

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

“ESTUDIO DE LA GEOMETRÍA DEL ABSORBEDOR DEL COLECTOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO Y SU INCIDENCIA EN LA EFICIENCIA PARA CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO SANITARIO”.

AUTOR:

Egdo. Santiago Rubén Guanoluisa Tenorio

TUTOR:

Ing. Alex Mayorga

AMBATO - ECUADOR

2015

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo investigativo **“ESTUDIO DE LA GEOMETRÍA DEL ABSORBEDOR DEL COLECTOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO Y SU INCIDENCIA EN LA EFICIENCIA PARA CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO SANITARIO”**. Trabajo realizado por el Egresado Santiago Rubén Guanoluisa Tenorio.

Certifico:

- Que el presente informe es original de su autor.
- Ha sido revisado en cada uno de sus capítulos.
- Esta concluido y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ambato, Marzo del 2015

.....
Ing. Alex Mayorga
TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TESIS

Yo, Santiago Rubén Guanoluisa Tenorio con C.I. 0503260242 declaro que los resultados obtenidos y expuestos en el presente trabajo de investigación con el tema, **“ESTUDIO DE LA GEOMETRÍA DEL ABSORBEDOR DEL COLECTOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO Y SU INCIDENCIA EN LA EFICIENCIA PARA CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO SANITARIO”**, son absolutamente de mi autoría; a excepción de las referencias bibliográficas que se incluyen en este texto.

Que los criterios emitidos en el trabajo de investigación así como también los contenidos, conclusiones, recomendaciones son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autor del presente trabajo.

Ambato, Marzo del 2015

.....
Santiago Rubén Guanoluisa Tenorio

C.I. 0503260242

AUTOR

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado al Creador de todo lo que existe; a Dios quien me otorgó la vida, me regaló una familia maravillosa, me brindó la salud, fortaleza y la sabiduría necesaria para cumplir mis metas y anhelos.

A mi familia de manera especial a mis padres Luz y Abelardo quienes con su apoyo incondicional, paciencia y amor me han motivado a ser una persona humilde y respetuosa; para ser un profesional responsable. A mis hermanos Efraín, Raúl, Edwin, Darwin, Norma, Bolívar, María y Myriam, quienes de una u otra manera me han incentivado a que culmine mi carrera profesional. A Anita por ser mi inspiración y motivo de felicidad.

A mis amigos y compañeros de quienes he aprendido mucho, y con quienes he compartido gratos momentos que serán imposibles olvidar.

Santiago Rubén

AGRADECIMIENTO

Agradezco de todo corazón a Dios por darme la dicha de vivir y tener una familia maravillosa, fortalecerme espiritual y emocionalmente para concluir mi carrera académica.

Gracias a mis padres, hermanos y familia en general por el cariño y apoyo incondicional brindado, para alcanzar esta meta trazada.

Agradezco infinitamente al Ing. Alex Mayorga tutor y guía del presente trabajo, por su paciencia y disposición para ayudarme y aconsejarme para así sacar adelante la presente tesis.

Agradezco finalmente a mis amigos y compañeros que tanto me han ayudado en mi carrera y en el presente estudio.

Gracias a todos

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A.- PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA.....	I
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TESIS.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICAS.....	XIII
RESUMEN EJECUTIVO.....	XVI

B.- TEXTO: INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 TEMA.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO.....	2
1.2.3 PROGNOSIS.....	3
1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES.....	3
1.2.6 DELIMITACIÓN.....	4

1.2.6.1 DE CONTENIDO	4
1.2.6.2 ESPACIAL.....	4
1.2.6.3 TEMPORAL	4
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4 OBJETIVOS.....	5
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	6
2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA	7
2.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8
2.3.1 COLECTORES PARABOLICOS COMPUESTOS CPC - GEOMETRÍA	8
2.3.1.1 FACTOR DE CONCENTRACIÓN (C)	8
2.3.1.2 FORMAS DEL ABSORBEDOR DEL CPC	9
2.3.1.3 PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DEL CPC CON ABSORBEDOR CIRCULAR	10
2.3.1.4 TRUNCAMIENTO DEL CPC	11
2.3.2 RADIACIÓN SOLAR	12
2.3.2.1 MEDICIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR	12
2.3.2.1.1 PIRANÓMETRO.....	12
2.3.2.2 ORIENTACIÓN DEL COLECTOR CPC	13
2.3.2.3 ENERGÍA ABSORBIDA POR EL COLECTOR CPC.....	14
2.3.4 TRANSFERENCIA DE CALOR	16

2.3.4.1 CONDUCCIÓN	16
2.3.4.2 CONVECCIÓN	17
2.3.4.3 RADIACIÓN	17
2.3.5 EFICIENCIA TÉRMICA DE UN COLECTOR CON CONCENTRACIÓN...	18
2.3.6 ECUACIONES CLAVE	20
2.3.7 INSTALACIONES SOLARES TÉRMICAS	20
2.3.7.1 COLECTORES SOLARES PARA CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA	21
2.3.7.1.1 COLECTOR PARABÓLICO COMPUESTO ESTACIONARIO	23
2.3.7.1.2 COLECTOR PARABÓLICO COMPUESTO CON UN EJE DE SEGUIMIENTO	25
2.3.7.1.3 ELEMENTOS DE UN COLECTOR CPC	26
2.3.7.1.4 CIRCULACIÓN NATURAL DEL AGUA EN EL CALENTADOR SOLAR.....	27
2.3.7.1.5 RANGOS DE OPERACIÓN DEL COLECTOR PARABÓLICO COMPUESTO.	28
2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES.....	28
2.5 HIPÓTESIS.....	29
2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	29
2.6.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.....	29
2.6.2 VARIABLE DEPENDIENTE	29

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE	30
3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	30

3.2.1 DE CAMPO	30
3.2.2 BIBLIOGRÁFICA.....	30
3.2.3 EXPERIMENTAL	31
3.3 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	31
3.3.1 EXPLORATORIO	31
3.3.2 DESCRIPTIVO.....	31
3.3.3 ASOCIACIÓN DE VARIABLES	31
3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA	32
3.4.1 POBLACIÓN O UNIVERSO.....	32
3.4.2 MUESTRA.....	32
3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	34
3.6 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	36
3.7 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	36

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	37
4.1.1 CALENTAMIENTO DE AGUA MEDIANTE EL ABSORBEDOR CIRCULAR	37
4.1.1.1 VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA ENTRE LA ENTRADA Y SALIDA DEL AGUA DEL COLECTOR SOLAR EN UN DÍA NUBLADO.....	38
4.1.1.2 VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA ENTRE LA ENTRADA Y SALIDA DEL AGUA DEL COLECTOR EN UN DÍA PARCIAL NUBLADO.....	39
4.1.1.3 VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA ENTRE LA ENTRADA Y SALIDA DEL AGUA DEL COLECTOR SOLAR EN UN DÍA SOLEADO.....	40

4.1.2 EFICIENCIA TÉRMICA DEL COLECTOR SOLAR PARABOLICO COMPUESTO	41
4.1.2.1 EFICIENCIA TÉRMICA EN UN DÍA NUBLADO.....	44
4.1.2.2 EFICIENCIA TÉRMICA EN UN DÍA PARCIAL NUBLADO.....	47
4.1.2.3 EFICIENCIA TÉRMICA EN UN DÍA SOLEADO.....	50
4.2 INTERPRETACIÓN DE DATOS	53
4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	62

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES	65
5.2 RECOMENDACIONES	66

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 DATOS INFORMATIVOS.....	67
6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.....	67
6.3 JUSTIFICACIÓN.....	68
6.4 OBJETIVOS.....	68
6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD	69
6.5.1 ANÁLISIS TÉCNICO	69
6.5.2 ECONÓMICO FINANCIERO	69
6.6 FUNDAMENTACIÓN	71

6.6.1 DIMENSIONAMIENTO DEL REFLECTOR DEL COLECTOR	71
6.6.2 CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL ABSORBEDOR.....	74
6.6.3 CÁLCULOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR Y TERMODINÁMICA ..	75
6.6.3.1 Cálculo de temperaturas y calor útil en el absorbedor circular	75
6.6.3.2 Determinación de la eficiencia del colector solar parabólico compuesto con el absorbedor circular.....	85
6.6.3.3 Cálculo de temperaturas y calor útil en el absorbedor circular configurado con una placa absorbidora	86
6.6.3.4 Determinación de la eficiencia del colector solar parabólico compuesto con el absorbedor circular configurado con una placa absorbidora de aluminio.....	96
6.7 METODOLOGÍA	97
6.7.1 INSTRUMENTOS UTILIZADOS	98
6.8 ADMINISTRACIÓN	99
6.8.1 PLANIFICACIÓN Y MANTENIMIENTO	99
6.8.1.1 Instalación	99
6.8.1.2 Pasos para realizar los ensayos de calentamiento de agua.....	100
6.8.1.3 Mantenimiento preventivo	101
6.8.1.4 Mantenimiento correctivo	102
6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN.....	102
6.9.1 Comparación de resultados entre el absorbedor circular y absorbedor circular configurado	102
6.9.2 Conclusiones de la propuesta	104

