0	348	140	272	488	0,46	46,22	0,11	
32	13:10	310	25	34	34	28,8	29,5	25,1	24,5	27	0	408	162	308	570	0,48	47,83	0,09	
33	13:20	320	21	35	35	29,1	35,2	30,5	26	27,5	2,2	522	181	318	703	0,48	48,38	0,08	
34	13:30	330	20	35	35	29,5	34	29,2	26	30	3,8	580	250	362	830	0,50	49,71	0,07	
35	13:40	340	21	36	36	29,8	35,5	31,7	26,5	30	3	740	371	422	1111	0,50	50,49	0,06	
36	13:50	350	20	37	36	29,4	34	27,4	27,5	31	0	332	141	254	473	0,43	42,62	0,16	
37	14:00	360	23	35	30	28,7	25,6	21,2	27	29	0	211	92	175	303	0,39	39,08	0,21	
38	14:10	370	25	34	27	28	26,3	24,6	27,7	27	0	204	91	160	295	0,39	39,42	0,20	
39	14:20	380	26	33	25	27,9	25	27,6	26,2	27	0	251	116	202	367	0,44	44,25	0,14	
40	14:30	390	26	33	25	28,5	29,5	27	26,4	27	0	332	139	267	471	0,48	47,51	0,10	
41	14:40	400	25	34	34	29,2	32	30,1	25,7	27	7	1050	341	405	1391	0,52	52,09	0,03	
42	14:50	410	16	37	35	29	26	29,7	26,7	30	0	320	133	247	453	0,41	41,43	0,18	
43	15:00	420	23	35	35	29,3	31,6	32,2	26,5	27,5	3	870	127	202	997	0,50	50,39	0,06	
44	15:10	430	25	37	35	28,9	32,3	27,4	26,5	29,5	6,2	309	240	316	549	0,44	43,61	0,15	
45	15:20	440	28	37	35	27,8	44,7	42	27,5	29	5,6	680	244	311	924	0,47	47,21	0,10	
46	15:30	450	22	37	35	27,5	27,8	23,4	27	32	0	400	53	74	453	0,39	38,95	0,21	
47	15:40	460	27	36,5	34	26,9	27,3	23,2	26,5	30	0	385	40	67	425	0,38	37,73	0,23	
48	15:50	470	26	36,5	34	26,7	26,8	21,7	27,6	30	0	200	39	65	239	0,24	23,92	0,41	
49	16:00	480	26	36,5	34	26,3	25,5	22,6	24,1	30	0	105	35	62	140	0,00	0,03	0,73	

## INFORMACION DE LOS 21 ENSAYOS

**Tabla 2**

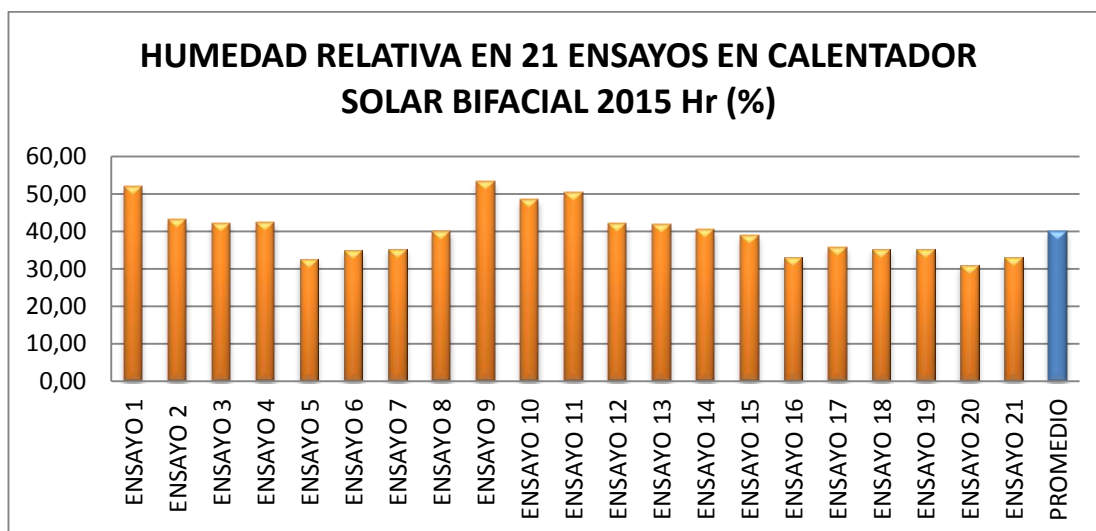
ENSAYOS	Hr %	T1 (°C)	T2 (°C)	Ta (°C)	Tm (°C)	Tb (°C)	Tacum (°C)	Tevacu (°C)	Q (LPM)	Ig (w/m <sup>2</sup> )	Ia (w/m <sup>2</sup> )	Id (w/m <sup>2</sup> )	It (w/m <sup>2</sup> )	η	η (%)	UI(T1-Ta)/
ENSAYO 1	51,96	28,07	26,32	23,02	28,29	24,08	30,01	24,34	2,26	487,10	161,49	299,08	648,59	0,47	46,54	0,11
ENSAYO 2	43,27	28,77	27,71	23,20	26,33	23,35	32,67	26,20	2,28	513,16	176,20	292,94	689,37	0,46	46,40	0,11
ENSAYO 3	42,24	29,58	28,42	24,25	28,50	23,72	37,12	26,80	2,93	522,69	183,55	294,67	706,24	0,47	47,07	0,09
ENSAYO 4	42,55	29,09	27,88	23,61	27,23	23,49	34,44	26,32	2,49	513,65	177,86	291,71	691,51	0,47	47,13	0,10
ENSAYO 5	32,71	32,12	30,67	26,12	28,58	24,67	29,70	27,94	3,52	570,76	192,94	349,90	763,69	0,46	46,22	0,11
ENSAYO 6	34,88	32,50	31,44	25,46	27,99	23,51	32,69	27,53	3,51	583,53	202,18	316,82	785,71	0,48	47,58	0,09
ENSAYO 7	35,33	30,85	29,29	25,33	28,23	23,91	31,88	26,83	2,68	468,78	173,08	305,14	641,86	0,47	47,46	0,10
ENSAYO 8	39,96	29,10	27,30	24,08	26,27	23,00	28,90	24,44	1,20	398,59	144,55	243,76	543,14	0,48	47,51	0,10
ENSAYO 9	53,41	30,76	28,74	22,58	29,93	24,00	33,16	26,28	3,18	560,87	192,46	364,20	753,33	0,45	44,70	0,13
ENSAYO 10	48,59	30,17	28,52	23,42	28,34	23,60	32,21	25,29	2,23	488,41	165,90	307,31	654,31	0,46	46,01	0,12
ENSAYO 11	50,55	28,19	27,91	21,82	27,52	22,87	32,59	24,85	2,63	534,86	180,61	330,55	715,47	0,46	45,64	0,10
ENSAYO 12	42,12	31,99	30,53	23,74	31,16	26,49	38,78	27,05	4,00	626,76	194,14	333,71	820,90	0,46	46,12	0,11
ENSAYO 13	41,88	34,32	33,10	22,17	32,33	25,90	45,43	28,24	4,31	610,92	206,43	210,53	817,35	0,41	41,34	0,18
ENSAYO 14	40,47	32,77	31,64	23,61	29,64	25,06	39,43	27,30	3,69	642,69	208,65	291,63	851,35	0,45	45,48	0,12
ENSAYO 15	38,94	29,96	28,62	23,61	28,35	24,71	35,19	25,48	2,03	446,41	163,22	252,78	609,63	0,47	46,55	0,11
ENSAYO 16	33,10	32,08	30,77	25,72	30,16	25,76	39,81	27,56	2,88	518,39	181,73	229,00	700,12	0,47	46,80	0,11
ENSAYO 17	35,73	30,99	29,69	24,64	29,23	25,21	37,48	26,53	2,43	482,14	172,20	240,67	654,35	0,47	46,88	0,10
ENSAYO 18	35,33	32,19	31,51	25,85	29,97	24,86	40,14	27,68	3,19	574,27	198,16	256,00	772,43	0,47	47,24	0,10
ENSAYO 19	35,37	31,63	30,58	25,22	29,53	25,01	38,79	27,02	2,58	527,90	185,04	248,16	712,94	0,47	47,16	0,10
ENSAYO 20	31,08	31,92	30,72	26,20	29,49	25,38	42,78	28,01	3,97	598,29	193,14	246,80	791,43	0,48	48,22	0,09
ENSAYO 21	33,08	31,78	30,64	25,70	29,49	25,18	40,76	27,52	3,27	562,86	188,90	247,29	751,76	0,48	47,76	0,09
PROMEDIO	40,12	30,90	29,62	24,26	28,88	24,46	35,90	26,63	2,92	534,91	182,97	283,46	717,88	0,46	46,47	0,11

## 6.5. ANALISIS DE DATOS

### ANALISIS DE LOS DATOS DE LAS VARIABLES DEL CALENTADOR SOLAR BIFACIAL CON RESPECTO AL CONJUNTO DE LOS 21 ENSAYOS

Se ha procedido con el análisis de 21 ensayos, denominados así porque cada uno de los ensayos se refiere a 21 días de recolección de información de las diferentes variables del calentador solar bifacial.

#### 1. HUEMEDAD RELATIVA

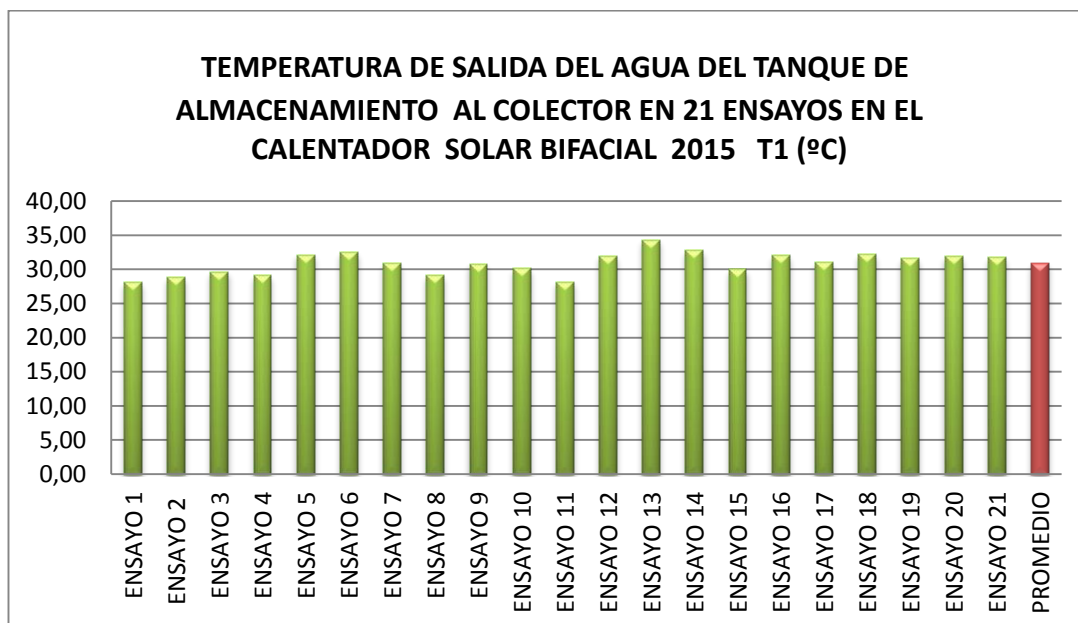


**Figura 69:** Humedad relativa en 21 ensayos en calentador solar bifacial 2015 Hr (%)

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

En el gráfico se observa el comportamiento de la humedad relativa en 21 ensayos realizados, mirando fijamente las columnas establecemos que los ensayos 1, 9, 10,11 superan el promedio 40,12 % de humedad relativa, pudiéndose pensar que en estos días hubo nubosidad y la temperatura ambiente fue menor

## 2. TEMPERATURA T1

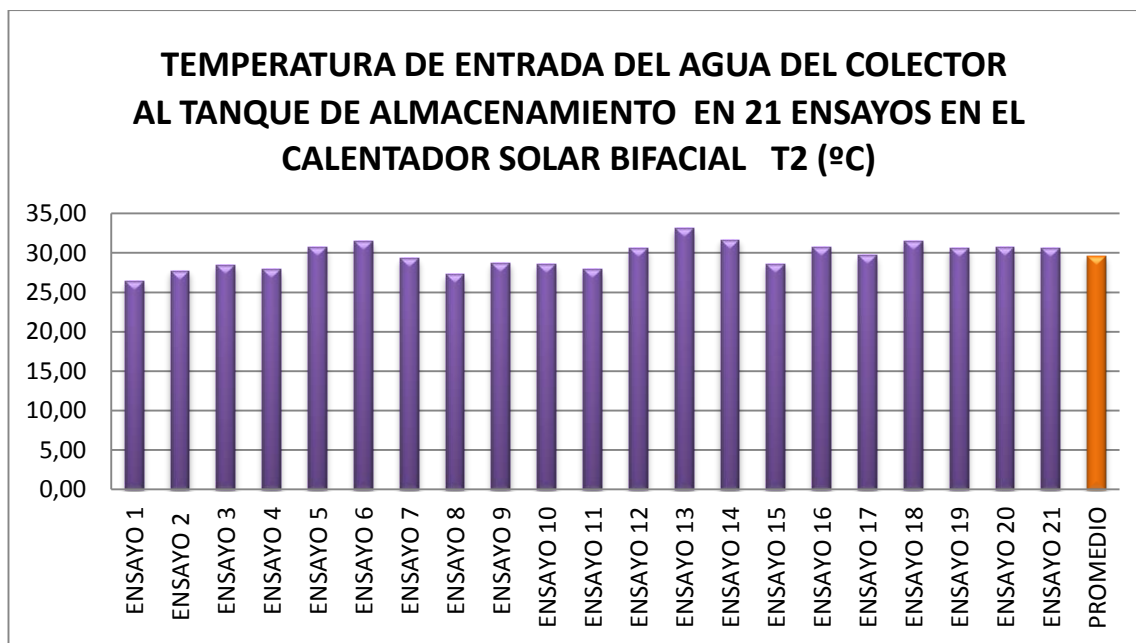


**Figura 70:** Temperatura de salida del agua del tanque de almacenamiento al colector en 21 ensayos en el calentador solar bifacial 2015 T1 (°C)

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

En el gráfico se observa el comportamiento de la temperatura de salida del agua del tanque de almacenamiento al colector, evidenciándose que respecto al promedio de 30,9 grados centígrados en los 21 ensayos, los ensayos 13, 14 superan insensiblemente este promedio, sugiriendo que la temperatura en el interior del tanque de almacenamiento es mayor la cual determina el incremento de esta variable.

