



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“ESTUDIO Y EXPERIMENTACIÓN DE LA EFICIENCIA
ENERGÉTICA DE UN CALENTADOR DE AGUA DOMICILIARIO,
CONSTRUIDO PARCIALMENTE CON MATERIAL RECICLADO
DE NEUMÁTICOS, PARA UNA CAPACIDAD DE 50 LTR”**

**JANETH CARINA ANDRADE MOROCHO
EDISON MEDARDO AGUALSACA JANETA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2018

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN**

2018-04-23

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

ANDRADE MOROCHO JANETH CARINA

Titulado:

**“ESTUDIO Y EXPERIMENTACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE
UN CALENTADOR DE AGUA DOMICILIARIO, CONSTRUIDO
PARCIALMENTE CON MATERIAL RECICLADO DE NEUMÁTICOS,
PARA UNA CAPACIDAD DE 50LTR”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERA MECÁNICA

Ing. Carlos José Santillán Mariño.
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez
DIRECTOR

Ing. Telmo Jesús Moreno Romero
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN**

2018-04-23

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

AGUALSACA JANETA EDISON MEDARDO

Titulado:

**“ESTUDIO Y EXPERIMENTACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE
UN CALENTADOR DE AGUA DOMICILIARIO, CONSTRUIDO
PARCIALMENTE CON MATERIAL RECICLADO DE NEUMÁTICOS,
PARA UNA CAPACIDAD DE 50LTR”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos José Santillán Mariño.
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez
DIRECTOR

Ing. Telmo Jesús Moreno Romero
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ANDRADE MOROCHO JANETH CARINA

TRABAJO DE TITULACIÓN: “ESTUDIO Y EXPERIMENTACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN CALENTADOR DE AGUA DOMICILIARIO, CONSTRUIDO PARCIALMENTE CON MATERIAL RECICLADO DE NEUMÁTICOS, PARA UNA CAPACIDAD DE 50LTR”

Fecha de Examinación: 2019-02-04

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marcelo Jácome. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez. DIRECTOR			
Ing. Telmo Jesús Moreno Romero. MIEMBRO			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marcelo Jácome.
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: AGUALSACA JANETA EDISON MEDARDO

TRABAJO DE TITULACIÓN: “ESTUDIO Y EXPERIMENTACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN CALENTADOR DE AGUA DOMICILIARIO, CONSTRUIDO PARCIALMENTE CON MATERIAL RECICLADO DE NEUMÁTICOS, PARA UNA CAPACIDAD DE 50LTR”

Fecha de Examinación: 2019-02-04

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marcelo Jácome. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez. DIRECTOR			
Ing. Telmo Jesús Moreno Romero. MIEMBRO			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marcelo Jácome..
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Andrade Morocho Janeth Carina

Agualsaca Janeta Edison Medardo

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Andrade Morocho Janeth Carina y Agualsaca Janeta Edison Medardo, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación.

Andrade Morocho Janeth Carina
Cédula de Identidad: 060425825-1

Agualsaca Janeta Ediosn Medardo
Cédula de Identidad: 060609219-5

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación, esta dedicado a un hombre muy especial en mi vida, quien fue muestra de humildad, bondad y heroicidad, mi abuelito Manuel Honorato Andrade, y aunque Dios decidió llevárselo a su lado hace ya mucho tiempo, se que nunca dejo de protegerme y guiarme.

También me permito dedicar esta tesis a mi hermano mayor, Luis Andrade Guamán pues no solo estuvo en mi vida como un hermano, si no también como un amigo, un confidente, un padre, etc. De igual manera el presente proyecto de titulación va dedicado a mi hermanito especial Antonio Andrade Morocho, pues el siempre supo brindarme una sonrisa, además de llenar mi vida de alegría y felicidad.

Dedico también mi tesis, a mi amado esposo el Ing. Joel Lliguay, pues además de apoyarme y ayudarme incondicionalmente, ha sabido entregarme su amor y cariño sincero, brindándome lo mejor de su ser.

Finalmente y no por ello menos importante, le dedico esta proyecto de titulación a mi madre Rosa Morocho y a mi padre Germán Andrade, pues sin su apoyo y colaboración no habría sido posible culminar mi carrera.

Andrade Morocho Janeth Carina

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico a mi madre Margarita, por ser el pilar más importante de mi vida y por mostrarme siempre su amor y apoyo incondicional sin importar mis aciertos o errores, sé que para ti mamá siempre seré el número uno “gracias por todo mami te amo”. A mi padre Asencio por su apoyo y sus consejos que me ha inculcado a lo largo de la vida, por enseñarme los valores esenciales para una persona de bien. A mis hermanas Alexandra y Marisol por estar siempre presente acompañándome, escuchándome y apoyándome en todo momento.

A mis sobrinas y sobrino Mayli, Mayleni y Alan que con sus sonrisas son la alegría de la casa. A mis abuelitos, tíos, primos, cuñados en si a toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y me ayudan de una u otra forma a cumplir las metas trazadas. Gracias por todo Dios les bendiga.

Agualsaca Janeta Edison Medardo

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por nunca haberme abandonado en mis batallas, pues era yo quien olvidaba que a pesar de todo el me siguió protegiéndome, y fue gracias a su amor y a los diferentes obstáculos que puso en mi vida, que pude aprender, corregir mis errores, y hacer de mi una mejor mujer.

También deseo expresar un agradecimiento especial a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por haberme permitido entrar a sus aulas y compartir conmigo sus conocimientos, finalmente agradezco al Ing. Edwin Viteri y al Ing. Telmo Moreno, pues fue gracias a su guía, su paciencia y sus conocimientos, que se pudo realizar el presente proyecto.

Andrade Morocho Janeth Carina

Quiero expresar mi gratitud a Dios por todas las bendiciones que me ha dado en mi vida, también agradezco a todos mis profesores de la Escuela de Ingeniería Mecánica por compartirme sus conocimientos, los cuales me ayudaron a crecer día a día como profesional, agradezco especialmente al Ing. Edwin Viteri e Ing. Telmo Moreno quienes con su conocimiento, dirección, enseñanza y colaboración, permitieron desarrollar y finalizar este trabajo.

Agualsaca Janeta Edison Medardo

CONTENIDO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

Pág.

CAPITULO I

1.	MARCO REFERENCIAL.....	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Formulación del problema.....	2
1.3	Justificación.....	4
1.3.1	<i>Justificación técnica.....</i>	<i>4</i>
1.3.2	<i>Justificación metodológica.....</i>	<i>4</i>
1.3.3	<i>Justificación práctica.....</i>	<i>4</i>
1.5.1	<i>Objetivo general.....</i>	<i>5</i>
1.5.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>5</i>

CAPITULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	6
2.1	Situación Meteorológica.....	6
2.1.1	<i>Topografía.....</i>	<i>6</i>
2.1.2	<i>Temperatura.....</i>	<i>6</i>
2.1.3	<i>Heliofanía (energía solar).....</i>	<i>7</i>
2.1.4	<i>Viento.....</i>	<i>8</i>
2.1.5	<i>Punto de rocío.....</i>	<i>9</i>
2.2	Neumáticos fuera de uso (NFU).....	10
2.2.1	<i>Antecedentes a nivel mundial.....</i>	<i>10</i>
2.2.2	<i>Antecedentes en el país.....</i>	<i>11</i>
2.2.3	<i>Normativa aplicable a la gestión de NFU en Ecuador.....</i>	<i>12</i>
2.2.4	<i>Gestión y manejos de los NFU en el Ecuador.....</i>	<i>12</i>
2.2.5	<i>Composición de un neumático.....</i>	<i>13</i>
2.2.6	<i>Tipos de tratamientos para los NFU.....</i>	<i>16</i>

2.3	Energía solar y aplicaciones.	17
2.4	Recurso solar energético.....	17
2.4.1	<i>Radiación Solar Incidente</i>	17
2.4.2	<i>Parámetros para determinar la posición del sol</i>	18
2.5	Irradiación solar extraterrestre.....	20
2.6	Irradiación extraterrestre horaria sobre una superficie horizontal <i>I₀</i>	21
2.6.1	<i>Cada hora índice de claridad K</i>	21
2.7	Irradiación solar total <i>I_T</i>	22
2.8	Radiación solar directa.	22
2.9	Radiación solar difusa.	23
2.10	Radiación reflejada.	23
2.11	Transferencia de calor.	24
2.11.1	<i>Conducción</i>	24
2.11.2	<i>Convección</i>	24
2.11.3	<i>Radiación</i>	25

CAPITULO III

3.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS DOS CALENTADORES Y EL TERMOTANQUE.	26
3.1	Diseño y construcción del 1ro prototipo: Colector Parabólico Compuesto “CPC”.	26
3.1.1	<i>Configuración del colector</i>	26
3.1.2	<i>Principio de Funcionamiento</i>	26
3.1.3	<i>Sistemas principales que conforman el calentador</i>	27
3.1.4	<i>Orientación del colector CPC</i>	27
3.1.5	<i>Angulo de Inclinación</i>	28
3.1.6	<i>Condiciones de diseños para un CPC</i>	28
3.1.7	<i>Diseño del perfil CPC</i>	29
3.1.8	<i>Criterios de diseño del CPC</i>	29
3.1.9	<i>Ángulo de aceptación (θ_c)</i>	29
3.1.10	<i>Parámetros Geométricos del CPC</i>	30
3.1.11	<i>Relación de concentración (<i>R_c</i>)</i>	35
3.1.12	<i>Receptor o receptor (<i>r</i>)</i>	35

3.1.13	<i>Foco (f)</i>	35
3.1.14	<i>Altura (L)</i>	36
3.1.15	<i>Truncamiento de la parábola</i>	36
3.1.16	<i>Parámetros iniciales para el dimensionamiento</i>	37
3.1.17	<i>Análisis térmico</i>	38
3.1.18	<i>Cálculo de las pérdidas del calor</i>	38
3.1.19	<i>Circuito térmico del colector CPC</i>	40
3.1.20	<i>Radiación y convección forzada en la superficie</i>	41
3.1.21	<i>Conductancia por convección en la superficie</i>	41
3.1.22	<i>Determinación del número de Grashof</i>	42
3.1.23	<i>Determinación de Nusselt</i>	43
3.1.24	<i>Determinación del factor de convección para la superficie</i>	43
3.1.25	<i>Radiación en la superficie</i>	44
3.1.26	<i>Determinación la temperatura del cielo por el método de Berdahl y Martin</i> ...44	
3.1.27	<i>Determinación del factor de radiación para la superficie</i>	45
3.1.28	<i>Resistencia en el exterior</i>	45
3.1.29	<i>Resistencia de conductividad en el vidrio</i>	46
3.1.30	<i>Radiación y convección interior</i>	46
3.1.31	<i>Conductancia por convección en el interior</i>	47
3.1.32	<i>Determinación del número de Rayleigh</i>	47
3.1.33	<i>Determinación de Nusselt utilizando la correlación de Churchill y Chu</i>	48
3.1.34	<i>Determinación del factor de convección en el interior</i>	48
3.1.35	<i>Radiación existente en el interior de la forma CPC</i>	49
3.1.36	<i>Resistencia en el interior</i>	51
3.1.37	<i>Coeficiente de pérdidas en la Cima</i>	51
3.1.38	<i>Coeficiente de pérdidas en la Base</i>	51
3.1.39	<i>Resistencia de conducción de la placa de Aluminio</i>	51
3.1.40	<i>Resistencia de conducción del Aislante</i>	52
3.1.41	<i>Resistencia de conducción del Caucho</i>	52
3.1.42	<i>Coeficiente de pérdidas en los flancos</i>	53
3.1.43	<i>Coeficiente de pérdidas total</i>	53
3.1.44	<i>Calculo de la radiación solar absorbida</i>	54
3.1.45	<i>Factor de eficiencia del colector</i>	58
3.1.46	<i>Factor de Remoción del colector</i>	61

3.1.47	<i>Eficiencia térmica de un colector CPC</i>	62
3.1.48	<i>Materiales de construcción del “CPC”</i>	62
3.1.49	<i>Cubierta</i>	62
3.1.50	<i>Material y disposición del circuito hidráulico</i>	64
3.1.51	<i>Recubrimiento del circuito hidráulico</i>	65
3.1.52	<i>Aislante térmico</i>	66
3.1.53	<i>Estructura externa</i>	66
3.1.54	<i>Recubrimiento de la estructura</i>	67
3.1.55	<i>Placa colectora u absorbadora de calor</i>	67
3.1.56	<i>Válvula</i>	68
3.2	Diseño y construcción del 2do prototipo: Calentador Solar Semiesférico “CSS”.....	68
3.2.1	<i>Configuración del colector</i>	68
3.2.2	<i>Principio de Funcionamiento</i>	69
3.2.3	<i>Orientación del colector CPC</i>	69
3.2.4	<i>Angulo de Inclinación</i>	69
3.2.5	<i>Condiciones de diseños para un CSS</i>	70
3.2.6	<i>Criterios de diseño del CSS</i>	70
3.2.7	<i>Circuito térmico del colector CSS</i>	70
3.2.8	<i>Coeficiente de pérdidas</i>	71
3.2.9	<i>Perdidas entre el tubo absorbador y la cubierta</i>	71
3.2.10	<i>Perdidas de la cubierta al ambiente</i>	72
3.2.11	<i>Cálculo del factor Fr</i>	72
3.2.12	<i>Cálculo del producto absortancia-transmitancia</i>	73
3.2.13	<i>Rendimiento</i>	74
3.2.14	<i>Materiales de construcción del “CPC”</i>	74
3.2.15	<i>Cubierta</i>	74
3.2.16	<i>Material y disposición del circuito hidráulico</i>	75
3.2.17	<i>Recubrimiento del circuito hidráulico</i>	75
3.2.18	<i>Aislante térmico</i>	76
3.2.19	<i>Estructura interna</i>	76
3.2.20	<i>Placa colectora u absorbadora de calor</i>	77
3.2.21	<i>Válvula</i>	77
3.3	Diseño y construcción del termo tanque acumulador de agua caliente.	77

3.3.1	<i>Principio de funcionamiento.....</i>	77
3.3.2	<i>Configuración hidráulica del termo tanque.....</i>	77
3.3.3	<i>Materiales de construcción del termo tanque.....</i>	79
3.3.4	<i>Tanque externo de 200 litros.....</i>	79
3.3.5	<i>Aislante térmico.....</i>	79
3.3.6	<i>Tanque interno de 120 litros.....</i>	80
3.3.7	<i>Válvulas del termo tanque.....</i>	80
3.3.8	<i>Respiradero del termo tanque.....</i>	81
3.3.9	<i>SopORTE del termo tanque.....</i>	82
3.3.10	<i>Disposición final.....</i>	82

CAPITULO IV

4.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANÁLISIS DE COSTOS.	83
4.1	Parámetros geométricos del colector parabólico compuesto “CPC”	83
4.2	Temperaturas obtenidas - pruebas experimentales.	83
4.2.1	<i>Temperatura máxima alcanzada.....</i>	84
4.2.2	<i>Temperatura mínima alcanzada.....</i>	85
4.2.3	<i>Comportamiento térmico del fluido, durante los 15 días de prueba.....</i>	87
4.2.4	<i>Eficiencia del primer prototipo.....</i>	89
4.3	Parámetros geométricos del colector sola semiesférico “CSS”	90
4.4	Temperaturas obtenidas - pruebas experimentales.	91
4.4.1	<i>Temperatura máxima alcanzada.....</i>	91
4.4.2	<i>Temperatura mínima alcanzada.....</i>	93
4.4.3	<i>Comportamiento térmico del fluido, durante los 15 días de prueba.....</i>	95
4.4.4	<i>Eficiencia del segundo prototipo.....</i>	96
4.5	Análisis de costos.	97
4.5.1	<i>Costos directos.....</i>	97
4.5.2	<i>Costos indirectos.....</i>	101
4.5.3	<i>Comparación de costos, con los calentadores existentes en el mercado.....</i>	101

CAPITULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	103
5.1	Conclusiones.....	103

5.2	Recomendaciones.	104
-----	-----------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Temperatura del aire del año 2018.....	6
Tabla 2-2: Energía solar incidente diaria (onda corta)	7
Tabla 3-2: Velocidad del viento, en el año 2018.....	8
Tabla 4-2: Valor del punto de rocío, en el año 2018.....	9
Tabla 5-2: Estructura típica porcentual por componente, de los NFU.....	14
Tabla 6-2: Composición química elemental media de los NFU.....	14
Tabla 7-2: Reflexión de diferentes superficies	23
Tabla 1-3: Opciones para el dimensionamiento del CPC.....	37
Tabla 2-3: Datos para los cálculos matemáticos.....	39
Tabla 3-3: Propiedades a temperatura fílmica (17,2°C)	41
Tabla 4-3: Propiedades a temperatura fílmica (45,5 °C).....	47
Tabla 5-3: Comparación entre la fibra de vidrio y el nylon	65
Tabla 1-4: Parámetros geométricos del "CPC"	82
Tabla 2-4: Temperatura máxima alcanzada del "CPC".....	83
Tabla 3-4: Temperatura mínima alcanzada del "CPC".....	85
Tabla 4-4: Comportamiento térmico del fluido.....	87
Tabla 5-4: Eficiencia del "CPC".....	88
Tabla 6-4: Parámetros geométricos del "CSS"	89
Tabla 7-4: Temperatura máxima alcanzada del "CSS"	90
Tabla 8-4: Temperatura mínima alcanzada del "CSS"	92
Tabla 9-4: Comportamiento térmico del fluido	94
Tabla 10-4: Eficiencia del "CSS"	95
Tabla 11-4: Costos del calentador Parabólico Compuesto "CPC".....	96
Tabla 12-4: Costos del Calentador Solar Semiesférico "CSS"	98
Tabla 13-4: Costos del Termo Tanque Acumulador de Agua.....	99
Tabla 14-4: Costos Indirectos	100
Tabla 15-4: Comparación y análisis de costos.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Sección transversal de un neumático.....	15
Figura 2-2: Radiación solar directa y difusa, sobre una superficie inclinada.....	22
Figura 1-3: Configuración parabólica.....	26
Figura 2-3: Estructura interna del CPC.....	40
Figura 3-3: Circuito térmico del colector.....	40
Figura 4-3: Circuito térmico en la superficie.....	41
Figura 5-3: Circuito térmico del parabrisas.....	46
Figura 6-3: Circuito térmico en el interior del colector.....	46
Figura 7-3: Parabrisas delantero de un autobús (desechado)	62
Figura 8-3: Luna laminada.....	63
Figura 9-3: Vidrio monolítico de 5mm de espesor.....	63
Figura 10-3: Vidrio solar.....	64
Figura 11-3: Circuito hidráulico disposición en paralelo.....	64
Figura 12-3: Matizado de color negro en el circuito hidráulico.....	65
Figura 13-3: Estructura externa.....	66
Figura 14-3: Recubrimiento de la estructura.....	66
Figura 15-3: Placa absolvedora de calor.....	67
Figura 16-3: Configuración parabólica.....	68
Figura 17-3: Estructura interna del CSS.....	69
Figura 18-3: Circuito térmico del colector semiesférico.....	69
Figura 19-3: Traga luz (desechado).....	73
Figura 20-3: Circuito hidráulico, disposición en espiral.....	74
Figura 21-3: Circuito hidráulico negro.....	75
Figura 22-3: Estructura interna semiesférica.....	75
Figura 23-3: Configuración hidráulica del termo tanque.....	77
Figura 24-3: Tanque externo metálico	78
Figura 25-3: Aislante térmico, (Nylon).....	78
Figura 26-3: Tanque plástico de 120ltr.....	79
Figura 27-3: Válvulas del tanque plástico.....	80
Figura 28-3: Desfogue del termo tanque.....	80
Figura 29-3: Soporte del termo tanque.....	81
Figura 30-4: Termo tanque acumulador.....	81

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1-2: Tratamiento mediante aplicación de calor.....	16
Gráfica 2-2: Posición del sol en coordenadas polares	20
Gráfica 1-3: Diseño del Colector Parabólico compuesto "CPC".....	29
Gráfica 2-3: Propiedades Geométricas del CPC	30
Gráfica 3-3: Traslación al foco f, del plano x', z'.....	31
Gráfica 4-3: Rotación de los ejes primados a un ángulo θ	32
Gráfica 5-3: Traslación de los ejes biprimados al punto $X_0/2$	33
Gráfica 6-3: Representación geométrica del CPC cilíndrico	34
Gráfica 7-3: CPC truncado.....	36
Gráfica 8-3: Altura-apertura para un CPC completo y truncado.....	37
Gráfica 9-3: Perfil geométrico del CPC.....	38
Gráfica 10-3: Esquema para los factores de forma de la radiación.....	49
Gráfica 11-3: Número promedio de reflexiones dentro del ángulo de aceptación	56
Gráfica 12-3: Ángulo de incidencia equivalente para la radiación difusa.....	57
Gráfica 13-3: Transmitancia considerando absorción y reflexión para varias cubiertas	57
Gráfica 1-4: Temperatura Máxima Alcanzada del "CPC".....	84
Gráfica 2-4: Temperatura Máxima Alcanzada del "CPC" (Datos numéricos).....	84
Gráfica 3-4: Temperatura Mínima Alcanzada del "CPC".....	86
Gráfica 4-4: Temperatura Mínima Alcanzada del "CPC" (Datos numéricos).....	86
Gráfica 5-4: Temperatura Máxima en 15 Días	87
Gráfica 6-4: Temperatura Máxima en 15 Días (Datos numéricos)	88
Gráfica 7-4: Eficiencia del "CPC"	89
Gráfica 8-4: Temperatura Máxima Alcanzada del "CSS".....	91
Gráfica 9-4: Temperatura Máxima Alcanzada del "CSS" (Datos numéricos).....	91
Gráfica 10-4: Temperatura Mínima Alcanzada del "CSS".....	93
Gráfica 11-4: Temperatura Mínima Alcanzada del "CSS" (Datos numéricos).....	93
Gráfica 12-4: Temperatura Máxima en 15 Días	94
Gráfica 13-4: Temperatura Máxima en 15 Días (Datos numéricos)	95
Gráfica 14-4: Eficiencia del "CSS"	96

LISTA DE ABREVIACIONES.

NFU: Neumáticos fuera de uso.

NEC: Norma ecuatoriana de construcción.

SST: Sistemas Solares Térmicos

CPC: Calentador Parabólico Compuesto.

CSS: Calentador Solar Semiesférico.

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. Tablas de conductividad térmica

ANEXO B. Tablas de emisividad, transmitancia y absortancia.

ANEXO C. Propiedades del agua.

ANEXO D. Dimensiones de una tubería comercial.

ANEXO E. Tablas de las temperaturas experimentales obtenidas.

ANEXO F. Planos del diseño de los 2 prototipos y el termo tanque.

RESUMEN

Debido a los estudios realizados con fines investigativos, prácticos e informativos, se ha logrado comprobar la creciente contaminación que sufre nuestro planeta, y el grave impacto ambiental que se genera, es por ello que en la actualidad, se está incentivado a la creación de energías alternativas y amigables con el medio ambiente, razón por lo cual el presente trabajo se enfocó en la investigación, experimentación y el análisis de dos prototipos de colectores solares de agua domiciliaria, los cuales están elaborados parcialmente con materiales reciclados. La metodología utilizada en el presente proyecto, incluye la investigación que se realizó con el fin de adquirir los conocimientos necesarios, para su posterior creación, gracias a esto se pudo clasificar los materiales desechados que aún pueden ser aprovechados, de los cuales el más utilizado fue obtenido de los neumáticos fuera de uso, por ello al realizar los cálculos y el análisis correspondiente, y al aplicar el método de análisis de alternativas, se pudo escoger la geometría y el material para cada prototipo, diseñando así dos modelos de captadores solares, siendo el primero un calentador parabólico compuesto "CPC" cuya estructura principal, es una matriz de 9 parábolas diseñada para que los rayos solares incidan en el punto focal, y el segundo modelo es un calentador solar semiesférico "CSS", el cual gracias a su disposición aprovecha al máximo la energía solar, posteriormente una vez finalizada su construcción, mediante el método de experimentación, se obtuvo una eficiencia energética de 67,93% con una temperatura máxima de 80 °C para el primer modelo, mientras que el segundo modelo se obtuvo una eficiencia de 55,63% y una temperatura de 66 °C, llegando a concluir que el primer modelo es mucho mejor en comparación con el segundo modelo, pero finalmente los dos modelos son eficientes pese a estar hechos de materiales reciclado, además de ser económicos, finalmente se recomienda para una futura investigación, el uso de paneles fotovoltaicos con el fin de acumular energía, la cual será utilizada en el calentamiento del tanque acumulador, aprovechando al máximo la energía del sol.

PALABRAS CLAVES: <TECNOLOGIA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <ENERGÍAS ALTERNATIVAS>, <COLECTOR PARABÓLICO COMPUESTO>, <CAPTADOR SOLAR SEMIESFÉRICO>, <TERMO TANQUE>, <NEUMATICOS FUERA DE USO>, <EFICIENCIA>, <RECICLADO>.

ABSTRACT

Due to the studies carried out with investigative, practical and informative purposes, it has been possible to verify the increasing contamination that our planet suffers, and the serious environmental impact that is generated, that is why at present, it is encouraging the creation of energies alternatives and friendly to the environment, reason for which the present work has focused on the investigation, experimentation and analysis of two prototypes of home solar water collectors, which are partially made with recycled materials. The methodology used in the present project, includes the research that was carried out in order to acquire the necessary knowledge, for its later creation, thanks to this it was possible to classify the discarded materials that can still be used, of which the most used was obtained from the tires out of use, therefore when performing the calculations and the corresponding analysis, and when applying the method of analysis of alternatives, it was possible to choose the geometry and the material for each prototype, thus designing two models of solar collectors, being the first is a parabolic heater composed "CPC" whose main structure is a matrix of 9 parabolas designed for the sun's rays to strike at the focal point, and the second model is a hemispherical heater "CSS", which thanks to its disposition makes use of maximum solar energy, then once completed its construction by the method of experimentation, it obtained an energy efficiency of 67.93% was a maximum temperature of 80 ° C for the first model, while the second model obtained an efficiency of 55.63% and a temperature of 66 ° C, arriving to conclude that the first model is much better compared to the second model, but finally the two models are efficient despite being made of recycled materials, in addition to being economical, finally it is recommended for future research, the use of photovoltaic panels in order to accumulate energy, the which will be used in the heating of the storage tank, taking full advantage of the sun's energy.

KEYWORDS: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCE>, <ALTERNATIVE ENERGIES>, <COMPOUND PARABOLIC COLLECTOR>, <SEMI-SPHERIC SOLAR DETECTOR>, <THERMAL TANK>, <PNEUMATIC OUT OF USE>, <EFFICIENCY>, <RECYCLED>.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de titulación, se muestra como un proyecto de investigación, dos prototipos de calentadores solares capaces de utilizar la energía solar para el calentamiento de agua, los cuales están elaborados parcialmente con materiales reciclados de neumáticos y otros elementos, dando así una alternativa para la implementación de la materia que se puede extraer y cuyas propiedades aun puedan ser aprovechadas, para la fabricación y elaboración de estos dos prototipos, de esta manera se desea incentivar, a introducir el material antes mencionados en diversos campos, dando así una solución practica, para disminuir el impacto ambiental, que se genera cuando dichos elementos son desechados.

Para este proyecto se ha logrado seleccionar los materiales de construcción aptos para garantizar una eficiencia adecuada, de entre los cuales tenemos: el nylon o fibra textil que fue utilizado como aislante térmico, las planchas de caucho utilizadas para cubrir el soporte metálicos y finalmente una tubería de neopreno usada para construir el circuito hidráulico, ademas de comprobar el correcto funcionamiento tanto en el calentador parabólico compuesto “CPC” y el calentador solar semiesférico “CSS”, es necesario recalcar que la energía utilizada por estos dos captadores es la energía solar, la cual es transformada en energía térmica para su funcionamiento.

El “CPC” posee una capacidad de 120 litros, mientras que el “CSS” tienen una capacidad de 90 litros, y gracias a los resultados obtenidos debido a las diferentes pruebas experimentales mostradas en el presente proyecto, se asegura que el “CPC” es mas eficiente en comparación con el “CSS”.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

Debido a la exorbitante cantidad de desperdicios orgánicos e inorgánicos que se generan diariamente en nuestro hábitat, es necesario mencionar que dichos desperdicios han ocasionado efectos negativos tanto en el medio ambiente como en la salud del ser humano, para contrarrestar esta problemática se ha propuesto la reutilización de los mismos en diferentes aplicaciones, es por este motivo que el hombre se ha visto en la necesidad de elaborar programas basados en una planificación concreta y detallada para reducir, reutilizar y reciclar.

Uno de los contaminantes que más afectan a nuestro medio ambiente, son los neumáticos en todas sus manifestaciones, para solucionar esta problemática a nivel mundial. Se han elaborado diversos programas que consisten en la reutilización de los neumáticos desechados, al utilizar las propiedades que todavía se pueden aprovechar de estos, en la creación de elementos o instrumentos ajenos a su origen de aplicación, el cual se puede realizar con los procesos y tratamientos adecuados, teniendo la alternativa de adicionar algún elemento que ayude a potenciar y mejorar sus características, incrementando así el campo de aplicaciones.

En algunos países provenientes del Continente Europeo se ha establecido la normativa de construir vías con asfalto mezclado con polvo de neumáticos, obteniendo de esta manera una mayor durabilidad y resistencia en las carreteras.

Se puede citar algunos países ejemplares como Francia, Alemania y Austria, con un 60 % de reciclaje. Por otro lado, se han creado programas especializados los cuales regulan los NFU en Estados Unidos. Y en países latino americanos como Ecuador, Chile, Uruguay y Argentina, se han creado fabricas dedicadas al reciclaje de los NFU, dichas fabricas adoptan el mismo concepto de reciclaje, de esta manera se espera que poco a poco, se pueda implementar el programa de reciclaje y reutilización en el resto del mundo.

Según el estudio realizado por el Ministerio del ambiente ecuatoriano (MAE) en el Ecuador se desecha anualmente 3 millones de neumáticos, dato que se conoció por las estadísticas realizadas en el año 2016, de los cuales muchos de estos terminan apilados en patios de casas, abandonados en riveras de los ríos, arrojados en los bordes de las carreteras y en el peor de los casos incinerados provocando gases tóxicos que afectan la salud física del ser humano.

Atacando principalmente al sistema respiratorio, dando lugar a la aparición inmediata de enfermedades y afectando en gran magnitud el medio ambiente. En el año 2014 en el país se establecieron más de 650 puntos, donde las personas podrán entregar las llantas usadas. Estos lugares básicamente son los sitios que expenden los neumáticos, ya que cada empresa debe cumplir cierta cuota de reciclaje de estos elementos, como establece el Acuerdo Ministerial número 20.

En la actualidad el Ecuador cuenta con cuatro industrias privadas, que se dedican al procesamiento de los neumáticos desechados estas son:

- Proneumacosa: elaboración de caucho en polvo, acero y nylon.
- Procaucho: elaboración de adornos de jardinería, muebles, etc.
- Eco caucho: elaboración de pisos de cauchos, césped sintético y reencauchado.
- Ruberaction: elaboración de caucho en polvo, acero y nylon.