C. MATERIALES DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA.....	106
2. ANEXOS.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

TABLAS

Tabla 3.1 Operacionalización de la variable Independiente.	34
Tabla 3.2 Operacionalización de la variable dependiente.....	35
Tabla 4.1 Variación de temperaturas de entrada y salida del agua de en el colector solar parabólico compuesto, 19-agosto-2014.....	38
Tabla 4.2 Variación de temperaturas de entrada y salida del agua del colector solar parabólico compuesto, 18- julio-2014.....	39
Tabla 4.3 Variación de temperaturas de entrada y salida del agua del colector solar parabólico compuesto, 22-julio-2014.....	40
Tabla 4.4 Energía almacenada en el colector (19-agosto-2014).....	44
Tabla 4.5 Integración de la variación de la temperatura entre la entrada y salida del agua del colector en función del tiempo (19-agosto-2014).....	45
Tabla 4.6 Eficiencia térmica del colector solar parabólico compuesto (19-agosto-2014).	46
Tabla 4.7 Energía almacenada en el colector (18-julio-2014).....	47
Tabla 4.8 Integración de la variación de la temperatura entre la entrada y salida del agua del colector en función del tiempo (18-julio-2014).....	48
Tabla 4.9 Eficiencia térmica del colector solar parabólico compuesto (18-julio-2014).	49
Tabla 4.10 Energía almacenada en el colector (22-agosto-2014).....	50
Tabla 4.11 Integración de la variación de la temperatura entre la entrada y salida del agua del colector en función del tiempo (22-julio-2014).....	51
Tabla 4.12 Eficiencia térmica del colector solar parabólico compuesto (22-julio-2014).	52

Tabla 4.13 Relación diferencia de temperatura de entrada menos temperatura de salida sobre la componente directa de la radiación incidente en el colector, 19-agosto-2014.....	54
Tabla 4.14 Relación diferencia de temperatura de entrada menos temperatura de salida sobre la componente directa de la radiación incidente en el colector, 18-julio-2014.....	57
Tabla 4.15 Relación diferencia de temperatura de entrada menos temperatura de salida sobre la componente directa de la radiación incidente en el colector, 22-julio-2014.....	60
Tabla 4.16 Verificación de hipótesis (absorbedor circular).....	63
Tabla 6.1 Datos generales de la propuesta.	67
Tabla 6.2 Costos de materiales de la caja colectora.....	69
Tabla 6.3 Costos de materiales del tanque de almacenamiento y estructura.	70
Tabla 6.4: Tubería y accesorios.	70
Tabla 6.5 Costos de mano de obra.	70
Tabla 6.6 Costo total colector solar parabólico compuesto.	71
Tabla 6.7: Especificaciones técnicas del colector solar parabólico compuesto y sus partes.	97

ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICAS

Figura 2.1 Sección transversal de un CPC simétrico no truncado.	8
Figura 2.2 a) Absorbedor plano, b) absorbedor en forma de aleta y c) absorbedor circular.....	9
Figura 2.3 Descripción del CPC en coordenadas x y y.....	11
Figura 2.4 Piranómetro.....	12
Figura 2.5 Proyección sobre un plano norte-sur del ángulo de aceptación del CPC con inclinación en un eje orientado en dirección este-oeste.	13

Figura 2.6	Calentadores de agua sistemas con circulación de fluido.....	21
Figura 2.7	Colector Solar De Concentración.	22
Figura 2.8	Detalle constructivo Colector Solar Plano.....	22
Figura 2.9	Detalle de un colector (CPC) estacionario.....	23
Figura 2.10	Calentador solar CPC.	23
Figura 2.11	Diagrama del ángulo de aceptación de un CPC estacionario	24
Figura 2.12	Marcha de rayos en un colector parabólico compuesto.....	24
Figura 2.13	Sistema de calentamiento solar directo.....	25
Figura 2.14	Detalles constructivos de un colector CPC con un concentrador en forma de aleta.....	26
Figura 2.15	Partes de un colector CPC.	26
Figura 2.16	Representación de la altura de presión generada.....	27
Figura 2.17	Partes de un colector solar de circulación natural.	27
Figura 4.1	Definición del Método del Trapecio para determinación del área bajo una curva.....	43
Figura 4.2	Definición del método del trapecio para determinación de la energía almacenada en el colector solar en intervalos de quince minutos.....	43
Gráfica 4-1	Temperatura de salida vs Tiempo, 19-agosto-2014 - nublado (absorbedor circular).....	53
Gráfica 4-2	Eficiencia Térmica, 19-agosto-2014 - nublado (absorbedor circular)....	55
Gráfica 4-3	Temperatura de salida vs Tiempo, 18- julio-2014- parcial nublado (absorbedor circular).....	56
Gráfica 4-4	Eficiencia Térmica, 18-julio-2014 - parcial nublado (absorbedor circular).....	58
Gráfica 4-5	Temperatura de salida vs Tiempo, 22- julio-2014 - soleado (absorbedor circular).....	59

Gráfica 4-6 Eficiencia Térmica, 22-julio-2014 - soleado (absorbedor circular).....	61
Gráfica 4-7 Verificación de la Hipótesis (absorbedor circular).	63
Figura 6.1 Perfil completo del reflector del colector solar parabólico compuesto. ...	73
Figura 6.2 Perfil truncado del reflector del colector solar parabólico compuesto.	74
Figura 6.3 Configuración circular del absorbedor.	74
Figura 6.4 Absorbedor circular configurado con una placa absorbadora.	75
Figura 6.5 Esquema del absorbedor circular.....	76
Figura 6.6 Circuito térmico equivalente del absorbedor circular.....	76
Figura 6.7 Dimensiones del reflector del colector.	77
Figura 6.8 Dimensiones del colector.....	86
Figura 6.9 Esquema del absorbedor circular con una placa absorbadora.	86
Figura 6.10 Circuito térmico equivalente del absorbedor circular con una placa absorbadora.	87
Figura 6.11 Dimensiones del absorbedor circular con una placa absorbadora.	90
Figura 6.12 Colector solar parabólico compuesto.....	97
Figura 6.13 Termómetros digitales.	98
Figura 6.14 Anemómetro.	99
Figura 6.15 Piranómetro.....	99
Figura 6.16 Orientación de la caja colectora.....	100
Figura 6.17 Inclinación de la caja colectora orientada hacia el norte geográfico. ...	100

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

Autor: Santiago Guanoluisa Tenorio

Tutor: Ing. Alex Mayorga

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto está enfocado a realizar un estudio de la geometría del absorbedor del colector solar parabólico compuesto para calentamiento de agua de uso sanitario, para evaluar el gradiente de temperatura entre la entrada y la salida del agua de este colector concentrador, además se estudió la eficiencia alcanzada según la configuración del absorbedor para posteriormente compararla con los colectores de superficie absorbedora plana convencional. Se obtuvo la parábola del reflector del colector solar parabólico compuesto considerando el absorbedor circular, con una razón de concentración de 4 más un 10% de esta, para considerar un truncamiento del reflector, el absorbedor circular se configuró con una pequeña placa absorbedora de aluminio la cual tiene una conductividad térmica de 401 W/m.K. Los valores obtenidos experimentalmente en el colector, se basaron a los datos recopilados en las fichas de campo. Se consideró experimentar el calentamiento de agua en distintos días con las condiciones climáticas, nublado, parcial nublado y soleado, con un cielo totalmente despejado. Los ensayos del calentamiento de agua se realizaron con dos tipos de configuración geométrica del absorbedor del colector solar parabólico compuesto; absorbedor circular y absorbedor circular configurado, con los cuales se obtuvo una temperatura de salida del agua de 61°C y 76°C y una eficiencia térmica de 60% respectivamente, estos resultados se presentaron tomando en cuenta una condición climática (día soleado) aproximadamente igual para las dos configuraciones del absorbedor, y con valores promedio de velocidad del viento, temperatura ambiente y radiación solar. También se realizó este estudio con la finalidad de incentivar a que se realicen estudios sobre nuevas formas de captación de la radiación solar, y desarrollar nuevas aplicaciones, sean de uso doméstico o industrial.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 TEMA

“ESTUDIO DE LA GEOMETRÍA DEL ABSORBEDOR DEL COLECTOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO Y SU INCIDENCIA EN LA EFICIENCIA PARA CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO SANITARIO”.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN

En el mundo, en los últimos años se está produciendo un aumento notable de instalaciones de energía solar térmica; los avances tecnológicos permiten la fabricación de sistemas de mejor calidad y a menor costo y la sociedad está entendiendo la necesidad de sustituir los combustibles fósiles.

Desde su primera invención, hace varias décadas, se han desarrollado diversas formas de colectores solares térmicos, que van de los colectores planos a los colectores parabólicos y helióstatos. En Sudamérica el uso de colectores solares para la producción de energía térmica es muy bajo en contraste con otros países como los europeos y China.