## 3. TEMPERATURA T2

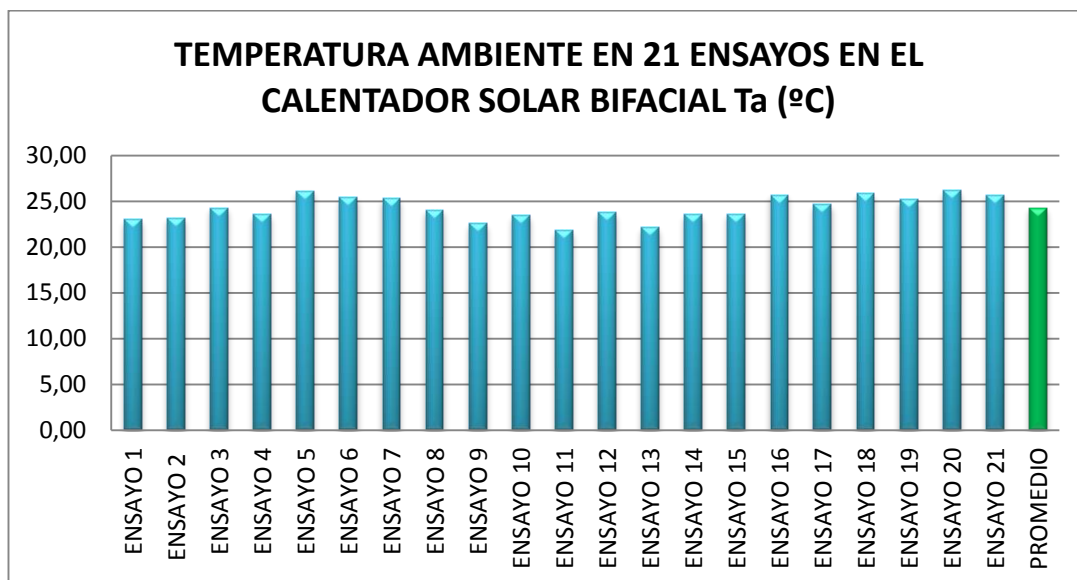


**Figura 71:** Temperatura de entrada del agua del colector al tanque de almacenamiento en 21 ensayos en el calentador solar bifacial T2 (°C)

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

En el gráfico se observa el comportamiento de la temperatura de agua de entrada del colector al tanque de almacenamiento, el promedio es de 29,62 grados centígrados. Esta variable tuvo ligeros cambios en los ensayos 6, 13, 14 y 18 los cuales tienen que ver con la temperatura ambiente y la gran intensidad de la radiación solar en esos días

## 4. TEMPERATURA AMBIENTE



**Figura 72:** Temperatura ambiente en 21 ensayos en el calentador solar bifacial  $T_a$  (°C)

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

En el gráfico se observa el comportamiento de la temperatura ambiente, el promedio es de 24,26 grados centígrados. Esta variable tuvo ligeros cambios en los ensayos 5, 16, 18, 20 y 21 debido a que esos días hubo menos humedad relativa



## 5. TEMPERATURA DE LA MANGUERA

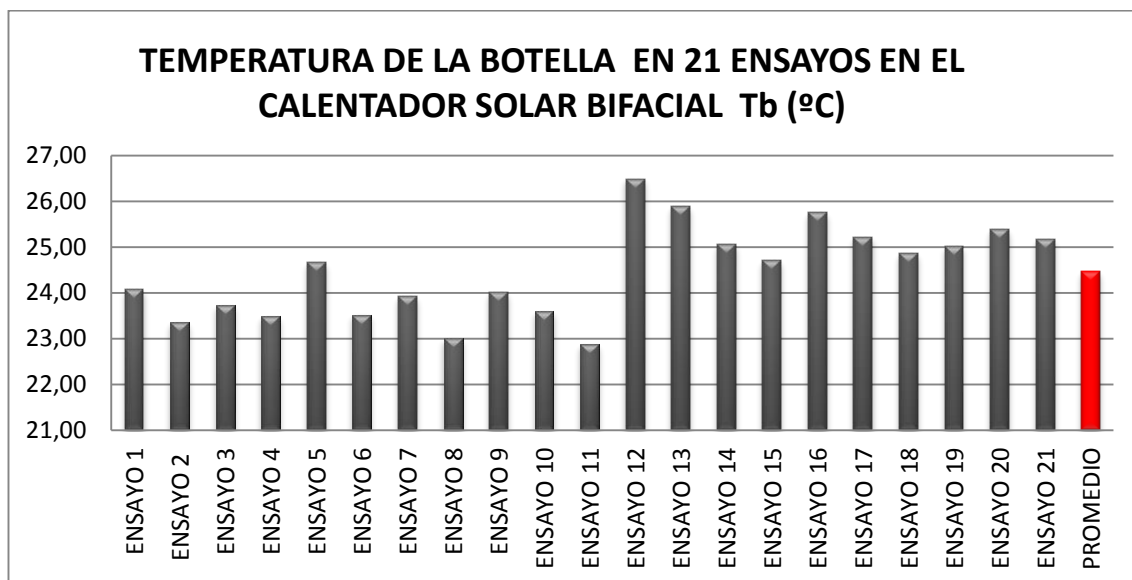


**Figura 73:** temperatura de la manguera por la que circula el agua en 21 ensayos en el calentador solar bifacial  $T_m$  (°C)

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

En el gráfico se observa el comportamiento de la temperatura de la manguera por la que circula el agua, el promedio es de 28,88 grados centígrados. Los cambios en esta variable se los evidencia en los ensayos 12 y 13 por que se produjo mayor efecto invernadero en las botellas de esta manera se incrementa el calor en la manguera ya que esta pasa por el interior de la botella.

## 6. TEMPERATURA DE LA BOTELLA

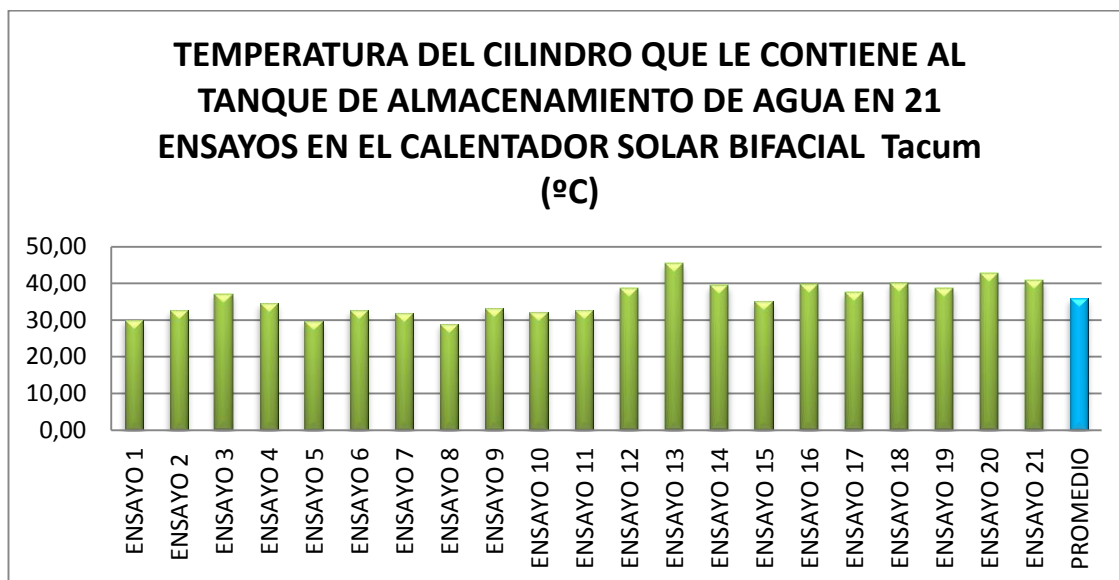


**Figura 74:** Temperatura de la botella en 21 ensayos en el calentador solar bifacial  $T_b$  (°C)

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

En el gráfico se observa el comportamiento de la temperatura de la botella, el promedio es de 24,46 grados centígrados. Los cambios en esta variable se los evidencia en los ensayos 12, 13, 14, 16, 17, 20, 21 en altos al promedio y 2, 3, 4, 6, 8, 10, 11 en bajos al promedio esto se debe a la forma de actuar de algunos factores como la temperatura ambiente, la humedad relativa y la intensidad de la radiación solar, afectando el calor que se presentaría en la botella en esos días.

## 7. TEMPERATURA DEL CILINDRO

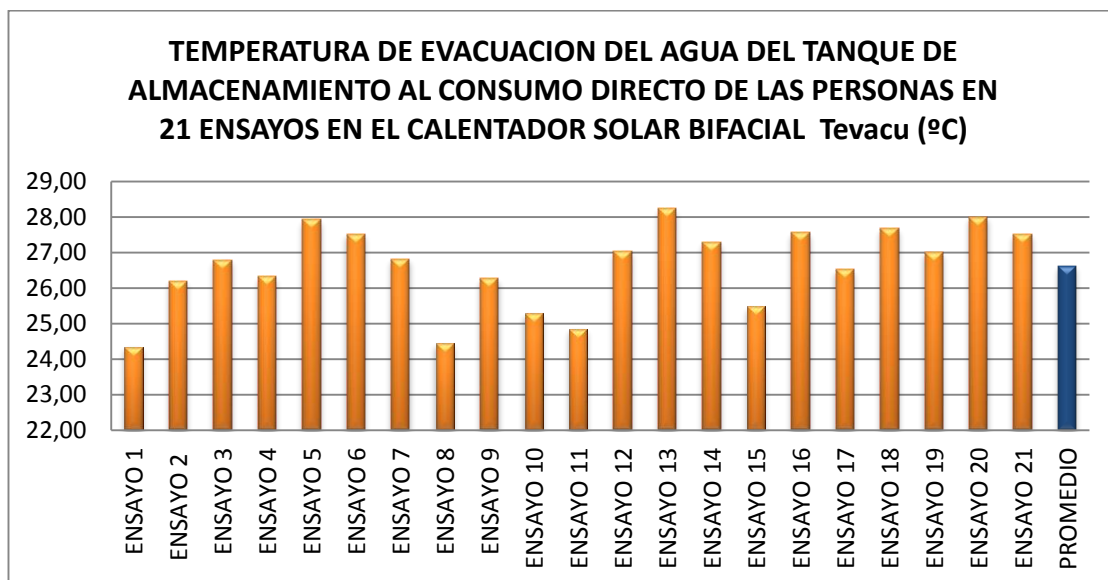


**Figura 75:** Temperatura del cilindro que le contiene al tanque de almacenamiento de agua en 21 ensayos en el calentador solar bifacial Tacum (°C)

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

En el gráfico N° 7 se observa el comportamiento de la temperatura del cilindro que lo contiene al tanque de almacenamiento de agua, el promedio es de 35,90 grados centígrados. Los cambios en esta variable se los evidencia en los ensayos 13, 20 altos al promedio y 8 bajos al promedio debido a la temperatura ambiente, la intensidad de radiación solar que afecta a las paredes del cilindro y la temperatura en el interior del cilindro la cual se transmite a las paredes exteriores del mismo

## 8. TEMPERATURA DE EVACUACION DEL AGUA

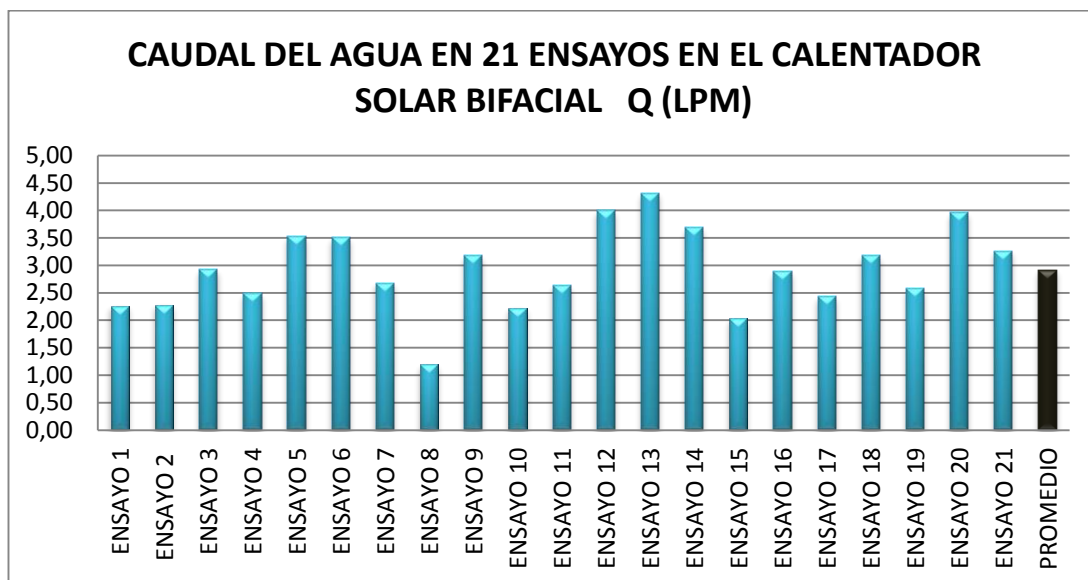


**Figura 76:** Temperatura de evacuacion del agua del tanque de almacenamiento al consumo directo de las personas en 21 ensayos en el calentador solar bifacial Tevacu (°C)

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

En el gráfico se observa el comportamiento de la temperatura de evacuación del agua del tanque de almacenamiento al consumo directo de las personas, el promedio es de 26,63 grados centígrados. Los cambios en esta variable se los evidencia en los ensayos 5, 6, 13, 14, 16, 18, 20, 21 en altos al promedio y 1, 8, 10, 11, 15 bajos al promedio esto se presenta por la temperatura ambiente, la temperatura que se genera en el interior del tanque por el aislamiento térmico y la intensidad de radiación solar que es la que se necesita para un buen funcionamiento del calentador solar bifacial.