1.2 Formulación del problema

En Ecuador según el Acuerdo Ministerial (AM) 098, que corresponde a los neumáticos fuera de uso, en el año 2015 solo un 30 % de los neumáticos desechados fueron reutilizados esto se debe a la falta de conocimiento, información, alternativas y tecnologías, de este 30 % el 32 % de los neumáticos fueron utilizados en el reencauche y el 68 % fueron reciclados. La ONG Ecologistas en Acción, explica que "un neumático puede tener más de 200 componentes, depende de su precio y tamaño, pero el porcentaje medio de los materiales que intervienen en su fabricación es como sigue: caucho (45-47) %, negro de carbono (21,5-22) %, acero (16,5-25) %, textil (5,5% sólo para autos), óxido de cinc (1-2) %, azufre (1) %, y otros aditivos (5-7,5) %. Los metales pesados presentes son cobre, cadmio y plomo".

Los efectos nocivos para el entorno son múltiples, ya que muchos de los neumáticos desechados terminan apilados en patios de casas, abandonados en riveras de los ríos, arrojados en los bordes de las carreteras y en el peor de los casos incinerados, por esto es importante reciclar y reutilizar. Los neumáticos desechados presentan algunos problemas como el proceso de descomposición que es sumamente lento, por lo que se les considera materiales no biodegradables, también poseen una elevada elasticidad que impide su compactación, ocupando grandes superficies y volúmenes de almacenamiento.

Al ser incinerados se producen gases tóxicos que además de producir calor, produce la desintegración física y química del caucho, dejando en el aire compuestos que son nocivos para los seres vivos y para el medio ambiente, dichos gases se componen de monóxido, dióxido de carbono y dióxido de azufre, que en la atmósfera se puede convertir en lluvia ácida, afectando de manera significativa la capa de ozono.

El porcentaje de concentración de los diferentes contaminantes en el aire, se relaciona de forma significativa con el tipo de caucho que se ha quemado, el tiempo de combustión y las diversas condiciones ambientales que faciliten la dispersión del humo en el aire.

Estos gases tóxicos afectan la salud física del ser humano, dando lugar a la aparición inmediata de enfermedades en las vías respiratorias y las mucosas expuestas como la conjuntiva, boca y garganta, con reacciones que van desde la tos, el lagrimeo, el aumento de secreciones y la dificultad para respirar, las personas con enfermedades pulmonares como asma y neumonía pueden desarrollar complicaciones al entrar en contacto con el humo, cuando el contacto con el humo es permanente pueden presentarse alteraciones en la piel y en otros órganos.

Una vez expuesto la problemática y los antecedentes ya mencionados, el presente proyecto consiste en la reutilización de los neumáticos reciclados para la fabricación de un panel, con un sistema de calentamiento de agua, el cual estará conformado por una tubería de cobre en donde circulara el agua, por ende esta tubería estará protegida por un recubrimiento elaborado a partir de neumáticos desechados, previamente ya construido, este sistema interno que calentara el agua utilizara la energía solar para cumplir su función, por ello se desea construir tres tipos de intercambiadores con el propósito utilizar la energía solar para poner en marcha el sistema interno que este tendrá.

Con esto se espera que el intercambiador de calor sea duradero, económico y además sirva como una buena protección para el sistema de calentamiento interno. La idea principal de proyecto iniciara con el proceso y composición que tendrá el intercambiador de calor, el cual estará fabricado a partir de los neumáticos reciclados. Para posteriormente poder diseñar y construir la disposición que tendrá la tubería interna de cobre, permitiéndole cumplir su función, con ellos se pretende implementar una nueva forma de consumo de energía, reduciendo así el impacto medio ambiental y dando a conocer una nueva alternativa rápida, económica, segura y versátil mediante la elaboración de nuevos elementos, cuya materia prima serán los neumáticos desechados, aprovechando así las propiedades que estos poseen.

1.3 Justificación.

1.3.1 *Justificación técnica*

Desde el punto de vista técnico, se pretende elaborar un intercambiador de calor utilizando, como materia prima el material reciclado de los neumáticos fuera de uso, aprovechando así las propiedades que estos aun poseen, este intercambiador de calor deberá ser, eficiente, económico, y liviano. Es por este motivo que se debe tener conocimientos de ingeniería de materiales, procesos de manufactura, diseño y transferencia de calor.

1.3.2 *Justificación metodológica*

Desde el punto de vista metodológico, este proyecto servirá como partida para la posterior investigación de las aplicaciones que se les puedan dar a los neumáticos desechados. Incentivando a jóvenes estudiantes e ingenieros a introducir el material de los neumáticos desechados no solo en los elementos convencionales que se crean a partir de estos, sino también en diversos campos de aplicación.

1.3.3 *Justificación práctica*

Desde el punto de vista práctico, se pretende dar a conocer una nueva alternativa para la reutilización de los NFU, creando un intercambiador de calor elaborado de estos materiales, el cual utilizara la energía solar para el proceso de calentamiento de agua.

1.4 Alcance

El proyecto tiene como idea principal la construcción de tres tipos de intercambiadores de calor, en donde una parte de este sistemas será elaborado a partir de los materiales procedentes de los NFU, estos intercambiadores de calor serán aplicados para el calentamiento de agua para uso domiciliario, los intercambiadores construidos serán sometido a diversas pruebas experimentales, con el propósito de hallar una mayor eficiencia a un costo inferior de los que usualmente son encontrados en el mercado.

1.5 Objetivos

1.5.1 *Objetivo general*

Experimentar y analizar la eficiencia energética de dos prototipos de calentadores solares de agua domiciliaria, con una capacidad mínima de 50 ltr, los cuales estarán construidos parcialmente con materiales reciclados de neumáticos y otros elementos.

1.5.2 *Objetivos específicos*

Establecer los requerimientos necesarios para el diseño del intercambiador de calor.

Diseñar dos tipos de intercambiadores de calor para el calentamiento de agua.

Construcción de los dos tipos de intercambiadores de calor para calentamiento de agua.

Desarrollar las respectivas pruebas experimentales en los dos intercambiadores de calor, para poder identificar el más eficiente.

Analizar los costos de los dos intercambiadores de calor con los existentes en el mercado.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Situación Meteorológica

Riobamba es una ciudad situada en la región Interandina o Sierra, dicha ubicación la hace poseedora de cómodos y nublados veranos, inviernos fríos, mojados, parcialmente nublados, pero de periodos cortos. Durante el transcurso de los años la temperatura ha ido variando de 8 °C a 19 °C, y muy rara vez baja a menos de 5 °C o sube a más de 22 °C, el clima cálido en nuestra ciudad se da desde mediados de abril hasta mediados de junio y desde finales de agosto hasta mediados de enero.

2.1.1 Topografía.

La ciudad de Riobamba tiene las siguientes coordenadas geográficas, una latitud de: – 1,67°, una longitud de: – 78,647° y su finalmente una elevación de: 2 761 msnm. Para un radio de 3 kilómetros a la redonda, el área en la ciudad de Riobamba está cubierta de pradera en un 72%, árboles un 17% y finalmente tierra de cultivo un 11%. En cambio, para un radio de 80 kilómetros a la redonda nuestra ciudad está cubierta de árboles 42% y pradera 35%.

2.1.2 Temperatura.

La temporada templada tiene una duración de 3 meses, iniciando el 18 de octubre y finalizando el 19 de enero aproximadamente, siendo más de 19 °C la temperatura máxima promedio diaria. En cambio, la temporada fresca tiene una duración de 2,6 meses, iniciando el 8 de junio y finalizando el 27 de agosto, llegando a tener una temperatura máxima promedio de 17 °C.

Tabla 1-2: Temperatura del aire del año 2018.

MESES	MEDIAS en °C	EXTREMAS ABSOLUTAS		AMPLITUD en °C	EXTREMAS MEDIAS.	
		Max. en °C	Min. en °C		Max. en °C	Min. en °C
ENERO	13,2	24,1	2,0	22,1	20,5	8,2

Tabla 1-2 (continua): Temperatura del aire del año 2018.

FEBRERO	13,9	25,5	3,6	21,9	22,4	8,7
MARZO	13,8	24,2	4,9	19,3	22,0	8,8
ABRIL	13,9	24,2	3,6	20,6	20,6	8,7
MAYO	13,2	22,4	8,2	14,2	19,6	9,5
JUNIO	13,7	23,2	3,8	19,4	20,2	8,3
JULIO	11,6	22,5	3,2	19,3	20,4	7,9
AGOSTO	12,4	22,2	4,5	17,7	19,9	7,5
SEPTIEMBRE	13,2	25,8	4,0	21,8	20,9	7,8
OCTUBRE	13,5	26,5	4,1	22,4	23,0	9,2
NOVIEMBRE	14,3	24,5	7,3	17,2	21,7	10,2
DICIEMBRE	14,4	21,8	6,8	15,0	19,7	9,3
SUMA	160,2	286,9	56,0	230,9	250,8	104
MESES DE DATOS	12	12	12	12	12	12
MEDIA	13,4	23,9	4,7	19,2	20,9	8,7

Fuente: ESPOCH, 2018. (Facultad de Recursos Naturales, Estación Agrometeorológica, Anuario Climatológico)

Realizado por: Ing. Agr. Paulo C. Tiupul C, Lcdo. Miguel A. Arévalo R, 2018.

2.1.3 Heliofanía (energía solar).

Cuando se habla de heliofanía o energía solar, nos referimos a la onda incidente diario total que llega a la superficie de la tierra en un área amplia, considerando a su vez las diversas variaciones estacionales de la duración del día, la elevación del sol sobre el horizonte, la absorción de las nubes y demás elementos atmosféricos. En nuestra ciudad, la energía solar de onda incidente diaria promedio, permanece constante en el mes de julio, y tiene un margen de más o menos 0,2 kWh de 5,6kWh en los meses del año restantes, debemos aclarar que la radiación de onda corta incluye luz visible y radiación ultravioleta.

Tabla 2-2: Energía solar incidente diaria (onda corta)

MESES	HORAS DE SOL	MEDIA (HORAS DE SOL)	MEDIA EN PORCENTAJE
ENERO	148,3	4,8	40 %
FEBRERO	149,9	5,4	45 %
MARZO	147,9	4,8	40 %
ABRIL	123,5	4,4	37 %
MAYO	144,5	4,7	38 %
JUNIO	173,2	5,8	48 %

Tabla 2-2 (continua): Energía solar incidente diaria (onda corta)

JULIO	187,9	6,1	50 %
AGOSTO	176,8	5,7	47 %
SEPTIEMBRE	184,0	6,1	51 %
OCTUBRE	184,1	5,9	49 %
NOVIEMBRE	129,8	4,3	36 %
DICIEMBRE	154,4	5,0	42 %
SUMA	1904,3	62,9	522,9 %
MESES DE DATOS	12	12	12 %
MEDIA	158,7	5,2	43,6 %

Fuente: ESPOCH, 2018. (Facultad de Recursos Naturales, Estación Agrometeorológica, Anuario Climatológico)

Realizado por: Ing. Agr. Paulo C. Tiupul C, Lcdo. Miguel A. Arévalo R, 2018.

2.1.4 Viento.

En Riobamba la velocidad promedio del viento aumenta gradualmente en el mes de julio, ya que de 2 m/s se tiene un incremento de 2.4 m/s, durante el mes de julio y agosto. El día más turbulento del año es el 31 de julio, ya que la velocidad promedio diaria del viento es de 2.4 m/s; en cambio el día más calmado del año se da en el mes de marzo con una velocidad promedio diaria es de 1.6 m/s.

Tabla 3-2: Velocidad del viento, en el año 2018.

MESES	VELOCIDAD m/s.
ENERO	1,8
FEBREO	1,9
MARZO	2,2
ABRIL	1,9
MAYO	1,8
JUNIO	2,4
JULIO	2,7
AGOSTO	2,7
SEPTIEMBRE	2,0
OCTUBRE	2,7
NOVIEMBRE	1,8
DICIEMBRE	2,2
Σ	26,0
MESES DE DATOS	12
MEDIA	2,2

Fuente: ESPOCH, 2018. (Facultad de Recursos Naturales, Estación Agrometeorológica, Anuario Climatológico)

Realizado por: Ing. Agr. Paulo C. Tiupul C, Lcdo. Miguel A. Arévalo R, 2018.

2.1.5 Punto de rocío

Se conoce como punto de rocío al valor, al cual desciende la temperatura atmosférica para condensar el vapor de agua existente en el medio ambiente y producir de acuerdo a la temperatura, escarcha, neblina o rocío.

El valor estimado del punto de rocío en Riobamba es calculado mediante un valor promedio dado por la estación meteorológica de la “ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”, en convenio con “El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología” (INAMHI), dicho valor promedio es proporcional a la inversa de la distancia entre Riobamba y la estación dada.

Tabla 4-2: Valor del punto de rocío, en el año 2018.

MESES	MEDIA en °C	MÁXIMA en °C	MÍNIMA en °C
ENERO	8,2	10,5	0,4
FEBRERO	10,1	11,5	5,4
MARZO	9,3	11,1	5,6
ABRIL	9,2	10,9	6,5
MAYO	9,7	11,0	8,3
JUNIO	7,9	10,1	4,5
JULIO	7,1	8,8	2,1
AGOSTO	6,5	7,8	4,1
SEPTIEMBRE	6,6	9,6	2,0
OCTUBRE	7,7	10,1	3,5
NOVIEMBRE	10,1	11,5	6,9
DICIEMBRE	9,2	11,5	6,1
SUMA	101,6	124,4	55,4
MESES DE DATOS	12	12	12
MEDIA	8,5	10,4	4,6

Fuente: ESPOCH, 2018. (Facultad de Recursos Naturales, Estación Agrometeorológica, Anuario Climatológico)
Realizado por: Ing. Agr. Paulo C. Tiupul C, Lcdo. Miguel A. Arévalo R, 2018.

Se sabe que el 21 de diciembre, es el día más largo del año, pues el sol sale a las 6:06 A.M. y se pone 12 horas con 13 minutos después, a las 18:19 P.M. En cambio, el 21 de junio, es el día más corto del año, debido a que el sol sale a las 6:15 A.M. y se pone 12 horas con 2 minutos después, a las 18:17 P.M.

2.2 Neumáticos fuera de uso (NFU)

2.2.1 Antecedentes a nivel mundial

En la actualidad se sabe que los recursos naturales disminuyen cada día, por lo tanto, el cómo lidiar de forma correcta con los NFU, tiende a convertirse en un problema global. La eliminación adecuada de los NFU, es una gran ventaja para reducir la contaminación ambiental, la misma que es generada por la incorrecta eliminación de los mismos, y a su vez también se da una solución temporal a la escasez de recursos naturales.

La composición y estructura del neumático varía según su uso, es decir, el tipo de vehículo para el cual fue fabricado, esta composición hace que el neumático sea extraordinariamente resistente al desgaste, la corrosión, la degradación química, y fotográfica, así como a las altas temperaturas. Todas estas características, las cuales son muy apreciadas durante la vida útil del neumático, también lo han hecho difícil de reciclar puesto que, es difícil para los mismos degradarse en la naturaleza (Quek y Balasubramanian, 2014, p.55).

Desafortunadamente hoy en día, hay pocos estudios centrados en el aspecto de la degradación o el reciclaje de este material, esto ha provocado un grave impacto ambiental a nivel mundial. Algunas alternativas de reciclado incluyen la recuperación de material mediante trituración o trituración en nuevos productos, también en aplicaciones de ingeniería civil (por ejemplo, carreteras, ferrocarriles y construcción de vertederos); y recuperación de energía por combustión o pirolisis a altas temperaturas.

Sin embargo, la mayoría de estos procesos se consideran bastante laboriosos, difíciles y, en general, bastante caros. También requirieron equipo específico que no está disponible en todas las ubicaciones.

Esta situación hizo que, en muchos casos, los neumáticos desechados fueran simplemente almacenados o vertidos ilegalmente. El creciente número de reservas de neumáticos y vertederos ilegales en todo el mundo también está provocando la ocurrencia y la magnitud de los incendios de gases no controlados.

La gran cantidad de calor generado en estos fuegos es difícil de extinguir, por lo que pueden mantenerse activos durante días e incluso meses, generando una variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos peligrosos.

Debido al aumento en el número de autos y teniendo en cuenta que la vida media de los neumáticos usados en los vehículos es de aproximadamente 10 años, de esta manera la eliminación de los NFU ha sido una de los principales problemas alrededor del mundo. Se estima que 1000 millones de llantas llegan al final de su vida útil cada año y para el año 2030, el número puede alcanzar hasta 1200 millones de neumáticos que representan casi 5000 millones de neumáticos (incluida la acumulación) que se desecharán de forma regular a nivel mundial.

Tal crecimiento, además de causar ruido y contaminación del aire, está generando una rápida disminución en los recursos naturales, esta situación se agrava de forma considerable ya que los sistemas de gestión de eliminación difieren en cada país, extendiendo aún más la contaminación ambiental, evitando así dar una solución rápida y agresiva al problema.

2.2.2 Antecedentes en el país

En nuestro país según los datos obtenidos por el Ministerio de Ambiente, se desechan anualmente alrededor de 3'500,000 llantas usadas de toda clase, lo que equivale a 18,000 toneladas aproximadamente, pero el problema más grande de las llantas usadas es la gran cantidad de las mismas, ya que, debido a su volumen y lenta degradación, un neumático tarda en descomponerse alrededor de 500 años.

Anteriormente en el Ecuador la disposición final para los NFU, correspondía a la eliminación de estos en basureros de cielo abierto, impidiendo cualquier tipo de procesamiento para su recuperación, además de que también las llantas desechadas eran depositadas de forma ilegal en riveras de ríos, quebradas y cualquier otro tipo de espacio abierto. Dichos desperdicios, al no ser eliminados adecuadamente, provocaron de forma involuntaria un recipiente idóneo para las aguas de lluvia, las mismas que ayudaban en la dispersión de mosquitos causantes de enfermedades como el dengue, paludismos, el chikungunya, etc.

2.2.3 Normativa aplicable a la gestión de NFU en Ecuador

De acuerdo al artículo 14 de la Constitución de la República del Ecuador, se reconoce el derecho de la población a vivir en un medio ambiente saludable y ecológicamente equilibrado, se expone también el interés de la ciudadanía para la preservación del ambiente, permanencia del ecosistema, la integridad de los recursos naturales de nuestro país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de espacios y recursos naturales degradados.

Por estas y muchas otras razones, finalmente, el 30 de agosto del 2012, con la intervención del Informe Técnico N° 002-2012-MAEPNGIDSDPE, la Subsecretaria de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente presento el instructivo para promover el reciclaje y la reutilización de neumáticos desechados en el Ecuador.

Con el fin de disminuir el impacto negativo provocado por estos desechado tanto en el medio ambiente como en la salud, consecuentemente en el año 2013 se incorporó el Acuerdo Ministerial No. 020, el cual da a conocer el Plan de Gestión Integral para los NFU, este acuerdo se corrigió y corroboró en agosto del 2015 con el Acuerdo Ministerial No.- 098, en donde se reglamenta y organiza la disposición final de estos desechos.

2.2.4 Gestión y manejos de los NFU en el Ecuador

Gracias al acuerdo impuesto por el MAE, desde el año 2014 se puso en marcha el “Plan Nacional de Movilización de Neumáticos Fuera de Uso”, el cual consiste en retirar los NFU acopiados en varios sitios de disposición final de las ciudades, en coordinación con las Direcciones Provinciales de Ambiente (DPA), Gobierno Autónomo Descentralizados (GADM) y el Ministerio de Salud Pública (MSP).

El reciclaje de los NFU genero una inversión de US \$ 5'500,000 solo en año 2014, permitiendo que varios importadores y productores de neumáticos hayan implementado más de 650 puntos de recuperación de NFU, en el cual se recibe los NFU de sus respectivos clientes al momento de realizar un cambio en sus llantas.

En los años 2014 y 2015, se ha logrado recuperar más de 1'500,000 unidades de neumáticos fuera de uso a escala nacional, solamente en el año 2015 se estableció como meta, la recuperación del 30% de los neumáticos fuera de uso, y gracias al Acuerdo Ministerial N° 098, se pudo cumplir con el 99% de esta meta, ya que aproximadamente 942.225 unidades fueron tratadas apropiadamente según lo impuesto por el reglamento, el 31% se reutilizó en el reencauche y el 68% se lo reutilizó en el reciclaje.

En la actualidad, dentro de nuestro país, a nivel nacional se cuenta con 15 empresas recicladoras de neumáticos incluyendo obviamente plantas artesanales, plantas dedicadas a la trituración mecánica y productos artesanales prácticamente nuevos y reciclados. Finalmente, y no por ello menos importante también se cuenta con 15 empresas dedicadas al reencauche. De todas las empresas anteriormente mencionadas, se da a conocer las de mayor relevancia, las cuales son: Gadere, Porneumacosa, Incinerox, Procaucho, Ecocaucho, Ruberaction, Grin. A su vez el Estado ha establecido convenios con el Ministerio de Transporte y Obras Públicas de Ecuador (MTOPE), así como también con el Ministerio de Industria y Productividad (MIPRO), permitiendo de esta manera trabajar en diversas pruebas piloto de mezclas asfálticas reformadas con polvo de caucho reciclado, dando paso a la construcción de carreteras ecológicas en nuestro país. La primera prueba se realizó en marzo del 2013, en donde se utilizó esta mezcla en 565 metros lineales en un tramo de la vía Pifo – Papallacta, en la provincia de Pichincha, y en la actualidad el MTOPE se encuentra analizando y estudiando la muestra colocada en este tramo de carretera, para determinar si dicha mezcla mejora o no las características físicas y mecánicas del asfalto tradicional. De esta manera poder aplicarlos no solo en determinadas carreteras si no en todas las carreteras del nuestro país. Por otro lado, MIPRO promueve la introducción del polvo de caucho en el mercado con el fin de motivar a la reutilización de materia prima derivada del reciclaje con las industrias.

2.2.5 Composición de un neumático

Los neumáticos son el resultado de ingeniería compleja, ya que son considerados estructuras tubulares, estos están constituidos de hasta 200 compuestos químicos diferentes, pero en su estructura principal se tiene el caucho sintético, negro de humo, material de relleno, fibras, alambres de acero y productos químicos y minerales añadidos para permitir o acelerar la vulcanización.

Los cauchos sintéticos más empleados para la fabricación de los neumáticos son:

- Estireno – butadieno (SBR).
- Polisoprenos sintéticos (IR).
- Polibutadienos (BR).

Sintetizando, el neumático está formado por diversos compuestos. En la tabla 5, se muestra la estructura típica porcentual por componentes que posee los NFU. Mientras que la composición química elemental media de los NFU, se da a conocer en la tabla 6.

Tabla 5-2: Estructura típica porcentual por componente, de los NFU

Componente	Vehículos ligeros (%)	Vehículos Pesados (%)	Función
Caucho y elastómeros	48	45	Estructural – deformación
Negro de Humo	22	22	Mejora las propiedades físicas.
Refuerzos metálicos(Acero)	15	25	Formación esqueleto estructural.
Refuerzo textiles	5	0	Catalizador
Óxido de zinc	1.2	2.1	Agente vulcanizante.
Azufre	1	1	-
Aditivos y otros	10	9	-
Peso del neumático(Kg)	6.5-9	55-80	-

Fuente: CENIM. (Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas), Laboratorio de Innovación y Reciclado de Materiales. 2015.

Realizado por: Lòpez, F, Alguacil, J, & Manso, J. 2015.

Tabla 6-2: Composición química elemental media de los NFU.

Elemento.	% Peso.	Elemento.	% Peso.
C	70	Halógenos.	0.1
H	7	Ligandos Cupríferos	200 mg/kg
S	1	Cd	10 mg/kg
N ₂	0.5	Cr	90 mg/kg
O	4	Ni	80 mg/kg
ZnO	1	Pb	50 mg/kg
Fe	16	Acido esteárico.	0.3 mg/kg

Fuente: CENIM. (Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas), Laboratorio de Innovación y Reciclado de Materiales. 2015.

Realizado por: Lòpez, F, Alguacil, J, & Manso, J. 2015.

Un neumático puede tener dos tipos de estructura ya sea radial o diagonal, la figura número 1, da a conocer las partes principales del neumático, detallando las de mayor interés.

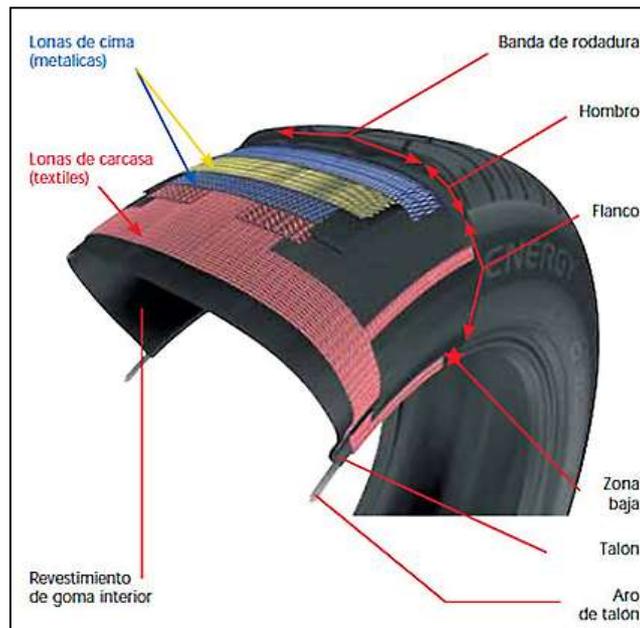


Figura 1-2: Sección transversal de un neumático.

Fuente: EUROMASTER automoción y servicios, S.A.2018.

Flanco: Se forma por una liga elástica, permitiendo al neumático acoplarse a las diferentes deformaciones, cuando este se encuentre en la etapa de rodadura, protegiéndolo de golpes laterales.

Hombro: Esta parte es la más expuesta a los golpes, por lo tanto, la liga del hombro es la más gruesa, facilitando la distribución de calor, el cual se genera durante el movimiento de rodadura sobre la carretera.

Lonas de carcasa: Son cuerdas de fibras textiles arqueados colocados en ángulos rectos, adheridos al caucho de la cubierta, estas ayudan a resistir la presión. Se sabe que en una lona de neumáticos de un bus existen aproximadamente 1400 cables.

Lonas de cima: Son cuerdas de acero invulnerables y finas, atravesadas de forma oblicua, adheridos unas a otras, formando una especie de triángulos inextensibles, garantizando una estructura tanto maleable como fuerte.

Talón: El talón es la parte interna del neumático, está conformado por redes de acero de alta tecnología, los cuales están colocados de forma circular, esto provee el ajuste de la llanta evitando que resbale.

Revestimiento de goma interior: comprime el aire en el interior del neumático, ya que es la capa de goma más interna, permitiendo así que esta sea impenetrable.

2.2.6 Tipos de tratamientos para los NFU.

Gracias a los avances y contribuciones tecnológicas de las últimas décadas, se ha podido crear y diseñar nuevas tecnologías, las cuales han ayudado de forma significativa en el procesamiento de los NFU, a la vez que se ha mejorado las ya existentes, dichas tecnologías tienen como objetivo principal, aprovechar los materiales que aún se puedan utilizar, los procesamientos más importantes y más utilizados son los siguientes:

- **Reencauchado:** Proceso en el cual, se reutiliza el neumático gastado al reemplazar la banda de rodadura.
- **Tratamientos Mecánicos:** Es aquel proces o en donde, el neumático es comprimido, cortado o fragmentado en pequeñas partículas irregulares, permitiendo así la separación de sus componentes principales en: polvo de caucho, fibras de acero y nylon.

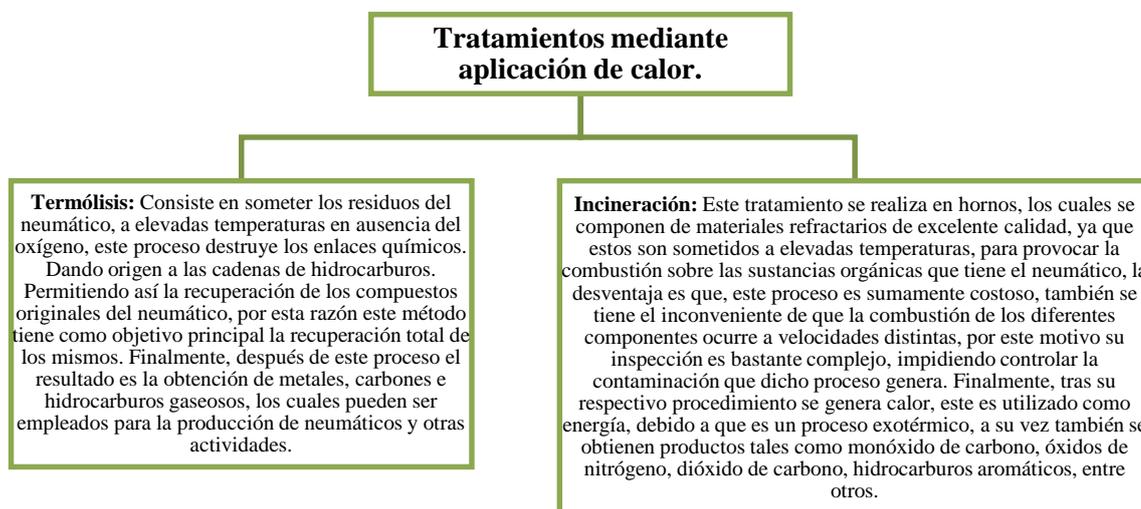


Gráfico 1-2: Tratamiento mediante aplicación de calor.

Realizado por: Autores, 2019.

Trituración mecánica: consiste en una transformación únicamente mecánica, ya que no existe la suma de elementos o compuestos químicos, así como la aplicación de calor en el proceso, debido a esto, los productos resultantes se encuentran libres de cualquier tipo de impureza.

Haciéndolos de una excelente calidad, facilitando así su uso en nuevos productos, como, por ejemplo, en la actualidad los neumáticos están constituidos de un 5 % de este material reciclado.

2.3 Energía solar y aplicaciones.

La energía solar se aplica principalmente para obtener energía térmica y eléctrica, esta se obtiene a través de los rayos solares, actualmente nuestro planeta posee una capacidad de energía de aproximadamente 1,6 millones de KWh, de los cuales solo un 40% es utilizado, gracias a que esta energía es limpia e inagotable, ha crecido el interés de nuevas tecnologías para el aprovechamiento de la misma, reduciendo así el impacto ambiental.

2.4 Recurso solar energético.

El sol es un recurso energético, el cual se encuentra a disposición de absolutamente cualquier ser humano, ya que este cubre toda la superficie terrestre, teniendo la posibilidad de satisfacer todas las necesidades energéticas del planeta. Y nuestro país Ecuador al estar ubicado en la mitad del mundo, posee un índice de radiación solar elevado, ofreciendo una gran energía disponible para cualquier tipo de aplicación que se le desee dar.

2.4.1 Radiación Solar Incidente.

La energía solar incidente o radiante, es producida en el espacio cósmico, esta ocurre gracias a la fusión generada en el núcleo solar, provocando radiación electromagnética en diversos periodos o longitudes de onda, irradiándose a velocidades extremadamente altas en el espacio, dicha irradiación admite transportar energía solar, siempre que la tierra este ubicada a una longitud media de (149×10^6) Km del sol.