Por esta razón, el uso de energía solar térmica, más allá de ser una alternativa ecológica, se ha convertido en una tecnología económicamente atractiva y competitiva en muchos países.

En el Ecuador y por parte de instituciones se ha desarrollado investigación para promover el desarrollo de proyectos de energía limpia y renovable tales como la energía eólica, hidroeléctrica, biomasa y energía solar. La CIE (Corporación para la Investigación Energética), dentro de su labor de investigación en el campo de las energías renovables y eficiencia energética, elaboró el “Atlas Ecuatoriano de Radiación Solar” para el Consejo Nacional de Electricidad CONELEC, el Atlas es un insumo para la implementación de procesos productivos tecnológicamente eficientes como sistemas para calentamiento de agua y climatización de piscinas, todo esto a través de energía limpia y bajo condiciones de ventaja estratégica para nuestro país por la radiación que recibe debido a su posición geográfica.

En la ciudad de Ambato, en la universidad se realizó un estudio específico y de campo sobre el espectro de irradiación solar, el cual ha servido de base para proyectos de investigación aplicados a la climatización de agua con calentadores solares; la energía solar puede ser captada y aprovechada de mejor manera mediante la aplicación de colectores parabólicos compuestos, con los cuales se puede obtener temperaturas significativamente más elevadas y un rendimiento adecuado.

1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO

La presente investigación está orientada a promover la creación de proyectos haciendo uso de recursos energéticos alternativos, como es la energía solar; y al desarrollo de tecnologías para tener una mejor captación de la radiación solar ya que el consumo energético para producir agua caliente es importante.

La energía térmica solar es una solución limpia y conveniente para el abaratamiento de costos en instalaciones con un consumo importante de agua caliente para uso sanitario y contribuye al ahorro de grandes cantidades de combustibles fósiles y electricidad.

Mediante el estudio de la geometría del absorbedor del colector solar parabólico compuesto se busca tener una mejor captación de la radiación solar, y se investigará

si se puede obtener temperaturas elevadas y mejorar la eficiencia del calentamiento de agua de uso sanitario.

1.2.3 PROGNOSIS

El desarrollo de la presente investigación es necesario ya que busca mejorar la captación de energía solar, estudiando la geometría del absorbedor del colector solar parabólico compuesto ya que es uno de los dispositivos más usados, sobre todo por su gran capacidad en concentración de energía. La superficie del receptor o absorbedor puede tener diferentes formas; la forma más usada es la configuración con un receptor plano, por otra parte con la forma cilíndrica la cara al sol puede captar la radiación directa y la parte oculta la radiación por reflexión.

De no llevarse a cabo, no podremos verificar si con este dispositivo se alcanzará temperaturas significativamente más elevadas, minimizar las pérdidas, y de esta manera lograr una eficiencia adecuada en el calentamiento de agua de uso sanitario.

1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Mediante la geometría del absorbedor del colector solar parabólico compuesto se obtendrá una eficiencia adecuada para calentamiento de agua de uso sanitario?

1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES

¿La aplicación de la geometría del absorbedor del colector solar parabólico compuesto nos permitirá alcanzar temperaturas significativamente más elevadas para calentamiento de agua de uso sanitario?

¿Con el desarrollo de este estudio se determinará una eficiencia aceptable para el calentamiento de agua de uso sanitario utilizando la radiación solar?

¿Con este estudio se conocerá la ventaja energética al configurar el absorbedor del colector solar parabólico compuesto?

1.2.6 DELIMITACIÓN

1.2.6.1 DE CONTENIDO

El desarrollo de la investigación abarca varias áreas de la ingeniería las cuales incluyen las siguientes materias:

Matemáticas, Termodinámica, Transferencia de Calor, Energías alternativas, Mecánica de Fluidos, Diseño de elementos de Máquinas y gestión de proyectos.

1.2.6.2 ESPACIAL

El espacio geográfico donde se realizó la investigación es en el campus de la Universidad Técnica de Ambato, específicamente en los predios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, del Cantón Ambato, Provincia del Tungurahua.

1.2.6.3 TEMPORAL

El estudio de la geometría del absorbedor del colector solar parabólico compuesto y su incidencia en la eficiencia para calentamiento de agua de uso sanitario, se realizó desde enero del 2014 hasta marzo del 2015.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de este proyecto es de mucha importancia ya que con este se podrá estudiar nuevas formas de captación de energía solar para obtener temperaturas elevadas y ser aprovechadas en diversas aplicaciones, y de la misma manera se

podrá analizar si con este tipo de colector podremos minimizar las pérdidas y de esta forma tener una eficiencia adecuada en el sistema al cual se este aplicando.

Se debe resaltar que la energía solar térmica es una fuente de calor extremadamente práctica que se basa en una tecnología que no depende de recursos energéticos escasos y no renovables por lo cual es preciso expandir la tecnología existente y desarrollar nuevas tecnologías para aplicaciones como el calentamiento agua de uso sanitario.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar la geometría del absorbedor del colector solar parabólico compuesto y su incidencia en la eficiencia para calentamiento de agua de uso sanitario.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer si con la aplicación de una geometría adecuada del absorbedor del colector solar parabólico compuesto nos permitirá alcanzar temperaturas significativamente más elevadas para calentamiento de agua de uso sanitario.
- Determinar una eficiencia aceptable para el calentamiento de agua de uso sanitario utilizando la radiación solar.
- Conocer la ventaja energética al configurar el absorbedor del colector solar parabólico compuesto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

A nivel internacional existen estudios de diversas formas de captación de energía solar.

Dentro del ámbito de las tecnologías de concentración solar, el concentrador parabólico compuesto es un dispositivo muy usado, sobre todo por su gran capacidad en concentración de energía.

Tapia S. y Del Río P. (2009) en su revista, realizaron un análisis del comportamiento de la incidencia y reflexión de rayos luminosos en la superficie interna de una parábola extruida, y producto de este análisis, obtuvieron las características del concentrador formado por un segmento de parábola, además con el análisis de reflexión sobre una parábola extruida, se desarrolló las ecuaciones cartesianas del dispositivo denominado concentrador parabólico compuesto o CPC.

Echeverría C. (2011) en su tesis, detalla que proyectos que incluyan como equipo principal al colector cilindro parabólico compuesto son factibles tanto económicamente como energéticamente, ya que es posible diseñar este dispositivo, sin la necesidad de la instalación de un sistema de seguimiento solar, lo que ocasionaría el incremento de la inversión neta tangible.

Pillajo J. y Castillo L. (2007) en su tesis, confirman que para el diseño de los colectores se estipularon temperaturas de entrada y salida de 18 y 50°C

respectivamente, con el fin de obtener una eficiencia del 40 al 50%, pero en la práctica obtuvieron temperaturas superiores a 70°C, con una eficiencia del 64.58%, y especificaron que esto se debe a dos factores importantes que son: la selección de materiales apropiados y la localización en el centro de la tierra.

Toalombo B. (2011) señala en su tesis, que: La irradiación es el parámetro físico que está asociado directamente con la energía solar y su valor determina directamente el potencial de energía disponible. Además diseño un colector solar plano en donde alcanzo temperaturas que bordean los 75°C a la salida del colector, con tan solo dos horas de exposición a la irradiación solar y en condiciones climáticas parcial nublado y nublado se aproxima a los 50°C y 30 °C respectivamente.

Salcedo V. (2011) realizó en su tesis, una investigación sobre el calentamiento de agua mediante tubos de vacío, donde alcanzó temperaturas mayores a 60°C, en un tiempo de 6 horas, en días parcialmente nublados las temperaturas alcanzadas fueron de aproximadamente 40°C, en un tiempo de seis horas y se obtuvo una eficiencia del 82%.

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

La presente investigación está encaminada a conocer y estudiar una nueva forma de captación de energía para el aprovechamiento del recurso solar, con el estudio del comportamiento del colector parabólico compuesto para su aplicación en el calentamiento de agua para uso sanitario, del cual se determinará su eficiencia; esto tomando en cuenta parámetros y criterios técnicos.

2.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.3.1 COLECTORES PARABOLICOS COMPUESTOS CPC - GEOMETRÍA

Campuzano G. y Chiriboga J. (2010) señalan que el colector parabólico compuesto es un concentrador que no necesita rastreo con precisión. Consiste en dos secciones de parábola de segundo grado localizadas simétricamente alrededor del plano medio del colector. Posee un gran ángulo de aceptación por lo cual funciona el día entero sin la necesidad de ser orientado, cuando el eje más largo está orientado hacia el este-oeste. Este tipo de colector concentra la radiación mediante el uso de múltiples reflexiones así como la intercepción directa.