## 9. EL CAUDAL DEL AGUA

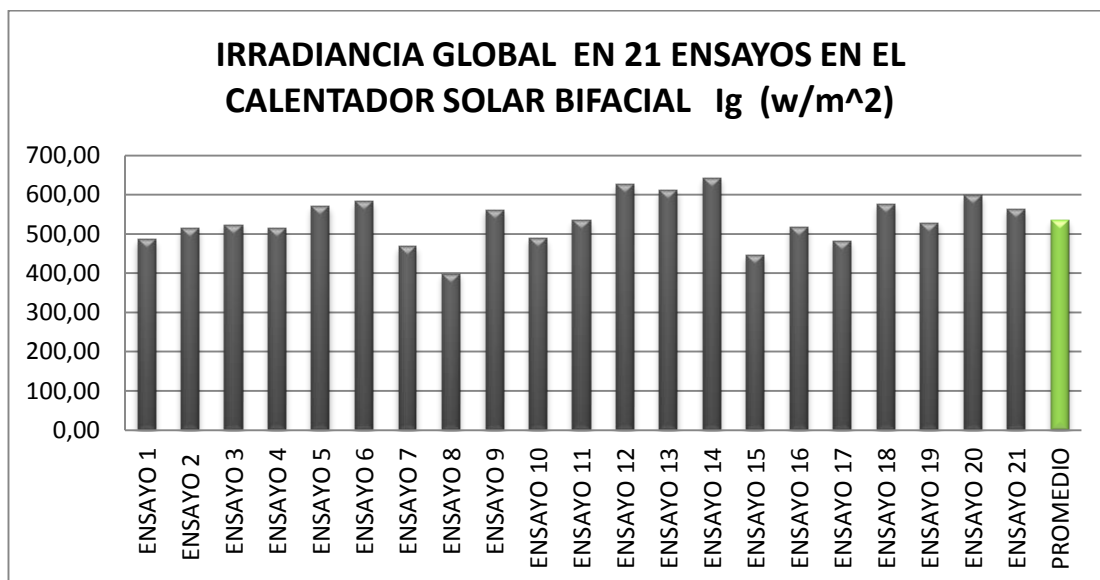


**Figura 77:** Caudal del agua en 21 ensayos en el calentador solar bifacial Q (LPM)

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

En el gráfico se observa el comportamiento del caudal del agua, el promedio es de 2,92 litros por minuto. Los cambios en esta variable se los evidencia en los ensayos 5, 6, 9, 12, 13, 14, 20 en altos al promedio y 1, 2, 8, 10, 15 en bajos al promedio esto se da por los siguientes factores que influyen de una manera directa al caudal como son la intensidad de energía solar fotovoltaica la cual genera electricidad a través del panel fotovoltaico y a su vez hace funcionar la bomba electro sumergible la cual realiza el proceso de recirculación del agua y pasa por el rotámetro del calentador solar bifacial

## 10. IRRADIANCIA GLOBAL

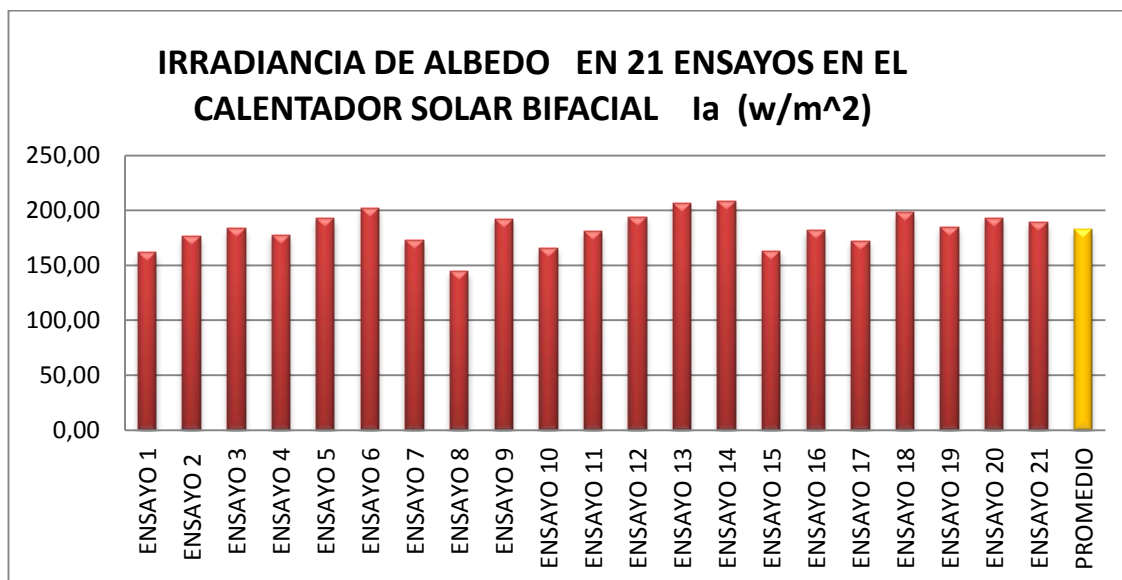


**Figura 78:** Irradiancia global en 21 ensayos en el calentador solar bifacial  $I_g$  (w/m<sup>2</sup>)

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

En el gráfico se observa el comportamiento de la irradiancia global, el promedio es de 534,91 (W/m<sup>2</sup>). Los cambios en esta variable se los evidencia en los ensayos 5, 6, 9, 12, 13, 14, 18, 20, 21 en altos al promedio y 7, 8, 10, 15, 17 en bajos al promedio esto se produce debido a la intensidad de la radiación solar que afecto a la superficie terrestre en esos días

## 11. IRRADIANCIA DE ALBEDO

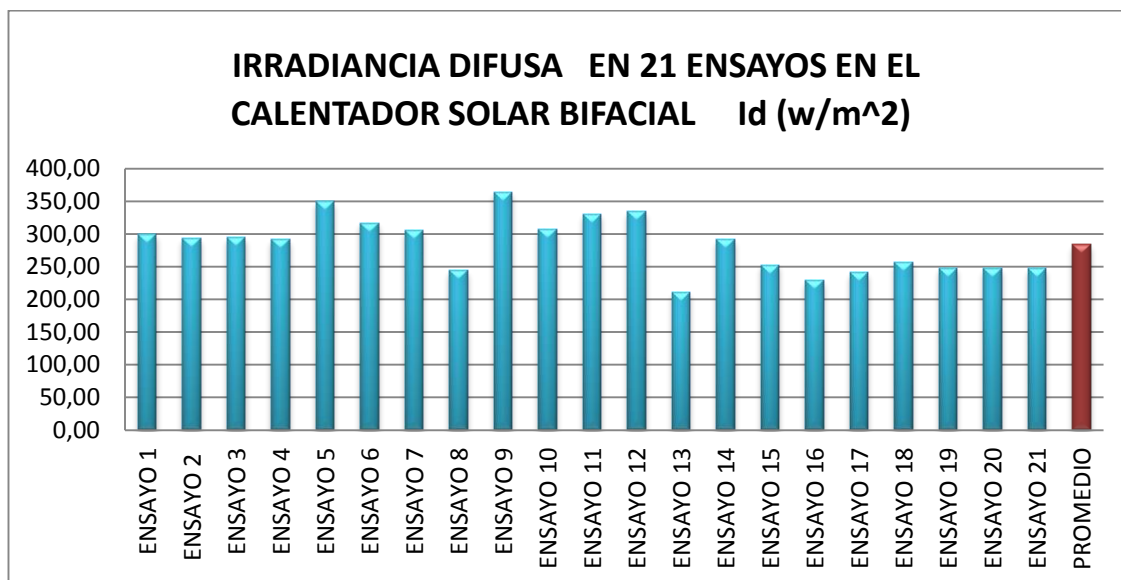


**Figura 79:** Irradiancia de albedo en 21 ensayos en el calentador solar bifacial  $I_a$  ( $w/m^2$ )

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

En el gráfico se observa el comportamiento de la irradiancia de albedo, el promedio es de 182,97 ( $W/m^2$ ). Los cambios en esta variable se los evidencia en los ensayos 5, 6, 9, 12, 13, 14, 18, 20 en altos al promedio y 8, 10, 15, 17 en bajos al promedio esto se produce debido a la intensidad de la radiación solar que afecto a la superficie terrestre y a la sombra que se generó por la forma del calentador en esos días

## 12. IRRADIANCIA DIFUSA



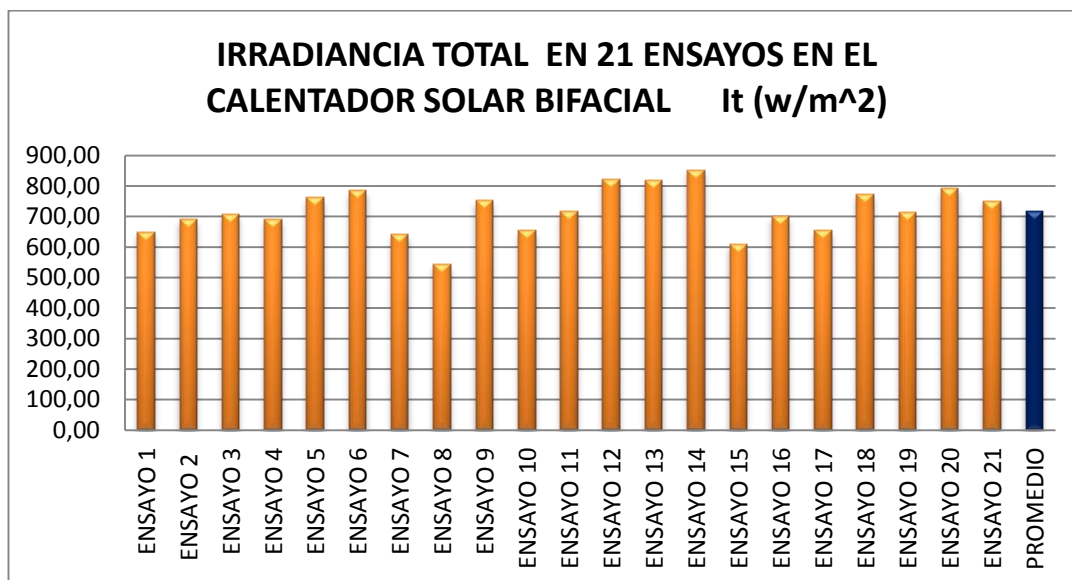
**Figura 80:** Irradiancia difusa en 21 ensayos en el calentador solar bifacial  $I_d$  (w/m<sup>2</sup>)

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

En el gráfico se observa el comportamiento de la irradiancia difusa, el promedio es de 283,46 (W/m<sup>2</sup>). Los cambios en esta variable se los evidencia en los ensayos 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12 en altos al promedio y 8, 13, 16, 17 en bajos al promedio esto se produce debido a la intensidad de la radiación solar que afecto a la superficie terrestre y a la nubosidad que se generó esos días



## 13. IRRADIANCIA TOTAL

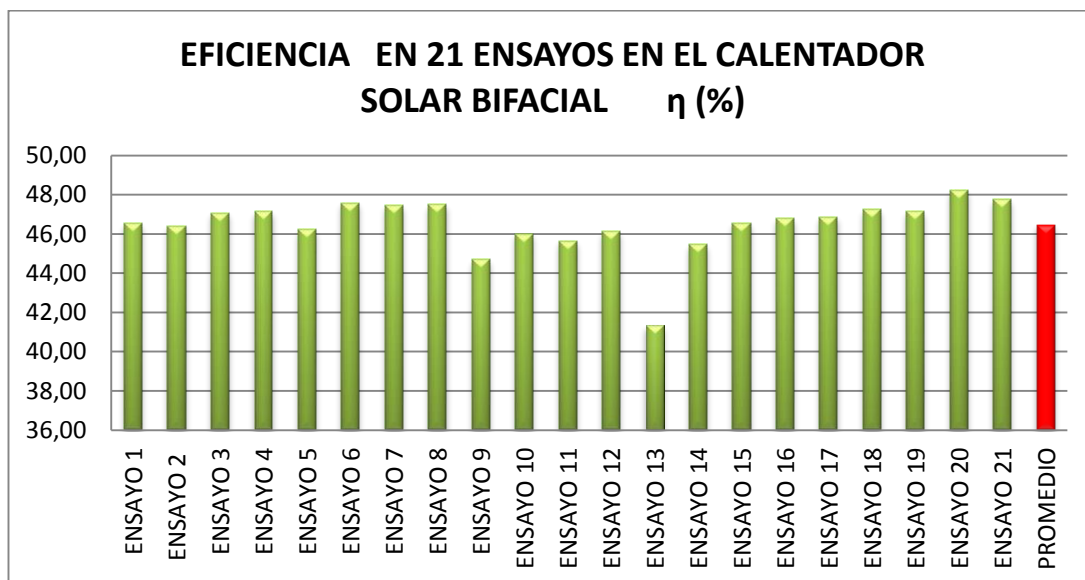


**Figura 81:** Irradiancia total en 21 ensayos en el calentador solar bifacial  $I_t$  (w/m<sup>2</sup>)

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

En el gráfico se observa el comportamiento de la irradiancia total, el promedio es de 717,88 (W/m<sup>2</sup>). Los cambios en esta variable se los evidencia en los ensayos 5, 6, 9, 12, 13, 14, 18, 20, 21 en altos al promedio y 7, 8, 10, 15, 17 en bajos al promedio esto se produce debido a la intensidad de la radiación solar que afecto a la superficie terrestre, la nubosidad y la sombra que se generó esos días