Determinamos entonces la radiación solar incidente por el Método Glover y Mc Culloch, el cual nos da la siguiente expresión:

$$I = G_0 \left[0,29 \cos \phi + 0,52 \frac{n}{N} \right] \quad (1)$$

Dónde:

- **I**: Radiación Solar Incidente en cualquier posición geográfica del planeta, $[W/m^2]$
- **G₀**: Constante Solar, $1367 [W/m^2]$
- **Ø**: Latitud de la ciudad en el que se encuentra el colector, Ciudad de Riobamba $1^{\circ}38$ min Latitud sur. (INAMHY, 2018).
- **n**: El número de horas del sol brillante existente en el día. 4,9 (INAMHY, 2018).
- **N**: Número máximo de horas de sol en el día. 12,4 horas (INAMHY, 2018).

$$I = 1367 \left[0,29 \cos(1,63) + 0,52 \frac{4,9}{12,4} \right]$$

$$I = 677,166 \text{ W/m}^2$$

2.4.2 Parámetros para determinar la posición del sol.

Latitud geográfica (Ø). Permite determinar la ubicación en la tierra con respecto al plano ecuatorial.

Declinación Solar (δ). Angulo formado entre los rayos solares y el plano ecuatorial, determinada con la siguiente ecuación:

$$\delta = 23,24 \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (2)$$

Calculamos la declinación solar para el día 16 de agosto cuyo valor n es igual a 228.

$$\delta = 13,34$$

Pendiente (β). El ángulo formado entre el colector y la superficie.

Ángulo horario (ω). Denominado al desplazamiento angular entre el meridiano local y el sol causado por la rotación del planeta a unas 15 ° horas, el signo negativo será tomado para la mañana y el positivo para la tarde.

Ángulo zenital (θ_z). Es el ángulo formado por la orientación del sol con respecto a la normal del receptor.

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (3)$$

$$\cos \theta_z = \cos(1,63) \cos(13,34) \cos(-30) + \sin(1,63) \sin(13,34)$$

$$\theta_z = 31,91^\circ$$

Ángulo acimutal de la superficie (γ). Llamado al ángulo formado por la proyección normal con respecto a la superficie desde el meridiano local, su signo será positivo al oeste y negativo al este.

$$\gamma_s = \text{sign}(\omega) \left[\cos^{-1} \left(\frac{\cos \theta_z \sin \phi - \sin \delta}{\sin \theta_z \cos \phi} \right) \right] \quad (4)$$

$$\gamma_s = - \left[\cos^{-1} \left(\frac{\cos(31,9) \sin(1,63) - \sin(13,34)}{\sin(31,9) \cos(1,63)} \right) \right]$$

$$\gamma_s = -113,02^\circ$$

Ángulo de altitud solar (h). Ángulo formado entre el segmento que pasa por los centros del sol y del observador con respecto a su proyección en el plano horizontal.

$$h = 90^\circ - \theta_z \quad (5)$$

$$h = 58,1^\circ$$

Ángulo de acimut solar (α). Distancia angular formada por la horizontal del observador y el sol.

$$\sin \alpha = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos h} \quad (6)$$

$$\sin \alpha = \frac{\cos(13,34) \sin(-30)}{\cos(58,1)}$$

$$\sin \alpha = -67,02^\circ$$

Ángulo de incidencia solar (θ). Aquel ángulo formado entre el haz del sol y la normal de la superficie, dada por la siguiente relación:

$$\cos \theta = \cos \beta \cos \theta_z + \sin \beta \sin \theta_z \cos(\alpha - \gamma) \quad (7)$$

$$\cos \theta = \cos(5) \cos(31,9) + \sin(5) \sin(31,9) \cos(-67,02)$$

$$\theta = 30,262^\circ$$

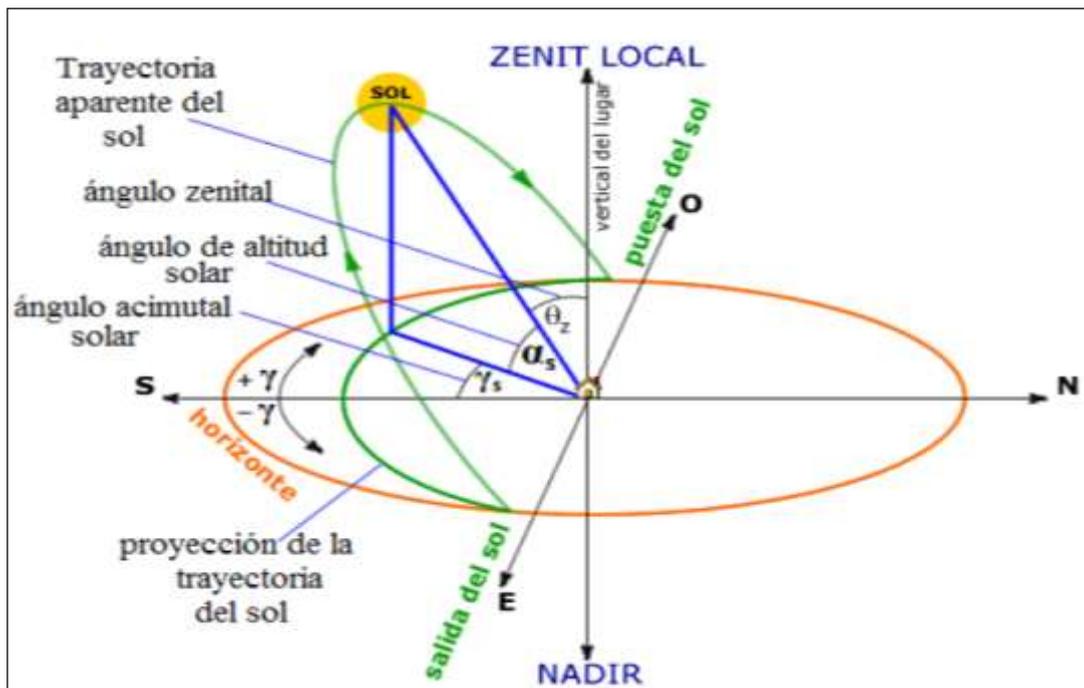


Gráfico 2-2: Posición del sol en coordenadas polares.

Fuente: Universidad de Jaén. España.2015.

2.5 Irradiación solar extraterrestre.

Esta irradiación también es conocida como radiación solar diaria, la cual es receptada a lo largo de la cubierta horizontal de la tierra, como la tierra gira alrededor del sol esta describe una trayectoria elíptica, por lo tanto, la distancia entre el sol y la misma variará en el transcurso del año. Debido a esto la irradiación solar G_{en} varía en función del día n del año y se podrá calcular con la siguiente expresión.

$$G_{en} = G_0 \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360 n}{365} \right) \right] \quad (8)$$

Dónde:

- G_0 : Radiación Solar Incidente en cualquier posición geográfica del planeta, $[W/m^2]$
- n : Número del día del año contadas desde el 1 de enero.

$$G_{en} = 1367 \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360 (228)}{365} \right) \right]$$

$$G_{en} = 1335,033 \text{ W}/m^2$$

2.6 Irradiación extraterrestre horaria sobre una superficie horizontal(I_0).

Para calcularla, se utiliza la siguiente expresión.

$$I_0 = G_{en} \cos \theta_z \quad (9)$$

$$I_0 = 1335,033 \cos(31,9)$$

$$I_0 = 1133,405 \text{ W}/m^2$$

2.6.1 Cada hora índice de claridad(K).

Denominado también como factor de atenuación presente en la atmosfera, pues determina el índice de claridad en el transcurso del año.

$$K = \frac{I}{I_0} \quad (10)$$

$$K = \frac{677,166}{1133,405}$$

$$K = 0,597$$

2.7 Irradiación solar total (I_T).

Es la sumatoria de la radiación solar directa y la radiación solar difusa, la cual se encuentra proyectada sobre una determinada superficie.

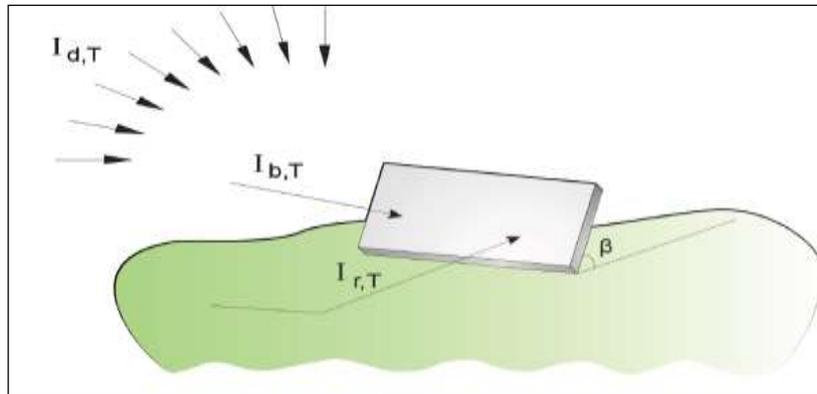


Figura 2-2: Radiación solar directa y difusa, sobre una superficie inclinada.

Fuente: Universidad de Jaén. España.2015.

Conocido el valor del índice de claridad, podemos hallar la proporción I_d/I con las siguientes relaciones.

$$I_d/I = 1 - 0,09K \quad K \leq 0,22 \ (\alpha) \quad (11.1)$$

$$I_d/I = 0,9511 - 0,1604K + 4,388K^2 - 16,638K^3 + 12,336K^4 \quad 0,22 < K < 0,8 \ (\beta) \quad (11.2)$$

$$I_d/I = 0,165 \quad K > 0,8 \ (\gamma) \quad (11.3)$$

Como el índice de claridad está comprendido entre 0,22 y 0,8 se tomará la ecuación 11.2, la cual nos permite obtener la radiación difusa.

$$I_d/I = 0,9511 - 0,1604(0,597) + 4,388(0,597)^2 - 16,638(0,597)^3 + 12,336(0,597)^4$$

$$I_d/I = 0,446$$

2.8 Radiación solar directa.

Es aquella que proviene directamente del sol, y cuyo factor de conversión de radiación está dada por:

$$R_b = \frac{I_{bT}}{I_b} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (12)$$

2.9 Radiación solar difusa.

Radiación proveniente del contorno del cielo, de esta solo un pequeño porcentaje va a la superficie, y su factor de conversión de radiación, será solo el factor de vista al cielo.

$$R_d = \frac{I_{dT}}{I_d} = \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (13)$$

2.10 Radiación reflejada.

Surge de la reflectancia del suelo hacia la superficie del colector, su factor de conversión será el factor de vista al suelo.

La reflectancia (ρ) dependerá del tipo de superficie del suelo y cuyo valor se encuentra tabulado en la tabla 7-2.

$$R_r = \frac{I_{r,T}}{I\rho} = \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (14)$$

Tabla 7-2: Reflexión de diferentes superficies

Tipo de superficie de la tierra.	Reflectancia.
Nieve fresca	0.87
Arena seca	0.18
Arena húmeda	0.09
Bosques de coníferas.	0.05
Concreto nuevo.	0.33
Hormigón viejo	0.23

Fuente: Axaopoulos Petros, 2011.

Realizado por: Autores, 2019.

La radiación solar total en un plano inclinado será:

$$I_T = I_b \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} + I_d \frac{1 + \cos \beta}{2} + I_r \rho \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (15)$$

$$I_T = 375,15 \frac{\cos(30,262)}{\cos(31,9)} + 302,086 \frac{1 + \cos(5)}{2} + (677,166)(0,23) \frac{1 - \cos(5)}{2}$$

$$I_T = 683,479 \text{ W/m}^2$$

2.11 Transferencia de calor.

Cundo se habla de transferencia de calor, nos referimos a la movilidad de la energía(calor) de un cuerpo a otro, el cual se puede presentar de las siguientes formas:

2.11.1 Conducción.

Este tipo de transferencia es producida al estar en contacto directo dos cuerpos solidos de diferente temperatura, y está dada por la ley de Fourier de la conducción de calor.

$$Q = k A \frac{dT}{dx}$$

Donde:

- **Q**: Flujo de calor [W]
- **k**: Conductividad térmica del material [W/m°K]
- **A**: Área transversal del flujo de calor [m²]
- $\frac{dT}{dx}$: Gradiente de temperatura en la trayectoria del flujo de calor [K/m]

2.11.2 Convección.

Este fenómeno es producido debido al intercambio de calor entre un cuerpo sólido y un fluido (este puede ser gaseoso o liquido), que se encuentran en contacto directo y a diferente temperatura. Si el fluido se mueve debido a un agente externo (ventilador o bomba), se le denomina convección forzada, caso contrario si el fluido se mueve debido a la diferencia de las densidades, es conocida como convección natural.

Este fenómeno es definido por la ley de enfriamiento de Newton.

$$Q_{conv} = h * A * (T_s - T_m)$$

Donde:

- **Q_{conv}**: Flujo de calor [W]

- h : Coeficiente de transferencia de calor por convección [$W/m^{\circ}K$]
- A : Área de contacto [m^2]
- T_s : Temperatura superficial [$^{\circ}K$]
- T_m : Temperatura media del fluido [$^{\circ}K$]

2.11.3 Radiación.

Este tipo de transferencia se da por medio de ondas electromagnéticas, es decir no es necesario que los cuerpos estén contacto, el cuerpo caliente emite radiación mientras que el otro cuerpo absorbe estas ondas de calor, transmitiendo o reflejando dicha radiación.

La energía de este fenómeno está dada por la ley de Stefan-Boltzmann.

$$Q_{rad} = \varepsilon * \sigma * A * (T_1^4 - T_2^4)$$

Donde:

- Q_{rad} : Flujo de calor [W]
- σ : Constante de Stefan Boltzmann $5,669 \times 10^{-8}$ [$W/m^2^{\circ}K^4$]
- A : Área de transferencia de calor [m^2]
- ε : Emisividad de la superficie
- T_1 : Temperatura absoluta del cuerpo 1 [$^{\circ}K$]
- T_2 : Temperatura absoluta del cuerpo 2 [$^{\circ}K$]

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS DOS CALENTADORES Y EL TERMOTANQUE.

3.1 Diseño y construcción del 1ro prototipo: Colector Parabólico Compuesto “CPC”.

3.1.1 Configuración del colector.

La configuración que tendrá el colector será de suma importancia, ya que, si se tiene una adecuada disposición, será posible aumentar el flujo de radiación en los receptores, estos pueden ser planos o parabólicos. Por ello se ha escogido el del tipo parabólico, el cual está compuesto de absorbentes cilíndricos, estos poseen reflectores posteriores para dirigir la radiación hacia los tubos.

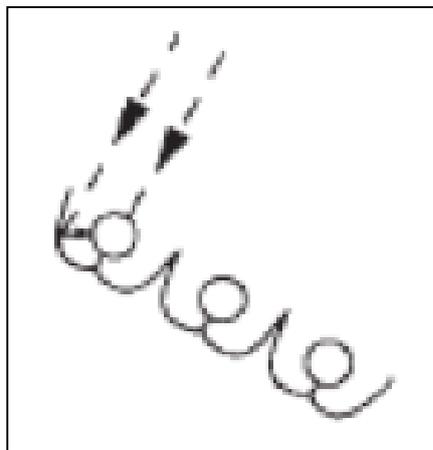


Figura 1-3: Configuración parabólica.

Fuente: Cesar Echevarría, 2011.

3.1.2 Principio de Funcionamiento.

Un SST de agua caliente sanitaria, para uso domiciliario, se compone principalmente de: un colector parabólico compuesto (CPC), un termo-tanque acumulador de agua (este se encargará de almacenar y conservar la temperatura del agua caliente) y finalmente un sistema de control manual (el cual está conformado por elementos de seguridad como válvulas).

Un CPC absorbe y convierte la radiación solar en calor, este es trasladado al fluido mediante, conducción, convección y radiación, posteriormente el líquido se traslada entre el termo-tanque y el CPC, debido a la diferencia de temperatura, ya sea de forma natural o forzada. Su principio físico de funcionamiento se basa en el efecto invernadero, resultado de la característica que tiene un cuerpo transparente, de dejar pasar a través de él la radiación electromagnética.

Si se empieza a consumir agua caliente, esta se sustituye por el agua fría que proviene de la red de alimentación del termo-tanque acumulador. Para que el sistema termosifón funcione automáticamente el termo-tanque, deberá estar situado por encima de la parte más alta del CPC. (NEC-11, Cap. 14, 2011, pg.13).

3.1.3 *Sistemas principales que conforman el calentador.*

Un sistema de calentamiento de agua para uso domiciliario, está compuesto por tres subsistemas:

1. Sistema de captación, se conforma por el colector solar, este convierte la radiación solar incidente en energía térmica, calentando de esta manera nuestro fluido de trabajo es decir el agua.
2. Sistema secundario, a este sistema se le adicionan otros, como por ejemplo el circuito hidráulico, el cual se compone de tuberías, válvulas, etc. permitiendo el movimiento libre del fluido, de esta manera se genera el trabajo eficaz del calentador.
3. Sistema de control y regulación, es el encargado de asegurar el correcto funcionamiento, del sistema, para aprovechar al máximo la energía solar térmica. (NEC-11, Cap. 14, 2011, pg. 16).

3.1.4 *Orientación del colector CPC.*

Ecuador al estar situado al oeste del meridiano de Greenwich y al atravesar la Línea Equinoccial, tiene la ventaja de poseer escasa perturbación en la posición del sol a lo largo del año, generando múltiples beneficios para la producción y absorción de energía eléctrica y energía térmica.

Debido a que el día posee aproximadamente 12 horas de sol, el índice de claridad afecta de forma directa a la radiación solar y la radiación solar difusa, ya que estas dos impactan sobre el colector solar, por lo tanto, un índice de radiación solar de 1 indica un día radiante y despejado es decir sin nubes.

Por ello para evitar pérdidas de calor y mantener la mayor energía solar en el transcurso del año, la orientación del colector solar es sumamente importante, es por esto que el colector deberá estar siempre ubicado hacia la línea equinoccial. (NEC-11, Cap. 14, 2011, pg. 18).

3.1.5 *Angulo de Inclinación.*

El ángulo de inclinación es de suma importancia, ya que, si se tiene el correcto, se podrá aprovechar al máximo la energía solar y según la NEC, este deberá ser menor o igual a 15 grados. Pero debido a que nuestro colector solar posee una estructura parabólica compuesta, la inclinación que nuestro CPC tiene es de 5 grados, porque así se obtiene la captación del as en la abertura del ángulo de aceptación.

3.1.6 *Condiciones de diseños para un CPC.*

Para diseñar de forma correcta un SST, se deben implicar aspectos tales como:

- Aprovechar de manera eficiente la radiación solar disponible.
- Absolutamente todos los elementos que conforman el sistema, ya sea tuberías y accesorios tales como válvulas, uniones, codos, etc. Deberán estar elaborados y también tendrán que ser colocados, de forma tal que se garantice una ejecución eficaz, segura y confiable en el transcurso de la vida útil pronosticada para cada componente.
- Deberá estar diseñado de tal manera que sus componentes, no necesiten de mantenimiento durante lapsos prolongados de tiempo.
- Su diseño deberá soportar las diferentes condiciones ambientales. (NEC-11, Cap. 14, 2011, pg. 15).

3.1.7 Diseño del perfil CPC.

Los Colectores CPC, también conocidos como colectores Winston fueron conocidos por primera vez en 1966 en los EEUU, llegando a ser más eficientes que los colectores de placa plana y muy utilizadas en el campo industrial para la obtención de temperaturas muy altas, estos colectores se basan en el principio de disminuir el área de pérdida de calor, para ello se interpuso un elemento óptico entre la fuente de radiación y la superficie absorbidora. Esta superficie tiene menos pérdidas de calor en comparación con un colector de placa plana a la misma temperatura del absorbedor. (Echeverría Cesar, 2011, pg. 39)

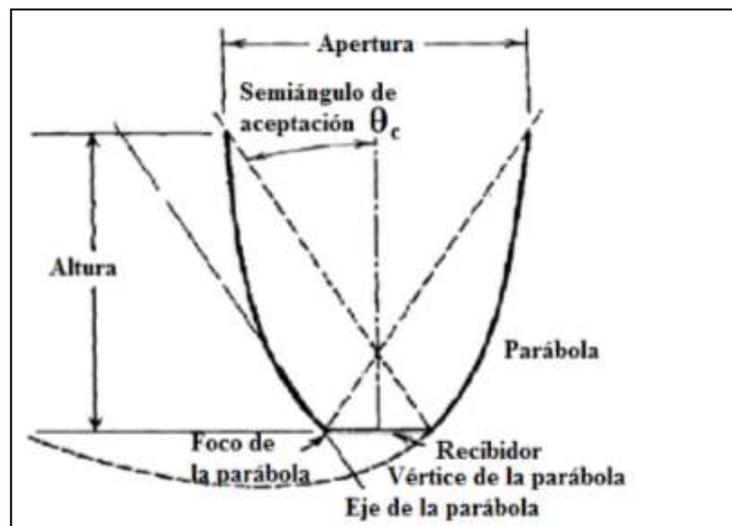


Gráfico 1-3: Diseño del Colector Parabólico compuesto “CPC”.
Fuente: Cesar Echeverría, 2011

3.1.8 Criterios de diseño del CPC.

El colector parabólico compuesto está diseñado en función de los siguientes criterios:

3.1.9 Ángulo de aceptación (θ_c).

Se busca optimizar la eficiencia óptica, es decir recoger todos los rayos solares que entran por la apertura (a) en un ángulo de aceptación $2\theta_c$, lleguen en su mayoría a la superficie absorbente por medio de múltiples reflexiones internas. Los CPC están compuestas en cada lado por una parábola que está perfectamente simétricas con respecto al eje del CPC. El ángulo formado entre el eje y la línea que conecta el foco con el borde de la apertura se le conoce como ángulo medio de aceptación.

Para una mayor eficiencia del CPC es recomendable que este ángulo no sea muy grande debido a que disminuiría su relación de concentración, ni muy pequeña porque sería necesario mover el concentrador en cada instante con respecto a la posición del sol, para hacer caso omiso de este problema se recomienda valores no mínimos a 42° (2X21.2) y colocarlas en posición de la dirección del sol este a oeste. (Echeverría Cesar, 2011, pg. 43)

3.1.10 Parámetros Geométricos del CPC.

Como se vio anteriormente el CPC está compuesto por dos parábolas simétricas cuyos perfiles están perfectamente alineados para lograr la mayor concentración posible en un solo punto denominado concentrador. (Echeverría Cesar, 2011, pg. 47)

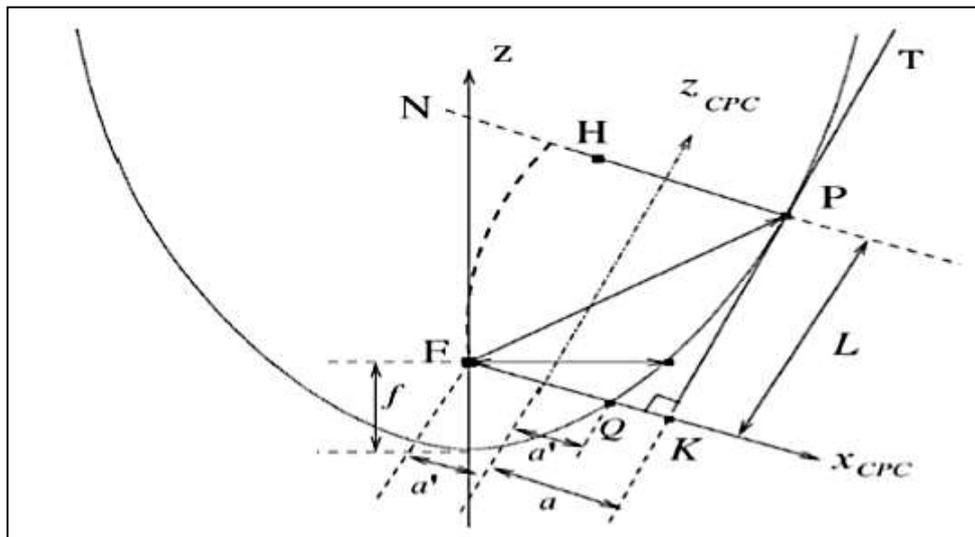


Gráfico 2-3: Propiedades Geométricas del CPC

Fuente: Cesar Echeverría, 2011

Los parámetros de la geometría del CPC de la figura son:

- “ a' ” que representa la salida del haz de energía representada por el segmento FQ.
- “ a ” representa el espacio donde ingresa el haz de luz.
- “ L ” es la altura total del CPC

Para la obtención de las expresiones analíticas del CPC consideramos una parábola como se muestra en la siguiente figura. (Echeverría Cesar, 2011, pg. 57).

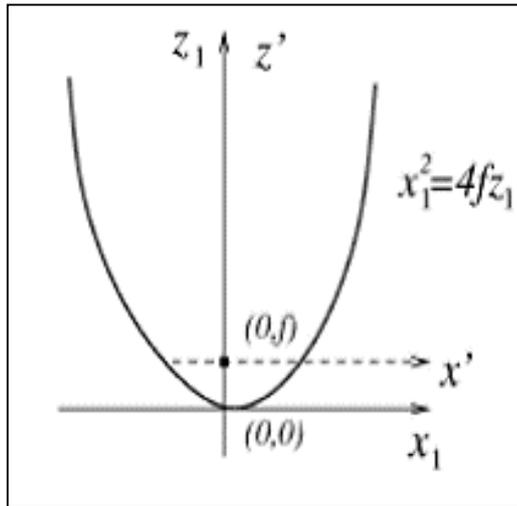


Gráfico 3-3: Traslación al foco f , del plano x', z'
Fuente: Cesar Echevarría, 2011.

Esta parábola se encuentra ubicada en el plano X_1, Z_1 expresada por la siguiente ecuación:

$$X_1^2 = 4fZ_1 \quad (16)$$

Donde:

- **F:** Representa el foco de la parábola.

Iniciamos trasladando la parábola al eje coordenado x', z' cuyo vértice será en el punto focal $(0, f)$, las relaciones de transformación que surgen serán las siguientes:

$$X_1 = X' \quad Z_1 = Z' + f \quad (17)$$

Al reemplazar estas relaciones de transformación con la expresión de la parábola se tiene.

$$4f(z' + f) = X'^2$$

$$4fz' = X'^2 - 4f^2 \quad (18)$$

Como siguiente paso rotamos la parábola un ángulo θ , donde se obtendrá un nuevo plano de referencia X'', Z'' .

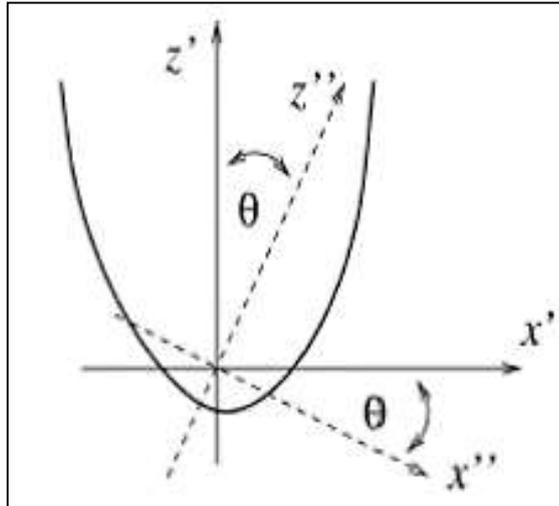


Gráfico 4-3: Rotación de los ejes primados a un ángulo θ .
Fuente: Cesar Echevarría, 2011

Donde obtenemos las siguientes expresiones:

$$X'' = X'' \cos \theta - Z'' \sin \theta$$

$$Z'' = Z'' \sin \theta + Z'' \cos \theta \quad (19)$$

Al reemplazar la ecuación 19 en 18 tenemos:

$$4f(Z'' \sin \theta + Z'' \cos \theta) = (X'' \cos \theta - Z'' \sin \theta)^2 - 4f^2 \quad (20)$$

Si desarrollamos y simplificamos esta relación se obtiene la ecuación de la parábola.

$$\sin^2 \theta (Z'')^2 - [\sin(2\theta)X'' + 4f \cos \theta]Z'' + [\cos^2 \theta (X'')^2 - 4f \sin(\theta)X'' - 4f^2] = 0 \quad (21)$$

Despejamos Z'' de la ecuación cuadrática anterior.

$$Z''_1(X'') = \frac{(\sin 2\theta)X'' + 4f \cos \theta + 4f \sqrt{\frac{(\sin \theta)X''}{f} + 1}}{2 \sin^2 \theta} \quad (22)$$

$$Z''_2(X'') = \frac{(\sin 2\theta)X'' + 4f \cos \theta - 4f \sqrt{\frac{(\sin \theta)X''}{f} + 1}}{2 \sin^2 \theta} \quad (23)$$

Las ecuaciones anteriores muestran la geometría de una parábola inclinada en el eje de referencia X'' y Z'' . Como siguiente paso tenemos la traslación, notamos en la siguiente figura que la recta z del CPC intercepta el punto medio X_0 y al origen, al trasladar la parábola al eje coordenado X y Z , se localizara el origen en el punto X_0 y las coordenadas de este punto serán $(X''_0, Z'' = 0)$.

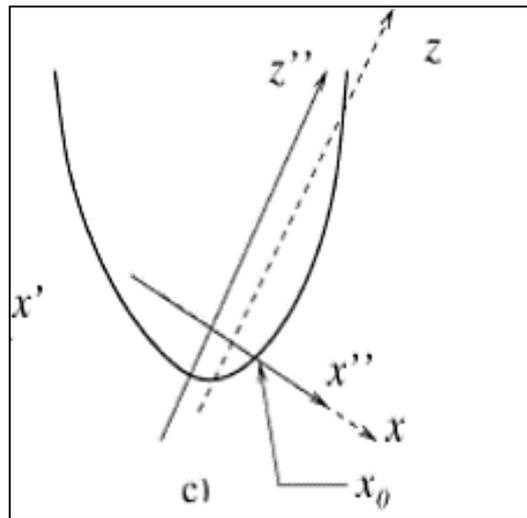


Gráfico 5-3: Traslación de los ejes biprimados al punto $X_0/2$
Fuente: Cesar Echevarría, 2011

Entonces para encontrar X''_0 reemplazamos $Z'' = 0$ en la ecuación (21) y se obtiene:

$$\cos^2 \theta (X'')^2 - 4f \sin(\theta) X'' - 4f^2 = 0 \quad (24)$$

Al resolver la ecuación cuadrática anterior obtenemos.

$$X''_0 = \frac{2f(\sin \theta + 1)}{\cos^2 \theta} = \frac{2f(1 + \sin \theta)}{(1 - \sin \theta)(1 + \sin \theta)} = \frac{2f}{(1 - \sin \theta)} \quad (25)$$

$$X''_1 = \frac{2f(\sin \theta - 1)}{\cos^2 \theta} = \frac{2f(1 + \sin \theta)}{(1 - \sin \theta)(1 + \sin \theta)} = \frac{-2f}{(1 + \sin \theta)} \quad (26)$$

La ecuación 25 pertenece a X''_0 también denominado Q, la cual se muestra en la figura 6-3, la ecuación X''_1 es el punto B, en este caso no es de nuestra utilidad. En la misma figura se observa que el punto X''_0 tiene un valor de $2a'$.