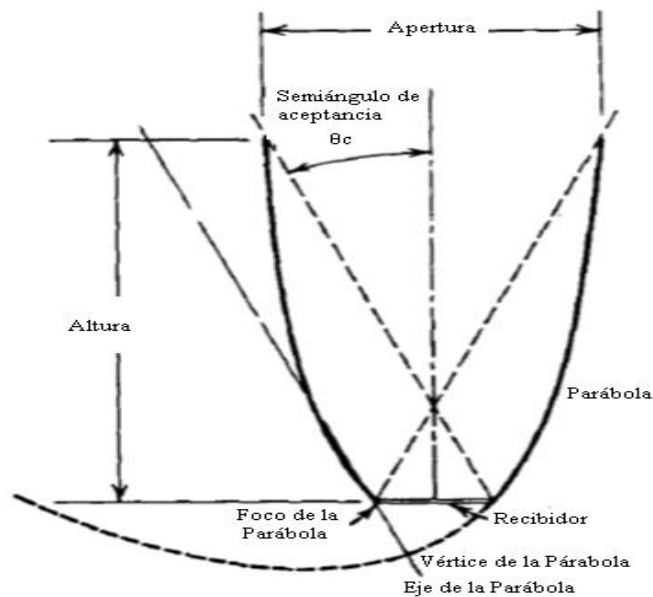


Figura 2.1 Sección transversal de un CPC simétrico no truncado.

Fuente: Duffie J. & Beckman W. (1980)

2.3.1.1 FACTOR DE CONCENTRACIÓN (C)

Duffie J. & Beckman W. (1980) detallan que el ángulo entre el eje del CPC y la línea que conecta el foco de una de las parábolas con la orilla opuesta de la apertura es el semiángulo de aceptación θ_c . Si el reflector es perfecto, cualquier radiación que entre

a la apertura con ángulos entre $\pm \theta_c$ será reflejado hacia el receptor ubicado en la base del concentrador por reflexiones entre las dos secciones de forma parabólicas.

El factor de concentración es una función del semiángulo de aceptación cuya relación es:

$$C = \frac{1}{\text{sen } \theta_c} \quad (2.1)$$

Donde:

C Factor de concentración.

θ_c semiángulo de aceptación($^\circ$)

2.3.1.2 FORMAS DEL ABSORBEDOR DEL CPC

Hernández et al. (1987) señalan que en aplicaciones térmicas, con el fin de emplear aplicaciones sencillas en el absorbedor, se suele continuar la rama de la parábola con la involuta del absorbedor circular.

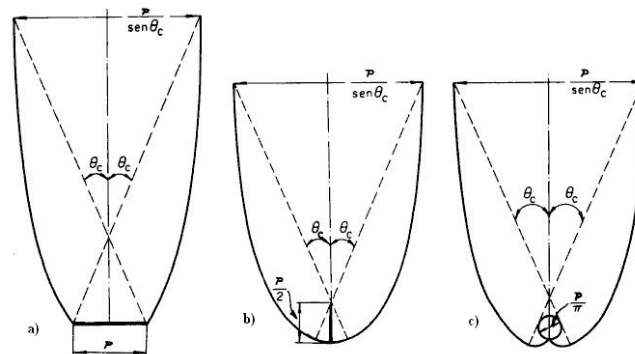


Figura 2.2 a) Absorbedor plano, b) absorbedor en forma de aleta y c) absorbedor circular.

Fuente: Hernández et al. (1987)

El absorbedor del CPC puede tener distintas configuraciones, por lo cual Paredes R. (1988) destaca que con el fin de eliminar pérdidas de calor el CPC puede tener un absorbedor con *forma de aleta*, el cual es iluminado en ambos lados con lo cual se reduce el material del receptor o absorbedor. El absorbedor de *forma circular* es estructuralmente deseable para usarse como un soporte del colector o para confinar

el fluido de trabajo a una alta presión. La configuración del CPC con un absorbedor *plano horizontal* puede ser llamado receptor tipo placa completamente iluminada. Cualquier forma de absorbedor puede ser usada en el CPC. Cada forma de absorbedor requiere una superficie reflectora ligeramente diferente.

2.3.1.3 PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DEL CPC CON ABSORBEDOR CIRCULAR

Las ecuaciones para obtener el trazado en plano cartesiano del reflector del CPC son descritas por Aguayo, Velázquez y Ojeda (2009) quienes determinan que las ecuaciones están en función del radio del absorbedor tubular, este nos indica el límite del tubo absorbedor a donde llevaremos la radiación, y también son función del semiángulo de aceptación. El reflector está constituido por dos segmentos distintos, una sección de una involuta y un segmento de una parábola, como se describen los valores para el eje x y y como se muestra en las ecuaciones (2.2) y (2.3), respectivamente; además las ecuaciones para la distancia ρ_d y la limitación en cada segmento, para la involuta, en las ecuaciones 2.4 y 2.5; y para la sección de la parábola en las ecuaciones (2.6) y (2.7):

$$x = r_a * \text{sen } \theta_{pa} - \rho_d * \text{cos } \theta_{pa} \quad (2.2)$$

$$y = -r_a * \text{cos } \theta_{pa} - \rho_d * \text{sen } \theta_{pa} \quad (2.3)$$

Para la involuta:

$$\rho_d = r_a * \theta_{pa} \quad (2.4)$$

Cuando,

$$0 \leq \theta_{pa} \leq \frac{\pi}{2} + \theta_c \quad (2.5)$$

Para la parábola:

$$\rho_d = r_a \left[\frac{\frac{\pi}{2} + \theta_c + \theta_{pa} - \cos(\theta_{pa} - \theta_c)}{1 + \sin(\theta_{pa} - \theta_c)} \right] \quad (2.6)$$

Cuando:

$$\frac{\pi}{2} + \theta_c \leq \theta_{pa} \leq \frac{3\pi}{2} - \theta_c \quad (2.7)$$

Donde:

r_a radio del absorbedor tubular (m)

θ_{pa} ángulo de la parábola ($^\circ$)

ρ_d distancia entre el punto A y C de la parábola (m)

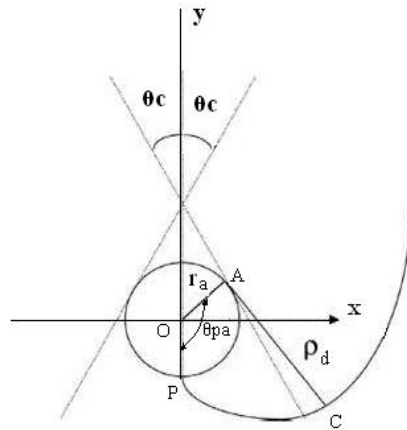


Figura 2.3 Descripción del CPC en coordenadas x y y.

Fuente: Aguayo, Velázquez y Ojeda (2009)

2.3.1.4 TRUNCAMIENTO DEL CPC

Gutiérrez J. (2010) señala que si la altura de reflector es muy grande se puede realizar un truncamiento; y ya que el truncamiento hace que se pierda un 10 % de la razón de concentración y además, se logra un ahorro del material por lo tanto, al conocer el valor de la concentración, se le incrementa el 10% para considerar el truncamiento.

2.3.2 RADIACIÓN SOLAR

Jutglar L. (2004), detalla los distintos tipos de energía radiante que inciden en una superficie, situada en la superficie terrestre a aquella radiación que incide sobre la superficie sin cambiar de dirección, y proviene de una dirección claramente definida se la denomina radiación directa y a la parte de la radiación que, por choques sucesivos con moléculas y partículas contenidas en el aire, se ha difundido al atravesar la atmosfera, es llamada radiación difusa; mientras que la suma de la radiación directa y la difusa será la radiación global.

2.3.2.1 MEDICIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR

2.3.2.1.1 PIRANÓMETRO

Para Carta, Calero, Colmenar y Castro (2009) el piranómetro es un dispositivo que mide la radiación global (directa más difusa), y que suele instalarse fijo.

Meinel A. y Meinel M (1982) explican que el piranómetro se utiliza ampliamente debido a que es un instrumento sencillo y no requiere el seguimiento del sol. Probablemente el 90% o más de los datos solares de todo el mundo se han reunido utilizando algún tipo de piranómetro.

Se lo coloca generalmente en posición horizontal de modo que el hemisferio de 2π aceptado por el instrumento cubre el firmamento completo.



Figura 2.4 Piranómetro.

Fuente: Carta, Calero, Colmenar y Castro (2009)

2.3.2.2 ORIENTACIÓN DEL COLECTOR CPC

Según Echeverría C. (2011) el concentrador podrá estar orientado con su eje mayor de norte-sur u orientado de otra manera de este-oeste, mientras que su apertura estará inclinada de acuerdo a la latitud del lugar de instalación.

Duffie J. & Beckman W. (1980) definen que una orientación lógica para un colector CPC es a lo largo de un eje este-oeste horizontal, inclinado hacia el Ecuador, y más o menos ajustable alrededor de ese eje. El CPC está dispuesto de manera que el ángulo de incidencia de la radiación directa se encuentre dentro de los límites $\pm\theta_c$ durante el tiempo de operación requerido del colector.