## 14. EFICIENCIA

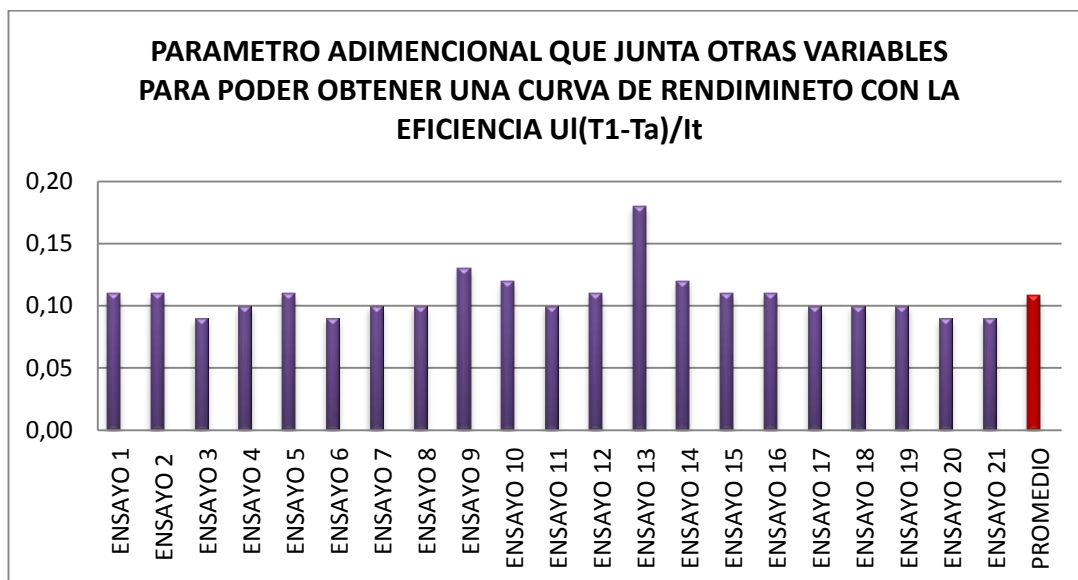


**Figura 82:** Eficiencia en 21 ensayos en el calentador solar bifacial  $\eta$  (%)

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

En el gráfico se observa el comportamiento de la eficiencia, el promedio es de 46,47 %. Los cambios en esta variable se los evidencia en los ensayos 3, 4, 6, 7, 8, 20, 21 en altos al promedio y 9, 11, 13, 14 en bajos al promedio esto se produce debido a que en algunos ensayos o días, hubo factores como temperaturas ambientes bajas en las noches lo cual afecta a las diversas temperaturas que se miden en el calentador solar bifacial al siguiente día , la lluvia que complico la toma de datos y no se pudo llegar a la hora establecida por lo tanto el porcentaje de la eficiencia se ve afectado en los valores bajos ; en cambio para los valores altos hubo la adecuada intensidad de radiación solar en los días anterior y posterior , las temperaturas ambientes altas y se pudo tomar datos hasta la hora marcada de las 16:00 de la tarde

## 15. PARAMETRO ADIMENCIONAL



**Figura 83:** Parametro adimencional que junta otras variables para poder obtener una curva de rendimineto con la eficiencia  $UI(T1-Ta)/It$

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

En el gráfico se observa el comportamiento de un parámetro adimensional, el promedio es de 0,11. Los cambios en esta variable se los evidencia en los ensayos 9, 10, 13, 14 ya que los valores tomados en la tabla que se utilizan en la formula pueden haber sido altos o bajos dando un valor adimensional netamente calculado

ANALISIS DE LOS DATOS DE LAS VARIABLES DEL CALENTADOR SOLAR BIFACIAL CON RESPECTO A LOS DIAS TIPO EN EL MES DE ABRIL Y MAYO

Un día tipo se entiende cuando las condiciones climatológicas son perfectas, adecuadas para el trabajo o el funcionamiento del calentador solar bifacial que tiene un rendimiento apropiado cuando el valor de irradiancia global es alto.

Los días tipo del mes de abril y mayo son los siguientes:

**Tabla 8:** Valores de irradiancia por ensayo, mes y día

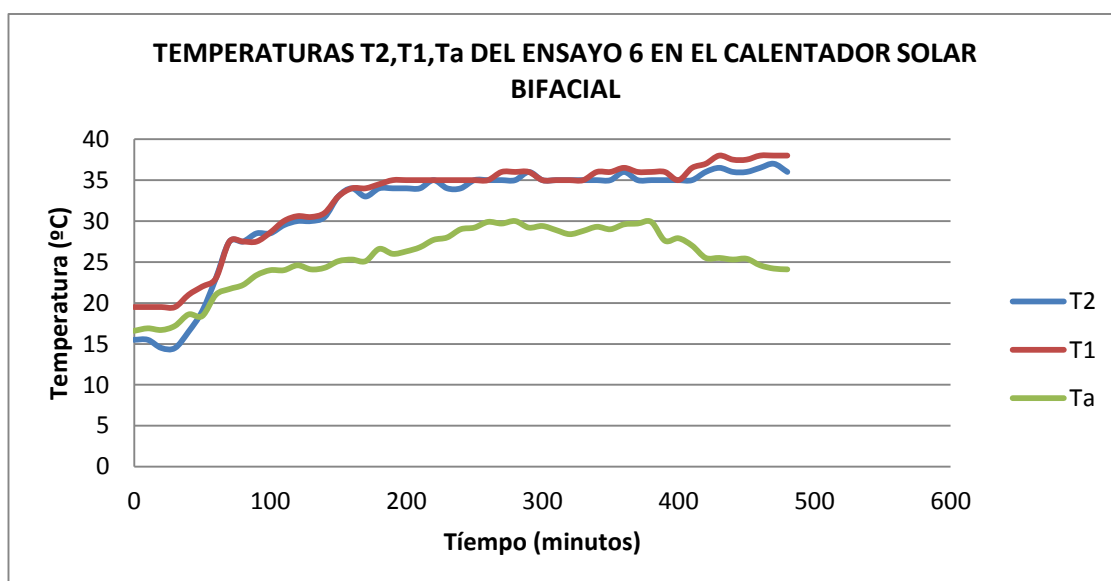
ENSAYOS	IRRADIANCIA GLOBAL $I_g$ (w/m <sup>2</sup> )	MES	DIA
ENSAYO 1	487,10	Abril	21
ENSAYO 2	513,16	Abril	22
ENSAYO 3	522,69	Abril	23
ENSAYO 4	513,65	Abril	24
ENSAYO 5	570,76	Abril	27
ENSAYO 6	583,53	Abril	28
ENSAYO 7	468,78	Abril	29
ENSAYO 8	398,59	Abril	30
ENSAYO 9	560,87	Mayo	4
ENSAYO 10	488,41	Mayo	5
ENSAYO 11	534,86	Mayo	6
ENSAYO 12	626,76	Mayo	7
ENSAYO 13	610,92	Mayo	8
ENSAYO 14	642,69	Mayo	11
ENSAYO 15	446,41	Mayo	12
ENSAYO 16	518,39	Mayo	13
ENSAYO 17	482,14	Mayo	14
ENSAYO 18	574,27	Mayo	15
ENSAYO 19	527,90	Mayo	18
ENSAYO 20	598,29	Mayo	19
ENSAYO 21	562,86	Mayo	20

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

Los días 28 de abril que equivale al ensayo 6 y 11 de mayo que equivale al ensayo 14 son los días que tuvieron la irradiancia global alta de acuerdo al promedio realizado a los valores tomados cada 10 minutos durante 8 horas de 8:00 am a 16:00 pm

### ENSAYO N° 6

#### 1. TEMPERATURAS T2, T1, Ta



**Figura 84:** Temperaturas T2,T1,ta del ensayo 6 en el calentador solar bifacial

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

#### **T2:**

Temperatura máxima de 38 ° C, minuto 460, 15:40 horas

Temperatura mínima de 14,5 ° C, minuto 20, 8:20 horas

#### **T1:**

Temperatura máxima de 38 ° C, minuto 470, 15:50 horas

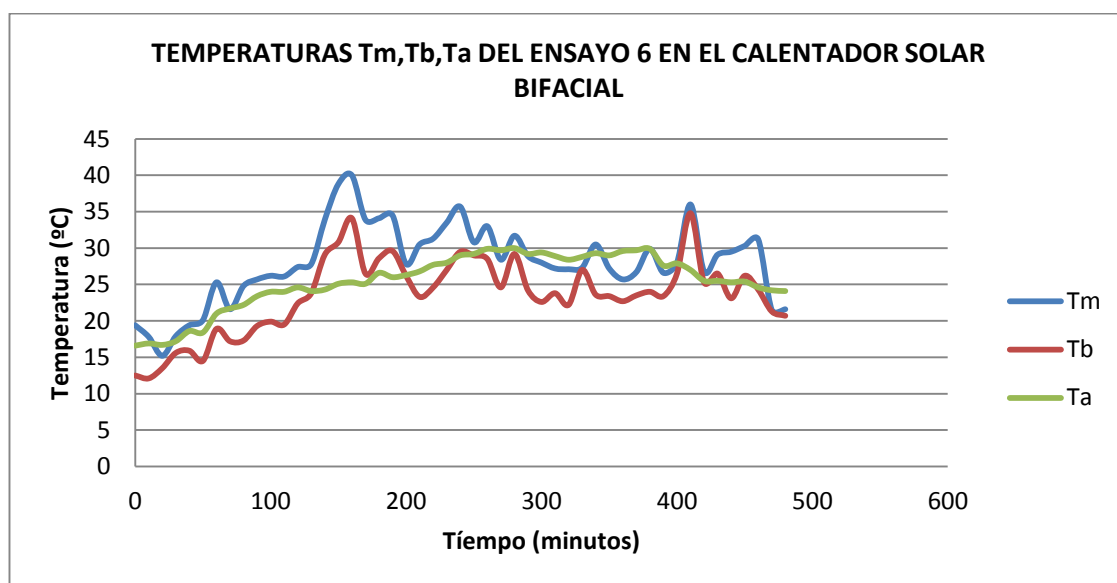
Temperatura mínima de 18,6 ° C, minuto 40, 8:40 horas

**Ta:**

Temperatura máxima de 30 ° C, minuto 280, 12:40 horas

Temperatura mínima de 16,9 ° C, minuto 10, 8:10 horas

## 2. TEMPERATURAS Tm, Tb, Ta



**Figura 85:** Temperaturas Tm,Tb,Ta del ensayo 6 en el calentador solar bifacial

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

**Tm:**

Temperatura máxima de 40 ° C, minuto 160, 10:40 horas

Temperatura mínima de 16,9 ° C, minuto 10, 8:10 horas

**Tb:**

Temperatura máxima de 34,8 ° C, minuto 410, 14:50 horas

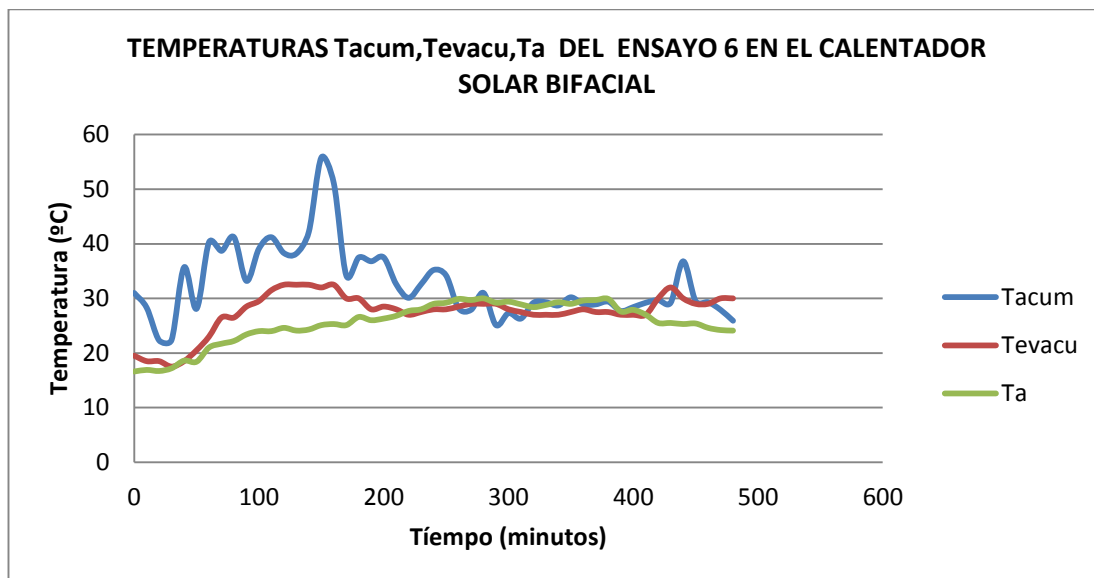
Temperatura mínima de 12,1 ° C, minuto 10, 8:10 horas