Reemplazamos en la ecuación 25.

$$2a' = \frac{2f}{(1 - \sin \theta)}$$

$$a' = \frac{f}{(1 - \sin \theta)} \quad (27)$$

A continuación seguiremos con el siguiente paso, la traslación al eje X y Z , esta se traslada sobre el eje X'', por lo tanto tenemos las siguientes ecuaciones de transformación de coordenadas.

$$X'' = X + a' \quad ; \quad Z'' = Z \quad (28)$$

Utilizando las ecuaciones de transformación y reemplazando en la ecuación (23) se tiene:

$$Z(x) = \frac{(\sin 2\theta)(X + a') + 4f \cos \theta - 4f \sqrt{\frac{(\sin \theta)(X + a')}{f} + 1}}{2 \sin^2 \theta} \quad (29)$$

La ecuación (29) describe la geometría del perfil del CPC.

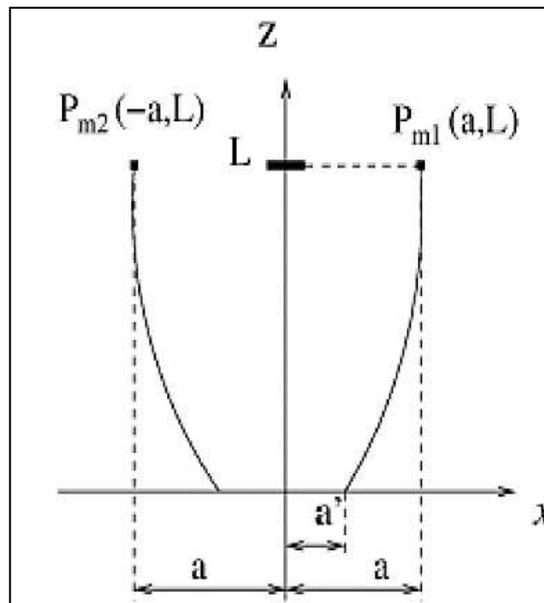


Gráfico 6-3: Representación geométrica del CPC cilíndrico.
Fuente: Cesar Echevarría, 2011

Es necesario conocer las siguientes ecuaciones para una relación del CPC, con coordenadas cartesianas.

3.1.11 Relación de concentración (R_c).

La relación de concentración está en función del ángulo de aceptación. (Duffie Jhon, Beckman William, 2013, pg. 339).

$$R_c = \frac{1}{\sin \theta_{max}} = \frac{a}{a'} \quad (30)$$

Donde:

- θ_{max} : Semiángulo de aceptación
- a : Apertura
- a' : Receptor o recibidor

3.1.12 Receptor o recibidor (r).

Área de concentración de los rayos solares reflejados. (Echeverría Cesar, 2011, pg. 53).

$$a' = \pi \phi_{int} \quad (31)$$

Donde:

- ϕ_{int} : Diámetro interior del tubo.

3.1.13 Foco (f).

Punto de concentración del haz de reflexión de los rayos solares. (Echeverría Cesar, 2011, pg. 64)

$$f = (a' + a) \sin \theta \quad (32)$$

Donde:

- a' : Receptor.
- a : Apertura de entrada de los rayos solares.

- θ : Semiángulo de aceptación

3.1.14 *Altura (L).*

Profundidad de los perfiles de la parábola. (Echeverría Cesar, 2011, pg. 64)

$$L = \frac{f \cos \theta}{\sin^2 \theta} \quad (33)$$

Donde:

- f : Foco.
- θ : Semiángulo de aceptación

3.1.15 *Truncamiento de la parábola.*

Al diseñar los CPC, estos no son construidos con su altura máxima debido a la poca contribución con la reflectividad, que se tiene por parte de los extremos superiores de las parábolas, es por ello que se disminuye su altura inicial h a una corregida h' , asegurándose que los rayos que atraviesan por un ángulo menor al ángulo de aceptación θ_c , sean absorbidas en su totalidad por el receptor, y las que atraviesan por ángulos superiores a la θ_c , podrían ser captadas por el receptor y solo una minoría regresaría a la superficie. Diseños prácticos de CPC son construidas en un 50% de truncamiento o más, con el objetivo de reducir el costo afectando muy poco su rendimiento. (Echeverría César, 2011, pg. 65)

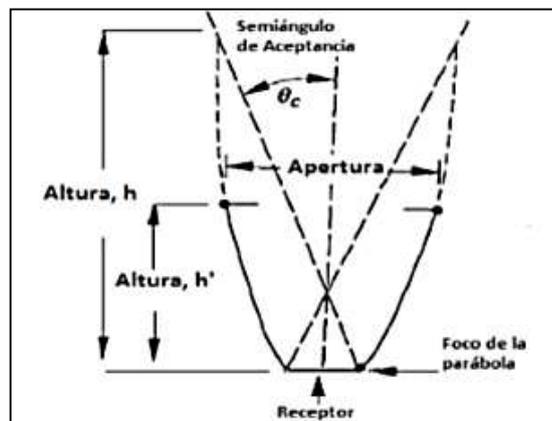


Gráfico 7-3: CPC truncado

Fuente: Jhon Duffie, William Beckman, 2006.

Al realizar el truncamiento se modifica varios parámetros como: la relación entre la altura y la apertura, el número promedio de reflexiones, y la relación de concentración. (Echeverría César, 2011, pg. 66)

A continuación, en el gráfico 1-3, se muestra la relación dada entre un CPC truncado y un ideal.

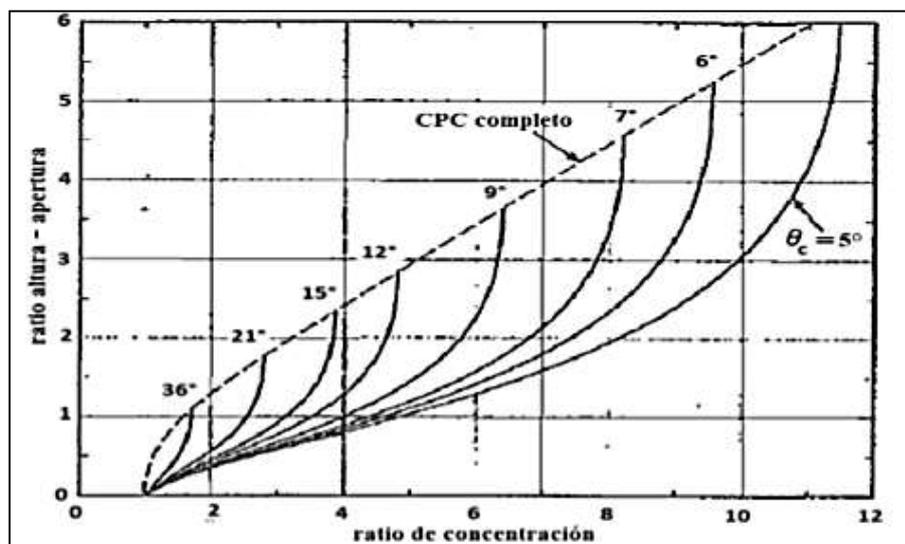


Gráfico 8-3: Altura-apertura para un CPC completo y truncado.
Fuente: Cesar Echeverría, 2011

3.1.16 Parámetros iniciales para el dimensionamiento.

Para el diseño de este tipo de colectores, no es necesario regirse a normas que especifiquen sus dimensiones, debido a que no se tienen. Para el presente trabajo de titulación, se ha diseñado un prototipo utilizando el criterio personal, de cuidar que esta no sea excesivamente grande.

Tabla 1-3: Opciones para el dimensionamiento del CPC.

Opción	θ_c [Grados]	a' [mm]	a [mm]	f [mm]	L [mm]	L' [mm]
1	21	22.1	61.66	30.02	218.22	117.15
2	21	32.08	89.52	43.58	316.77	170.09
3	21	25.27	70.51	34.32	249.53	133.97
4	21	59.47	165.95	80.78	587.23	315.31
5	21	79.39	221.53	107.84	783.93	420.91

Realizado por: Autores, 2018.

Fuente: ECHEVERRIA LOPEZ, Cesar Antonio.

Como se muestra en la tabla anterior, tenemos varias opciones de construcción para nuestro CPC, en este caso hemos tomado la opción 3 debido a las siguientes consideraciones.

- Las dimensiones a' , f , y h son adecuadas para la construcción del CPC.
- Tomamos $\theta_c = 21$ por la recomendación de la bibliografía, ya que este CPC será estático es decir no tendrá un seguidor del sol.
- La relación de concentración en los 5 casos es la misma siendo esta de 2.79
- Para cada opción se aplica el truncamiento, este paso no disminuye su eficiencia, lo cual se ha sido explicado anteriormente.

Por lo tanto, nuestro perfil CPC, será construido con las siguientes dimensiones.

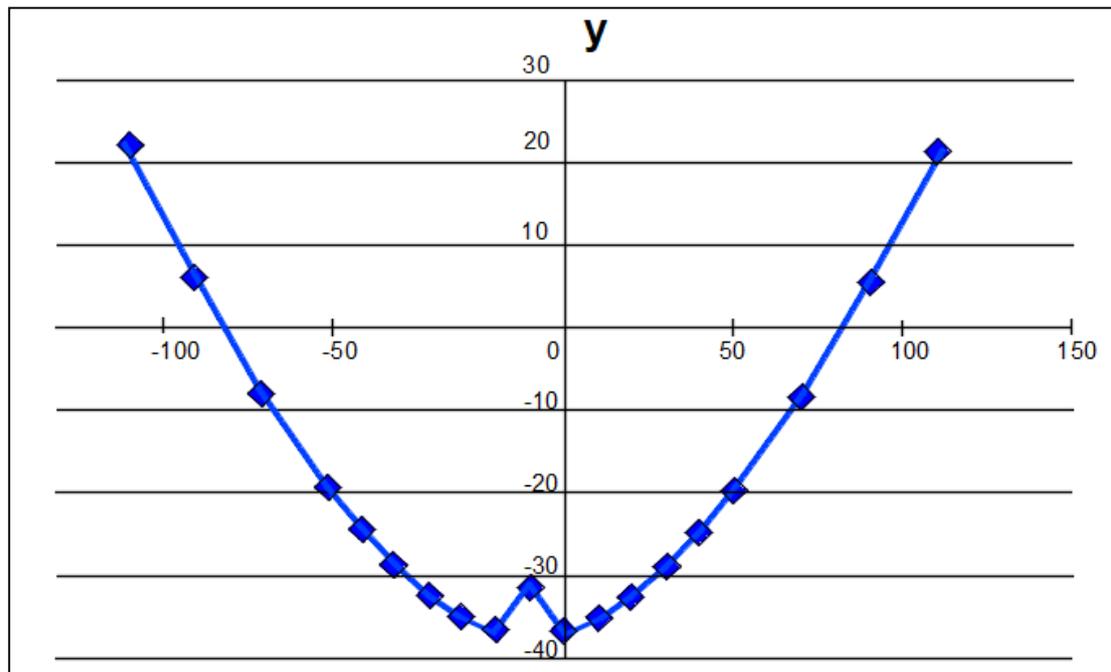


Gráfico 9-3: Perfil geométrico del CPC.

Fuente: Autores,2018.

3.1.17 *Análisis térmico.*

3.1.18 *Cálculo de las pérdidas del calor.*

Datos de entrada para la modelación matemática del prototipo CPC.

Tabla 2-3: Datos para los cálculos matemáticos.

DATOS	MÉTODO	VALOR
Temperatura ambiente, T_a (°C)	Tabla 1-2	13,4
Velocidad media del viento, V (m/s)	Tabla 3-2	2,1
Temperatura punto de rocío, T_R (°C)	Tabla 4-2	9,4
Temperatura entrada del fluido, T_e (°C)	EMAPAR	15,4
Espesor del vidrio, b_{vidrio} (m)	Medición	$5,76 \times 10^{-3}$
Temperatura superficial del vidrio, T_{sv} (°C)	Recomendación	21
Conductividad del vidrio, K_{vidrio} (W/m°K)	Anexo 1	0,8
Emisividad del aluminio, e_{al}	Anexo 2	0,04
Emisividad del cobre, e_{cu}	Anexo 2	0,78
Conductividad del aluminio, K_{Al} (W/m°K)	Anexo 1	172
Espesor del aislante nylon, b_{nylon} (m)	Recomendación	0,035
Conductividad del nylon, K_{nylon} (W/m°K)	Anexo 1	0,28
Espesor del caucho, b_{caucho} (m)	Medición	0,0015
Conductividad del caucho, K_{caucho} (W/m°K)	Anexo 1	0,16
Área del colector, A_c (m ²)	Medición	2,172
Transmitancia del vidrio, τ_{vidrio}	Anexo 5	0,9
Absortancia de la tubería, α_{cobre}	Anexo 5	0,91
Calor específico del agua, Cp_a (J/m°K)	Tabla1 (cengel)	4186
Viscosidad del agua, μ_{agua} (Kg/m.s)	Anexo 6	$6,17 \times 10^{-4}$
Conductividad del agua, K_a (Kcal/m.s.°K)	Tabla1 (cengel)	$1,5 \times 10^{-4}$
Conductividad del cobre, K_{cobre} (W/m°K)	Anexo 4	385
Diámetro externo del tubo, ϕ_{ext} (m)	Anexo 7	0,015875
Diámetro interno del tubo, ϕ_{int} (m)	Anexo 7	0,012573
Constante de Stefan Boltzman, σ (W/m ² °K ⁴)	Anexo 8	$5,67 \times 10^{-8}$
Densidad del agua, ρ_{H2O} (Kg/m ³)	Anexo 8	1000

Realizado por: Autores, 2019.

Fuente: Anexo - tablas.

3.1.19 Circuito térmico del colector CPC.

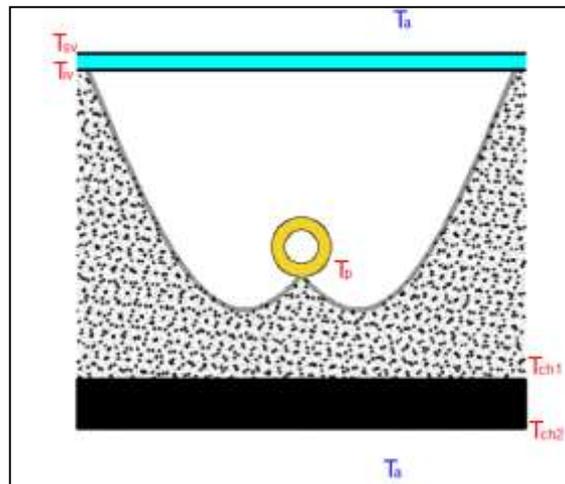


Figura 2-3: Estructura interna del CPC.
Fuente: Autores, 2019.

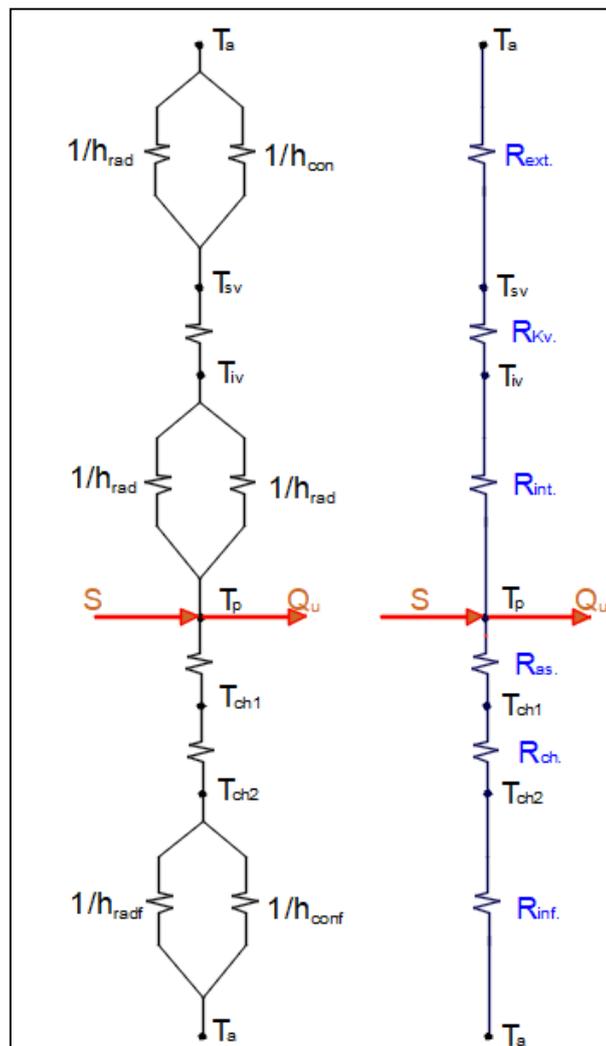


Figura 3-3: Circuito térmico del colector.
Fuente: Autores, 2019.

3.1.20 Radiación y convección forzada en la superficie.

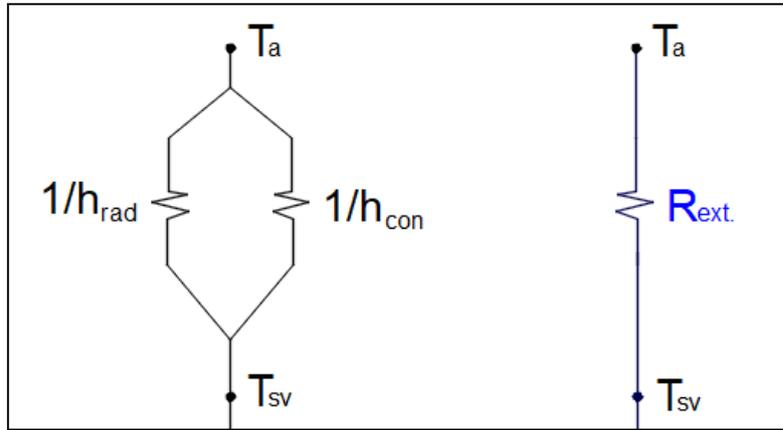


Figura 4-3: Circuito térmico en la superficie.

Fuente: Autores, 2019.

3.1.21 Conductancia por convección en la superficie.

Para encontrar las propiedades del fluido (aire) es necesario encontrar la temperatura fílmica.

$$T_f = \frac{T_{sv} + T_a}{2} = 17,2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (34)$$

Donde:

- T_{sv} : Temperatura superficial del vidrio, [$^\circ\text{C}$]
- T_a : Temperatura ambiente, [$^\circ\text{C}$]

Con la temperatura fílmica podremos encontrar las siguientes propiedades.

Tabla 3-3: Propiedades a temperatura fílmica (17,2 $^\circ\text{C}$)

Temperatura	Conductividad térmica (k)	Viscosidad cinemática (v)	Número de Prandtl (Pr)
$^\circ\text{C}$	$\left[\frac{W}{m K}\right]$	$\left[\frac{m^2}{s}\right]$	[adimensional]
15	0,02476	1,47 e-5	0,7323
17,2	X_1	X_2	X_3
20	0,02514	1,516 e-5	0,7309

Realizado por: Autores, 2019.

Fuente: CENGEL Yunus, 2011.

Al interpolar se tiene los siguientes valores.

- $K = 0,02493 \text{ W/m}^\circ K$
- $\gamma_{aire} = 1,49 \times 10^{-5} \text{ m}^2/s$
- $Pr = 0,7317$

El número de Reynolds será:

$$Re = \frac{V \cdot x}{\gamma_{aire}} \quad (35)$$

Donde:

- V : Velocidad media del viento, $[m/s]$
- T_a : Temperatura ambiente, $[^\circ C]$
- γ_{aire} : Viscosidad cinemática del aire, $[m^2/s]$
- x : Longitud característica por el que atraviesa el viento, $[m]$

Como recomendación para el número de Reynolds este debe estar en el rango de 10^5 hasta 3×10^6 , evitando así que el fluido no se vuelva completa turbulento. (Cengel Yunus, 2011, pg. 422)

3.1.22 Determinación del número de Grashof.

Con este número se determina si es convección forzada o natural.

$$Gr = \frac{g * \beta * (T_{sv} - T_a) * Lc^3}{\gamma_{aire}^2} \quad (36)$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{290,2} = 3,4459 * 10^{-3} \quad (37)$$

Donde:

- g : Aceleración gravitacional, $[m/s^2]$

- β : Coeficiente de expansión volumétrica, [K^{-1}]
- L_c : Longitud característica, [m]
- T_{sv} : Temperatura superficial del vidrio, [$^{\circ}C$]

$$Gr = \frac{9,81 * (3,4459 * 10^{-3}) * (294 - 286,4) * 1,2m^3}{(1,490 * 10^{-5})^2}$$

$$Gr = 19996,61 * 10^{-5}$$

Si $\frac{Gr}{Re^2} \ll 1$ las fuerzas de flotabilidad son despreciables, y se debe considerar como convección forzada, caso contrario será tomado como convección natural. (Cengel Yunus, 2011, pg. 526).

$$\frac{Gr}{Re^2} = 0,07 \quad (38)$$

3.1.23 Determinación de Nusselt.

Basados en el número de Reynolds se tiene flujo laminar, por lo tanto, se tiene el siguiente número de Nusselt.

$$Nu_x = 0.332Re_x^{0,5}Pr^{1/3} \quad Pr > 0,6 \quad Re_x < 5 \times 10^5 \quad (39)$$

$$Nu_x = 123,034 \text{ (Adimensional)}$$

Donde:

- Re : Numero de Reynolds, [*Adimensional*]
- Pr : Numero de Prandtl, [*Adimensional*]

3.1.24 Determinación del factor de convección para la superficie.

$$h_{con} = \frac{Nux * K}{x} \quad (40)$$

$$h_{con} = 2,56 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Donde:

- **K**: Conductividad térmica, [$W/m \cdot ^\circ K$]
- **x**: longitud efectiva, [m]

3.1.25 Radiación en la superficie.

3.1.26 Determinación la temperatura del cielo por el método de Berdahl y Martin.

Por el efecto de las nubes tenemos $C_c = 0.5$. (Duffie Jhon, Beckman William, 2013, pg. 148)

$$C_a = 1 + 0,0224C_c + 0,0035 C_c^2 + 0,0028 C_c^3 \quad (41)$$

$$C_a = 1 + 0,0224(0,5) + 0,0035(0,5)^2 + 0,0028(0,5)^3$$

$$C_a = 1,01211$$

La Emisividad del cielo despejado se tiene.

$$\varepsilon_{clear} = 0,711 + 0,56 \left(\frac{T_{dp}}{100} \right) + 0,73 \left(\frac{T_{dp}}{100} \right)^2 \quad (42)$$

$$\varepsilon_{clear} = 0,77$$

Donde:

- **T_{dp}** : Temperatura punto de rocío, [$^\circ C$]

Hallamos la temperatura del cielo despejado.

$$T_{cielo\ despejado} = T_a (\varepsilon_{clear}^{0,25}) \quad (43)$$

$$T_{\text{cielo despejado}} = 286,4 \text{ } ^\circ\text{K} (0,77^{0,25})$$

$$T_{\text{cielo despejado}} = 268,285 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Finalmente se tiene la temperatura del cielo.

$$T_{\text{cielo}} = C_a^{0,25} * T_{\text{cielo despejado}} \quad (44)$$

$$T_{\text{cielo}} = (1,0121^{0,25})(268,285)$$

$$T_{\text{cielo}} = 269,093 \text{ } ^\circ\text{K}$$

3.1.27 Determinación del factor de radiación para la superficie.

$$q_{\text{rad}} = h_{\text{rad}} A (T_1 - T_2) \quad (45)$$

$$q_{\text{rad}} = \sigma \epsilon_1 (T_1^4 - T_2^4) \quad (46)$$

Al igualar ambas ecuaciones tenemos.

$$h_{\text{rad}} = \frac{\sigma \epsilon_1 (T_a^4 - T_{\text{cielo}}^4)}{(T_1 - T_2)} \quad (47)$$

$$h_{\text{rad}} = 5,0704 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}} \right]$$

Donde:

- σ : Constante de Stefan Boltzman, $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}^4} \right]$
- ϵ_1 : Emisividad del cielo ≈ 1 , [Adimensional]
- T_a : Temperatura ambiente, [$^\circ\text{K}$]
- T_{cielo} : Temperatura del cielo, [$^\circ\text{K}$]

3.1.28 Resistencia en el exterior.

$$R_{\text{ext}} = \frac{1}{h_{\text{rad}} + h_{\text{con}}} \quad (48)$$

$$R_{ext} = \frac{1}{5,0704 + 2,56}$$

$$R_{ext} = 0,13105 \left[\frac{m^2 \circ K}{w} \right]$$

3.1.29 Resistencia de conductividad en el vidrio

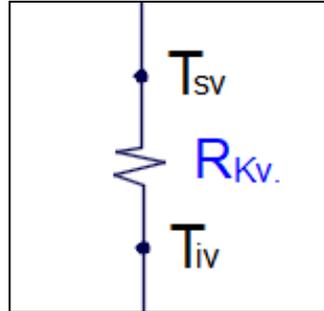


Figura 5-3: Circuito térmico del parabrisas
Fuente: Autores, 2018.

$$R_{Kv} = \frac{b_v}{k_v} \tag{49}$$

$$R_v = \frac{5,76 \times 10^{-8}}{0,8}$$

$$R_v = 7,2 \times 10^{-3} \left[\frac{m^2 \circ K}{w} \right]$$

Donde:

- b_v : Espesor del vidrio, [m]
- k_v : Coeficiente térmico del vidrio, [$W/m \circ K$]

3.1.30 Radiación y convección interior.

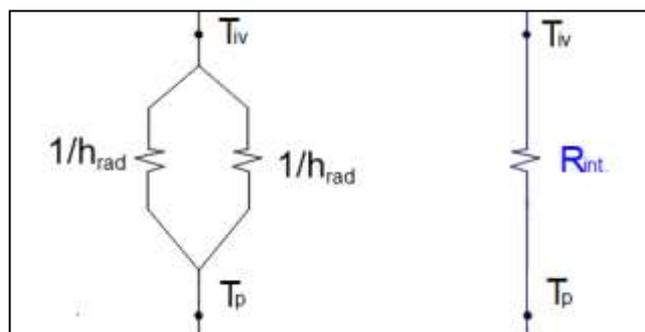


Figura 6-3: Circuito térmico en el interior del colector.
Fuente: Autores, 2018.

3.1.31 Conductancia por convección en el interior.

En el interior del recinto del CPC se tiene convección natural, por ello será necesario utilizar una temperatura fílmica. (Cengel Yunus, 2011, pg. 540).

$$T_f = \frac{T_{sT} + T_{sv}}{2} \quad (50)$$

$$T_f = 45,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Donde:

- T_{sT} : Temperatura superficial de la tubería, [$^\circ\text{C}$]
- T_{sv} : Temperatura superficial del vidrio, [$^\circ\text{C}$]

Tabla 4-3: Propiedades a temperatura fílmica (45,5 $^\circ\text{C}$).

Temperatura	Conductividad térmica (k)	Viscosidad cinemática (v)	Número de Prandtl (Pr)
$^\circ\text{C}$	$\left[\frac{W}{m \text{ } ^\circ\text{K}} \right]$	$\left[\frac{m^2}{s} \right]$	[adimensional]
45	0,02699	1,75 e-5	0,7241
45,5	X_1	X_2	X_3
50	0,02735	1,798 e-5	0,7228

Realizado por: Autores,2019.

Fuente: CENGEL Yunus.

Interpolando se tendrá las siguientes propiedades.

- $K = 0,02699 \text{ } W/m^\circ K$
- $\gamma_{aire} = 1,750 \times 10^{-5} \text{ } m^2/s$
- $Pr = 0,7241$

3.1.32 Determinación del número de Rayleigh

$$R_{AL} = Gr \cdot Pr$$

$$R_{AL} = \frac{g * \beta * (T_{ST} - T_{sv}) * Lc^3}{\gamma_{aire}^2} . Pr \quad (51)$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad (52)$$

Donde:

- **g**: Aceleración gravitacional, $[m/s^2]$
- **β**: Coeficiente de expansión volumétrica, $[K^{-1}]$
- **L_c**: Longitud característica, [m]
- **γ_{aire}**: Viscosidad cinemática del aire, $[m^2/s]$
- **T_f**: Temperatura fílmica, $[°C]$

$$R_{AL} = \frac{9,81 * (0,00314) * (343 - 294) * (0,0842)^3}{(1,75 * 10^{-5})^2} . (0,7241)$$

$$R_{AL} = 213,036 x 10^4$$

3.1.33 Determinación de Nusselt utilizando la correlación de Churchill y Chu.

Según el número de Reynolds se tiene flujo laminar, para este se tiene el siguiente número de Nusselt.

$$N_u = 1 + 1,44 \left[1 - \frac{1708}{R_{AL} \cos \theta} \right]^+ \left[1 - \frac{1708(\sin 1,8\theta)^{1,6}}{R_{AL} \cos \theta} \right] + \left[\frac{(R_{AL} \cos \theta)^{1/3}}{18} - 1 \right]^+ \quad (53)$$

$$N_u = 1 + 1,44 \left[1 - \frac{1708}{(213,036 x 10^4) \cos 5} \right]^+ \left[1 - \frac{1708(\sin 1,8(5))^{1,6}}{(213,036 x 10^4) \cos 5} \right] + \left[\frac{((213,036 x 10^4) \cos 5)^{1/3}}{18} - 1 \right]^+$$

$$N_u = 8,578 \text{ [Adimensional]}$$

3.1.34 Determinación del factor de convección en el interior.

$$h_{con} = \frac{Nux * K}{x} \quad (54)$$

$$h_{con_{int}} = 2,7496 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K}$$

Donde:

- **K**: Conductividad térmica, $[W/m \text{ } ^\circ K]$
- **x**: longitud efectiva, $[m]$

3.1.35 Radiación existente en el interior de la forma CPC.

Se determinará el coeficiente de radiación con la siguiente expresión.

$$h_{rad} = \frac{\sigma (T_2^2 + T_1^2)(T_2 + T_1)}{\frac{1 - \epsilon_1}{\epsilon_1} + \frac{1}{F_{12}} + \frac{(1 - \epsilon_2)A_1}{\epsilon_2 A_2}} \quad (55)$$

Donde:

- **σ** : Constante de Stefan Boltzman, $[W/m^2 \text{ } ^\circ K^4]$
- **ϵ_1** : Emisividad del Aluminio, $[Adimensional]$
- **ϵ_2** : Emisividad del Cobre, $[Adimensional]$
- **T_1** : Temperatura de la cubierta, $[^\circ K]$
- **T_2** : Temperatura de la placa, $[^\circ K]$
- **F_{12}** : Factor de forma de la tubería hacia la parábola, $[Adimensional]$

El Factor de forma se determina con el método de las cuerdas cruzadas. (Petela Richard, 2004, pg. 227).