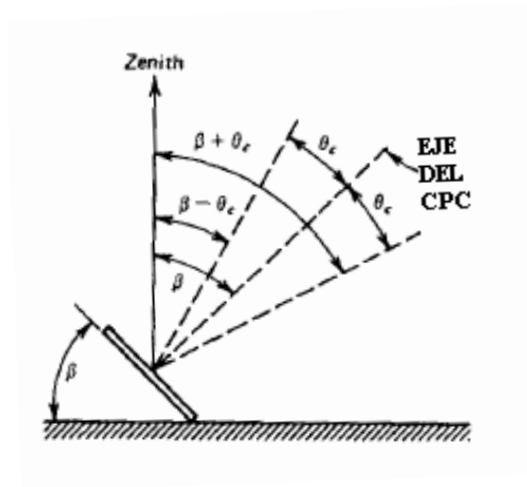


Figura 2.5 Proyección sobre un plano norte-sur del ángulo de aceptación del CPC con inclinación en un eje orientado en dirección este-oeste.

Fuente: Duffie J. & Beckman W. (1980)

β ángulo de inclinación del CPC ($^{\circ}$)

2.3.2.3 ENERGÍA ABSORBIDA POR EL COLECTOR CPC

Duffie J. & Beckman W. (1980) definen que, para estimar la radiación absorbida por un receptor de un CPC, es necesario determinar si el ángulo de incidencia de la radiación directa se encuentra dentro del ángulo de aceptación.

La radiación absorbida puede ser estimada como:

$$S = G_{b,CPC}\tau_{c,b}\tau_{CPC,b}\alpha_b + G_{d,CPC}\tau_{c,d}\tau_{CPC,d}\alpha_d + G_{g,CPC}\tau_{c,g}\tau_{CPC,g}\alpha_g \quad (2.16)$$

El primer término de la ecuación 2.16 es la contribución de la radiación directa (*b*, beam radiation) para *S*. el segundo es la contribución de la radiación difusa (*d*, diffuse radiation), y el tercero es la radiación reflejada por el suelo (*g*, ground-reflected).

Donde:

S Energía absorbida (W/ m²)

G_b Radiación directa (W/m²)

G_d Radiación difusa (W/m²)

G_g Radiación reflejada por el suelo (W/m²)

τ_c Transmisividad de la cubierta

τ_{CPC} Transmisividad del colector CPC

α_b Absortividad del absorbedor.

Si la radiación directa incide sobre la abertura dentro del ángulo de aceptación, $F = 1$ y el término de la radiación directa se incluirán en el cálculo de *S*.

Los términos $\tau_{CPC,b}$, $\tau_{CPC,d}$ y $\tau_{CPC,g}$, son las transmitancias del CPC. Suelen ser tratados como iguales, y un valor adecuado para ser aplicado a los tres, se estima a partir de:

$$\tau_{CPC} = \rho_c^{n_r} \quad (2.16)$$

Donde:

ρ_c Reflectancia

n_r Número promedio de reflexiones.

Duffie J. & Beckman W. (1980), el número promedio de reflexiones se da por:

$$n_r = 1 - \frac{1}{c} \quad (2.21)$$

2.3.3 PROPIEDADES ÓPTICAS DE LOS MATERIALES

Conceptos básicos, Sánchez M. (1996) define:

La **reflectividad** o reflectancia, ρ_c , de una superficie se define como la fracción de energía incidente sobre ella que es capaz de reflejar.

La **transmitancia** o transmisividad, τ , de una superficie se define como la fracción de energía incidente sobre ella que esta es capaz de transmitir.

Sol-arq (2012) explica:

La **absortividad**, α , es la propiedad de un material que determina la cantidad de radiación incidente que puede absorber.

La **emisividad**, ε , de un material representa la proporción entre la energía radiada por dicho material y la energía que radiaría un cuerpo negro ideal, dada la misma temperatura y la misma superficie.

2.3.4 TRANSFERENCIA DE CALOR

2.3.4.1 CONDUCCIÓN

Cengel Y. (2007) define que la razón de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de éste, su espesor y el material de que esté hecho, así como de la diferencia de temperatura a través de él.

La transferencia de calor por conducción se expresa como:

La resistencia térmica por conducción se expresa como:

$$R_K = \frac{L}{k \cdot A} \quad (2.22)$$

Donde:

k Conductividad térmica del material (W/m °C)

A Área de transferencia de calor (m²)

L Espesor de la pared plana (m)

La resistencia térmica por conducción en un tubo de agua caliente se expresa como:

$$R_{cil} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi \cdot k \cdot L} \quad (2.23)$$

Donde:

L Longitud (m)

r_1 Radio interior (m)

r_2 Radio exterior (m)

2.3.4.2 CONVECCIÓN

Considere la transferencia de calor por convección de una superficie sólida de área y temperatura hacia un fluido cuya temperatura en un punto suficientemente lejos de la superficie

Para la resistencia térmica por convección se tiene:

$$Rc = \frac{1}{h_c * A_{conv}} \quad (2.24)$$

Donde:

h_c Coeficiente de transferencia de calor por convección ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

A_{conv} Área de transferencia de calor por convección (m^2)

Duffie J. & Beckman W. (1980), las pérdidas de calor por convección en los colectores solares expuestos a vientos externos, se da de la siguiente manera:

$$h_c = 5.7 + 3.8 v_{vi} \quad (2.25)$$

v_{vi} Velocidad del viento (m/s)

2.3.4.3 RADIACIÓN

Cengel, Y. (2007) define a la radiación como la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas y es la más rápida y no sufre atenuación en un vacío, de esta manera la energía del Sol llega a la Tierra. En los estudios de transferencia de calor es de interés la radiación térmica, que es la forma de radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura.

La resistencia térmica por radiación se expresa como:

$$R_{rad} = \frac{1}{h_{rad} * A_s} \quad (2.26)$$

Donde:

h_{rad} coeficiente de transferencia de calor por radiación (W/m² °C)

A_s área de la superficie (m²)

Transferencia de calor por radiación en recintos cerrados de dos superficies:

Duffie J. & Beckman W. (1980)

$$h_{rad} = \frac{\sigma * (T_1^2 + T_2^2) * (T_1 + T_2)}{\frac{1 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{F_{12}} + \frac{(1 - \varepsilon_2) * A_1}{\varepsilon_2 * A_2}} \quad (2.27)$$

Donde:

T_2 y T_1 temperaturas de las superficies 1 y 2 respectivamente (K)

ε_1 y ε_2 emisividad de las superficie 1 y 2 respectivamente

A_1 y A_2 área de las superficies 1 y 2 respectivamente (m²)

F_{12} Factor de visión.

σ constante de Stefan Boltzman (5.67 x 10⁻⁸ W/m²K⁴)

2.3.5 EFICIENCIA TÉRMICA DE UN COLECTOR CON CONCENTRACIÓN

La eficiencia térmica de un colector con concentración se define como:

$$\eta_g = \frac{\text{calor útil recogido del colector}}{\text{radiación solar interceptada * área bruta del colector}} \quad (2.28)$$

$$\eta_g = \frac{Q_{util}}{G_{solar in} * A_g} \quad (2.29)$$

Donde:

η_g eficiencia del colector basada en el área bruta del colector.

$G_{solar\ in}$ radiación solar interceptada (W/m^2)

A_g área de colección bruta del colector (m^2)

Duffie J. & Beckman W. (1980) el calor útil del colector se define como:

$$Q_{util} = F_R * A_a [S - \frac{A_r}{A_a} * U_L * (T_i - T_a)] \quad (2.30)$$

Donde:

F_R factor de eliminación de calor del colector.

A_a área de apertura del colector (m^2)

A_r área de la superficie externa del receptor o absorbedor (m^2)

U_L coeficiente global de pérdidas ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

T_i temperatura del agua a la entrada del colector ($^\circ C$)

T_a temperatura ambiente ($^\circ C$)

$$F_R = F' * F'' \quad (2.31)$$

F'' factor de flujo del colector

F' factor de eficiencia del colector

$$F' = \frac{U_o}{U_L} \quad (2.32)$$

$$F'' = \frac{F_R}{F'} = \frac{\dot{m} * C_p}{A_r * U_L * F'} * [1 - \exp(-\frac{A_r * U_L * F'}{\dot{m} * C_p})] \quad (2.33)$$

$$U_o = [\frac{1}{U_L} + \frac{D_o}{h_f D_i} + \frac{D_o * \ln(\frac{D_o}{D_i})}{2k}]^{-1} \quad (2.34)$$

Donde:

D_o diámetro exterior del tubo absorberdor (m)

D_i diámetro interior del tubo absorberdor (m)

h_f coeficiente de transferencia de calor por convección hacia el fluido ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

k conductividad térmica del material del absorbedor ($W/m \text{ } ^\circ C$)

U_o coeficiente global de transferencia de calor hacia el fluido ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

C_p calor específico del fluido ($KJ/kg \cdot ^\circ C$)

2.3.6 ECUACIONES CLAVE

El gasto de masa de un fluido en una sección transversal:

$$\dot{m} = \rho_{agua} * V_{prom} * A_c \quad (2.35)$$

Donde:

\dot{m} Flujo de masa de agua (kg/s)

ρ_{agua} densidad del agua (kg/m^3)

V_{prom} velocidad promedio del agua en la dirección de flujo (m/s)

A_c área de la sección transversal del ducto (m^2)

2.3.7 INSTALACIONES SOLARES TÉRMICAS

Perales T. (2008) detalla que las instalaciones solares térmicas están configuradas en torno grupos de componentes importantes, los cuales son:

- Sistema de captación de la energía solar y transferencia a un fluido que circula por su interior.
- *Sistema de almacenamiento* del Agua Caliente Sanitaria si la circulación es directa (el fluido que circula por el panel solar es el de utilización).