**Ta:**

Temperatura máxima de 29,7 ° C, minuto 370, 14:10 horas

Temperatura mínima de 16,7 ° C, minuto 20, 8:20 horas

## 3. TEMPERATURAS Tacum, Tevacu, Ta



**Figura 86:** Temperaturas Tacum, Tevacu, ta del ensayo 6 en el calentador solar bifacial

Fuente: (Arguello & Velasco., 2015)

**Tacum:**

Temperatura máxima de 55,8 ° C, minuto 150, 10:30 horas

Temperatura mínima de 22,3 ° C, minuto 20, 8:20 horas

**Tevacu:**

Temperatura máxima de 32,5 ° C, minuto 120, 10:00 horas

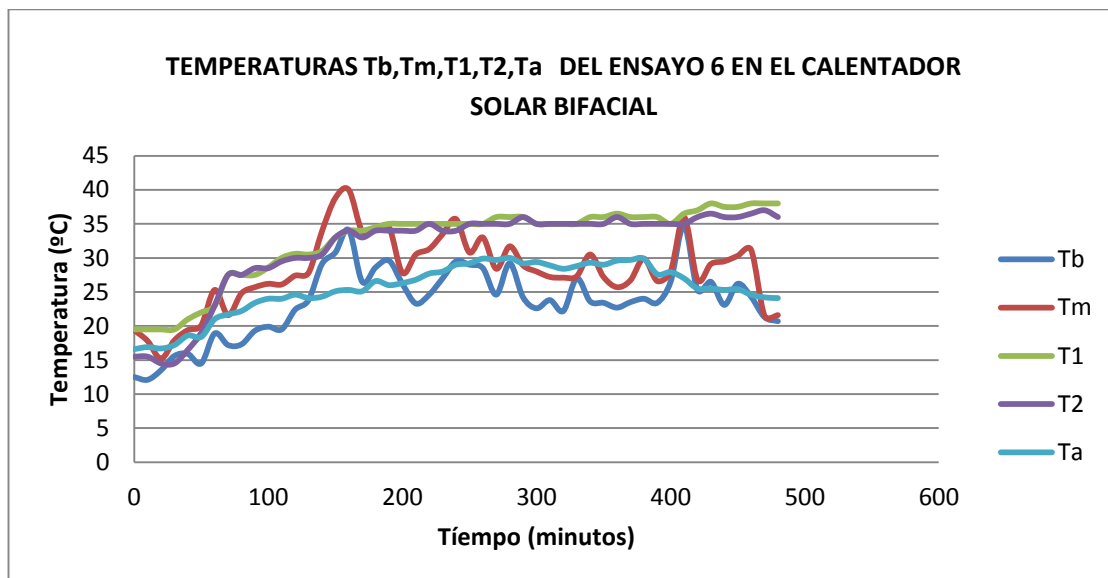
Temperatura mínima de 18,5 ° C, minuto 10, 8:10 horas

**Ta:**

Temperatura máxima de 30 ° C, minuto 280, 12:40 horas

Temperatura mínima de 18,6 ° C, minuto 40, 8:40 horas

## 4. TEMPERATURAS Tb, Tm, T1, T2, Ta



**Figura 87:** Temperaturas Tb,Tm,T1,T2,Ta del ensayo 6 en el calentador solar bifacial

Fuente: (Arguello & Velasco., 2015)

**Tb:**

Temperatura máxima de 35 ° C, minuto 410, 14:50 horas

Temperatura mínima de 12,1 ° C, minuto 10, 8:10 horas

**Tm:**

Temperatura máxima de 40 ° C, minuto 160, 10:40 horas

Temperatura mínima de 15,2 ° C, minuto 20, 8:20 horas



**T1:**

Temperatura máxima de 38 ° C, minuto 430, 15:10 horas

Temperatura mínima de 19,5 ° C, minuto 30, 8:30 horas

**T2:**

Temperatura máxima de 37 ° C, minuto 470, 15:50 horas

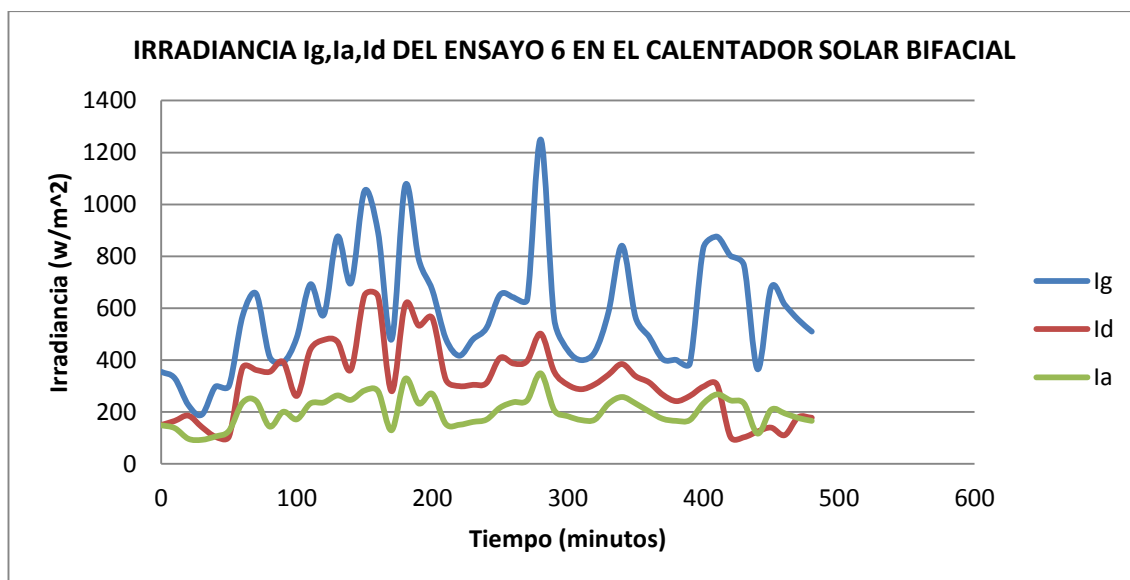
Temperatura mínima de 14,5 ° C, minuto 30, 8:30 horas

**Ta:**

Temperatura máxima de 30 ° C, minuto 280, 12:40 horas

Temperatura mínima de 16,7 ° C, minuto 20, 8:20 horas

### 5. IRRADIANCIA $I_g$ , $I_d$ , $I_a$



**Figura 88:** Irradiancia  $I_g, I_a, I_d$  del ensayo 6 en el calentador solar bifacial

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

**Ig:**

Irradiancia máxima de 1250 ( $W/m^2$ ), minuto 280, 12:40 horas

Irradiancia mínima de 190 ( $W/m^2$ ), minuto 30, 8:30 horas

**Id:**

Irradiancia máxima de 650 ( $W/m^2$ ), minuto 150, 10:30 horas

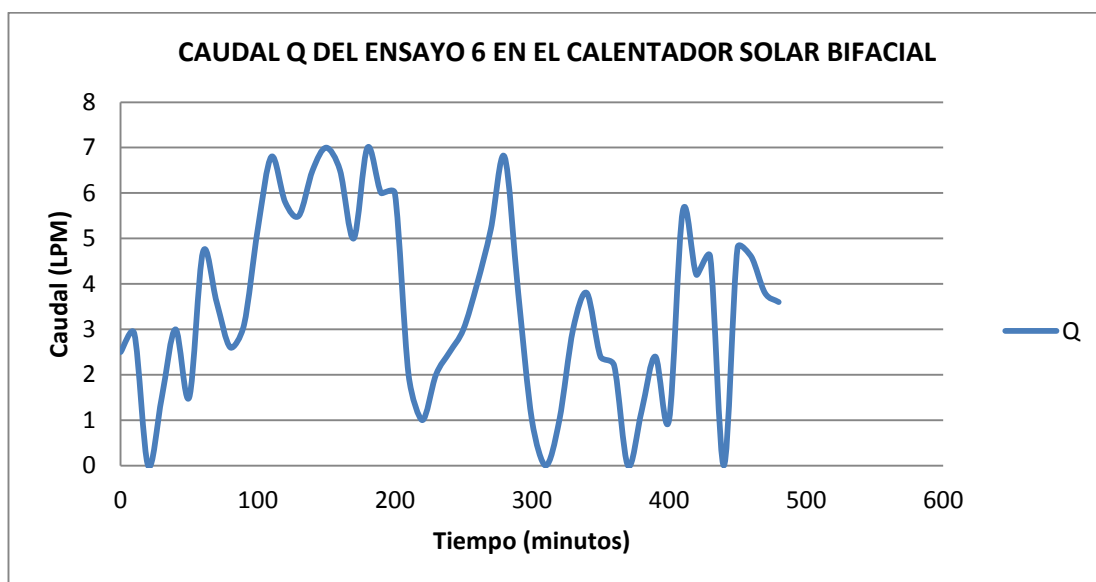
Irradiancia mínima de 104 ( $W/m^2$ ), minuto 420, 15:00 horas

**Ia:**

Irradiancia máxima de 349 ( $W/m^2$ ), minuto 280, 12:40 horas

Irradiancia mínima de 97 ( $W/m^2$ ), minuto 20, 8:20 horas

## 6. CAUDAL Q



**Figura 89:** Caudal Q del ensayo 6 en el calentador solar bifacial

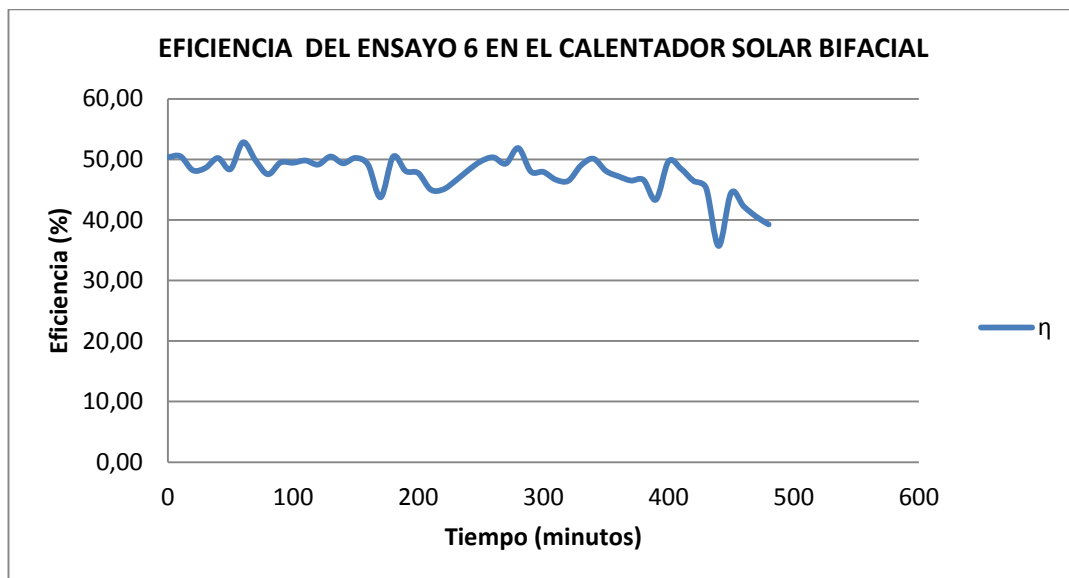
**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

**Q:**

Caudal máximo de 7 (LPM), minuto 150, 10:30 horas

Caudal mínimo de 0 (LPM), minuto 20, 8:20 horas

### 7. EFICIENCIA $\eta$



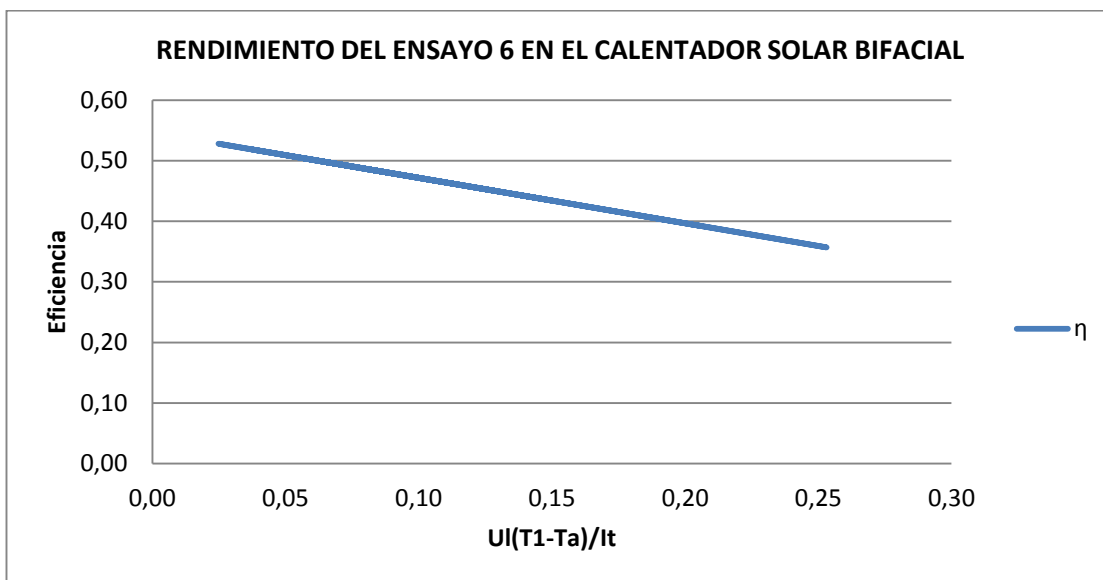
**Figura 90:** Eficiencia del ensayo 6 en el calentador solar bifacial