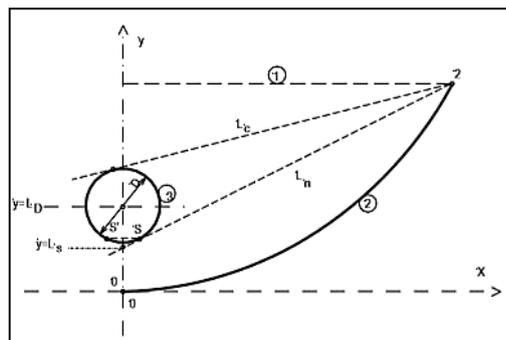


Gráfico 10-3: Esquema para los factores de forma de la radiación.
Fuente: Richard Petela, 2005.

$$F_{ij} = \frac{\Sigma(\text{cuerdas cruzadas}) - \Sigma(\text{cuerdas no cruzadas})}{2x(\text{cuerdas sobre la superficie})}$$

$$F_{12} = \frac{L_c - L_n}{L_1} \quad (56)$$

$$L_1 = A_1 = 2X_2 \quad (57)$$

$$L_1 = 112,21 \text{ mm}$$

$$L_n = \sqrt{(X_2 - X_s)^2 + (Y_2 - Y_s)^2} \quad (58)$$

$$L_n = \sqrt{(56,1 - 6,5)^2 + (84,16 - 34)^2} = 70,55 \text{ mm}$$

$$S_{cir} = D \sin^{-1} \left(\frac{2X_s}{D} \right) \quad (59)$$

$$S_{cir} = 15,23 \text{ mm}$$

$$L_c = L_n + \frac{\pi D}{2} - S_{cir} \quad (60)$$

$$L_c = 112,21 + \frac{\pi (15,875)}{2} - 15,23 = 80,255 \text{ mm}$$

Al reemplazar en la ecuación 56 se tiene:

$$F_{12} = 0,086 [\text{Adimensional}]$$

Reemplazando en la ecuación 55 tenemos:

$$h_{int}^{rad} = \frac{5,67 \times 10^{-8} (343^2 + 294^2)(343 + 294)}{\frac{1 - 0,04}{0,04} + \frac{1}{0,086} + \frac{(1 - 0,78)0,112}{0,78(1,979 \times 10^{-4})}}$$

$$h_{rad, int} = 0,03769 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

3.1.36 Resistencia en el interior.

$$R_{int} = \frac{1}{h_{rad, int} + h_{con, int}} \quad (61)$$

$$R_{int} = \frac{1}{0,03769 + 2,7496}$$

$$R_{int} = 0,13105 \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$$

3.1.37 Coeficiente de pérdidas en la Cima.

$$U_{cima} = \frac{1}{R_{exterior} + R_v + R_{int}} \quad (62)$$

$$U_{cima} = \frac{1}{0,131 + (7,2 \times 10^3) + 0,3588}$$

$$U_{cima} = 2,012 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

3.1.38 Coeficiente de pérdidas en la Base

3.1.39 Resistencia de conducción de la placa de Aluminio.

$$R_{Al} = \frac{b_{Al}}{K_{Al}} \quad (63)$$

Donde:

- b_{Al} : Espesor de la placa de aluminio, [m]
- K_{Al} : Coeficiente térmico del aluminio, [$W/m \cdot K$]

$$R_{Al} = \frac{3 \times 10^{-3}}{172}$$

$$R_{Al} = 1,74 \times 10^{-5} \left[\frac{m^2 \circ K}{w} \right]$$

3.1.40 Resistencia de conducción del Aislante

$$R_{as} = \frac{b_{Ny}}{K_{Ny}} \quad (64)$$

Donde:

- b_{Ny} : Espesor del aislante, [m]
- K_{Ny} : Coeficiente térmico del nylon, [$w/m^\circ K$]

$$R_{as} = \frac{0,035}{0,28}$$

$$R_{as} = 0,125 \left[\frac{m^2 \circ K}{w} \right]$$

3.1.41 Resistencia de conducción del Caucho.

$$R_{Ch} = \frac{b_{caucho}}{K_{caucho}} \quad (65)$$

Donde:

- b_{caucho} : Espesor del caucho, [m]
- K_{caucho} : Coeficiente térmico del caucho, [$w/m^\circ K$]

$$R_{Ch} = \frac{1,5 \times 10^{-3}}{0,16}$$

$$R_{Ch} = 0,09375 \left[\frac{m^2 \circ K}{w} \right]$$

El coeficiente de pérdidas en la base será:

$$U_{base} = \frac{1}{R_{Al} + R_{as} + R_{ch}} \quad (66)$$

$$U_{base} = \frac{1}{(1,74 \times 10^{-5}) + 0,125 + 0,09375}$$

$$U_{base} = 4,571 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

3.1.42 Coeficiente de pérdidas en los flancos.

La resistencia por convección y radiación se puede suponer que es cero porque toda la resistencia al flujo de calor se debe al aislamiento. (Duffie Jhon, Beckman William, 2013, pg. 252)

$$h_{flanco}^{rad} = 0 \quad ; \quad h_{flanco}^{con} = 0$$

Para las pérdidas por conducción en los flancos se tiene.

$$U_e = \frac{(U_{base}A)_{borde}}{A_c} \quad (67)$$

Donde:

- U_{base} : Coeficiente de pérdidas de calor base, $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$
- A : Perímetro por altura del colector, $[m]$
- A_c : Área del colector, $[m^2]$

$$U_e = \frac{(4,571)(6,02 \times 0,14)}{1,81(1,2)}$$

$$U_e = 1,774 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

3.1.43 Coeficiente de pérdidas total.

$$U_T = U_{cima} + U_{base} + U_e \quad (68)$$

$$U_T = 2,012 + 4,571 + 1,77$$

$$U_T = 8,357 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

3.1.44 *Calculo de la radiación solar absorbida.*

La radiación absorbida está compuesta por la radiación directa, la radiación difusa y la radiación reflejada por el suelo, esta puede ser determinada por la siguiente relación: (Duffie Jhon, Beckman William, 2013, pg. 345)

$$S = G_{b,CPC} \tau_{c,b} \tau_{CPC,b} \alpha_b + G_{d,CPC} \tau_{c,d} \tau_{CPC,d} \alpha_d + G_{g,CPC} \tau_{c,g} \tau_{CPC,g} \alpha_g \quad (69)$$

$$G_{b,CPC} = F G_{bn} \cos \theta \quad (70)$$

$$G_{d,CPC} = \begin{cases} \frac{G_d}{c} & (\beta + \theta_c) < 90 \\ \frac{G_d}{2} \left(\frac{1}{c} + \cos \beta \right) & (\beta + \theta_c) > 90 \end{cases} \quad (71)$$

$$G_{g,CPC} = \begin{cases} 0 & (\beta + \theta_c) < 90 \\ \frac{G_d}{2} \left(\frac{1}{c} - \cos \beta \right) & (\beta + \theta_c) > 90 \end{cases} \quad (72)$$

Donde:

- **$G_{b,CPC}$** : Radiación del haz en la abertura dentro del ángulo de aceptación, $\left[\frac{W}{m^2} \right]$
- **$\tau_{c,b}$** : Es la transmitancia para la radiación del haz para cualquier cubierta puesta sobre la matriz CPC, $[Adimensional]$
- **$\tau_{CPC,b}$** : Es la transmitancia del CPC tomando en cuenta las perdidas por reflexión existente, este valor será la misma para la radiación difusa, $[Adimensional]$
- **α_b** : Absortancia del receptor producida por la radiación del haz, mismo valor para la radiación difusa, $[Adimensional]$
- **$G_{d,CPC}$** : Radiación solar difusa.
- **$\tau_{c,d}$** : Transmitancia considerando absorción y reflexión, $[Adimensional]$
- **G_{bn}** : Radiación solar directa, $\left[\frac{W}{m^2} \right]$
- **$\cos \theta$** : Coseno del ángulo de incidencia.

- G_d : Radiación solar difusa, $[W/m^2]$
- c : Radio de concentración, $[Adimensional]$
- $\cos \beta$: Coseno del ángulo de la pendiente del colector.
- θ_c : Ángulo de aceptación, $[^\circ]$

El termino F de la ecuación 70, se le denomina función de control y se le da un valor de 1 si cumple la siguiente condición y 0 en caso contrario. (Duffie Jhon, Beckman William, 2013, pg. 346)

$$(\beta - \theta_c) \leq \tan^{-1}(\tan \theta_z \cos \gamma_s) \leq (\beta + \theta_c) \quad (73)$$

Donde:

- θ_z : Ángulo acimutal, $[^\circ]$
- γ_s : Ángulo acimutal de la superficie, $[^\circ]$

$$(5^\circ - 21^\circ) \leq \tan^{-1}(\tan 31,9^\circ \cos(-113,02^\circ)) \leq (5^\circ + 21^\circ)$$

$$-16^\circ \leq -13,77^\circ \leq 26^\circ$$

Si cumple la condición por lo tanto F=1

Reemplazando en la ecuación 70.

$$G_{b,CPC} = 1 \left(381,672 \frac{W}{m^2} \right) (0,8637)$$

$$G_{b,CPC} = 329,65 \frac{W}{m^2}$$

La radiación solar difusa se encontrará con la ecuación 71.

$$(\beta + \theta_c) < 90 \quad \therefore \quad G_{d,CPC} = \frac{G_d}{c}$$

$$G_{d,CPC} = \frac{301,511}{2,25}$$

$$G_{d,CPC} = 134,005 \frac{W}{m^2}$$

Para la radiación reflejada por el suelo se calculará mediante la ecuación 72.

$$(\beta + \theta_c) < 90 \quad \therefore \quad G_{g,CPC} = 0$$

La transmitancia del CPC tomando en cuenta las pérdidas por reflexión existente, será calculada con la siguiente expresión: (Duffie Jhon, Beckman William, 2013, pg. 340)

$$T_{cpc} = \rho^{ni} \quad (74)$$

Donde:

- ρ : Reflectancia del CPC, [Adimensional]
- ni : Numero promedio de reflexiones. (Figura 14-3).

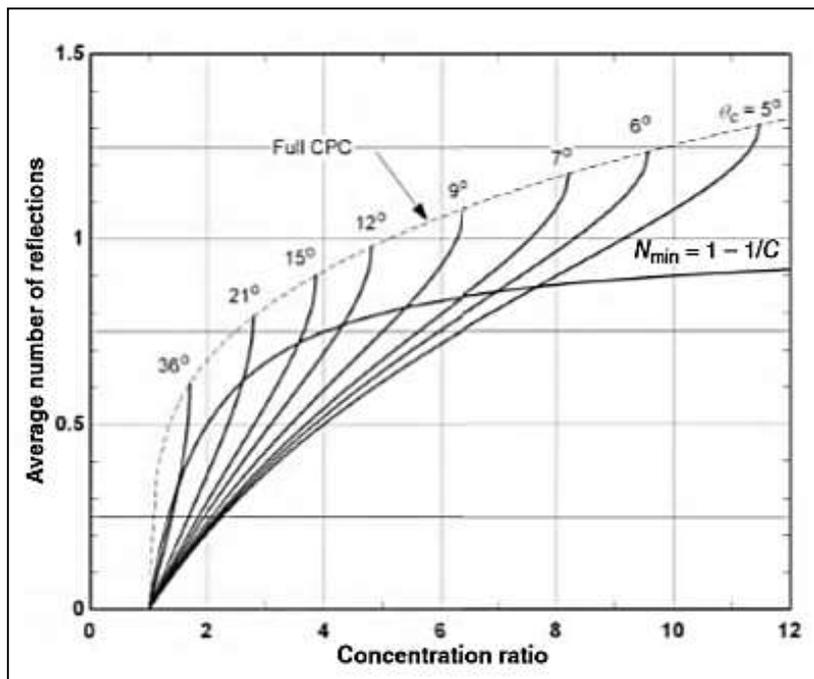


Gráfico 11-3: Número promedio de reflexiones dentro del ángulo de aceptación.
Fuente: Jhon Duffie, William Beckman, 2013.

No toda la radiación difusa incidente entrara efectivamente al CPC, y la parte que lograra ingresar estará en función del ángulo de aceptación θ_c . En la figura 15-3, se indica la relación entre el ángulo medio de aceptación θ_c , y el ángulo medio de incidencia de la radiación difusa efectiva del cielo θ_e . (Duffie Jhon, Beckman William, 2013, pg. 347).

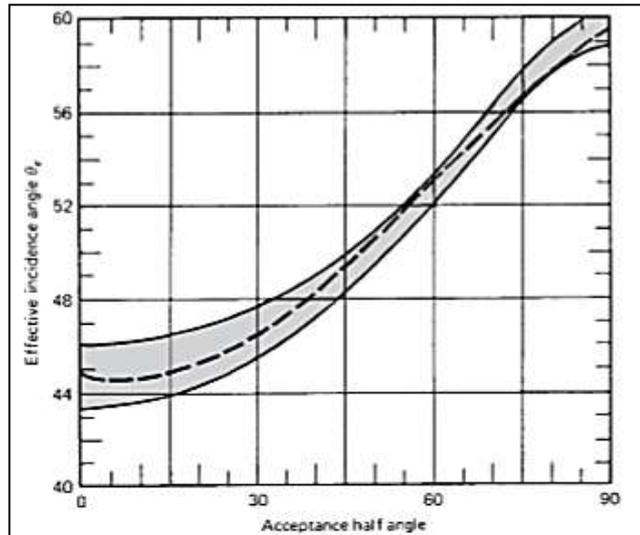


Gráfico 12-3: Angulo de incidencia equivalente para la radiación difusa
Fuente: Jhon Duffie, William Beckman, 2013

Hallamos entonces la transmitancia (considera la absorción y la reflexión), con la gráfica 5-3, la cual se encuentra en función del ángulo de incidencia θ_e . (Duffie Jhon, Beckman William, 2013, pg. 210).

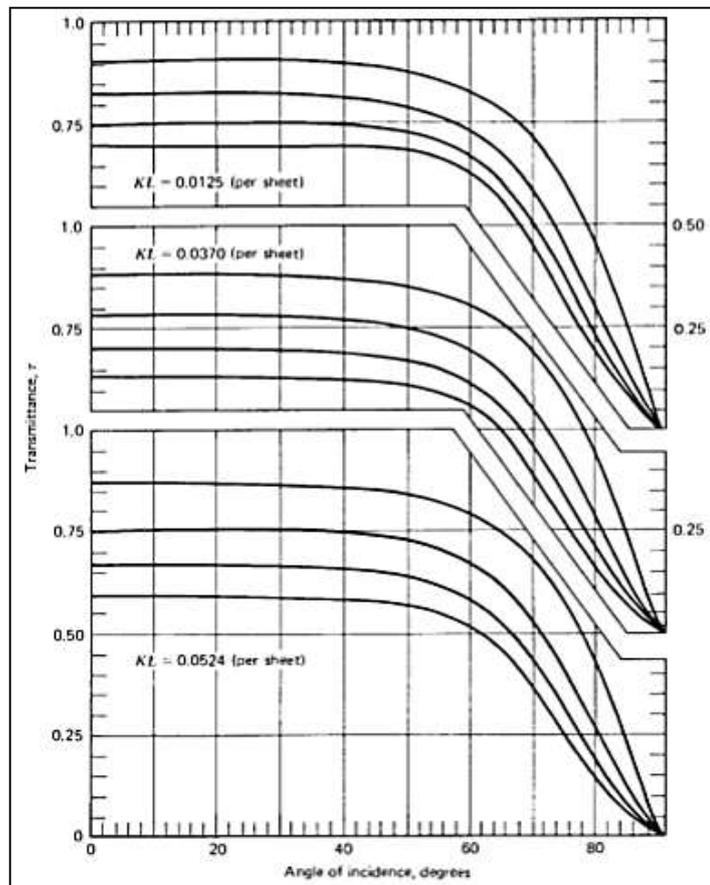


Gráfico 13-3: Transmitancia considerando absorción y reflexión para una y varias cubiertas.
Fuente: Jhon Duffie, William Beckman, 2013

Finalmente, la radiación absorbida será.

$$S = G_{b,CPC} \tau_{c,b} \tau_{CPC,b} \alpha_b + G_{d,CPC} \tau_{c,d} \tau_{CPC,d} \alpha_d + G_{g,CPC} \tau_{c,g} \tau_{CPC,g} \alpha_g$$

$$S = [329,65(0,9)(2)^{0,6}(0,91)] + [134,005(0,7)(2)^{0,6}(0,91)]$$

$$S = 538,602 \frac{W}{m^2}$$

3.1.45 Factor de eficiencia del colector.

$$F' = \frac{1/U_L}{\frac{1}{U_L} + \frac{D_o}{h_{fi}D_i} + \left(\frac{D_o}{2K} \ln \frac{D_o}{D_i}\right)} \quad (75)$$

Donde:

- U_L : Coeficiente de pérdidas total, $[W/m^2 \circ K]$
- D_o : Diámetro exterior de la tubería de cobre, $[m]$
- D_i : Diámetro interior de la tubería de cobre, $[m]$
- h_{fi} : Coeficiente de transferencia de calor en el interior de la tubería, $[W/m^2 \circ K]$
- K : Conductividad térmica de la tubería de cobre, $[W/m \circ K]$

Para cálculos preliminares se asume el factor de eficiencia del colector, debido a que las soluciones de las ecuaciones son un proceso iterativo, ya que las temperaturas y el flujo másico son recíprocos. (Duffie Jhon, Beckman William, 2013, pg. 491).

Asumiendo el factor de eficiencia como independiente del flujo másico, se tiene la siguiente expresión.

$$\dot{m} = \frac{-U_L F' A_c}{C_p \ln \left\{ 1 - \frac{U_L (T_o - T_i)}{S - U_L (T_i - T_a)} \right\}} \quad (76)$$

Donde:

- A_c : Área del colector, [m^2]
- C_p : Calor específico del agua, [$J/m \text{ } ^\circ K$]
- T_o : Temperatura salida del agua, [$^\circ K$]
- T_i : Temperatura de entrada del agua, [$^\circ K$]
- T_a : Temperatura ambiente, [$^\circ K$]

Como recomendación, asumiremos un factor de eficiencia $F' = 0,91$, con el cual obtenemos la primera iteración del flujo másico. (Duffie Jhon, Beckman William, 2013, pg. 493)

$$\dot{m} = \frac{-8,357(0,91)(1,81 \times 1,2)}{4186 \ln \left\{ 1 - \frac{8,357(313 - 288,4)}{538,602 - 8,357(288,4 - 286,3)} \right\}}$$

$$\dot{m} = 7,864 \times 10^{-3} \text{ Kg/s}$$

Hallamos el caudal con la siguiente expresión:

$$\dot{m} = \rho Q \tag{77}$$

$$Q = \frac{7,864 \times 10^{-3}}{1000}$$

$$Q = 7,864 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

A continuación, se halla la velocidad del fluido.

$$V_f = \frac{4Q}{\pi D_i^2} \tag{78}$$

$$V_f = 0,063 \text{ m/s}$$

El número de Reynolds se halla con la siguiente expresión:

$$R_e = \frac{\rho_{H2O} V_f D_i}{\mu_{\text{agua}}} \tag{79}$$

$$Re = 1290,683$$

Como recomendación tenemos que número de Reynolds debe ser $\leq 4\ 000$. (Cengel Yunus, 2011, pg. 422)

Calculamos el número de Prandtl.

$$Pr = \frac{C_p U_L}{K_a} \quad (80)$$

Donde:

- C_p : Calor específico del agua, $[Kcal/Kg.^\circ K]$
- K_a : Conductividad del agua, $[Kcal/m. s.^\circ K]$

Con estos valores se encuentra el número de Nusselt.

$$Nu = 1,86 \left(Re Pr * \frac{D_i}{Y} \right)^{0,33} \quad (81)$$

Donde:

- Y : Longitud unitaria del colector, $[m]$

$$Nu = 1,86 \left[\left(1290,683 * 4,1133 * \frac{(12,573 \times 10^{-3})}{1,5} \right) \right]^{0,33}$$

$$Nu = 6,508$$

Hallamos el coeficiente de película del fluido con la siguiente relación:

$$h_f = \frac{Nu K_a}{D_i} \quad (82)$$

Donde:

- K_a : Conductividad del agua, $[W/m^\circ K]$

$$h_f = \frac{6,508(0,62802) \frac{W}{m \cdot ^\circ K}}{12,573 \times 10^{-3} m}$$

$$h_f = 325,091 \frac{W}{m^2 K}$$

Hallamos el factor de eficiencia del colector reemplazando en la ecuación 75.

$$F' = \frac{1/8,357}{\frac{1}{8,357} + \left(\frac{15,875 \times 10^{-3}}{325,091(12,573 \times 10^{-3})} \right) + \left(\frac{15,875 \times 10^{-3}}{2(385)} \ln \frac{15,875 \times 10^{-3}}{12,573 \times 10^{-3}} \right)}$$

$$F' = 0,9685$$

Recalculando tenemos un nuevo valor para el flujo másico.

$$\dot{m} = 8,369 \times 10^{-3} \text{ Kg/s}$$

3.1.46 Factor de Remoción del colector.

Es aquel valor que compara la energía útil obtenida en el colector, con respecto a la energía útil que se obtendría, si la temperatura que entra del fluido fuese la misma de la superficie. (Duffie Jhon, Beckman William, 2013, pg. 263)

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p}{A_c U_L} \left[1 - \exp \left(- \frac{A_c U_L F'}{\dot{m} C_p} \right) \right] \quad (83)$$

$$F_R = \frac{(8,368 \times 10^{-3} \text{ Kg/s})(4186 \text{ J/Kg}^\circ K)}{8,357(1,81 \cdot 1,20)} \left[1 - \exp \left(- \frac{(1,81 \times 1,2)(8,357)(0,9685)}{(8,369 \times 10^{-3})(4186)} \right) \right]$$

$$F_R = 0,7615$$

Calculamos el calor útil con la siguiente expresión:

$$Q_u = F_R A_a \left[S - \frac{A_r}{A_a} U_L (T_i - T_a) \right] \quad (84)$$

Donde:

- A_a : Área de apertura del colector Solar, [m^2]
- S : Radiación Absorbida, [W/m^2]
- T_i : Temperatura de entrada del agua, [$^{\circ}K$]
- T_a : Temperatura ambiente, [$^{\circ}K$]

$$Q_U = 0,7615(2,172) \left[538,602 - \frac{8,357(288,4 - 286,3)}{2,25} \right]$$

$$Q_U = 877,953 \text{ W}$$

3.1.47 Eficiencia térmica de un colector CPC

La eficiencia de recolección del calor está definida por la relación entre la ganancia útil, con respecto a la energía solar incidente sobre una superficie dada, en un mismo periodo de tiempo. (Duffie Jhon, Beckman William, 2013, pg. 238)

$$n = \frac{Q_U}{I_T A_C} \quad (85)$$

$$n = \frac{877,953}{683,479(1,81 \times 1,2)}$$

$$n = 59,47\%$$

3.1.48 Materiales de construcción del "CPC".

3.1.49 Cubierta.



Figura 7-3: Parabrisas delantero de un autobús (desechado).
Fuente: Autores, 2019.

La cubierta puede estar hecha de vidrio o plástico, pero se prefieren las cubiertas de vidrio sobre las plásticas, debido a que estas permiten adquirir elevadas temperaturas. Para nuestro CPC, se ha utilizado como cubierta un parabrisas de autobús desechado, el cual se encuentra en óptimas condiciones. El cristal utilizado está compuesto por dos vidrios laminados anteriormente curvados, entre ambos vidrios se encuentra una lámina plástica y cristalina, elaborada de “butiral de polivinil” (PVB), debido a la fuerza provocada gracias a un proceso térmico y a presión, los depósitos de aire son suprimidos permitiendo que el parabrisas se muestre visualmente transparente y como un solo cristal.

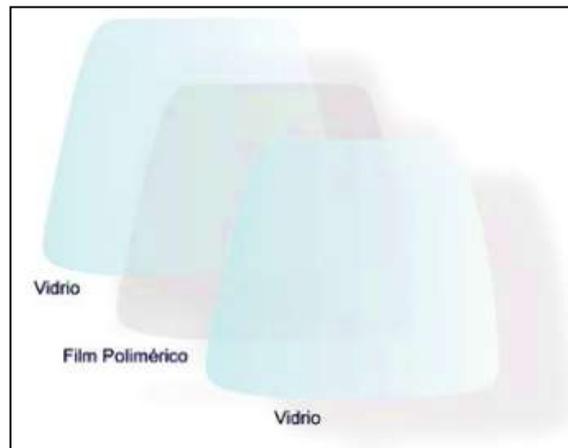


Figura 8-3: Luna laminada.
Fuente: Francisco Javier López García, Vehículos Industriales, 2017.

Generalmente el vidrio utilizado en los calentadores solares convencionales es de tipo solar o normal transparente. El vidrio normal o vidrio monolítico, se conforma por una lámina de cristal simple, cuyo espesor varía de 2 a 5 mm, este puede ser incoloro (transparente) u opaco, las propiedades térmicas y de transferencia permanecen estables.



Figura 9-3: Vidrio monolítico de 5mm de espesor.
Fuente: Acristalamientos Grupo Vinuesa.

El vidrio de tipo solar o de baja emisividad consiste en un cristal monolítico, en cuya superficie se coloca una fina capa de óxidos metálicos, la cual le proporciona un fortificado aislamiento térmico, evitando que el calor concebido en su interior se disperse nuevamente al exterior, de esta forma mientras mayor sea la contribución solar, menor será el requerimiento de calefacción, ahorrando energía y economizando gastos.



Figura 10-3: Vidrio solar.
Fuente: COSNTRUMÁTICA, (Ingeniería y Construcción), 2016.

3.1.50 *Material y disposición del circuito hidráulico.*

El circuito hidráulico tiene una disposición en paralelo, es decir que está conformada por dos tuberías principales y nueve tuberías secundarias, dispuestas así por el área de disponible, tal y como se muestra en la figura 18-3. El material que se ha escogido para el circuito hidráulico es el cobre, las tuberías principales poseen un diámetro interno de 1 pulgada, mientras que las secundarias tienen un diámetro interno de ½ pulgada, éstas han sido acopladas entre sí, mediante el proceso de soldadura por fusión o también llamada soldadura autógena.

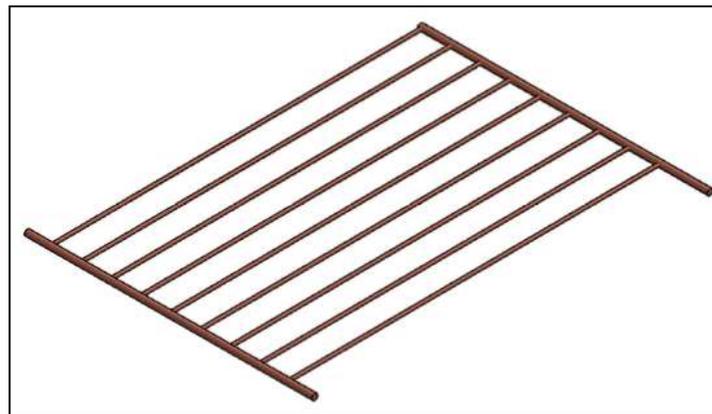


Figura 11-3: Circuito hidráulico disposición en paralelo
Fuente: Autores, 2019.

3.1.51 Recubrimiento del circuito hidráulico.

Luego de comprobar y corroborar que en nuestro circuito no existen agrietamientos, porosidades o fugas, se lo matizo con pintura de color negro sobre toda la superficie del circuito de manera uniforme, se hizo esto ya que los cuerpos oscuros absorben la energía solar, mientras que los cuerpos claros provocan que la luz del sol se refleje, por ello al hacer esto se tiene una mayor eficiencia, porque se garantiza la absorción de energía.



Figura 12-3: Matizado de color negro en el circuito hidráulico
Fuente: Autores, 2019.

3.1.52 Aislante térmico.

El aislante térmico que se ha utilizado es el nylon, el cual proviene de los NFU, generalmente se utiliza fibra de vidrio, y gracias a los estudios realizados en el transcurso del tiempo, se tienen los siguientes datos tanto del nylon, como de la fibra de vidrio, estos datos se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 5-3: Comparación Entre la Fibra de Vidrio y el Nylon

	Fibra de vidrio.	Nylon.
<i>Calor específico (J)</i>	795	2140
<i>Densidad (kg/m³)</i>	220	1300
<i>Conductividad térmica (W/m^{°K})</i>	0.04	0.23

Fuente: CENIM. (Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas), Laboratorio de Innovación y Reciclado de Materiales. 2015.

Realizado por: López, F, Alguacil, J, & Manso, J. 2015.

De lo cual podemos concluir que, el nylon al igual que la fibra de vidrio es un excelente aislante térmico, aunque debido a su densidad, esto lo hace más pesado en comparación con la fibra de vidrio, la cual es mucho más ligera que este.

3.1.53 Estructura externa.

La estructura externa se ha elaborado de acero estructural A36, debido a su excelente resistencia a la corrosión, y su correcta rigidez para soportar no solo el recubrimiento, sino también los elementos internos que conforman nuestro CPC.

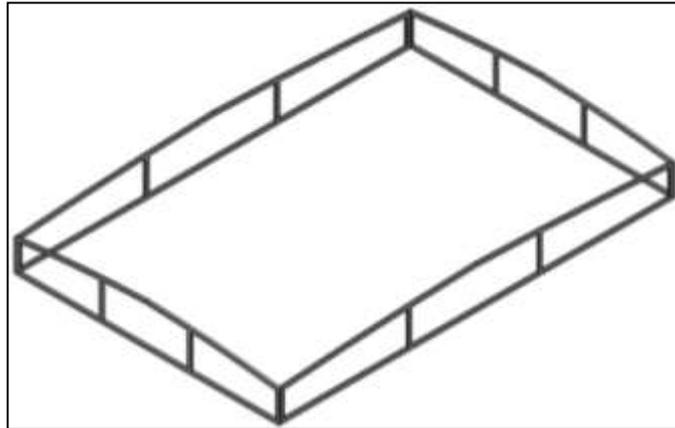


Figura 13-3: Estructura externa.

Fuente: Autores, 2019.

3.1.54 Recubrimiento de la estructura.

La estructura está cubierta por planchas de caucho reciclado, las cuales se componen de un 80% gránulos de neumáticos fuera de uso, el cual se obtiene gracias al triturado mecánico del caucho desechado, este granulado procede de la banda de rodadura del neumático, ya que, como se ha mencionado anteriormente, la composición de los neumáticos hace que estos sean resistentes a la fricción, por ello las planchas tienen como característica principal su gran resistencia al desgaste. Estas tienen un espesor que varía de 15mm, son de forma cuadrada teniendo 500mm de lado y fueron adquiridas en la empresa ECOCAUCHO, ubicada en la ciudad de Quito.



Figura 14-3: Recubrimiento de la estructura.

Fuente: Autores, 2019.

3.1.55 Placa colectora u absorbadora de calor.



Figura 15-3: placa absolvedora de calor
Fuente: Autores, 2019.

Para nuestra placa absolvedora, hemos utilizado una lámina de acero de 1mm de espesor, la cual se ha moldeado de acuerdo a la forma parabólica predeterminedada, posteriormente se la ha cubierto con papel aluminio adhesivo, esto último se realizó para garantizar la absorción de calor en nuestro CPC.

3.1.56 Válvula.

Para evitar el retorno de agua al tanque, se ha colocado una válvula anti retorno o válvula check de 1 plg, de esta manera se garantiza que el CPC cumpla su función principal, es decir el calentamiento del agua, pues esta permanecerá en la tubería hasta calentarse, y debido al efecto termosifón, deberá seguir su camino hacia el termo tanque acumulador.

3.2 Diseño y construcción del 2do prototipo: Calentador Solar Semiesférico “CSS”.

3.2.1 Configuración del colector.

Para el diseño del segundo prototipo, se ha escogido una configuración semiesférica, ya que, al poseer esta forma, el colector no necesita de una inclinación u orientación fijos, pues la radiación solar siempre chocará de forma directa sobre la superficie del mismo, inclusive en aquellos días nublados el captador semiesférico será capaz de receptor la radiación, de esta manera se aprovecha al máximo la energía del sol.