- *Conjunto de accesorios* empleados en el sistema de circulación del fluido para control de las temperaturas de entrada de agua fría y salida caliente, protección, sistema de apoyo, etc.

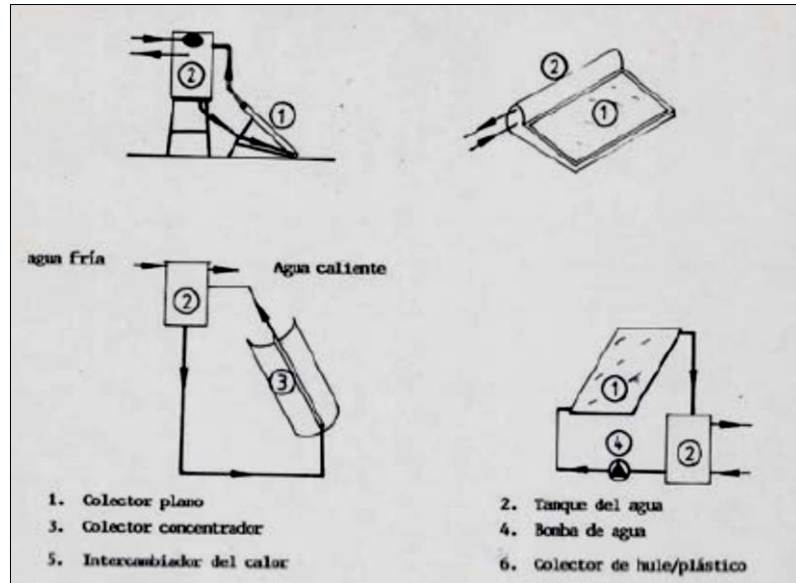


Figura 2.6 *Calentadores de agua sistemas con circulación de fluido*

Fuente: Nandwani S. (2006).

2.3.7.1 COLECTORES SOLARES PARA CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA

Perales T. (2008) define que el colector, es el componente encargado de captar la energía solar para elevar con ello la temperatura del fluido en circulación por su interior, y mediante un proceso externo, da lugar a obtención del Agua Caliente Sanitaria. Existen varias formas de construcción de los colectores solares para adaptarse a aplicaciones como las industriales y las domésticas, pero se pueden integrar en dos grupos, que son denominados colectores de concentración y paneles planos. Los primeros se emplean principalmente en instalaciones de medianas y altas temperaturas, aunque hay alguna versión para bajas temperaturas, y los segundos exclusivamente para temperaturas bajas.

Los captadores de concentración están basados en un reflector de forma cilíndrico-parabólica, por cuyo punto focal transita el fluido a calentar a través de una tubería metálica, que generalmente es de cobre.

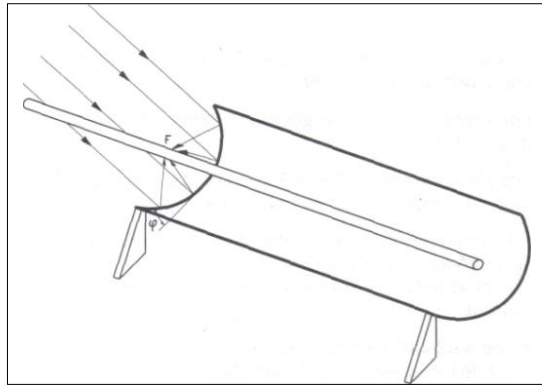


Figura 2.7 Colector Solar De Concentración.

Fuente: Perales T. (2008)

Los colectores solares planos, a diferencia de los colectores de concentración, los de configuración plana están propuestos a aplicaciones de bajas temperaturas, generalmente no superiores a 90 °C, y adoptan la forma que muestra la figura 2.8.

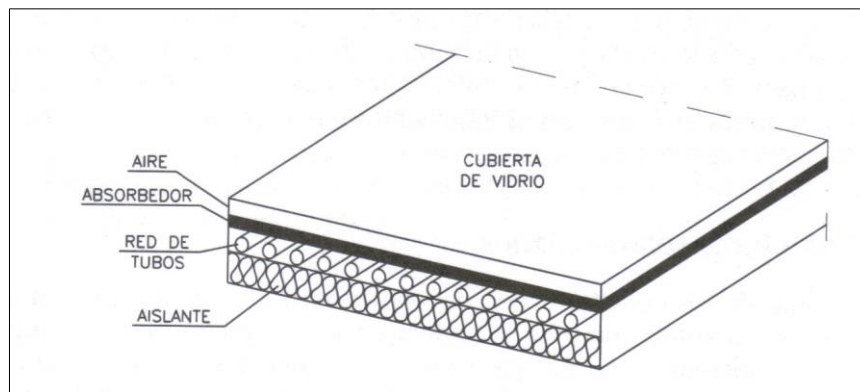


Figura 2.8 Detalle constructivo Colector Solar Plano.

Fuente: Perales T. (2008)

2.3.7.1.1 COLECTOR PARABÓLICO COMPUESTO ESTACIONARIO

Perales T. (2008) expone que el aspecto del colector parabólico compuesto es similar al del colector plano que se describe seguidamente por cuanto que está compuesto por una cubierta de vidrio para obtener el efecto invernadero y conseguir la necesaria protección. Sin embargo, su superficie de captación solar está formada por un conjunto de pequeñas cavidades cilíndrico parabólicas paralelas, por cuyos centros circula el fluido a través de tubería o conductos de cobre o vidrio al vacío. Estos colectores planos-concentradores consiguen un elevado rendimiento energético.

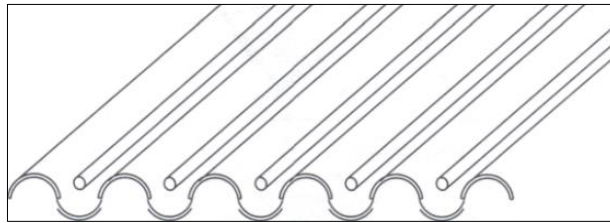


Figura 2.9 Detalle de un colector (CPC) estacionario.

Fuente: Perales T. (2008)



Figura 2.10 Calentador solar CPC.

Fuente: Placco, Saravia y Cadena (s.f.)

Los colectores comerciales de este tipo principalmente difieren por el número de tubos que contienen y la longitud de los mismos, lo que determina el área de captación.

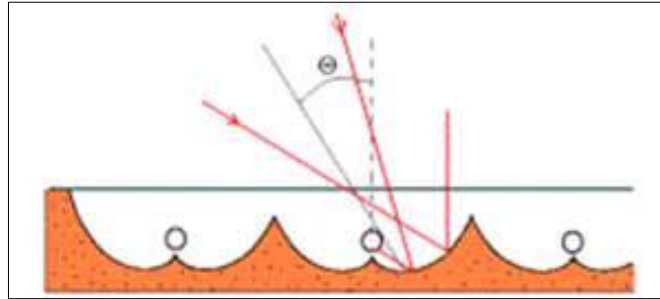


Figura 2.11 Diagrama del ángulo de aceptación de un CPC estacionario

Fuente: Estrada, Arancibia, Dorantes, Islas y Mulhia (2005)

Pacheco W. (2004) señala que, en el eje común del CPC se dispone un tubo pintado de negro para que el tubo se caliente con la radiación en el concentrada, en su interior circula el agua a ser calentada y con la finalidad de aumentar la cantidad de radiación captada que viene con cualquier inclinación es decir la radiación difusa, se configura al absorbedor con unas aletas o placas absorbedoras convenientemente dispuestas las que también se pintan de negro para convertir en calor la radiación incidente.

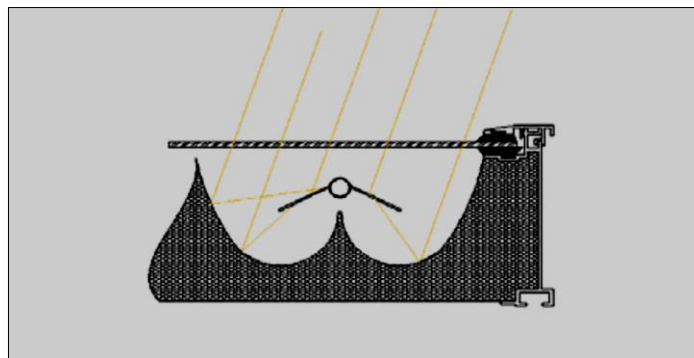


Figura 2.12 Marcha de rayos en un colector parabólico compuesto.