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

**$\eta$ :**

Eficiencia máxima de 52,81 (%), minuto 60, 9:00 horas

Eficiencia mínima de 35,69 (%), minuto 440, 15:20 horas

8. RENDIMIENTO  $UI(T_1-T_a)/I_t$ 

**Figura 91:** Rendimiento del ensayo 6 en el calentador solar bifacial

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

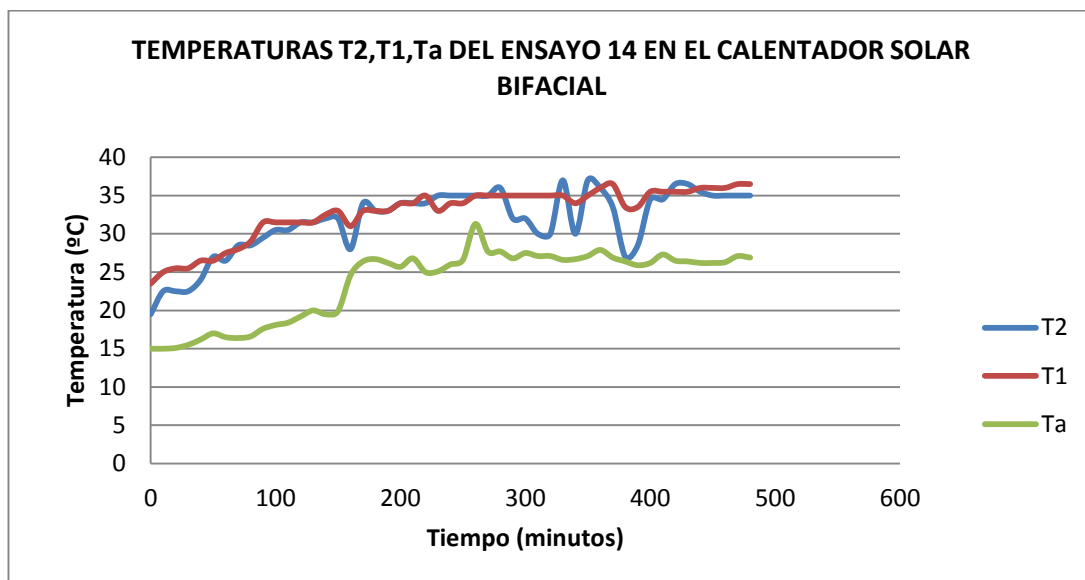
**$UI(T_1-T_a)/I_t$ :**

Rendimiento máximo de 0,53

Rendimiento mínimo de 0,36

## ENSAYO N° 14

### 1. TEMPERATURAS T2, T1, Ta



**Figura 92:** Temperaturas T2,T1,Ta del ensayo 14 en el calentador solar bifacial

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

#### **T2:**

Temperatura máxima de 37 ° C, minuto 350, 13:50 horas

Temperatura mínima de 22,5 ° C, minuto 20, 8:20 horas

#### **T1:**

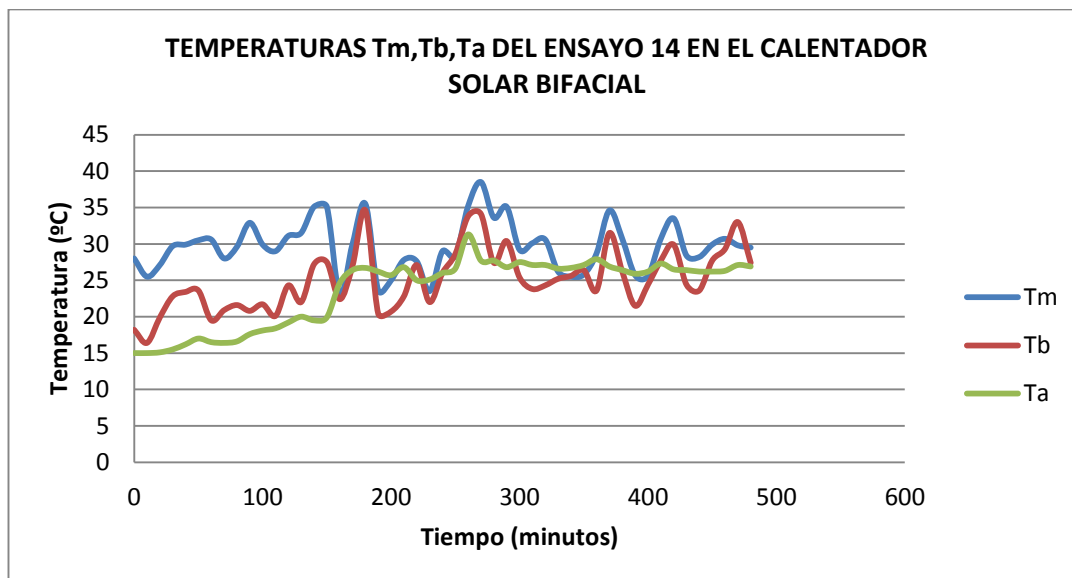
Temperatura máxima de 36,5 ° C, minuto 470, 15:50 horas

Temperatura mínima de 25,5 ° C, minuto 20, 8:20 horas

#### **Ta:**

Temperatura máxima de 31,3 ° C, minuto 260, 12:20 horas

Temperatura mínima de 15 ° C, minuto 10, 8:10 horas

2. TEMPERATURAS  $T_m$ ,  $T_b$ ,  $T_a$ 

**Figura 93:** Temperaturas  $T_m, T_b, T_a$  del ensayo 14 en el calentador solar bifacial

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

 **$T_m$ :**

Temperatura máxima de  $38,5^{\circ}\text{C}$ , minuto 270, 12:30 horas

Temperatura mínima de  $23^{\circ}\text{C}$ , minuto 160, 10:40 horas

 **$T_b$ :**

Temperatura máxima de  $34,6^{\circ}\text{C}$ , minuto 180, 11:00 horas

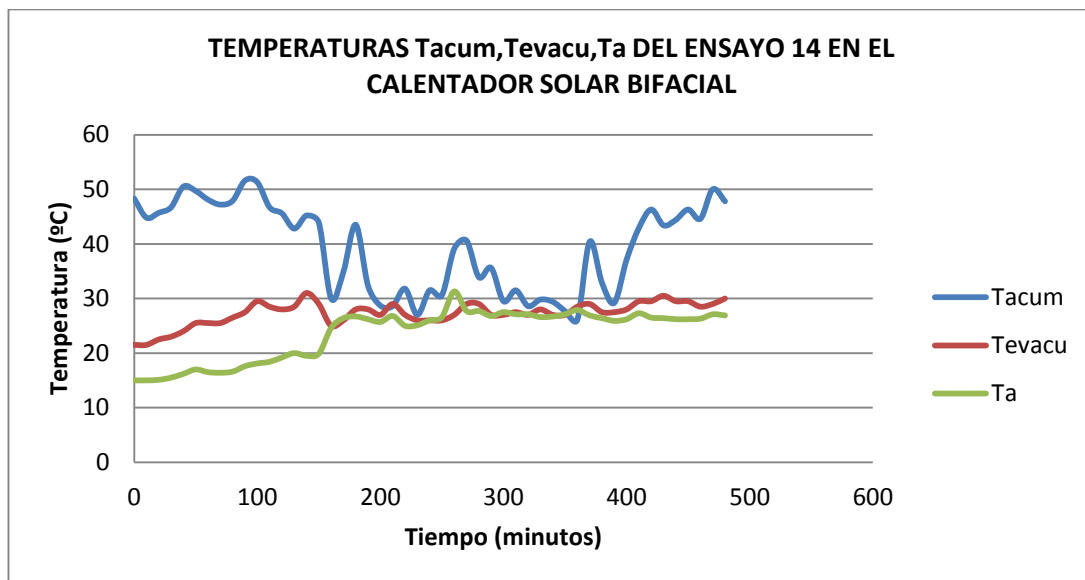
Temperatura mínima de  $16,4^{\circ}\text{C}$ , minuto 10, 8:10 horas

 **$T_a$ :**

Temperatura máxima de  $31,3^{\circ}\text{C}$ , minuto 260, 12:20 horas

Temperatura mínima de  $16,4^{\circ}\text{C}$ , minuto 70, 9:10 horas

### 3. TEMPERATURAS Tacum, Tevacu, Ta



**Figura 94:** Temperaturas Tacum, Tevacu, Ta del ensayo 14 en el calentador solar bifacial

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

#### **Tacum:**

Temperatura máxima de 51,6 ° C, minuto 90, 9:30 horas

Temperatura mínima de 26,1 ° C, minuto 360, 14:00 horas

#### **Tevacu:**

Temperatura máxima de 31 ° C, minuto 140, 10:20 horas

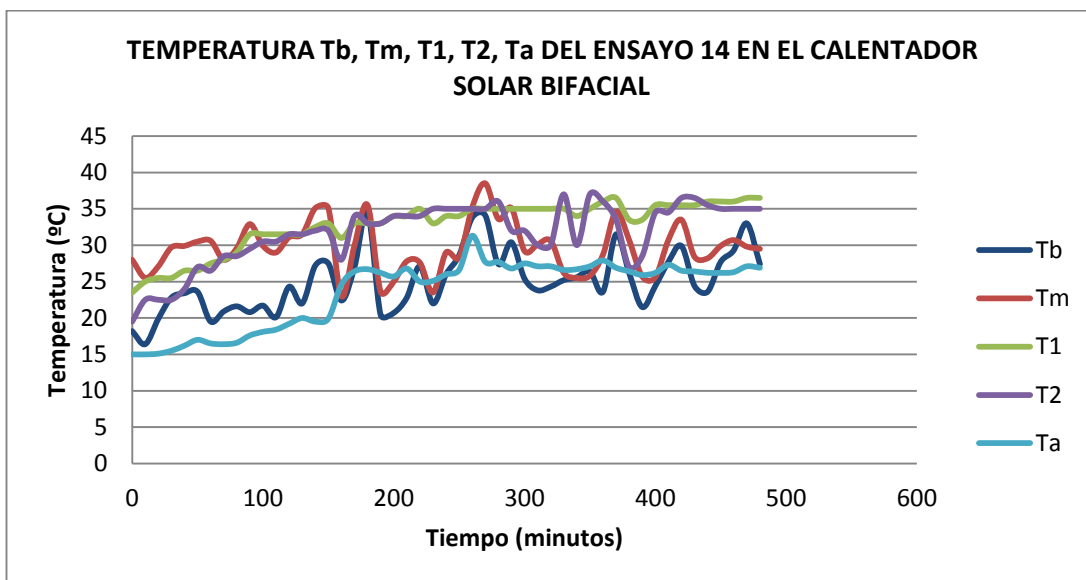
Temperatura mínima de 25 ° C, minuto 160, 10:40 horas

#### **Ta:**

Temperatura máxima de 31,3 ° C, minuto 260, 12:20 horas

Temperatura mínima de 16,6 ° C, minuto 80, 9:20 horas

## 4. TEMPERATURAS Tb, Tm, T1, T2, Ta



**Figura 95:** Temperatura Tb, Tm, T1, T2, Ta del ensayo 14 en el calentador solar bifacial

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

**Tb:**

Temperatura máxima de 34,6 ° C, minuto 180, 11:00 horas

Temperatura mínima de 16,4 ° C, minuto 10, 8:10 horas

**Tm:**

Temperatura máxima de 38,5 ° C, minuto 270, 12:30 horas

Temperatura mínima de 23 ° C, minuto 160, 10:40 horas

**T1:**

Temperatura máxima de 36,5 ° C, minuto 370, 14:10 horas



Temperatura mínima de 25,5 ° C, minuto 30, 8:30 horas

**T2:**

Temperatura máxima de 37 ° C, minuto 330, 13:30 horas

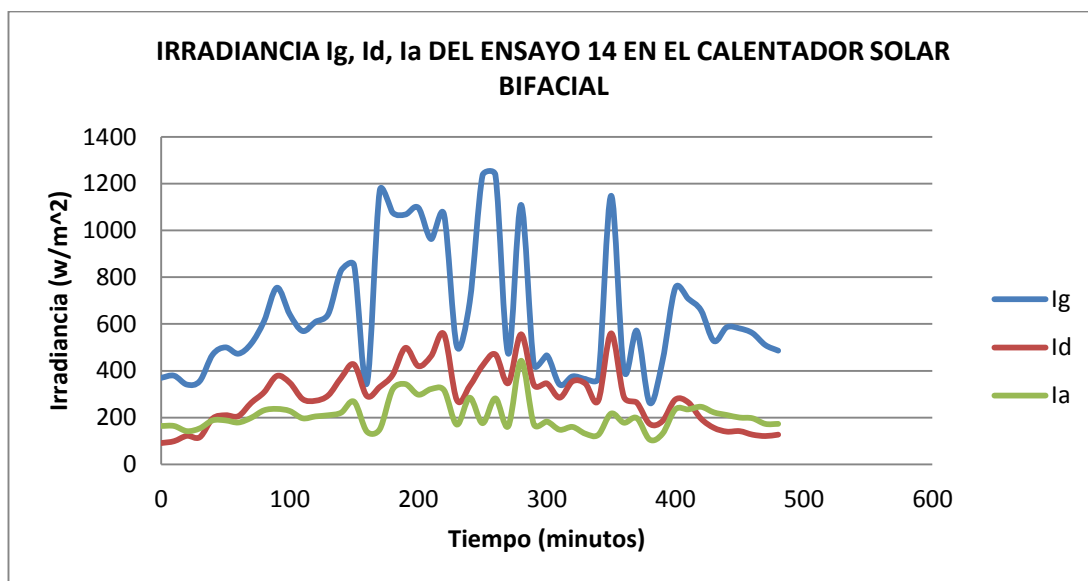
Temperatura mínima de 22,5 ° C, minuto 30, 8:30 horas