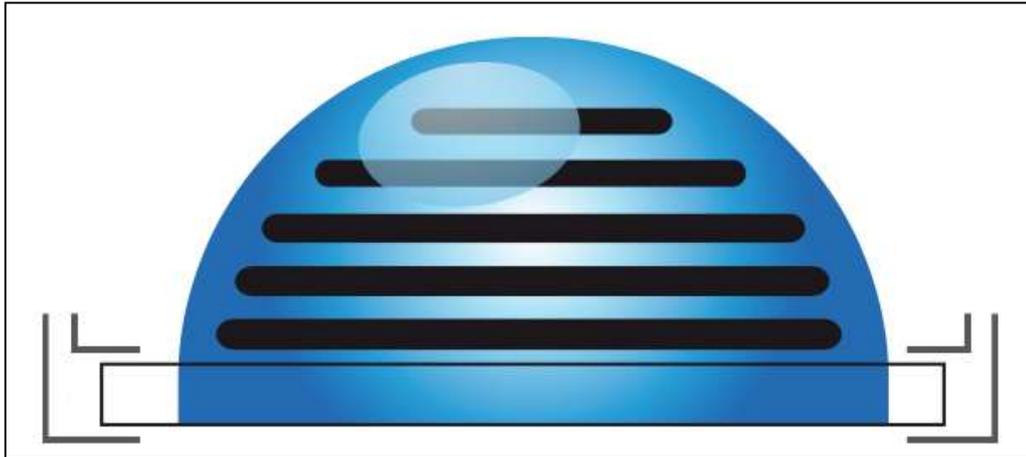


Figura 16-3: Configuración parabólica
Fuente: Cesar Echevarría, 2011.

3.2.2 Principio de Funcionamiento.

Como se ha mencionado anteriormente, en el funcionamiento del CPC, nuestro calentador solar semiesférico (CSS), tiene exactamente el mismo principio, pues los dos realizan prácticamente la misma función, es decir la absorción y transformación de radiación solar en energía térmica, energía que será trasladada al fluido de trabajo en este caso agua, por medio de conducción, convección y radiación, consecuentemente el agua ya caliente se moverá entre el termo-taque y el CSS de forma natural gracias al efecto termosifón, y para que dicho efecto ocurra sin ningún inconveniente, el termo-tanque necesariamente deberá estar ubicado a una altura superior al CSS.

3.2.3 Orientación del colector CPC.

Como se conoce que, gracias a la ubicación del Ecuador, la posición del sol varía de manera insignificante en el transcurso del año, y debido a que el CSS posee una configuración semiesférica, no importará la posición en la que este colocado, pues tanto la radiación solar como la radiación solar difusa impactarán sobre la superficie de forma directa.

3.2.4 Angulo de Inclinación.

Gracias a la forma que este posee, la energía solar es aprovechada al máximo, por ello no requiere ángulo de inclinación.

3.2.5 Condiciones de diseños para un CSS.

Las condiciones de diseño para garantizar un calentador solar semiesférico (CSS), eficiente, practico y duradero, deberán ser exactamente las mismas que las de nuestro CPC, estas condiciones se han mencionado anteriormente, por esta razón no es necesario repetirlas.

3.2.6 Criterios de diseño del CSS.

Al poseer una estructura diferente a las tradicionales, la energía solar es aprovechada al máximo, pero para un correcto funcionamiento del mismo, se deberá tener en cuenta los siguientes criterios:

3.2.7 Circuito térmico del colector CSS.

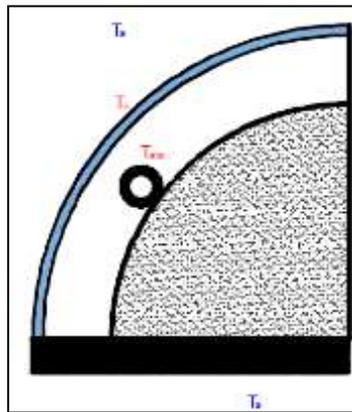


Figura 17-3: Estructura interna del CSS.
Fuente: Autores, 2019.

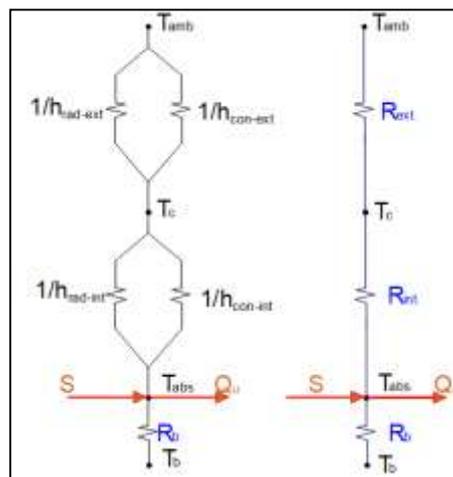


Figura 18-3: Circuito térmico del colector semiesférico.
Fuente: Autores, 2019.

3.2.8 Coeficiente de pérdidas.

Debido a la dificultad de obtener datos de forma experimental como la temperatura superficial del captador semiesférico y la temperatura superficial de la tubería, añadiendo a este el problema de la falta de modelación matemática para este tipo de colectores se utilizará un proceso matemático similar para un colector plano, cuyos resultados se aproximarán y nos ayudarán a obtener un análisis. (Ana Morillo, 2012, pg. 18)

3.2.9 Pérdidas entre el tubo absorbedor y la cubierta.

Las pérdidas que se hallan en este tramo del prototipo, son por convección y radiación.

$$\frac{1}{R_1} = h_c + h_r$$

$$\frac{1}{R_1} = \frac{K}{L_1} + \frac{K}{L_2} + \sigma \frac{(T_{abs} + T_c)(T_{abs}^2 + T_c^2)}{\frac{1}{\varepsilon_{abs}} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1}$$

Donde:

- **K**: Conductividad térmica del aire que rodea al tubo, [$W/m \cdot ^\circ K$]
- **L₁**: Distancia tubo absorbedor- cubierta, [m]
- **L₂**: Distancia media tubo absorbedor base del captador, [m]
- **σ**: Constante Stefan Boltzmann, [$W/m^2 \cdot K^4$]
- **T_{abs}**: Temperatura del tubo absorbedor, [$^\circ K$]
- **T_c**: Temperatura de la cubierta, [$^\circ K$]
- **ε_{abs}**: Emisividad del tubo absorbedor, [Adimensional]
- **ε_c**: Emisividad del a cubierta de policarbonato, [Adimensional]

$$\frac{1}{R_1} = \frac{0,0269}{0,0673} + \frac{0,0269}{6,35 \times 10^{-3}} + 5,67 \times 10^{-8} \frac{(300,5 + 294)(300,5^2 + 294^2)}{\frac{1}{0,89} + \frac{1}{0,94} - 1}$$

$$R_1 = \frac{1}{9,6686} \frac{m^2 \cdot K}{\omega}$$

3.2.10 *Perdidas de la cubierta al ambiente.*

$$\frac{1}{R_2} = h_{conv} + h_r$$

$$\frac{1}{R_2} = (5,7 + 3,8 V) + \sigma \varepsilon_c (T_c + T_{cielo})(T_c^2 + T_{cielo}^2) \frac{(T_c - T_{cielo})}{(T_c - T_{amb})}$$

Donde:

- **V**: Velocidad del viento, [m/s]
- **σ** : Constante Stefan Boltzmann, [$W/m^2 \circ K^4$]
- **ε_c** : Emisividad del a cubierta de policarbonato, [*Adimensional*]
- **T_c** : Temperatura de la cubierta, [$^{\circ}K$]
- **T_{cielo}** : Temperatura del cielo, [$^{\circ}K$]
- **T_{amb}** : Temperatura ambiente, [$^{\circ}K$]

$$\frac{1}{R_2} = (5,7 + 3,8 (2,1)) + (5,67 \times 10^{-8})(0,94)(294 + 269,09)(294^2 + 269,09^2) \frac{(294 - 269,09)}{(294 - 286,4)}$$

$$R_2 = \frac{1}{29,3035} \frac{m^2 \circ K}{\omega}$$

La ecuación que se utilizara para la obtención del coeficiente de pérdidas es la siguiente:

$$U_L = \frac{1}{\sum_i R_i}$$

$$U_L = \frac{1}{\frac{1}{9,6686} + \frac{1}{29,3035}}$$

$$U_L = 7,2699 \frac{\omega}{m^2 \circ K}$$

3.2.11 *Cálculo del factor Fr.*

La ecuación del factor de remoción será la misma que la del primer prototipo, cabe recalcar que el factor de eficiencia en la transferencia de calor hacia el tubo F' variará y cuya expresión está dada por:

$$F' = \frac{1/U_L}{W \left[\frac{1}{U_L[D + (W - D)F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_i h_{fi}} \right]}$$

Donde:

- U_L : Coeficiente de pérdidas total, $[W/m^2 \circ K]$
- W : Distancia de separación entre tubos, $[m]$
- D : Diámetro de la tubería, $[m]$
- D_i : Diámetro interior de la tubería, $[m]$
- h_{fi} : Coeficiente de transferencia de calor en el interior de la tubería, $[W/m^2 \circ K]$
- F : Factor de eficiencia de transferencia de calor de la placa al tubo, $[Adimensional]$

$$F = \frac{\tanh[m(W - D)/2]}{m(W - D)/2}$$

La expresión anterior fue diseñada para colectores planos, en nuestro prototipo CSS, se considera que las tuberías de neopreno funcionan como placa absorbidora de calor, por tal motivo podemos considerar que $F' \cong 1$. (Ana Morillo, 2012, pg. 16)

El flujo másico podremos determinarlo por la ecuación 76.

$$\dot{m} = \frac{-U_L F' A_c}{C_p \ln \left\{ 1 - \frac{U_L (T_o - T_i)}{S - U_L (T_i - T_a)} \right\}}$$

3.2.12 Cálculo del producto absorción-transmitancia.

Debido a la reflexión y absorción que ocurre entre la cubierta y la superficie se establece un factor que limita la irradiación producida. Cuya expresión está dada por: (Ana Morillo, 2012, pg. 13)

$$(\tau\alpha)_n = \tau\alpha \sum_0^{\infty} [(1 - \alpha)\rho_{dif}]^n = \frac{\tau\alpha}{1 - (1 - \alpha)\rho_{dif}}$$

Donde:

- τ : Transmitancia de la cubierta, [*Adimensional*]
- α : Absortancia del tubo captador, [*Adimensional*]
- ρ_{dif} : Reflectividad de irradiación difusa, [*Adimensional*]

La Reflectividad de irradiación difusa viene dada por la siguiente ecuación:

$$\rho_{dif} = \rho_{es}(60^\circ)$$

Donde ρ_{es} es la reflectividad especular, cuyo significado es que la irradiación difusa es igual a la especular e incide en un ángulo de 60° . (Ana Morillo, 2012, pg. 13)

3.2.13 Rendimiento.

Para el análisis de este diseño es esencial determinar el rendimiento, cuya medida nos permitirá observar la eficacia al aprovechar la energía incidente y transportarla al fluido, el rendimiento instantáneo estará dado por la siguiente ecuación:

$$n_i = F_R(\tau\alpha)_\theta - \frac{F_R U_L (T_e - T_a) A_p}{I A_c}$$

3.2.14 Materiales de construcción del “CPC”.

3.2.15 Cubierta.

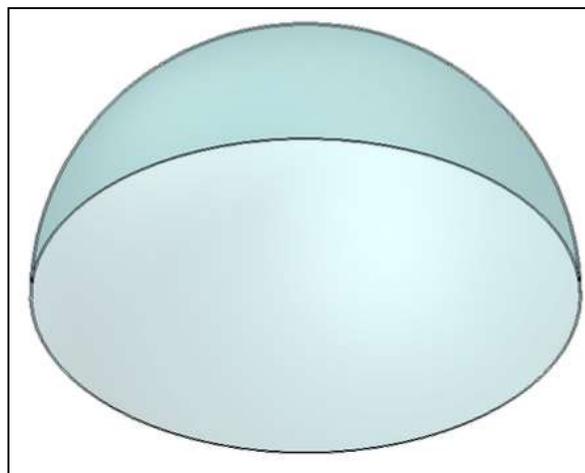


Figura 19-3: Traga luz (desechado).
Fuente: Autores, 2019.

Para nuestro CSS, se ha utilizado como cubierta, un traga luz semiesférica de policarbonato desechado, el cual se encontraba en óptimas condiciones. Es importante mencionar que las cubiertas plásticas más utilizadas son las de policarbonato, ya que, gracias a su composición, estas son resistentes a las diversas condiciones atmosféricas y cambios climatológicos, además de poseer una enorme transparencia, característica que las hace resistentes a la radiación ultravioleta, es decir el calor producido no ocasiona ningún daño sobre este tipo de superficie, pero su comportamiento es inferior al vidrio en relación con el efecto invernadero

3.2.16 *Material y disposición del circuito hidráulico.*

El circuito hidráulico tiene una disposición en espiral de forma descendente, es decir que se va enroscando a lo largo del área disponible, tal y como se muestra en la figura. La tubería que se ha colocado para este prototipo es de 1plg de diámetro y está elaborada de neopreno, el cual se obtiene del caucho reciclado tras someterse a los diferentes procesos mecánicos y térmicos, esta manguera fue adquirida en la empresa ECOCAUCHO, y debido a políticas de la misma, no se puede dar una descripción más profunda acerca de su composición



Figura 20-3: Circuito hidráulico, disposición en espiral.

Fuente: Autores, 2019.

3.2.17 *Recubrimiento del circuito hidráulico.*

Como la tubería utilizada es de color negro, no fue necesario matizarla o pintarla, pues al ser oscura la absorción de energía solar es mayor, aunque si se realizó un análisis minucioso para verificar que en el circuito hidráulico no existe ningún tipo de orificios o agrietamientos, que puedan provocar una fuga a futuro.



Figura 21-3: Circuito hidráulico negro.
Fuente: Autores, 2019.

3.2.18 Aislante térmico.

Para nuestro calentador solar semiesférico, se ha utilizado como aislante térmico el nylon, se debe recordar que este fue utilizado en el colector parabólico compuesto, debido a las diversas propiedades térmicas antes mencionadas.

3.2.19 Estructura interna.

La estructura interna esta echa de una lámina de acero A36 de 1 mm de espesor, el cual fue curvado con anterioridad, para darle su forma semiesférica, en el interior de esta se ha colocado nylon, se ha hecho para evitar que el calor se escape, ya que como se ha mencionado anteriormente el nylon es un excelente aislante térmico, posteriormente se ha recubierto la superficie con pintura de color negro, pues así la absorción de energía solar es más eficaz.



Figura 22-3: Estructura interna semiesférica.
Fuente: Autores, 2019.

3.2.20 *Placa colectora u absorvedora de calor.*

La placa colectora u absorvedora de calor, es también la estructura interna, la cual se ha descrito anteriormente en el apartado 3.2.19, no se la ha recubierto de aluminio, pues gracias a su disposición, este recibe de forma directa y en todas las direcciones los rayos solares, por ellos el CSS no necesita irradiar los rayos solares.

3.2.21 *Válvula.*

Con el fin de evitar el retorno del líquido de trabajo al termo tanque, se ha instalado una válvula anti retorno o válvula check de 1 plg, en la tubería de entrada del CSS, de esta manera el agua seguirá su trayectoria a causa del efecto termosifón y cumplirá la función para el que fue construido.

3.3 *Diseño y construcción del termo tanque acumulador de agua caliente.*

3.3.1 *Principio de funcionamiento.*

El termo tanque tiene como función principal el receptor, acumular y mantener la temperatura del agua caliente, proveniente del colector solar, pues este se encuentra sellado de tal forma que además de no dejar escapar el calor, también mantendrá la temperatura interna del fluido, por ello este está cubierto por una capa gruesa del aislante térmico, cumpliendo así la tarea para el cual fue diseñado, y por su configuración cilíndrica, este puede estar colocado ya sea de manera vertical u horizontal.

El termo tanque acumulador de agua caliente, posee una conexión directa al abastecimiento de la red hidráulica, y una conexión por donde saldrá el agua caliente para el consumo personal. También posee conexiones de entrada y salida directa al captador.

3.3.2 *Configuración hidráulica del termo tanque.*

Antes de establecer el circuito hidráulico interno que tendrá nuestro termo tanque, es necesario saber si el tanque de reserva y el termo tanque estarán ubicados a la misma altura, o si este se encontrara a una altura mayor al termo tanque.

Para el presente trabajo de titulación, el tanque de reserva se encuentra a mayor altura que el termo tanque, por ello en el interior del tanque acumulador se colocarán tres tuberías de diferentes longitudes, cuya configuración hidráulica será la siguiente:

- Para la entrada de agua fría, la cual proviene del tanque de reserva, la longitud de la tubería deberá ser de la misma altura que el tanque, además se debe colocar en su extremo un flotador, el cual regulara la entrada del fluido, pues en el momento que el tanque se haya llenado, este se cerrara por completo y evitará que este siga pasando, impidiendo algún tipo de fuga que pueda generarse.
- Para la salida de agua fría al calentador, no es necesario una tubería pues esta sale directamente de la base del tanque.
- Para la entrada del agua caliente, la cual proviene del colector solar, la longitud de la tubería deberá ser $1/3$ la altura del tanque, pues así se garantiza el principio termosifón.
- Para la salida de agua caliente a la residencia, la longitud de la tubería deberá ser de $2/3$ la altura del tanque, cumpliendo así el principio de termosifón.

Esta configuración hidráulica se describe de mejor manera en la figura siguiente:

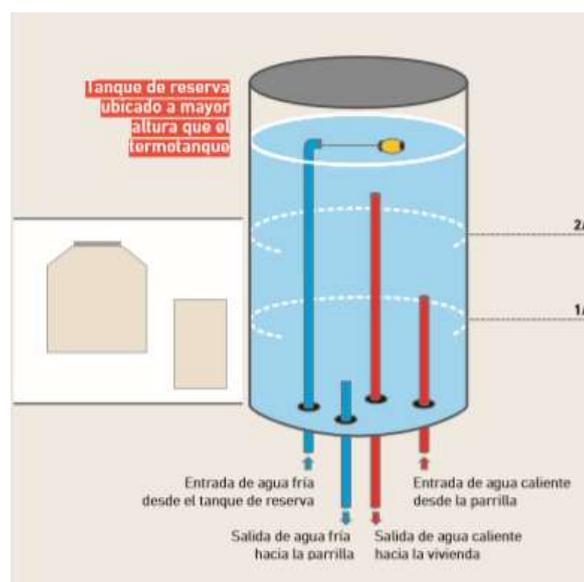


Figura 23-3: Configuración hidráulica del termo tanque.

Fuente: INTA, 2012.

3.3.3 *Materiales de construcción del termo tanque.*

3.3.4 *Tanque externo de 200 litros.*

El tanque externo es un tanque metálico, el cual fue reutilizado pues se encontraba en óptimas condiciones, además de que puedo soportar todas las condiciones atmosféricas al cual fue a sometido.



Figura 24-3:Tanque externo metálico.

Fuente: Autores, 2019.

3.3.5 *Aislante térmico.*

Según la norma ecuatoriana de construcción, el grosor del aislante térmico no deberá ser menor a 3cm, pero preferentemente mayor o igual a 5cm, pues mientras mayor sea el espesor del aislante, menor serán las perdidas. El aislante térmico utilizado en el termo tanque fue nylon, el cual ya se ha utilizado en los dos calentadores, pues el coeficiente K del nylon es de 0.23 W/Km, y según la NEC, este debe estar comprendido entre 0.014 y 0.035. para garantizar la estabilidad del termo tanque. (NEC, Cap. 14, 2011, pg.27).



Figura 25-3: Aislante térmico, (Nylon).

Fuente: Autores, 2019.

3.3.6 *Tanque interno de 120 litros.*

Se utilizó un tanque plástico de 120 litros, en el cual se realizaron cuatro orificios, dispuestos en forma cuadrática, donde se colocaron las tuberías ya mencionadas, estos tienen las dimensiones siguientes:

- Para la entrada de agua fría al tanque, desde el tanque reservorio, el agujero tendrá un diámetro interno de $\frac{3}{4}$ ".
- Para la salida de agua fría al captador, el agujero tendrá un diámetro interno de $\frac{3}{4}$ ".
- Para la entrada de agua caliente al tanque, el agujero tendrá un diámetro interno de $\frac{3}{4}$ ".
- Para la salida de agua caliente al hogar, el agujero tendrá un diámetro interno de $\frac{1}{2}$ ".



Figura 26-3: Tanque plástico de 120ltr.

Fuente: Autores, 2019.

3.3.7 *Válvulas del termo tanque.*

El termo tanque tiene cuatro orificios, en donde se han colocado las tuberías respectivas y en el otro extremo las válvulas esféricas correspondientes, quedando dispuestas de la siguiente manera:

- Para la entrada de agua fría al tanque, desde el tanque reservorio, se colocó una válvula esférica de $\frac{3}{4}$ ".

- Para la salida de agua fría al captador, se colocó una válvula esférica de $\frac{3}{4}$ ".
- Para la entrada de agua caliente al tanque, se colocó una válvula esférica de $\frac{3}{4}$ ".
- Para la salida de agua caliente al hogar, se colocó una válvula esférica de $\frac{1}{2}$ ".



Figura 27-3: Válvulas del tanque plástico.
Fuente: Autores, 2019

3.3.8 Respiradero del termo tanque.

Para evitar el exceso de presión dentro del termo tanque, el cual es producido por los gases que se generan cuando el agua se calienta, es necesario colocar una válvula de venteo, pero en este caso se ha decidido hacer un desfogue o respiradero, para lo cual se ha realizado un pequeño orificio en la parte superior del tanque, en donde se ha colocado una tubería de cobre cuyo diámetro interno es de $\frac{1}{4}$ " y de 25 cm de largo, de esta manera se permite la salida de dichos gases a la vez que se garantiza mantener la temperatura del fluido en el interior del termo tanque.



Figura 28-3: Desfogue del termo tanque.
Fuente: Autores, 2019.

3.3.9 Soporte del termo tanque.

El soporte fue construido de acero estructural A36, el cual será capaz de soportar el peso del termo tanque, y cuya altura es de 0.57 m, pues el termo tanque deberá estar situado a mayor altura que el calentador.

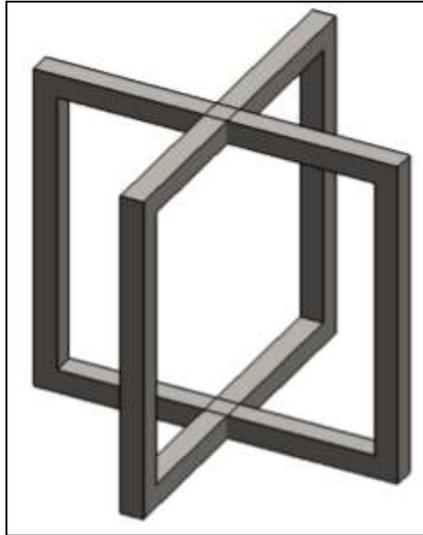


Figura 29-3: Soporte del termo tanque.

Fuente: Autores, 2019.

3.3.10 Disposición final.

Finalmente se tiene un termo tanque con la siguiente disposición:

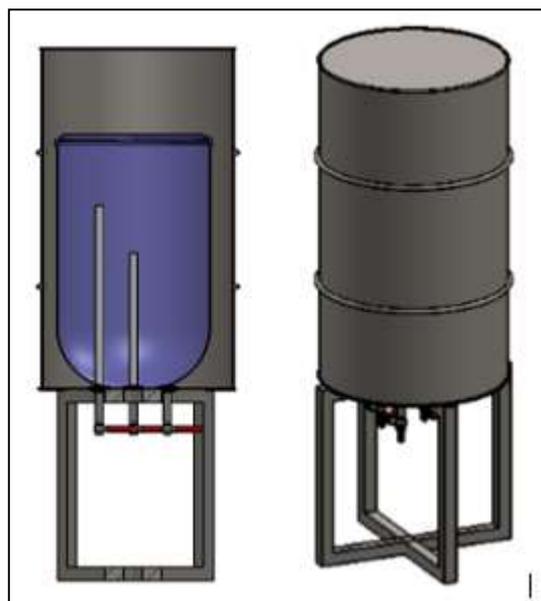


Figura 30-3: Termo tanque acumulador.

Fuente: Autores, 2019.

CAPITULO IV

4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANÁLISIS DE COSTOS.

4.1 Parámetros geométricos del colector parabólico compuesto “CPC”.

El CPC, posee un área de captación relativamente grande, el cual se describe mejor en la siguiente tabla:

Tabla 1-4: Parámetros geométricos del CPC.

COMPONENTE.	MATERIAL.	DIMENSIONES.
Parabrisas.	Vidrio templado.	1.25m x 1.87m
Tubería secundario.	Cobre	L = 9m $\varnothing i = 1/2$ plg
Tubería primaria.	Cobre	L = 3m $\varnothing i = 1$ plg
Placa absorvedora de calor parabólico.	Acero A36, recubierto de aluminio.	L = 1.5 m, h = 0.390 m h' = 0.054 m, e = 3 mm a = 0.11 m, $\Theta = 21^\circ$
Estructura soporte	Acero A36, recubierto por planchas de caucho reciclado.	1.84m x 1.25m
Espesor de la placa absorvedora.	Acero A36	e = 0.18 m
Área del receptor	-	2.312 m ²

Realizado por: AUTORES, 2019.

Fuente: Autores.

4.2 Temperaturas obtenidas - pruebas experimentales.

Para la realización de las pruebas experimentales, se procedió a medir la temperatura de entrada y salida del fluido en el CPC, esto se realizó durante 15 días y alternando un día, para el primer prototipo se empezó el día lunes 15 de octubre del 2018, desde las 8:00 AM, hasta las 17:00 PM, en periodos de 15 minutos, las pruebas para este prototipo finalizaron el lunes 12 de noviembre del 2018, siendo 80°C la temperatura máxima que el fluido alcanzo, mientras que la temperatura mínima que este género fue de 57°C, datos obtenidos los cuales se presentan a continuación:

4.2.1 Temperatura máxima alcanzada.

Temperatura máxima alcanzada de 80°C, el sábado 27 de octubre del 2018.

Tabla 2-4: Temperatura máxima alcanzada del “CPC”

Hora.	Temperatura de entrada (T_e).	Temperatura de salida (T_s).	Temperatura de salida del termotanque (T_t).
8:00 AM.	21.3°C	21.4°C	21.3°C
8:15 AM.	19.9°C	22.9°C	24.3°C
8:30 AM.	21°C	28.8°C	26.5°C
8:45 AM.	20.9°C	37°C	33°C
9:00 AM.	20°C	41.9°C	37.1°C
9:15 AM.	21°C	42°C	36.8°C
9:30 AM.	21°C	44°C	40.2°C
9:45 AM.	20°C	42.1°C	38.5°C
10:00 AM.	19.9°C	39.7°C	36°C
10:15 AM.	21°C	47°C	43.2°C
10:30 AM.	20.3°C	53°C	48.9°C
10:45 AM.	21.2°C	60°C	55°C
11:00 AM.	21.4°C	62°C	57.5°C
11:15 AM.	20°C	64°C	60°C
11:30 AM.	20°C	66.2°C	61.9°C
11:45 AM.	20.9°C	67°C	63°C
12:00 PM.	21.4°C	68°C	64°C
12:15 PM.	21.2°C	71.8°C	68.2°C
12:30 PM.	20°C	73.9°C	69.1°C
12:45 PM.	19.9°C	75.4°C	72.2°C
13:00 PM.	20.6°C	76.8°C	72.1°C
13:15 PM.	20.8°C	77°C	74°C
13:30 PM.	21.4°C	78°C	73.1°C
13:45 PM.	21.8°C	78°C	74.5°C
14:00 PM.	21.2°C	80°C	75°C
14:15 PM.	19.9°C	76.4°C	72.1°C
14:30 PM.	21°C	73.9°C	68.5°C
14:45 PM.	21.4°C	70.9°C	66°C
15:00 PM.	20.8°C	68.5°C	64°C
15:15 PM.	21.3°C	66°C	62.3°C
15:30 PM.	22.1°C	59°C	55°C
15:45 PM.	20.4°C	56.4°C	51.9°C
16:00 PM.	19.6°C	53.7°C	49.6°C
16:15 PM.	21°C	51°C	44.6°C
16:30 PM.	21°C	46.8°C	40.7°C
16:45 PM.	22°C	43°C	39.9°C
17:00 PM.	21.4°C	40°C	35.9°C

Realizado por: AUTORES, 2019.

Fuente: Autores.

De esto se puede observar que la temperatura de entrada del fluido al CPC, no varía, mientras que la temperatura de salida tiene un incremento de temperatura hasta las 14:30 PM, pero luego esta temperatura decrece de forma significativa, ya que al final se obtiene una temperatura de 40°C, aceptable, pero en comparación con la temperatura de 80°C, existe un decaimiento significativo.

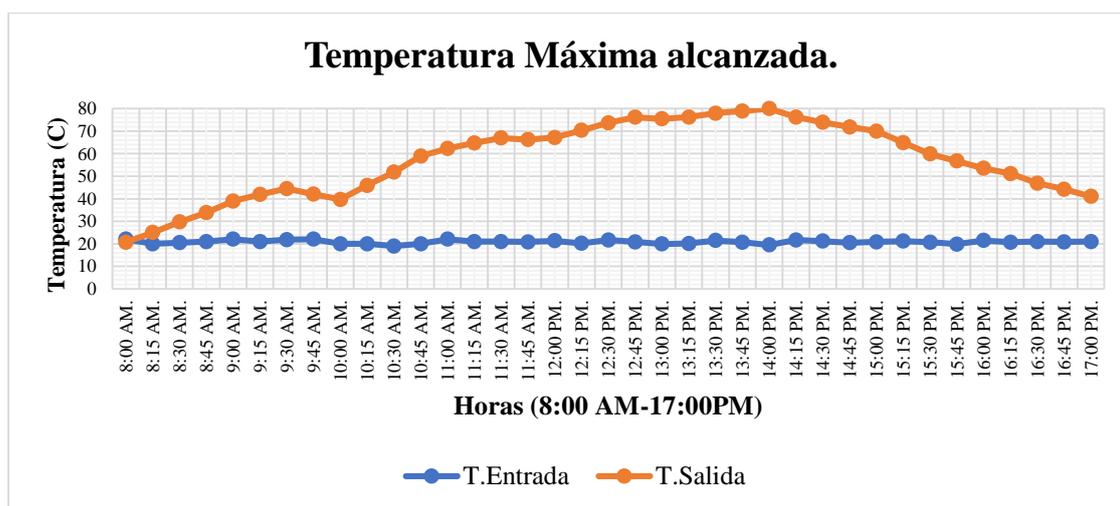


Gráfico 1-4: Temperatura Máxima Alcanzada del “CPC”

Fuente: Autores, 2019.