Fuente: Placco, Saravia y Cadena (s.f.)

El colector CPC estacionario puede ser conectado a un *sistema directo* que es el sistema de calentamiento solar en que el agua calentada para consumo final o circulado al usuario, pasa directamente a través del colector.

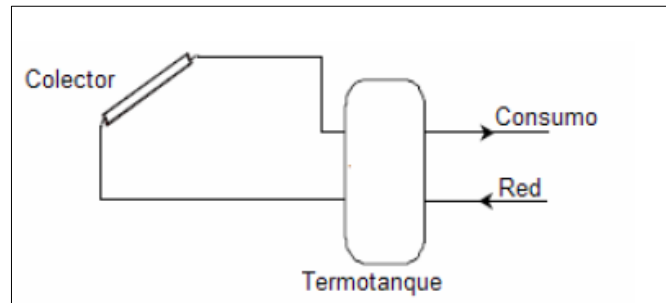


Figura 2.13 Sistema de calentamiento solar directo.

Fuente: NTE INEN 2507 (2009)

2.3.7.1.2 COLECTOR PARABÓLICO COMPUESTO CON UN EJE DE SEGUIMIENTO

Saravia, Salvo, Echazú, y Fernández (2005) describen que los sistemas tradicionales de calentamiento solar de agua utilizan colectores planos, estos se conectan a un tanque acumulador (correctamente aislado) formando un circuito cerrado por el que circula agua por termosifón. Entre las mejoras propuestas para los sistemas, donde el colector y el tanque de acumulación están en forma separada, resulta particularmente interesante el uso de concentradores CPC. Por su forma estos colectores aumentan la radiación solar incidente sobre toda la superficie colectora. El resultado inmediato es que con una pequeña superficie de transferencia las pérdidas térmicas también se reducen y como la energía que ingresa es mayor que la correspondiente a la colectada por una superficie plana del mismo tamaño es de esperar que la eficiencia aumente.

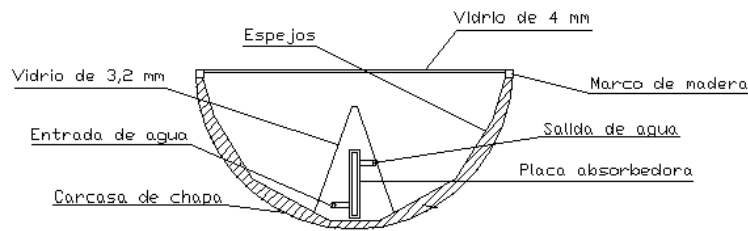


Figura 2.14 Detalles constructivos de un colector CPC con un concentrador en forma de aleta.

Fuente: Saravia, Salvo, Echazú, y Fernández (2005)

Este equipo puede funcionar de una manera que el colector y acumulador estén separados y además el sistema funcione por termosifón, teniendo un área de colección en el centro del CPC de acuerdo a lo mostrado en la figura 2.14.

2.3.7.1.3 ELEMENTOS DE UN COLECTOR CPC

Campuzano G. y Chiriboga J. (2010) detallan los elementos de CPC:

- Reflector: superficie que refleja los rayos del sol hacia el foco de concentración.
- Absorbedor: superficie que recepta los rayos del reflector y contiene en su interior el fluido portador del calor.
- Cubierta: disminuye las pérdidas de calor por convección y radiación, además de proteger al reflector.

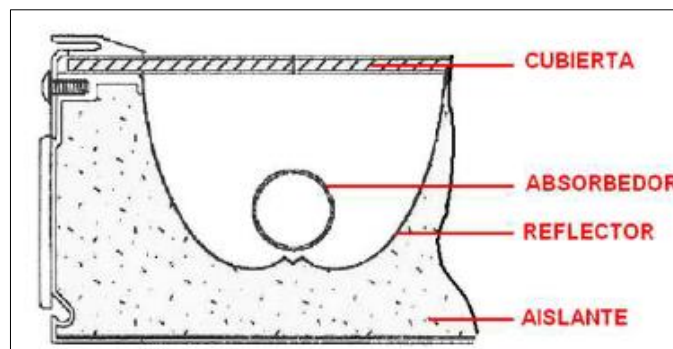


Figura 2.15 Partes de un colector CPC.

Fuente: Campuzano G. y Chiriboga J. (2010)

2.3.7.1.4 CIRCULACIÓN NATURAL DEL AGUA EN EL CALENTADOR SOLAR

Guevara S. (2003) expone que la circulación natural o circulación por termosifón es un fenómeno que se fundamenta en la variación de la densidad del agua, que es inversamente proporcional al incremento de la temperatura, por ejemplo esto quiere decir, que la densidad del agua a 60 °C es menor que la densidad de agua a 20 °C. Si se colocan en un tubo en U dos volúmenes iguales de agua a las temperaturas indicadas, el nivel de la columna de agua más caliente es mayor respecto a la de agua más fría, esto se explica porque la columna de agua a 20 °C tiene mayor masa que la columna de agua que está a 60 °C.

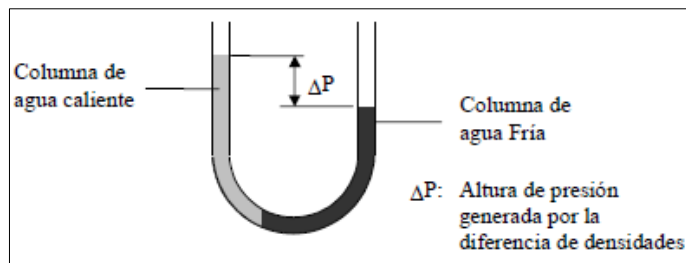


Figura 2.16 Representación de la altura de presión generada.

Fuente: Guevara (2003)

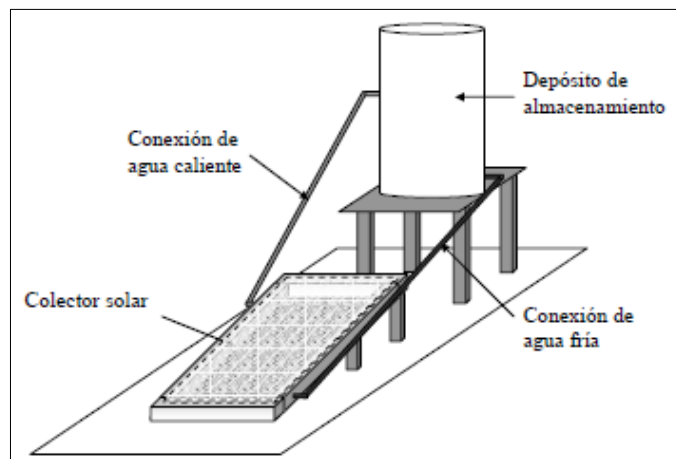


Figura 2.17 Partes de un colector solar de circulación natural.

Fuente: Guevara (2003)

2.3.7.1.5 RANGOS DE OPERACIÓN DEL COLECTOR PARABÓLICO COMPUESTO.

Jaramillo A. (2011) detalla, que colectores parabólicos compuestos (CPC) estacionarios con absorbedor tubular tienen:

Una razón de concentración (C): de 1 a 5

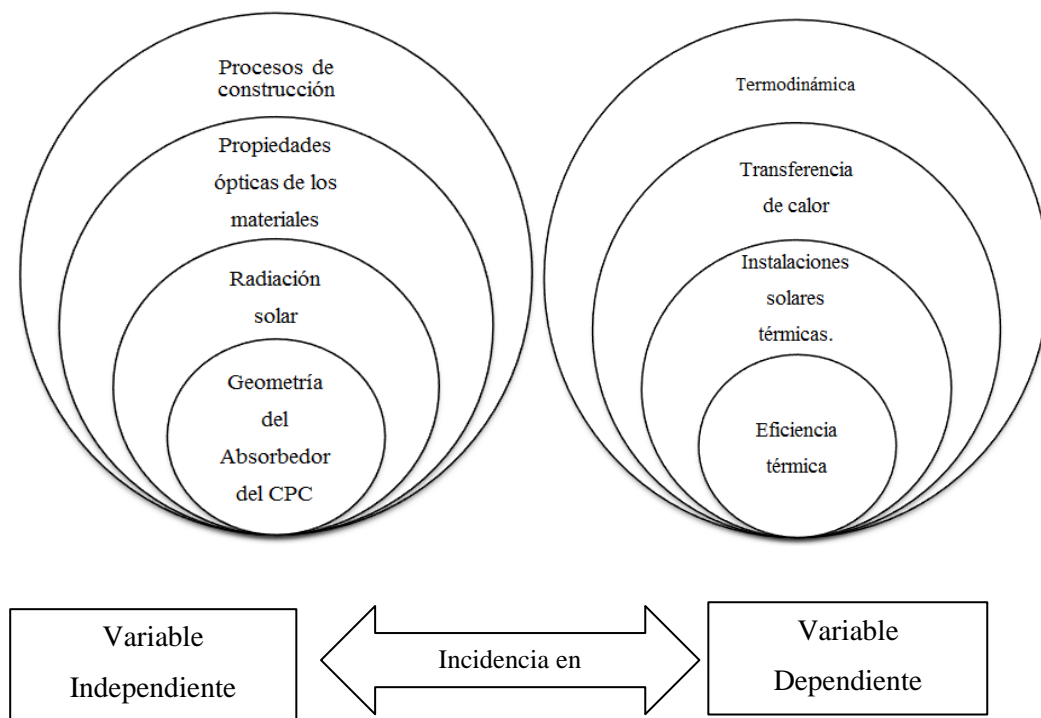
Rango indicativo de temperatura (°C): de 60 a 240

Para Colectores parabólicos compuestos (CPC) con un eje de seguimiento, con absorbedor tubular tienen:

Una razón de concentración (C): de 5 a 15

Rango indicativo de temperatura (°C): de 60 a 300

2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES



Elaborado por: Santiago Guanoluisa.