**Ta:**

Temperatura máxima de 31,3 ° C, minuto 260, 12:20 horas

Temperatura mínima de 16,6 ° C, minuto 80, 9:20 horas

#### 5. IRRADIANCIA $I_g$ , $I_d$ , $I_a$



**Figura 96:** Irradiancia  $I_g$ ,  $I_d$ ,  $I_a$  del ensayo 14 en el calentador solar bifacial

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

**$I_g$ :**

Irradiancia máxima de 1236 ( $W/m^2$ ), minuto 250, 12:10 horas

Irradiancia mínima de 263 ( $W/m^2$ ), minuto 380, 14:20 horas

**Id:**

Irradiancia máxima de 560 ( $W/m^2$ ), minuto 350, 13:50 horas

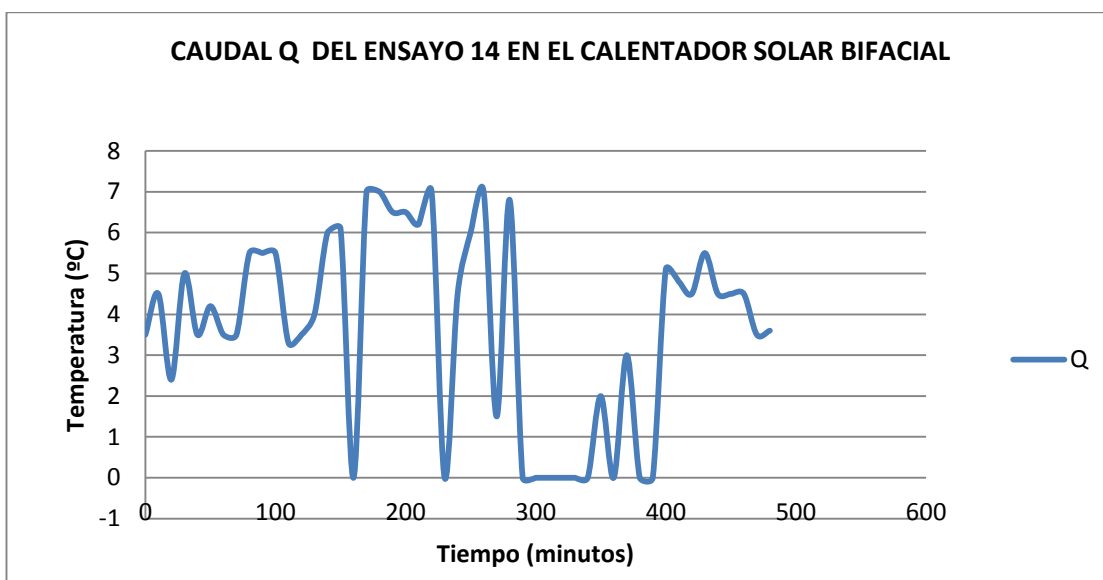
Irradiancia mínima de 116 ( $W/m^2$ ), minuto 30, 8:30 horas

**Ia:**

Irradiancia máxima de 443 ( $W/m^2$ ), minuto 280, 12:40 horas

Irradiancia mínima de 106 ( $W/m^2$ ), minuto 380, 14:20 horas

## 6. CAUDAL Q



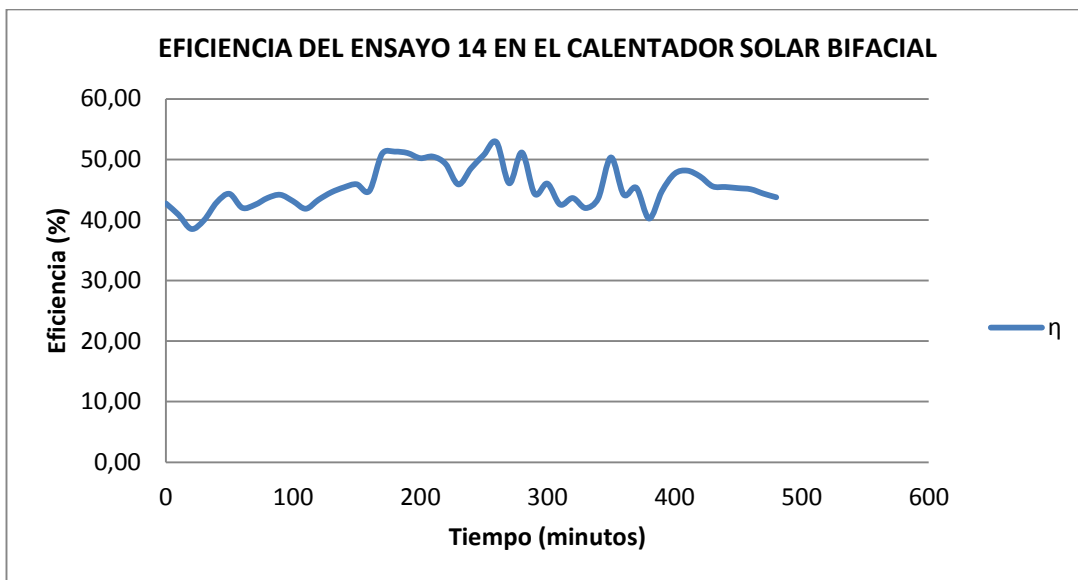
**Figura 97:** Caudal Q del ensayo 14 en el calentador solar bifacial

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

**Q:**

Caudal máximo de 7 (LPM), minuto 170, 10:50 horas

Caudal mínimo de 0 (LPM), minuto 160, 10:40 horas

7. EFICIENCIA  $\eta$ 

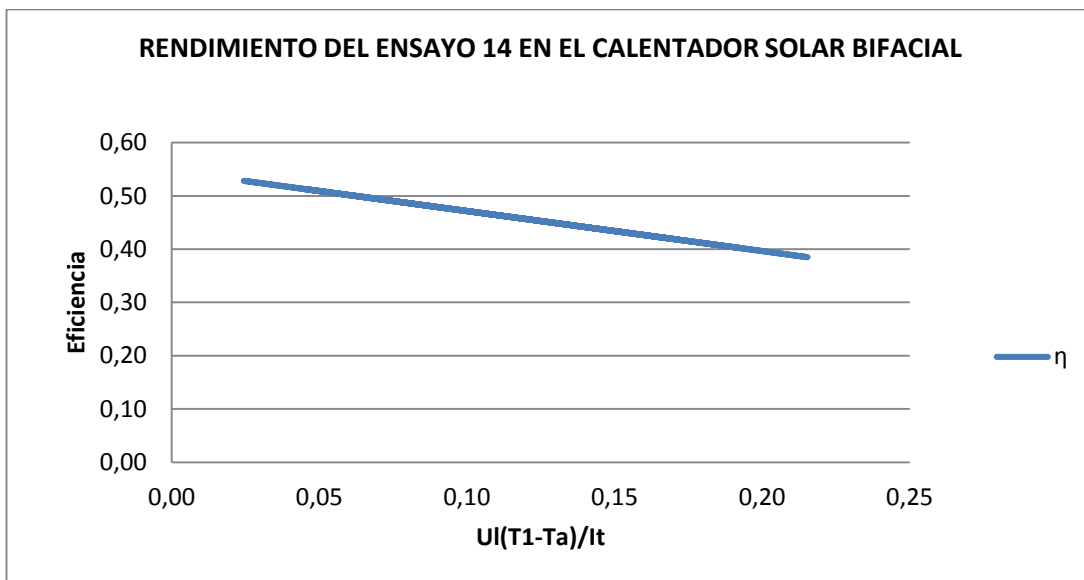
**Figura 98:** Eficiencia del ensayo 14 en el calentador solar bifacial

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

**$\eta$ :**

Eficiencia máxima de 52,85 (%), minuto 260, 12:20 horas

Eficiencia mínima de 38,53 (%), minuto 20, 8:20 horas

8. RENDIMIENTO  $UI(T_1-T_a)/I_t$ 

**Figura 99:** Rendimiento del ensayo 14 en el calentador solar bifacial

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

**$UI(T_1-T_a)/I_t$ :**

Rendimiento máximo de 0,53

Rendimiento mínimo de 0,39

## 6.6. PROYECCIONES FUTURAS

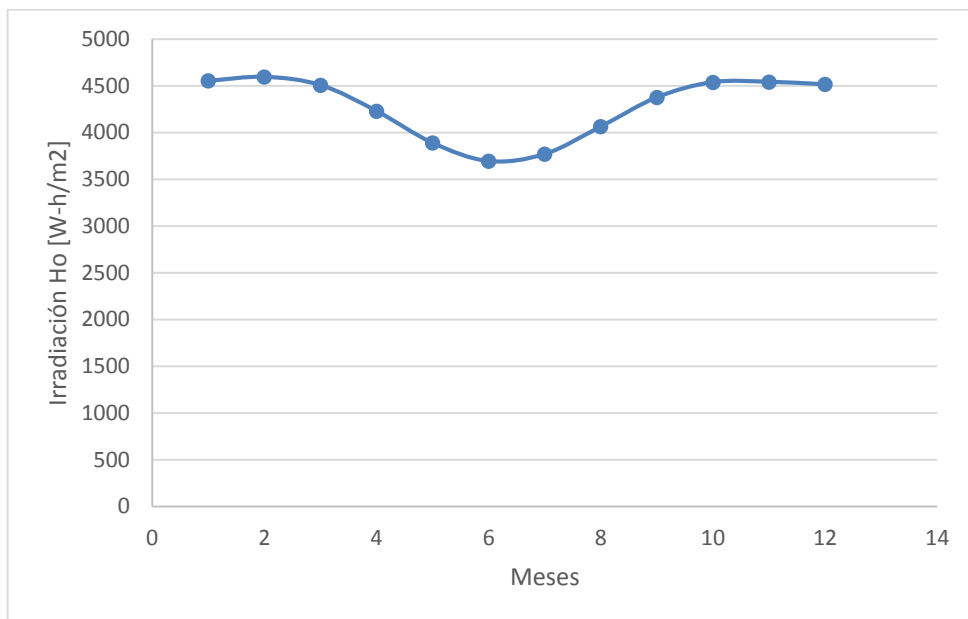
Las proyecciones futuras de este proyecto es el incentivar al ser humano a utilizar la energía solar ya que en este plan queda demostrado dos aplicaciones de las varias que se pueden realizar con esta fuente como son:

- A través de colectores solares, la radiación solar se la utiliza para calentar agua (calentador solar bifacial)
- La radiación solar se transformó en energía eléctrica mediante un panel fotovoltaico de esta manera se hace funcionar a la bomba que recircula el agua

De esta manera se evita el calentamiento global de la tierra ya que en un futuro no muy lejano se dejara de utilizar los combustibles fósiles como principal fuente de energía primaria.

Con esta idea o pensamiento plasmado se quiere también estimular a las personas sobre el reciclaje de botellas de plástico, reduciendo así la basura que estas generan al medio ambiente; estas botellas pueden ser aprovechadas de mejor manera como se lo hizo en este proyecto al generar el efecto invernadero dentro de ella por la radiación del sol y transmitiéndolo a la manguera, a su vez absorbiendo calor el agua que pasa por ella obteniendo así agua caliente.

El calentador solar bifacial tuvo una eficiencia promedio en los 21 ensayos elaborados de 46,47 % este valor se lo obtuvo tomando datos desde el 21 de abril hasta el 20 de mayo los cuales fueron meses no favorables ya que se produjeron lluvias y nubosidades. Además la irradiación comienza a decaer en los meses de abril, mayo y junio como se indica en la figura.



**Figura 100:** Variación de la Irradiación Global Directa con respecto a los meses del año

**Fuente:** (Arguello & Velasco., 2015)

Para proyecciones futuras en estos meses mencionados donde las condiciones no son beneficiosas se puede utilizar otros materiales complementarios a la lana animal para aislar térmicamente el tanque de almacenamiento de agua como lana de vidrio, lana mineral, espuma de resina fenólica, etc de esta manera se evita que el agua pierda calor y tenga una eficiencia superior el calentador solar bifacial.

## **CAPITULO VII**

### **ANALISIS ECONOMICO Y FINANCIERO**

#### **7.1. ANALISIS ECONOMICO**

##### **DETERMINACIÓN DE COSTOS**

Para el desarrollo y la construcción del presente proyecto se utilizó diversos materiales y herramientas. Los costos se encuentran subdivididos en costos de materiales, mano de obra y otros costos.

##### **MATERIALES**

A continuación se presentan los costos de los materiales utilizados en el colector bifacial y en el tanque acumulador.

Para el colector bifacial se utilizaron los siguientes materiales:

**Tabla 9:** Materiales utilizados para la construcción del colector bifacial

ITEM	DETALLE	CANTIDAD	VALOR	
			C/U	TOTAL
1	Ángulo 30 x 3 mm	1	11,17	11,17
2	Diluyente Thiñer Acrílico 1 gl	1	18,20	18,20
3	Botella PET 1,35 l	250	0,05	12,50
4	Perno M4x25	8	0,49	3,92
5	Pintura Alto Tráfico Acrílica Blanca 1 gl	1	29,76	29,76
6	Plancha Acrílica Cristal 1160 x 1800 x 4 mm	2	199,97	399,94
7	Rodillo de Felpa 4"	1	4,03	4,03
8	Tubo Redondo 1" x 2 mm	1	8,00	8,00
9	Tubo Redondo 1 1/4" x 2 mm	1	12,65	12,65
			<b>TOTAL</b>	<b>500,17</b>

El valor total para la construcción del colector bifacial es de 500,17 dólares.