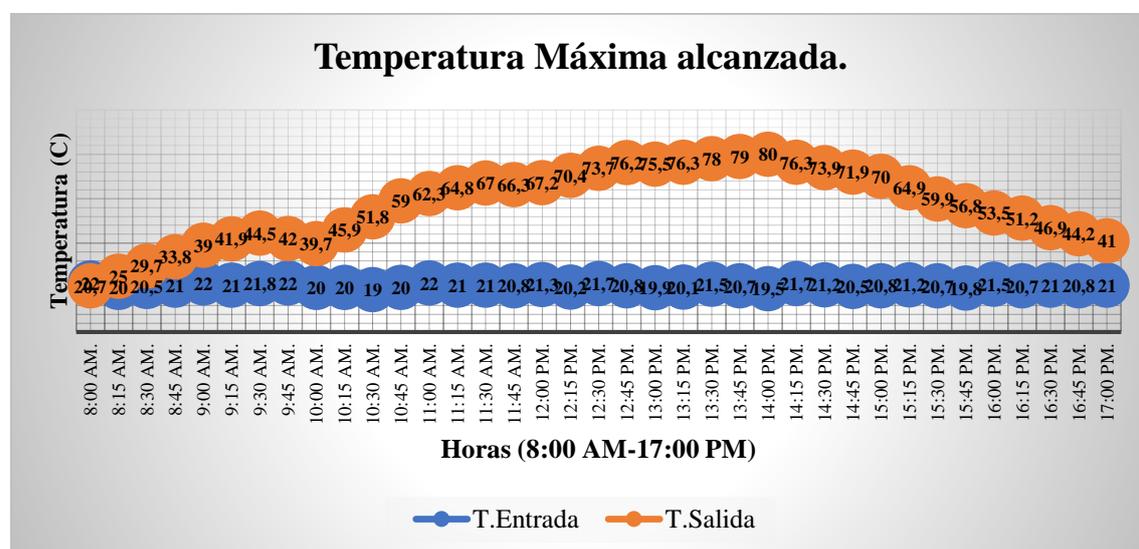


Gráfico 2-4: Temperatura Máxima Alcanzada del “CPC” (Datos numéricos)

Fuente: Autores, 2019

4.2.2 Temperatura mínima alcanzada.

Temperatura máxima alcanzada de 57°C, el lunes 29 de octubre del 2018.

Tabla 3-4: Temperatura Mínima Alcanzada del “CPC”

Hora.	Temperatura de entrada (T_e).	Temperatura de salida (T_s).	Temperatura de salida del termo-tanque (T_t).
8:00 AM.	20°C	19.7°C	20°C
8:15 AM.	21.9°C	26.5°C	23°C
8:30 AM.	20.5°C	31°C	27°C
8:45 AM.	21.6°C	40°C	35.8°C
9:00 AM.	20.5°C	41°C	36°C
9:15 AM.	21.8°C	42.9°C	38°C
9:30 AM.	21°C	44°C	40.7°C
9:45 AM.	21°C	44.3°C	40°C
10:00 AM.	22°C	45°C	41.2°C
10:15 AM.	21°C	45°C	40.5°C
10:30 AM.	20°C	46°C	42.4°C
10:45 AM.	22°C	47°C	42°C
11:00 AM.	20°C	48°C	44°C
11:15 AM.	20°C	49°C	45°C
11:30 AM.	20°C	50.3°C	46.4°C
11:45 AM.	20.7°C	51.6°C	48°C
12:00 PM.	20.2°C	54°C	51°C
12:15 PM.	20.8°C	54.1°C	50°C
12:30 PM.	22°C	54.4°C	50°C
12:45 PM.	20.2°C	55°C	50.9°C
13:00 PM.	21.5°C	55.2°C	51.6°C
13:15 PM.	20°C	55.1°C	50.5°C
13:30 PM.	20.9°C	55.4°C	51°C
13:45 PM.	20.8°C	55.8°C	52°C
14:00 PM.	21°C	56°C	51.2°C
14:15 PM.	20.5°C	56.1°C	52.3°C
14:30 PM.	19.8°C	56.8°C	53°C
14:45 PM.	21.5°C	57°C	52.7°C
15:00 PM.	21°C	57°C	53.1°C
15:15 PM.	21°C	50.1°C	46.2°C
15:30 PM.	21°C	47.7°C	43.5°C
15:45 PM.	20.6°C	46.3°C	42.3°C
16:00 PM.	20.8°C	45°C	41°C
16:15 PM.	22°C	42.9°C	39.1°C
16:30 PM.	20.5°C	41.2°C	38.2°C
16:45 PM.	21.5°C	40°C	36.2°C
17:00 PM.	20.5°C	38.7°C	36.2°C

Realizado por: AUTORES, 2019.

Fuente: Autores.

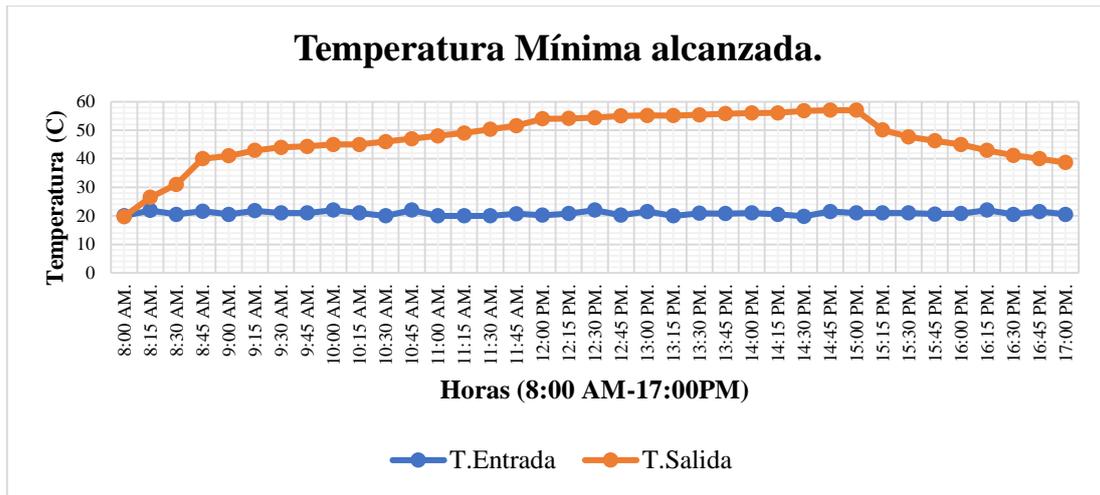


Gráfico 3-4: Temperatura Mínima Alcanzada del “CPC”
Fuente: Autores, 2019

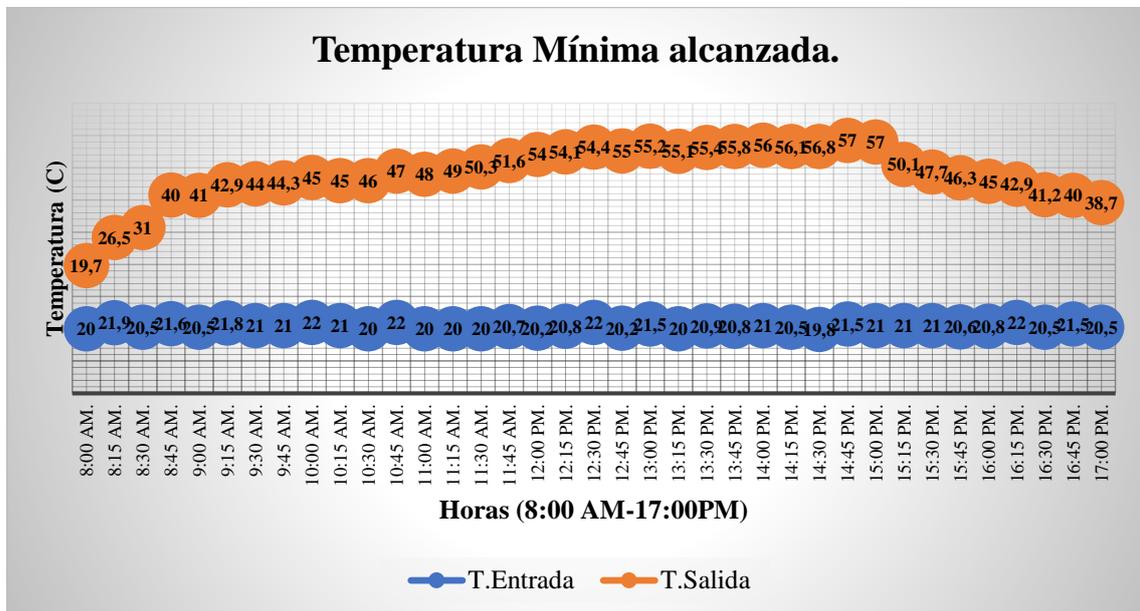


Gráfico 4-4: Temperatura Mínima Alcanzada del “CPC” (Datos numéricos)
Fuente: Autores, 2019

De igual manera se puede observar que la temperatura de entrada del fluido al CPC, no varía, mientras que la temperatura de salida tiene un incremento de temperatura hasta las 15:00 PM, pero luego esta temperatura decrece de forma significativa, ya que al final se obtiene una temperatura de 38.7°C, aceptable, pero en comparación con la temperatura de 57°C, existe un decaimiento significativo.

4.2.3 Comportamiento térmico del fluido, durante los 15 días de prueba.

La temperatura de entrada del fluido en el transcurso de los 15 días de prueba, no varía de manera significativa, a diferencia de la temperatura de salida, la cual como se muestra en

la figura, presenta un comportamiento variable, ya que esta muestra una alteración significativa en el transcurso de los 15 días de prueba, se tiene entonces la siguiente tabla de valores:

Tabla 4-4: Comportamiento térmico del fluido

Días	T.Entrada	T.Salida
Día 1	20,8	68
Día 2	19,5	80
Día 3	20,5	57
Día 4	20,8	78
Día 5	21,2	80,3
Día 6	20,8	67,9
Día 7	21,2	80
Día 8	21	57
Día 9	20,8	57
Día 10	21	80,3
Día 11	20,5	67,8
Día 12	20,9	80
Día 13	20,7	59,1
Día 14	20,7	58
Día 15	21,5	78

Realizado por: AUTORES, 2019.

Fuente: Autores.

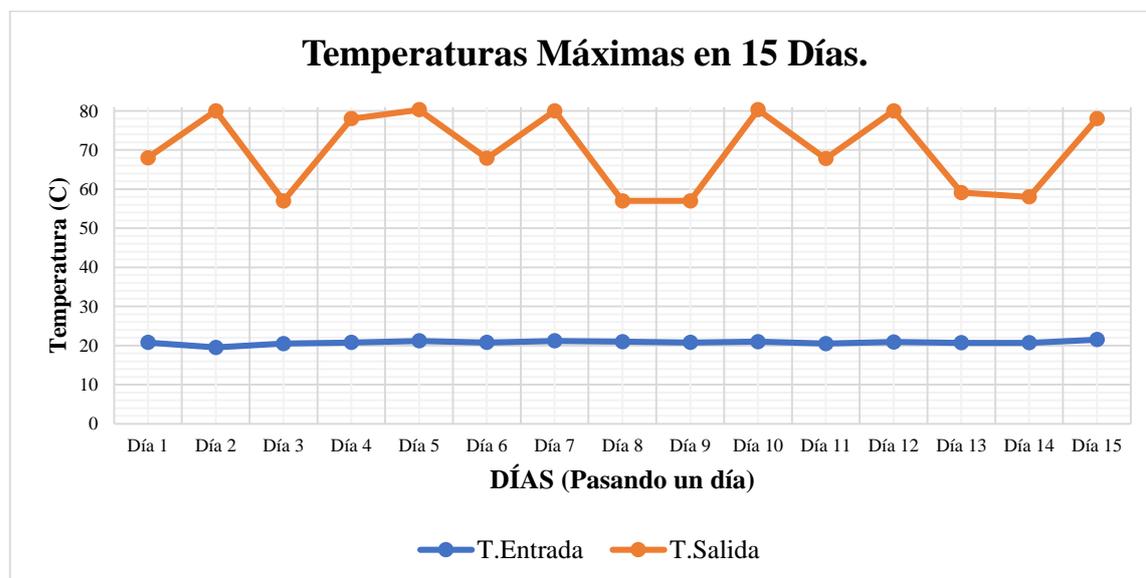


Gráfico 5-4: Temperatura Máxima en 15 Días

Fuente: Autores, 2019

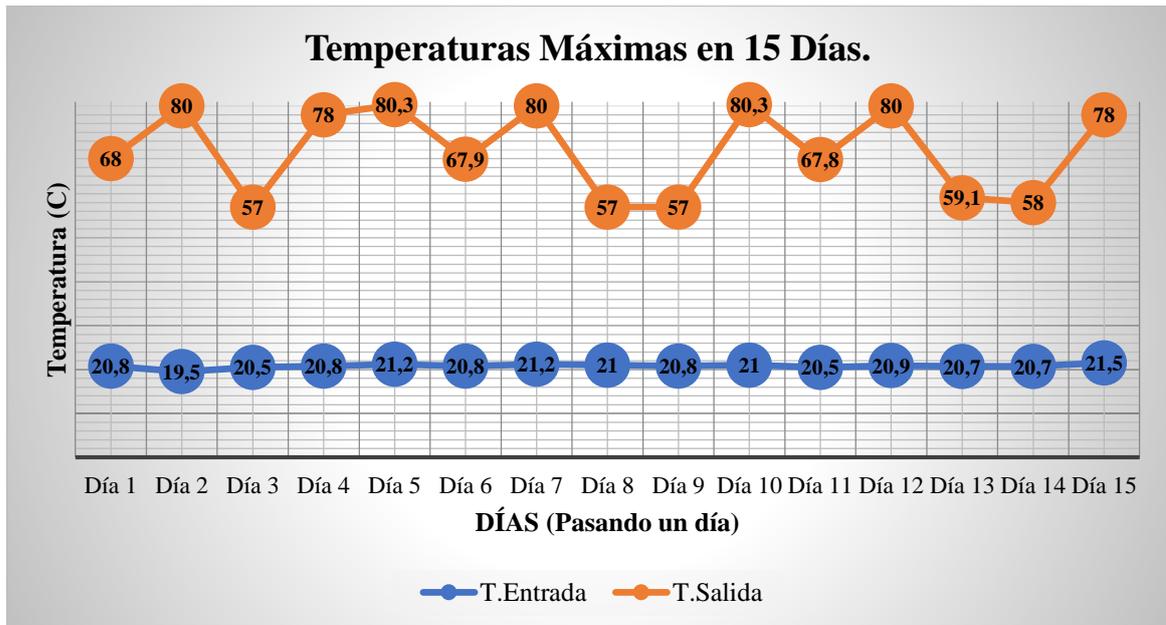


Gráfico 6-4: Temperatura Máxima en 15 Días (Datos numéricos)

Fuente: Autores, 2019

4.2.4 Eficiencia del primer prototipo.

Como se muestra en la figura, la eficiencia energética del CPC, oscila entre el 50% y 70%, demostrando que el calentador solar es eficaz, pues dicha eficiencia ha sido analizada en el transcurso de los 15 días de prueba.

Tabla 5-4: Eficiencia del "CPC"

Días	Eficiencia (n)
Día 1	0,5789
Día 2	0,6772
Día 3	0,5416
Día 4	0,6656
Día 5	0,6725
Día 6	0,6314
Día 7	0,6781
Día 8	0,5416
Día 9	0,5416
Día 10	0,6724
Día 11	0,6360
Día 12	0,6780
Día 13	0,5519
Día 14	0,5509
Día 15	0,6793

Realizado por: AUTORES, 2019.

Fuente: Autores.

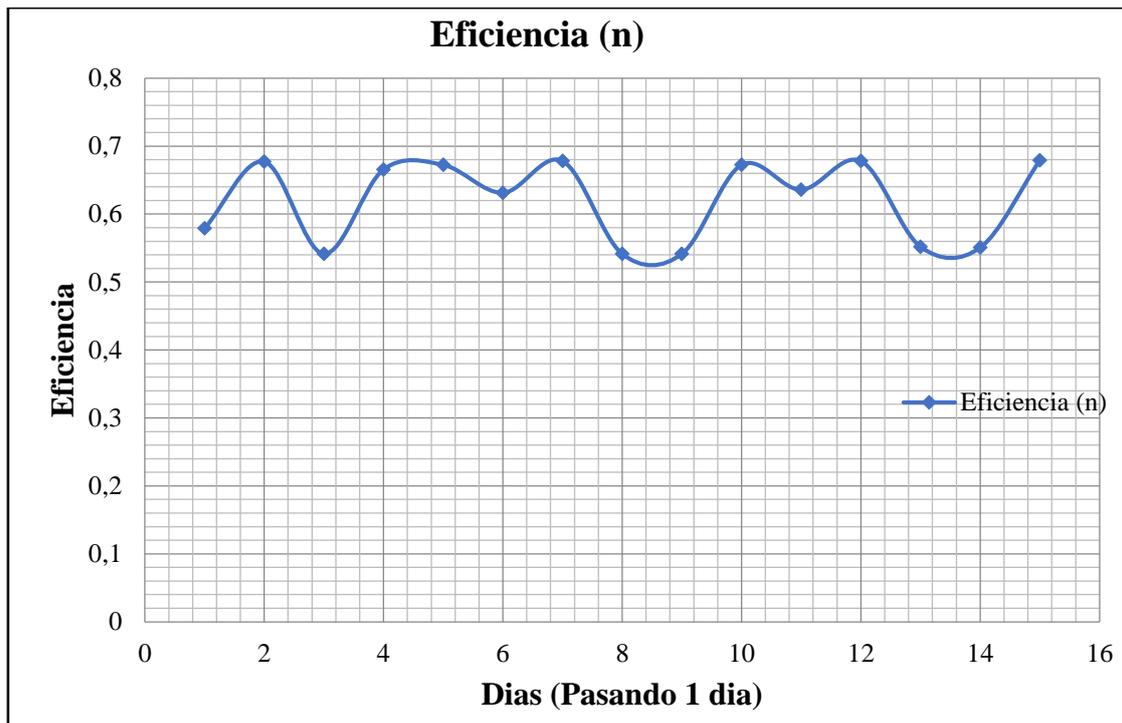


Gráfico 7-4: Eficiencia del "CPC"

Fuente: Autores, 2019

4.3 Parámetros geométricos del colector sola semiesférico "CSS".

El CSS, posee un área de captación mediana, el cual se describe mejor en la siguiente tabla:

Tabla 6-4: Parámetros geométricos del "CSS"

COMPONENTE.	MATERIAL.	DIMENSIONES.
Cúpula.	Polycarbonato.	$\varnothing i = 0.84 \text{ m}$ $h = 0.42 \text{ m}$ $e = 2 \text{ mm}$
Manguera reciclada.	Neopreno.	$L = 18 \text{ m}$ $\varnothing i = 3/4 \text{ plg}$
Colector semiesférico.	lamina de acero A 36	$\varnothing i = 0.7 \text{ m}$ $h = 0.35 \text{ m}$ $e = 3 \text{ mm}$
Placa base cuadrada	Acero A36.	$L = 0.85 \text{ m}$ $h = 0.85 \text{ m}$ $e = 3 \text{ mm}$
Estructura soporte	Acero A36, recubierto por planchas de caucho reciclado.	1.84m x 1.25m

Realizado por: AUTORES, 2019.

Fuente: Autores.

4.4 Temperaturas obtenidas - pruebas experimentales.

De la misma manera que en CPC, para la realización de las pruebas experimentales, se procedió a medir la temperatura de entrada y salida del fluido en el CSS, esto se realizó

durante 15 días y alternando un día, para el primer prototipo se empezó el día lunes 15 de octubre del 2018, desde las 8:00 AM, hasta las 17:00 PM, en periodos de 15 minutos, las pruebas para este prototipo finalizaron el lunes 12 de noviembre del 2018, siendo 66°C la temperatura máxima que el fluido alcanzo, mientras que la temperatura mínima que este género fue de 57°C, datos obtenidos los cuales se presentan a continuación:

4.4.1 Temperatura máxima alcanzada.

Temperatura máxima alcanzada de 66°C, el jueves 18 de octubre del 2018.

Tabla 7-4: Temperatura máxima alcanzada del "CSS"

Hora.	Temperatura de entrada (T_e).	Temperatura de salida (T_s).	Temperatura de salida del termo-tanque (T_t).
8:00 AM.	22°C	21°C	21.3°C
8:15 AM.	20°C	26.7°C	24.2°C
8:30 AM.	20.5°C	32°C	29°C
8:45 AM.	21°C	36°C	33°C
9:00 AM.	22°C	41.8°C	37.9°C
9:15 AM.	21°C	43°C	39.2°C
9:30 AM.	21.8°C	45.2°C	41.3°C
9:45 AM.	22°C	46.2°C	42.2°C
10:00 AM.	20°C	47.8°C	42.7°C
10:15 AM.	20°C	49.3°C	45.4°C
10:30 AM.	19°C	51.3°C	46°C
10:45 AM.	20°C	53.2°C	49°C
11:00 AM.	22°C	55.8°C	50.1°C
11:15 AM.	21°C	58°C	54.2°C
11:30 AM.	21°C	60.3°C	56.2°C
11:45 AM.	19.9°C	63.7°C	59.2°C
12:00 PM.	20.2°C	66°C	62.1°C
12:15 PM.	21.3°C	64.2°C	60.4°C
12:30 PM.	20.3°C	62.1°C	57.9°C
12:45 PM.	21.5°C	59.9°C	54.9°C
13:00 PM.	21°C	57.3°C	54°C
13:15 PM.	19.8°C	56°C	52.3°C
13:30 PM.	22.4°C	54.2°C	50°C

Tabla 7-4 (continua): Temperatura máxima alcanzada del "CSS"

13:45 PM.	22.7°C	52.1°C	48.3°C
14:00 PM.	20.8°C	50°C	45.7°C
14:15 PM.	20.9°C	48°C	44.2°C
14:30 PM.	20.3°C	47.2°C	43.9°C
14:45 PM.	21.3°C	46.2°C	42.1°C
15:00 PM.	21°C	45°C	40.4°C
15:15 PM.	22°C	44.6°C	40°C
15:30 PM.	22°C	44°C	44°C
15:45 PM.	21°C	43.7°C	39°C
16:00 PM.	20.6°C	43°C	38.9°C
16:15 PM.	20.7°C	42.2°C	37.5°C
16:30 PM.	20.9°C	42.1°C	36.8°C
16:45 PM.	21.3°C	41°C	37.5°C
17:00 PM.	19.9°C	40°C	36.3°C

Realizado por: AUTORES, 2019.

Fuente: Autores.

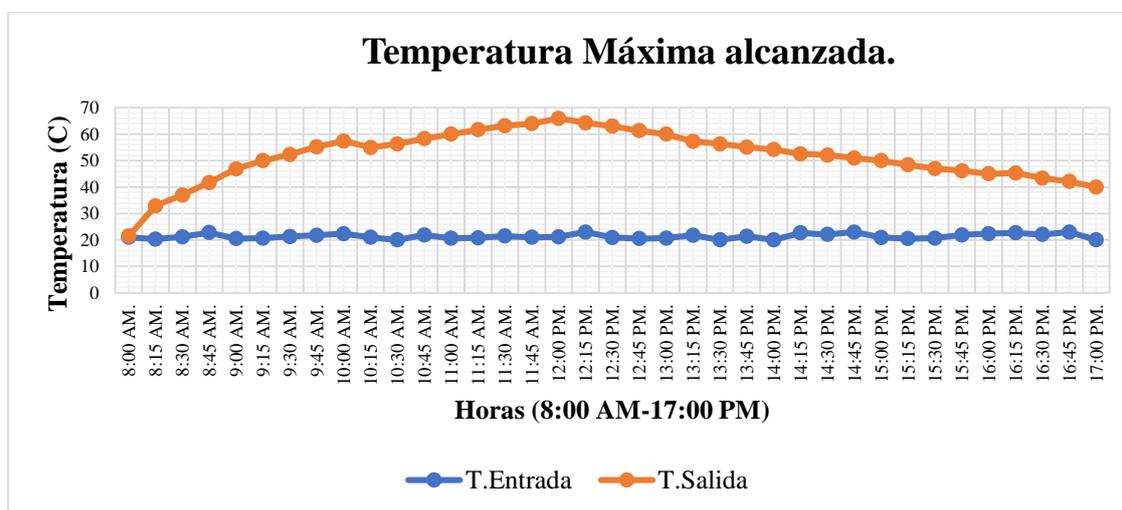


Gráfico 8-4: Temperatura Máxima Alcanzada del "CSS"

Fuente: Autores, 2019

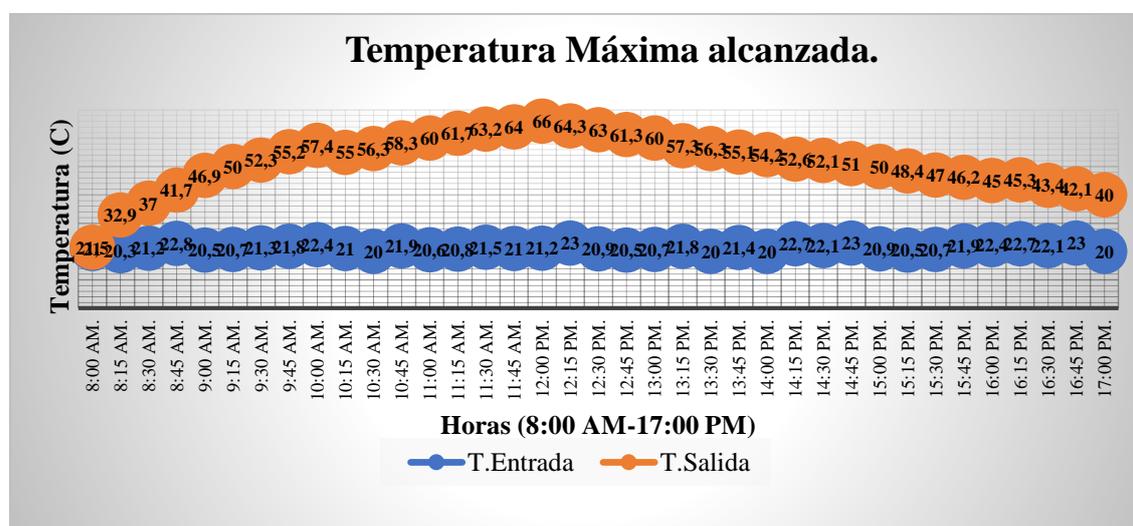


Gráfico 9-4: Temperatura Máxima Alcanzada del "CSS" (Datos numéricos)

Fuente: Autores, 2019

De igual forma se puede observar que la temperatura de entrada del fluido al CSS, no varía, mientras que la temperatura de salida tiene un incremento de temperatura hasta las 12:00 PM, pero luego esta temperatura decrece de forma significativa, ya que al final se obtiene una temperatura de 40°C, aceptable, pero en comparación con la temperatura de 66°C, existe un decaimiento significativo.

4.4.2 Temperatura mínima alcanzada.

La temperatura mínima alcanzada fue de 57°C, el sábado 20 de octubre del 2018.

Tabla 8-4: Temperatura Mínima Alcanzada del "CSS"

Hora.	Temperatura de entrada (T_e).	Temperatura de salida (T_s).	Temperatura de salida del termo-tanque (T_t).
8:00 AM.	21.9°C	20°C	22°C
8:15 AM.	20.9°C	26°C	23.2°C
8:30 AM.	20.8°C	30.4°C	26.3°C
8:45 AM.	21°C	40°C	36.2°C
9:00 AM.	20°C	41°C	37°C
9:15 AM.	21.9°C	42°C	38.2°C
9:30 AM.	20.5°C	44°C	40.1°C
9:45 AM.	21.6°C	44.4°C	40°C
10:00 AM.	20.5°C	45°C	41.3°C
10:15 AM.	21.8°C	45.4°C	41°C
10:30 AM.	21°C	46.3°C	42.2°C
10:45 AM.	21°C	47°C	43°C
11:00 AM.	22°C	48.3°C	45.3°C
11:15 AM.	19.8°C	49.8°C	45°C
11:30 AM.	21.5°C	50°C	46.5°C
11:45 AM.	21°C	51.9°C	47.4°C
12:00 PM.	21°C	53°C	49.2°C
12:15 PM.	21°C	53.2°C	49°C
12:30 PM.	20.6°C	54°C	50.4°C
12:45 PM.	20.8°C	55°C	50.9°C
13:00 PM.	22°C	54.6°C	50°C
13:15 PM.	20.5°C	54°C	50.6°C
13:30 PM.	21.5°C	53.1°C	49.2°C
13:45 PM.	22°C	54.5°C	50°C
14:00 PM.	20°C	56°C	52.3°C
14:15 PM.	20°C	55.1°C	51.3°C
14:30 PM.	20°C	56.8°C	52.4°C
14:45 PM.	20.7°C	56°C	52.5°C
15:00 PM.	20.2°C	57°C	53.5°C
15:15 PM.	20.8°C	53.6°C	49.5°C
15:30 PM.	22°C	50°C	46.5°C

Tabla 8-4 (continua): Temperatura Mínima Alcanzada del "CSS"

15:45 PM.	20°C	48.3°C	44.3°C
16:00 PM.	20.2°C	46°C	41.7°C
16:15 PM.	21.5°C	45°C	40.3°C
16:30 PM.	20°C	44.3°C	39.8°C
16:45 PM.	20.9°C	41°C	37.9°C
17:00 PM.	20.8°C	42.9°C	37.4°C

Realizado por: AUTORES, 2019.
Fuente: Autores.

De igual manera se puede observar que la temperatura de entrada del fluido al CSS, no varía, mientras que la temperatura de salida tiene un incremento de temperatura hasta las 15:30 PM, pero luego esta temperatura decrece de forma significativa, ya que al final se obtiene una temperatura de 42.9°C, aceptable, pero en comparación con la temperatura de 57°C, existe un decaimiento significativo.

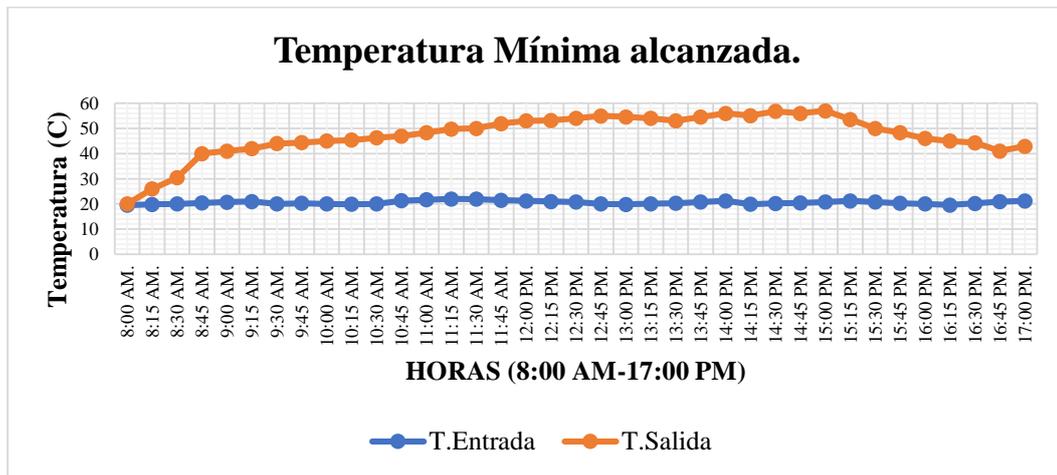


Gráfico 10-4: Temperatura Mínima Alcanzada del "CSS"
Fuente: Autores, 2019

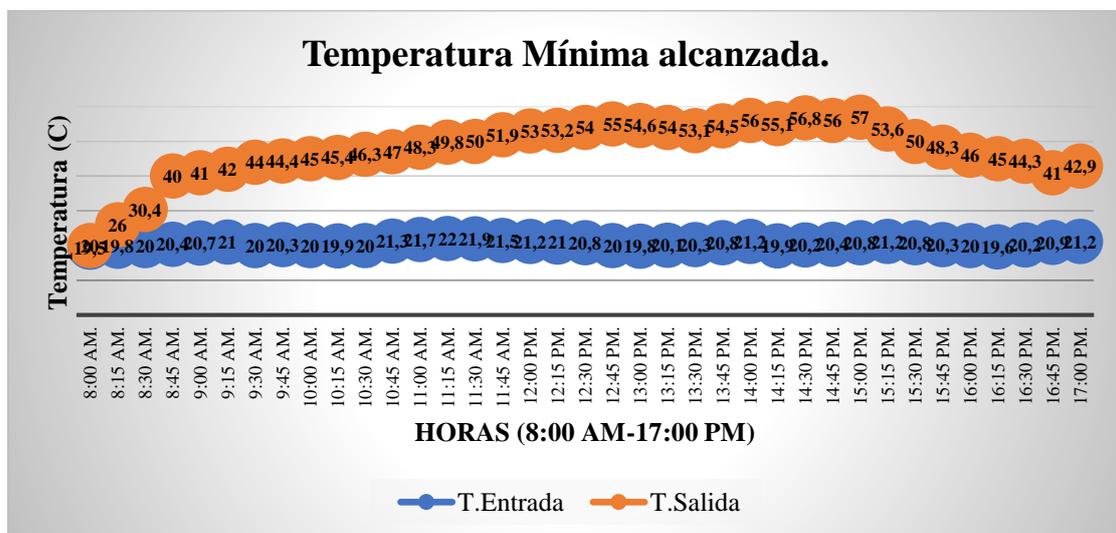


Gráfico 11-4: Temperatura Mínima Alcanzada del "CSS" (Datos numéricos)
Fuente: Autores, 2019

4.4.3 Comportamiento térmico del fluido, durante los 15 días de prueba.

La temperatura de entrada del fluido en el transcurso de los 15 días de prueba, no varía de manera significativa, a diferencia de la temperatura de salida, la cual como se muestra en la figura, presenta un comportamiento variable, ya que esta muestra una alteración significativa en el transcurso de los 15 días de prueba, se tiene entonces la siguiente tabla de valores:

Tabla 9-4: Comportamiento térmico del fluido

Días	T.Entrada	T.Salida
Día 1	21,2	66
Día 2	20,2	66
Día 3	20,2	57
Día 4	20	64,7
Día 5	21	65,3
Día 6	20,9	65,3
Día 7	20,9	66
Día 8	21,2	57
Día 9	19,9	64,7
Día 10	21	65,1
Día 11	20	65,3
Día 12	21,3	64,2
Día 13	20,8	57
Día 14	20,6	65
Día 15	20,2	64

Realizado por: AUTORES, 2019.

Fuente: Autores.

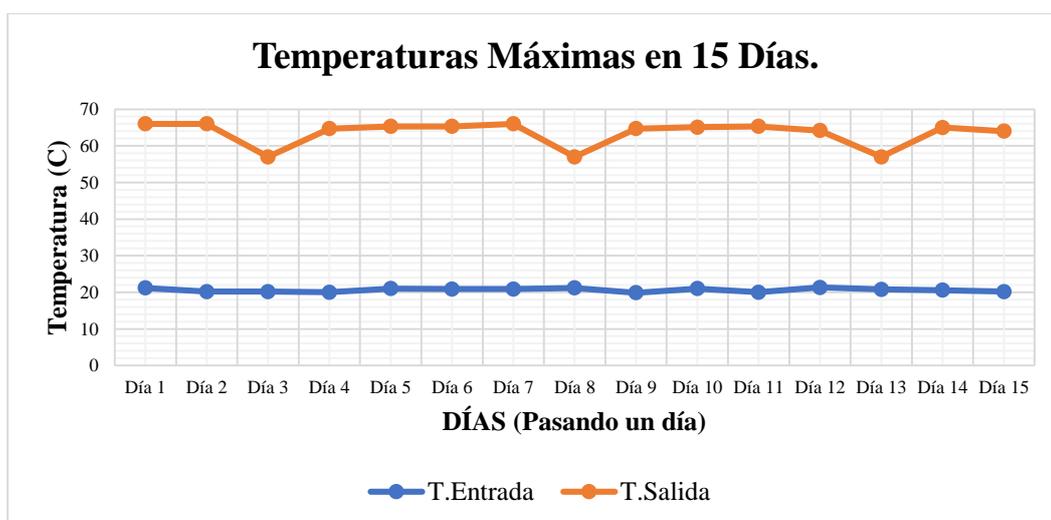


Gráfico 12-4: Temperatura Máxima en 15 Días

Fuente: Autores, 2019

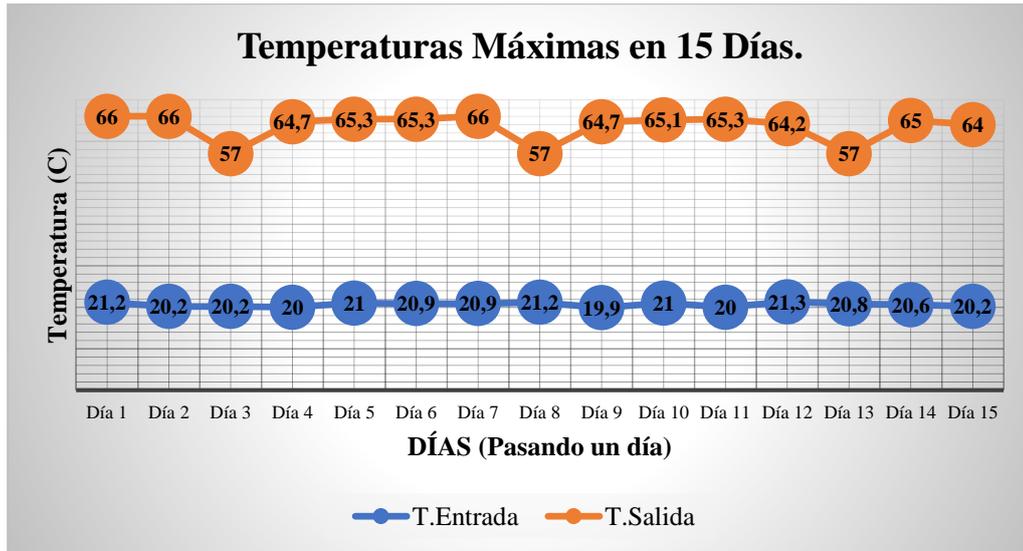


Gráfico 13-4: Temperatura Máxima en 15 Días (Datos numéricos)
Fuente: Autores, 2019

4.4.4 Eficiencia del segundo prototipo.

La figura obtenida muestra que, la eficiencia energética del CSS, oscila entre el 48% y 60%, demostrando que el calentador CPC, es mucho más eficaz que el colector CSS, pues dicha eficiencia es inferior al 50%.

Tabla 10-4: Eficiencia del "CSS"

Días	Eficiencia (n)
Día 1	0,5789
Día 2	0,6772
Día 3	0,5416
Día 4	0,6656
Día 5	0,6725
Día 6	0,6314
Día 7	0,6781
Día 8	0,5416
Día 9	0,5416
Día 10	0,6724
Día 11	0,6360
Día 12	0,6780
Día 13	0,5519
Día 14	0,5509
Día 15	0,6793

Realizado por: AUTORES, 2019.

Fuente: Autores.

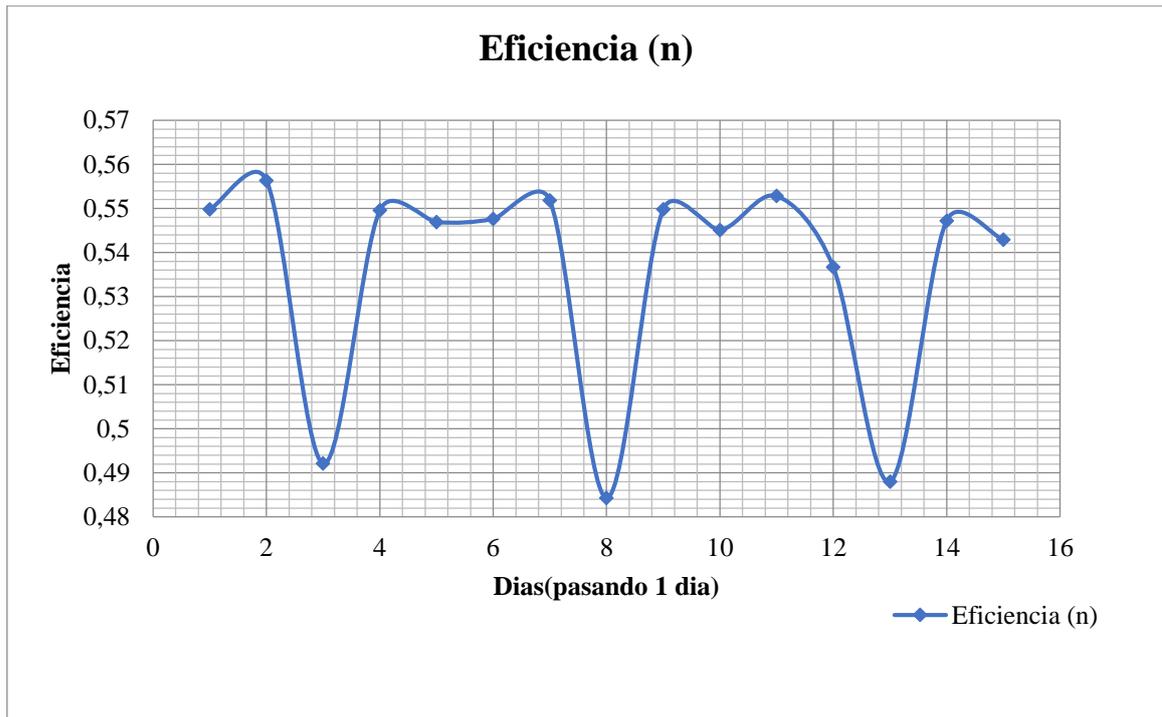


Gráfico 14-4: Eficiencia del "CSS"

Fuente: Autores, 2019

4.5 Análisis de costos.

4.5.1 Costos directos.

Dentro de estos costos se ha colocado aquellos materiales que están relacionados de forma directa con la fabricación, ya que dichos costos influyen de manera proporcional en el proceso de elaboración de los dos prototipos y el termo-tanque, para finalmente obtener el sistema de calentamiento de agua propuesto.

Tabla 11-4: Costos del Calentador Parabólico Compuesto "CPC"

Prototipo No.1: Calentador Parabólico Compuesto "CPC".						
No.	Componente.		Cantidad	Peso(Kg).	Dimensiones.	Precio.
Cubierta	1	Parabrisas de autobús desechado.	1	40 kg	1.25m x 1.87m	\$ 0.0
	2	9 metros de tubería de cobre de 1/2 plg.	1	8 kg	$\varnothing_i = 1/2$ plg	\$ 75.0
Circuito Hidráulico.	3	3 metros de tubería de cobre de 1 plg.	1	3 kg	$\varnothing_i = 1$ plg	\$ 25.0
	4	Tapón de cobre de 1 plg.	2	0.10 kg	$\varnothing_i = 1$ plg	\$ 5.0
	5	Proceso de soldadura autógena (para unir el circuito).	1	-	-	\$ 20.0

	6	Recubrimiento del circuito (pintura negra).	1	-	-	\$ 2.0
Placa Absorvedora de Calor.	7	Colector parabólico (sección parabólica) – lamina de acero A 36.	9	50 kg	L = 1.5 m h = 0.390 m h' = 0.054 m e = 3 mm a = 0.11 m $\Theta = 21^\circ$	\$ 25.0
	8	Proceso para curvar la placa (dar su forma de parábola)	-	-	-	\$ 15.0
	9	Proceso de soldadura SMAW, para unir las placas curvadas.	-	-	-	\$ 8.0
	10	Rollo de Aluminio adhesivo.	4 rollos	0.8 kg	2m x 0.45m	\$ 13.6
Aislante	11	Nylon desechado de neumáticos.	5 Sacos.	110 kg	-	\$ 0.0
Estructura Soporte.	12	Estructura soporte para el circuito hidráulico de acero A 36.	1	60 kg	-	\$ 140.0
	13	Proceso de soldadura SMAW, para unir la estructura.	-	-	-	\$ 70.0
	14	Planchas de neumáticos reciclado (recubrimiento de la estructura).	30	45 kg	0.5m x 0.5m e = 0.015 m	\$ 84.0
	15	Sellante térmico de silicona marca SIKA.	4 frascos.	1 kg	-	\$ 36.0
Accesorios Hidráulicos.	16	Válvula anti retorno de ¾“.	1	0.7 kg	$\phi_i = 3/4$ plg	\$ 12.0
	17	Codo.	1	0.04 kg	$\phi_i = 1$ plg	\$ 0.50
	18	Neples ½“ x 10 cm.	1	0.04 kg	$\phi_i = 1/2$ plg	\$ 0.75
	19	Adaptador de ½” a ¾”	1	0.03 kg	-	\$ 0.40
	20	Teflón.	2	0.01 kg	-	\$ 0.60
	21	Abrazadera.	2	0.03 kg	-	\$ 1.20
	22	7m de manguera.	1	3 kg	$\phi_i = 1$ plg	\$ 3.15
	23	Unión de ½”.	1	0.02 kg	$\phi_i = 1/2$ plg	\$ 0.60
24	Unión de ¾”.	1	0.02 kg	$\phi_i = 3/4$ plg	\$ 0.60	
Σ	<i>Peso total y costo total, del calentador parabólico compuesto “CPC”.</i>			321.79 kg	-	\$ 538.4

Realizado por: AUTORES, 2019.

Fuente: Autores.

Tabla 12-4: Costos del Calentador Solar Semiesférico “CSS”

Prototipo No.2: Calentador Solar Semiesférico “CSS”.						
No.		Componente.	Cantidad.	Peso(Kg).	Dimensiones.	Precio.
Cubierta	1	Traga luz semiesférico de policarbonato desechado.	1	3 kg	$\varnothing_i = 0.84$ m h = 0.42 m e = 2 mm	\$ 0.0
	2	18 metros de manguera reciclada de neopreno $\frac{3}{4}$ ".	1	6 kg	$\varnothing_i = \frac{3}{4}$ plg L = 18 m	\$ 8.1
Placa Absorvedora de Calor y Placa Base.	3	Colector semiesférico (sección parabólica) – lamina de acero A 36.	1	50 kg	$\varnothing_i = 0.7$ m h = 0.35 m e = 3 mm	\$ 25.0
	4	Proceso para curvar la placa (dar su forma de semiesférico).	-	-	-	\$ 15.0
	5	Placa base cuadrada – lamina de acero A 36.	1	15 kg	L = 0.85m h = 0.85m e = 3 mm	\$ 17.0
	6	Proceso de soldadura SMAW, para unir el colector semiesférico a la placa base.	-	-	-	\$ 20.0
	7	Recubrimiento de la placa colectora (pintura negra).	1	-	-	\$ 2.0
	8	Sellante térmico de silicona marca SIKA.	1 frascos.	0.25 kg	-	\$ 9.0
Aislante	9	Nylon desechado de neumáticos.	1 Sacos.	22 kg	-	\$ 0.0
Accesorios Hidráulicos.	10	Válvula anti retorno de $\frac{1}{2}$ “.	1	0.7 kg	$\varnothing_i = \frac{1}{2}$ plg	\$ 14.0
	11	Neple $\frac{1}{2}$ “ x 10 cm.	1	0.04 kg	$\varnothing_i = \frac{1}{2}$ plg	\$ 0.75
	12	Adaptador de $\frac{3}{4}$ ” a $\frac{1}{2}$ ”	1	0.03 kg	-	\$ 0.40
	13	Teflón.	1	0.005 kg	-	\$ 0.30
	14	Abrazadera.	2	0.03 kg	-	\$ 1.20
	15	10 m de manguera.	1	3 kg	$\varnothing_i = 1$ plg	\$ 4.50
	16	Unión de $\frac{1}{2}$ ".	1	0.02 kg	$\varnothing_i = \frac{1}{2}$ plg	\$ 0.60
	17	Neple de $\frac{3}{4}$ " x 10 cm.	1	0.02 kg	$\varnothing_i = \frac{3}{4}$ plg	\$ 0.60
Σ	<i>Peso total y costo total, del calentador semiesferico.</i>			100.1 kg	-	\$ 118.45

Realizado por: AUTORES, 2019.

Fuente: Autores.

Tabla 13-4: Costos del Termo Tanque Acumulador de Agua

Termo Tanque Acumulador de Agua.						
No.	Componente.	Cantidad.	Peso(Kg).	Dimensiones.	Precio.	
Sistema	1	Tanque metálico de 200 lt. (desechado).	1	25 kg	$\phi_i = 0.58$ m $\phi_e = 0.60$ m L = 1.01 m	\$ 0.0
	2	Tanque plastico de 120 lt.	1	5 kg	$\phi_i = 0.472$ m L = 0.684 m	\$ 20.0
Aislante	3	Nylon desechado de neumáticos.	1,5 Sacos.	33 kg	e = 5cm	\$ 0.0
	4	Bandas de neumaticos desechados.	3	18 kg	e = 5 mm L = 1 m	\$ 0.0
Circuito Hidráulico.	5	Cuplas (Pp), hembra-hembra.	1	0,01 kg	$\phi_i = \frac{1}{2}$ plg	\$ 0.40
	6	Cuplas (Pp), hembra-hembra.	1	0,01 kg	$\phi_i = \frac{3}{4}$ plg	\$ 0.60
	7	Salida de fondo de tanque (Pp).	1	0.01 kg	$\phi_i = \frac{1}{2}$ plg	\$ 0.50
	8	Salida de fondo de tanque (Pp).	3	0.03 kg	$\phi_i = \frac{3}{4}$ plg	\$ 2.25
	9	Niple (Pp), macho-macho.	1	0,01 kg	$\phi_i = \frac{1}{2}$ plg	\$ 0.40
	10	Niple (Pp), macho-macho.	3	0.03kg	$\phi_i = \frac{3}{4}$ plg	\$ 1.50
	11	Llave de paso esférica plástica.	1	1 kg	$\phi_i = \frac{1}{2}$ plg	\$ 1.0
	12	Llave de paso esférica plástica.	3	2 kg	$\phi_i = \frac{3}{4}$ plg	\$ 4.50
	13	3 m de caño de polipropileno.	1	1 kg	$\phi_i = \frac{1}{2}$ plg	\$ 5.25
	14	3 m de caño de polipropileno.	1	1.5 kg	$\phi_i = \frac{3}{4}$ plg	\$ 6.90
	15	50 cm de tubería de cobre.	1	0.3 kg	$\phi_i = \frac{1}{4}$ plg	\$ 1.25
Soporte	16	Válvula anti retorno de $\frac{3}{4}$ “.	1	0.7 kg	$\phi_i = \frac{3}{4}$ plg	\$ 12.0
	17	Flotador hidraulico.	1	1.6 kg	$\phi_i = \frac{3}{4}$ plg	\$ 9.0
	18	Estructura metalica A 36, para sujetar el termo tanque.	1	12 kg	L = 0.57 m	\$ 12.0
	19	Indicador de temperatura del termo tanque.	1	0.03 kg	-	\$ 6.0
Σ	Peso total y costo total, del Termo tanque acumulador”.			101.23 kg		\$ 83.55

Realizado por: AUTORES, 2019.

Fuente: Autores.

4.5.2 Costos indirectos.

En los costos indirectos hemos colocado aquellos que conforman el proceso de funcionamiento del sistema, pero estos no influyen de forma directa en la tarea principal del mismo, aunque son de gran importancia, ya que dichos gastos son el consumo de cierto servicio, que ayuda a generar la función para el cual fue diseñado este sistema.

Tabla 14-4: Costos Indirectos

Componente o insumo.	Cantidad.	Precio.
Consumo de agua.	160 litros de agua, diarios durante 30 días, para realizar las pruebas experimentales.	\$ 20.0
Pirómetro.	1, adquirido para tomar las medidas de temperatura del agua.	\$ 35.0
Termómetro de contacto.	1, adquirido para corroborar el dato dado por el pirómetro.	\$ 8.50
Σ	Costo total.	\$ 43.50

Realizado por: AUTORES, 2019.

Fuente: Autores.

4.5.3 Comparación de costos, con los calentadores existentes en el mercado.

Debido a los diferentes modelos de calentadores que existen en el mercado, se realizó una comparación de los prototipos elaborados en el presente proyecto, con los calentadores existentes en el mercado, de lo que se obtuvo la siguiente tabla resumen:

Tabla 15-4: Comparación y Análisis de Costos

CALENTADORES COMERCIALES.			
Tipo de calentador	Capacidad.	Ventajas y desventajas	Precio.
Calentador de placa plana.	140 litros.	Es de fácil instalación, ligero, económico y práctico, además de resistir las diferentes condiciones atmosféricas. No alcanza elevadas temperaturas.	\$ 800
Calentador de tubos de vidrio de vacío.	140 litros.	De fácil instalación y práctico, además de ser mas eficiente que el colector solar de placa plana. Es muy frágil, ya que no resiste las diferentes condiciones atmosféricas a las que será expuesto.	\$ 950
CALENTADORES ELABORADOS EN EL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN.			

Tipo de calentador	Capacidad.	Ventajas y desventajas	Precio.
CPC	120 Litros.	<p>Debido a su disposición parabólica, se tiene una mayor concentración de energía solar.</p> <p>La temperatura máxima que este calentador alcanzo fue de 80,3 °C.</p> <p>A pesar de poseer una excelente absorción y alcanzar elevadas temperaturas, nuestro CPC es demasiado pesado.</p>	\$ 538.40
CSS	120 litros.	<p>Gracias a su forma semiesférica, el CSS aprovecha al máximo la energía solar en todas las direcciones, pues no necesita un ángulo de inclinación, ni una ubicación adecuada.</p> <p>Debido a su cubierta plástica, el CSS no alcanza elevadas temperaturas, en comparación con el CPC.</p>	\$ 118.45

Realizado por: AUTORES, 2019.

Fuente: Autores.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 Conclusiones.

Podemos aseverar que nuestros calentadores solares son eficientes, ya que para que un calentador solar se considere eficaz su rendimiento deberá ser mayor al 40%, y la eficiencia obtenida en el primer prototipo fue de 67.93%, mientras que la del segundo prototipo fue de 55.63%. cantidades que acreditan la eficacia de nuestros captadores solares.

Podemos concluir que las planchas elaboradas de neumáticos desechados y el nylon obtenido de las mismas, cumplieron la función para el cual fueron utilizadas, es decir son excelentes aislantes térmicos, ya que no solo conservaron la temperatura interna, sino que también evitaron que el calor generado dentro de los dos prototipos de captadores y el termo tanque se escapara, evitando lo máximo posible las pérdidas.

También es necesario mencionar que las cubiertas de los dos captadores, las cuales eran de, vidrio templado (parabrisas de autobús) y policarbonato (traga luz), pese a ser desechadas, aun pudieron ser aprovechadas, pues se conservaban en óptimas condiciones.

El calentador parabólico compuesto "CPC", llegó a calentar el agua a una temperatura máxima de 80 °C, mientras que el Calentador solar semiesférico llegó a calentar el agua una temperatura máxima de 66 °C.

El costo de elaboración del colector parabólico compuesto" CPC", fue de \$538.40, además gracias a los resultados obtenidos de temperatura y eficiencia, se logró demostrar que se puede diseñar y construir un captador solar con diversos materiales reciclados, eficiente y sobre todo económico, pues los captadores solares comerciales tienen un costo de aproximadamente 800 dólares en adelante.

El termo tanque acumulador de agua, posee una capacidad de 120 litros, y su costo de construcción fue de apenas \$ 83.55, además este pudo cumplir con su objetivo principal, el cual es mantener la temperatura del agua.

El costo de fabricación del colector solar semiesférico “CSS”, fue de \$ 118.45, y de igual forma, gracias a las pruebas experimentales, la eficiencia y la temperatura de este cumplieron los objetivos propuestos, dando a conocer que este modelo es mucho más económico en comparación, con los diversos calentadores existentes en el mercado.

El captador solar más eficiente fue el calentador parabólico compuesto CPC, debido a que la sección de captación de energía solar es mayor en comparación al segundo, además de que la tubería del primer prototipo es de cobre matizado con pintura de color negro, mientras que en el segundo prototipo se tiene una tubería de caucho reciclado compuesta principalmente por neopreno (derivado de los NFU), y si bien es cierto este material es un excelente aislante térmico, pero un mal conductor de calor, esto provoca pérdidas de calor en el fluido.

5.2 Recomendaciones.

Se recomienda colocar el colector parabólico compuesto “CPC” en la dirección del movimiento solar, este caso en la dirección de este a oeste, para evitar la necesidad de utilizar un elemento motriz para seguir la dirección del sol.

Para mejorar la reflectividad de la matriz parabólica se recomienda utilizar un acero previamente pulido.

Uno de los problemas que se tuvo en el “CPC” es el peso del prototipo, esto debido en gran parte al parabrisas, por ello se recomienda buscar otro material que cumplan la misma función.

Para una futura investigación, se recomienda colocar paneles foto voltaicos tanto el CPC como en el CSS, para poder absorber energía solar y convertirla en energía eléctrica, la cual será almacenada en una batería, posteriormente esta será utilizada en el termo tanque para el calentamiento de agua, en aquellos días lluviosos o tormentosos en los cuales el calentador solar no pueda cumplir su función debido al clima.

Para mejorar el funcionamiento de los calentadores solares, también es recomendable colocar una bomba, la cual ayudara con la re-circulación del fluido.

Debido a que el CSS fue construido parcialmente con materiales reciclados de neumáticos y otros elementos, este no pudo alcanzar un eficiencia mas elevada, para una futura investigación, se recomienda elaborar este captador solar pero con otro tipo de materiales y realizar los estudios y pruebas necesarios, para verificar si la eficiencia es mayor o no.

BIBLIOGRAFÍA.

CENGEL, Yunus, & GHAJAR, Afshin. *Transferencia de calor y masa.* México D.F.-México: Ediciones McGraw-Hill, 2011. pp 420-480. [Consulta: 2018-04-23].

DUFFIE, John, & BECKMAN, William. *Solar engineering of Thermal Processes.* New Jersey-USA: Wiley publishes, 2013. pp 100-400. [Consulta: 2018-05-21].
Disponible en: <https://bit.ly/2RLl1ku>

ECHEVARRÍA LÓPEZ, César Antonio. Diseño de un colector cilíndrico parabólico compuesto con aplicación para el calentamiento de agua (Tesis)(Ingeniería). [En línea] Universidad de Piura, Ingeniería, Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura – Perú. 2011. [Consulta: 2018-07-15]. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1389/IME_159.pdf

EUROMASTER - Neumáticos. Partes principales de un neumático [En línea]. 2015. [Consulta: 22 de abril del 2018]. Disponible en: <https://www.euromasterneumaticos.es/neumaticos/informacion/partes-de-un-neumatico>

Erica Aislamiento - Estanqueidad. Aislamiento térmico [En línea]. 2013. [Consulta: 11 de julio del 2018]. Disponible en: <http://www.eric.es/web/aislamiento-termico/>

GRIN. Sistema de gestión y reciclaje integral de neumáticos usados en el ecuador [En línea]. 2017. [Consulta: 16 de mayo del 2018]. Disponible en: https://www.unglobalcompact.org/system/attachments/cop_2017/415111/original/COP_-_GRIN_2017.pdf?1504284683

JIMÉNEZ ARIAS, Hernán Santiago, & PORTALANZA MOLINA, Narcisa de Jesús. Estandarización de sistemas de calentamiento de agua con energía solar en la ciudad de Riobamba. (Tesis)(Ingeniería). [En línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Mecánica, Ingeniería Mecánica. Riobamba – Ecuador. 2009. [Consulta: 2018-03-11]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/269>

López, F, Alguacil, J, & Manso, J. Situación actual del tratamiento de neumáticos fuera de uso y posibilidades de obtención de negro de humo de alta pureza [en línea]. Madrid-España:Laboratorio de Innovación y Reciclado de Materiales,Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM), 2015. [Consulta: 7 de junio del 2018]. Disponible en: http://digital.csic.es/bitstream/10261/17979/1/NFU%27s_revision.pdf

MORILLO CANDÁS, Ana Sofía. Estudio y caracterización de sistemas solares térmicos semiesféricos de nueva generación (Tesis)(Ingeniería). [En línea] Universidad Complutense de Madrid, Física, Energías renovables. Madrid– España. 2012. [Consulta: 2018-06-17]. Disponible en: https://eprints.ucm.es/16529/1/TFM_Ana_Sof%C3%ADa_Morillo_Cand%C3%A1s.pdf

PETELA, Richard. *Exergy analysis of the solar cylindrical-parabolic cooker* [en línea]. Calgary-Canadá, 2004. [Consulta: 2018-05-30]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X04003482>

PÉREZ BÉRRIZ, Luis, & ÁLVAREZ GONZÁLEZ, Manuel. *Manual para el cálculo y diseño de calentadores solares.* Habana- Cuba: Editorial Cubasolar, 2008. pp 40-90. [Consulta: 2018-04-18]. Disponible en: <https://docplayer.es/3731577-Luis-berriz-perez-manuel-alvarez-gonzalez-manual-para-el-calculo-y-diseno-de-calentadores-solares.html>

Plasticbages Industrial, S.L. *Fabricación y comercialización de plásticos técnicos* [En línea]. 2017. Características técnicas del nylon. [Consulta: 26 de julio del 2018]. Disponible en: <http://www.plasticbages.com/caracteristicasnylon.html>

PAREDES MIRANDA, Raúl. Diseño y construcción de un colector parabólico compuesto de tubos evacuados para aplicaciones de temperaturas intermedias (Tesis)(Ingeniería). [En línea] Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ingeniería, Ingeniería Mecánica. Guayaquil – Ecuador. 1988.[Consulta: 2018-05-22].Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/43900>

VIDRIALES ESCOBAR, Luis Guillermo. Colector de canal parabólico para la generación directa de vapor para calor de proceso (Tesis)(Ingeniería). [En línea] Universidad Nacional Autónoma de México, Ingeniería, Energía- Procesos y uso eficiente de la energía. México D.F – México. 2007. [Consulta: 2018-03-15]. Disponible en: <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/Tesis/1.pdf>

ING.AGR. TIUPIL CARRILLO, Paulo César & LCDO. ARÉVALO RODRÍGUEZ, Miguel Ángel. Facultad de Recursos Naturales, Estación Agrometeorológica (Anuario Climatológico). [En línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales. Riobamba – Ecuador. [Consulta: 2018-09-01]. Disponible en: <https://www.esPOCH.edu.ec/index.php/estaci%C3%B3n-meteorol%C3%B3gica.html#anuarios>