Para el tanque acumulador se utilizaron los siguientes materiales:

**Tabla 10:** Materiales utilizados para la construcción del tanque acumulador

ITEM	DETALLE	CANTIDAD	VALOR	
			C/U	TOTAL
1	Ángulo 20 x 3 mm	1	7,62	7,62
2	Ángulo 30 x 3 mm	1	11,17	11,17
3	Lana de Borrego	5	8,00	40,00
4	Perno M5x0,8x20	4	0,59	2,36
5	Perno M5x0,8x50	2	0,69	1,38
6	Plancha 2 mm	1	64,20	64,20
7	Platina 19 x 3 mm	1	4,66	4,66
8	Regatones Cuadrados 30x30	4	0,24	0,96
9	Tanque PVC 600 l	1	150,21	150,21
10	Tee 30 x 3 mm	1	12,44	12,44
11	Tool Galvanizado 1/16"	2	36,65	73,30
12	Tubo Cuadrado 40 x 40 x 2 mm	2	15,40	30,80
13	Tubo Rectangular 40 x 20 x 1,5 mm	1	9,43	9,43
14	Tubo Rectangular 50 x 25 x 1,5 mm	1	11,69	11,69
15	Varilla Redonda Lisa 1/2"	1	7,31	7,31
			<b>TOTAL</b>	<b>427,53</b>



El valor total para la construcción del tanque acumulador es de 427,53 dólares.

Para la instalación del sistema hidráulico se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

**Tabla 11:** Materiales y equipos utilizados para la instalación del sistema hidráulico

ITEM	DETALLE	CANTIDAD	VALOR	
			C/U	TOTAL
1	Abrazadera Acero Inoxidable 10-22 x 12 7 mm	2	0,56	1,12
2	Adaptador para Tanque 1/2"	2	1,12	2,24
3	Adaptador para Tanque 1 1/2"	1	11,07	11,07
4	Bomba Electrosumergible 12 V, 500 GPH 25D	1	40,00	40,00
5	Bushing Reductor 3/4" x 1/2"	1	0,20	0,20
6	Bushing Reductor 1 1/4" x 3/4"	2	0,84	1,68
7	Cable Sucre 2 x 12 AWG	3	1,58	4,74
8	Rotámetro	1	50,00	50,00
9	Codo HH 90° 1/2"	1	0,46	0,46
10	Codo MH 90° 1/2"	1	0,90	0,90
11	Llave para Manguera de Bronce 1/2"	1	4,93	4,93
12	Manguera PVC 3/4" x 100 m	1	55,33	55,33
13	Medidor de Temperatura Análogo	3	30,00	90,00
14	Neplo 1/2" x 10 cm	2	0,40	0,80
15	Neplo 3/4" x 6 cm	1	0,55	0,55
16	Neplo 3/4" x 10 cm	1	0,39	0,39
17	Neplo Flex 3/4"	2	0,48	0,96
18	Neplo Tuerca 1/2"	1	0,36	0,36
19	Panel Solar	1	160,00	160,00
20	Sella Rosca IPS	1	3,53	3,53
21	Taípe Eléctrico 10Y Negro	1	0,43	0,43
22	Tee 1/2"	2	0,55	1,10
23	Tee 3/4"	1	1,10	1,10
24	Teflon Aleman 1/2"	2	0,55	1,10
25	Tubo PVC Roscable 1/2"	1	0,78	0,78
26	Unión RR 1/2"	2	0,50	1,00
27	Unión RR 3/4"	1	0,71	0,71
28	Unión Universal 1/2"	1	1,02	1,02
			<b>TOTAL</b>	<b>436,50</b>

Fuente: (Arguello & Velasco., 2015)

El valor total para la instalación del sistema hidráulico es de 436,50 dólares.

## MANO DE OBRA

**Tabla 12:** Mano de Obra

ITEM	DETALLE	VALOR
1	Construcción del Colector Bifacial	460,00
	Construcción del Tanque	
2	Acumulador	200,00
3	Instalación Hidráulica	60,00
	TOTAL	720,00

El valor total de la mano de obra es de 720 dólares.

El costo total del proyecto es el siguiente:

**Tabla 13:** Costo Total

ITEM	DETALLE	VALOR
1	Colector Bifacial	500,17
2	Tanque Acumulador	427,53
3	Sistema Hidráulico	436,50
4	Mano de Obra	720,00
	TOTAL	2084,20

## 7.2. ANALISIS FINANCIERO PARA MODELOS DE PRODUCCION EN SERIE

Para realizar este análisis vamos a suponer que se la instalación es para una pequeña comunidad de 50 personas lo que aproximadamente nos daría 10 calentadores bifaciales. Es importante tener en cuenta que la los colectores se pueden instalar de forma que una sola manguera circule por todos los colectores.

El costo total del calentador bifacial es de 2085 dólares americanos, sin embargo, este valor puede variar ya que debido a la investigación que realizamos se

tuvo que utilizar materiales que elevaron el costo del mismo, es decir, se podría darle un menor costo. A comparación de otros calentadores, por ejemplo uno importado puede llegar a costar hasta unos USD 2500, mientras que con este sistema en el mejor de los casos sin la implementación de materiales utilizados para la investigación el costo puede ser de hasta USD 250.

En este caso vamos a utilizar nuestro modelo para el estudio financiero tomando en cuenta los siguientes costos:

**Tabla 14:** Valor total para una producción en serie de 10 unidades

ITEM	DETALLE	VALOR	Cantidad	TOTAL
1	Colector Bifacial	500,00	10	5000
	Tanque			
2	Acumulador	630,00	5	3150
3	Sistema Hidráulico	500,00	5	2500
4	Mano de Obra	700,00	10	7000
<b>TOTAL</b>				<b>17650</b>

Para la instalación de los tanques, se utilizaría uno de 1100 litros para abastecer a dos familias, en este caso un tanque iría conectado a dos colectores bifaciales.

Como se dijo anteriormente por la utilización de materiales reciclados y otros para la construcción de la estructura e instrumentos para medición, los costos pueden variar.

Con el objetivo de concientizar a las personas de utilizar materiales reciclados y evitar la contaminación, cualquier persona puede realizar la instalación y el funcionamiento de este prototipo, de esta forma se ahorraría gran cantidad de dinero.

Hay comunidades que no disponen de un sistema de calentamiento para el agua por lo que sería importante capacitar a varias de estas poblaciones a que disfruten de un sistema amigable con la naturaleza todo el tiempo.

## CAPITULO VIII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 8.1. CONCLUSIONES

- Se realizó la investigación, diseño y construcción de un calentador solar bifacial con capacidad de calentamiento de agua de 600 litros, el cual se lo implemento y valido en el laboratorio de energías renovables para el aprendizaje de futuras generaciones acerca de la importancia de las aplicaciones de la energía solar ya que esta cubre apenas el 0.2% de la demanda global de energía
- Se establecieron las características del calentador solar bifacial es decir la forma del colector , los materiales y las diferentes irradiancias alcanzando en días tipo en el mes de abril la global de 583.53 (W/m<sup>2</sup>) y en el mes de mayo la global de 642.69 (W/m<sup>2</sup>) ; de esta manera se aprovecha la energía solar en el efecto invernadero producido en el interior del colector y el reflejo de la radiación incidente en la superficie

- Definimos los parámetros de diseño del calentador solar bifacial en base a la forma del colector, estableciendo así los modelos matemáticos y el balance energético en la cubierta y en el tubo de polietileno obteniendo temperaturas teóricas de  $25.961^{\circ}\text{C}$  en la cubierta y  $26.879^{\circ}\text{C}$  en el tubo y en el sentido longitudinal estacionario se determinó una temperatura del fluido de  $25.45^{\circ}\text{C}$
- La temperatura máxima del agua de evacuación para el consumo de las personas en el calentador solar bifacial fue de  $33,5^{\circ}\text{C}$  cumpliendo los límites teóricos en un inicio de  $(18 \text{ a } 42)^{\circ}\text{C}$
- La eficiencia promedio de los 21 ensayos elaborados fue de  $46,47\%$ , se obtiene este dato en meses que no fueron los ideales como abril y mayo para el calentamiento del agua debido a las complicaciones que se dieron en la toma de datos como nubosidades en la bóveda celeste y lluvias afectando así la eficiencia del mismo

## **8.2. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda a los estudiantes aprovechar los materiales reciclados para el desarrollo de proyectos relacionados con la energía solar, incentivar a la comunidad a la protección del medio ambiente y buscar nuevas soluciones energéticas.
- Para la construcción del calentador solar bifacial, se recomienda la utilización de botellas PET de 1,35 litros ya que presenta una geometría uniforme que permite la absorción de calor y de mejor manera el efecto invernadero para transferir a la manguera.
- Es importante realizar el mantenimiento del tanque acumulador por lo que se recomienda realizar una limpieza interna para evitar la presencia de bacterias

y sedimentos. De igual forma cambiar constantemente la lana de borrego o en un mejor caso sustituirlo por fibra de vidrio.

- Las botellas tienen un promedio de vida de 20 años, es importante que se realice una limpieza interna de las botellas ya que debido a la humedad acumulada pueden deteriorarse y afectar al calentamiento de agua.
- Para aprovechar de mejor manera el calentamiento se puede utilizar una bomba que permita el flujo continuo del agua ya que al utilizar una bomba conectada al panel se puede obtener disminución de la temperatura debido al clima.

## BIBLIOGRAFIA

Arguello, & Velasco., 2. (2015). CALENTADOR SOLAR BIFACIAL.

*Astronomía.* (2015). Obtenido de [www.astromia.com](http://www.astromia.com)

*Atlas de Insolación.* (2008). Obtenido de Atlas de insolacion – CIE 2008

*Bomba de Achique.* (2012). Obtenido de [store.waterpumpsupply.com](http://store.waterpumpsupply.com)

*Cambio Climático.* (2010). Obtenido de [www.cambioclimatico.minam.gob.pe](http://www.cambioclimatico.minam.gob.pe)

*Diagrama de Moody.* (1982). Obtenido de [mecanicafluidosfcquach.blogspot.com](http://mecanicafluidosfcquach.blogspot.com)

*es.wikipedia.org.* Obtenido de [es.wikipedia.org](http://es.wikipedia.org):

[http://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n\\_solar](http://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_solar)

*Flujos de Energía entre el sol y la tierra.* (2005). Obtenido de [fjerrer.webs.ull.es](http://fjerrer.webs.ull.es)

INAMHI. (2015). *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.*

Incropera, F. P., & Witt, D. P. (1999). *Transferencia de calor.*

Inenco, U. –C. (2008). *Colectores Solares para agua caliente.*

*Interempresas.* (2015). Obtenido de [www.interempresas.net](http://www.interempresas.net)

*INTRUMENTOS DE MEDICION DE RADIACION SOLAR.* (11 de 12 de 2012). Obtenido de [ocw.unia.es](http://ocw.unia.es)

*Manguera de Polietileno.* (2015). Obtenido de [www.easy.cl](http://www.easy.cl)

NASA. (2015). DATOS DE RADIACION.

Page, A. (1975). IRRADIACION GLOBAL DIRECTA.

Relacion con la Irradiacion . (1999). En D. P. Frank P. Incropera, *Fundamentos de Transferencia de Calor* (págs. 642-643).

*Sitio Solar.* (2013). Obtenido de [www.sitiosolar.com](http://www.sitiosolar.com)

*Solaico.* (2015). Obtenido de [www.solaico.com](http://www.solaico.com)

*Terma Solar.* (2010). Obtenido de [www.termasolar.com](http://www.termasolar.com)

*Thefabricator.* (2015). Obtenido de [www.thefabricator.com](http://www.thefabricator.com)

*Tipos de Colectores Solares.* (2015). Obtenido de [www.procomit.cl](http://www.procomit.cl)



UBICACION-LATITUD. (2015).

*Vitutor*. (2014). Obtenido de [www.vitutor.com](http://www.vitutor.com)

[www.aq.upm.es](http://www.aq.upm.es). Obtenido de [www.aq.upm.es](http://www.aq.upm.es):

[www.aq.upm.es/Departamentos/Fisica/UD-fisica/RADIACIONweb.doc](http://www.aq.upm.es/Departamentos/Fisica/UD-fisica/RADIACIONweb.doc)

[www.sitiosolar.com](http://www.sitiosolar.com). [www.sitiosolar.com](http://www.sitiosolar.com).

[www.uclm.es](http://www.uclm.es).

**ANEXO A**

**IRRADIACION SOLAR TABLA Y MAPA DEL ECUADOR**

**ANEXO B****TABLAS DE HELIOFANIA EFECTIVA MENSUAL DE IZOBAMBA,  
QUITO Y TUMBACO**

**ANEXO C**

**DIAGRAMAS Y ESPECIFICACIONES DE LA BOMBA DE AGUA**

**ANEXO D**

**PROCESOS DE FABRICACION DEL COLECTOR Y SOPORTES**

**ANEXO E**

**TABLAS DE DATOS DE CADA ENSAYO DEL 1 AL 21 EN ORDEN Y  
GRAFICAS DE LAS VARIABLES UTILIZADAS**

**ANEXO F****TABLA DE LAS PROPIEDADES TERMOFISICAS DEL AIRE**

**ANEXO G****PLANOS**



**ANEXO H**

**FOTOGRAFIAS**