2.5 HIPÓTESIS

La utilización del absorbedor circular del colector solar parabólico compuesto permitirá alcanzar mayor eficiencia térmica que con la superficie absorbedora plana convencional.

2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.6.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Geometría del absorbedor del colector solar parabólico compuesto.

2.6.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Eficiencia térmica.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE

En el desarrollo de la presente investigación el enfoque predominantemente fue cuantitativo, ya que se tomaron datos de temperatura del agua tanto a la entrada como a la salida del absorbedor del colector solar parabólico compuesto, estos fueron variando en los intervalos de tiempo dispuestos para el estudio.

3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

En el desarrollo de la presente investigación se utilizaron las modalidades bibliográfica, experimental y de campo.

3.2.1 DE CAMPO

Se utilizó la modalidad de investigación de campo, ya que para la obtención de los datos de temperatura tanto de entrada como de salida del absorbedor del colector solar parabólico compuesto, hay que seguir un procedimiento sistemático.

3.2.2 BIBLIOGRÁFICA

Esta modalidad fue de importancia ya que toda la información necesaria se tomó de libros, revistas, investigaciones, tesis e internet, las cuales serán de apoyo para desarrollar y ampliar los conocimientos sobre los temas de esta investigación.

3.2.3 EXPERIMENTAL

En esta modalidad de la investigación se realizó pruebas de funcionamiento del colector solar parabólico compuesto, para verificar su operación, con la manipulación de la variable independiente para determinar su efecto sobre una variable dependiente.

3.3 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.3.1 EXPLORATORIO

La investigación comprobó la hipótesis planteada en base a datos obtenidos experimentalmente.

3.3.2 DESCRIPTIVO

Ya que se investigó la posibilidad de obtener una mejor captación de energía solar para obtener una eficiencia aceptable para el calentamiento de agua de uso sanitario.

3.3.3 ASOCIACIÓN DE VARIABLES

La asociación de variables fue importante en esta investigación ya que así se determinó cual es la eficiencia de acuerdo a la forma de captación de energía solar.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1 POBLACIÓN O UNIVERSO

La población para nuestra investigación se estableció por las mediciones de temperaturas alcanzadas en el absorbedor del colector de acuerdo a la geometría del mismo lo cual fue nuestro objeto de estudio.

Mediante las magnitudes de temperatura obtenidas, determinaremos un rango adecuado para el calentamiento de agua de uso sanitario. Los parámetros como temperatura ambiente, velocidad del viento, humedad relativa y principalmente la radiación solar influyeron directamente sobre nuestro objeto de estudio, además variaron de acuerdo a la hora del día y condiciones climáticas, y tomando en cuenta que las formas de captación de energía solar son varias, definimos a nuestra población como infinita.

3.4.2 MUESTRA

Como nuestra población es infinita accedimos a una parte de la misma definiendo criterios temporales.

De acuerdo a la configuración geométrica del absorbedor del colector solar parabólico compuesto, hora del día y condición climática, se realizaron mediciones de temperaturas de entrada y salida del absorbedor del colector, para lo cual tomamos en cuenta lo siguiente:

- El ensayo se realizó al aire libre y el colector fue montado con una orientación sur - norte, sobre el cual se proyecta el ángulo de aceptación del colector solar parabólico compuesto, en forma continua desde las 10:00 a.m. hasta las 2:00 p.m.

- La elevación de la temperatura de fluido se tomará y registrará en intervalos 15 minutos o con más frecuencia, si es necesario, desde las 10:00 a.m. hasta las 2:00 p.m.
- En los intervalos de tiempo del ensayo se realizará la medición de parámetros ambientales como: temperatura ambiente, velocidad de viento y humedad relativa; y se los registrará.

3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

V.I.: Geometría del absorbedor del colector solar parabólico compuesto

Tabla 3.1 Operacionalización de la variable Independiente.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
<p>El absorbedor es la superficie que recepta los rayos del reflector parabólico y es por donde circula el fluido portador del calor.</p> <p>El absorbedor del colector parabólico compuesto puede tener distintas configuraciones con el fin de eliminar pérdidas de calor</p>	Geometría del absorbedor	Absorbedor circular	<p>¿Cuál será el material adecuado para la transferencia de calor entre el absorbedor y el fluido?</p> <p>Coeficiente global de pérdidas</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Catálogos · Hojas de cálculo · Observación

V.I.: Eficiencia térmica.

Tabla 3.2 Operacionalización de la variable dependiente.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos	
La eficiencia térmica de un colector es la relación entre la energía útil retirada del colector y la energía solar incidente. El colector concentrador obtiene temperaturas elevadas en el foco de concentración que es el absorbedor, pero no toda la energía absorbida se convierte en calor del fluido ya que con el incremento de la temperatura en el absorbedor incrementarán las pérdidas con los alrededores y la eficiencia disminuirá.	Temperatura de salida del colector	Baja	$< 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	<ul style="list-style-type: none"> · Termómetro · Fichas de campo · observación 	
		Requerida	$\geq 50\text{ }^{\circ}\text{C}$		
	Temperatura del absorbedor	Adecuada	$60\text{ }^{\circ}\text{C}$	<ul style="list-style-type: none"> · Termómetro · Fichas de campo · observación 	
		Baja	$< 60\text{ }^{\circ}\text{C}$		
	Calor útil	Radiación solar incidente		De acuerdo a condiciones climáticas	<ul style="list-style-type: none"> · Anemómetro · Fichas de campo · Observación

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

3.6 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para la recolección de información se aplicaron las siguientes técnicas:

- Observación directa, ya que es importante estar en contacto con el objeto de estudio, para mediante técnicas e instrumentos recoger datos de temperatura, radiación solar velocidad del viento y tiempo.
- Observación de Laboratorio, debido a que el estudio se desarrollará en un ambiente seleccionado, debidamente preparado y con los equipos necesarios para realizar los experimentos.

3.7 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Con la recolección de datos de velocidad del viento, radiación solar, temperatura ambiente y temperatura de entrada del agua al colector, se elaboró las fichas de campo.

Una vez que los datos registrados se tabularon; se determinó la eficiencia térmica del colector solar parabólico compuesto.

Teniendo en cuenta los intervalos de tiempo para el ensayo se presentaron las siguientes gráficas:

- Temperatura vs Tiempo
- Eficiencia vs Diferencial (Temperatura del agua al ingreso al colector – Temperatura ambiente) /Componente directa de la radiación solar incidente en el plano de apertura.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se muestran los valores obtenidos experimentalmente en el colector solar parabólico compuesto, los cuales se basan a los datos recopilados en las fichas de campo.

Los ensayos del calentamiento de agua se realizaron utilizando un colector solar parabólico compuesto con un absorbedor de forma circular (NTE INEN 2507 recomienda como material para la circulación del fluido de trabajo, tubería de cobre).

Se consideró experimentar el calentamiento de agua en distintos días con las siguientes condiciones climáticas:

- Nublado
- Parcial nublado
- Soleado, con un cielo totalmente despejado.

4.1.1 CALENTAMIENTO DE AGUA MEDIANTE EL ABSORBEDOR CIRCULAR

Para esta configuración se analizó los datos de las pruebas realizadas los días 18 de julio, 22 de julio y 19 de agosto del 2014, con las condiciones climáticas: *parcial nublado, soleado y nublado*, respectivamente.

Se analizó la temperatura de salida del agua del colector solar, que depende de la temperatura alcanzada en el foco de concentración del colector solar parabólico compuesto, que es el absorbedor circular.

4.1.1.1 VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA ENTRE LA ENTRADA Y SALIDA DEL AGUA DEL COLECTOR SOLAR EN UN DÍA NUBLADO

La temperatura de salida para esta condición climática presentó un promedio de 30.2°C, mientras que la temperatura promedio de entrada que oscila los 17.2°C, teniendo una variación de temperatura de 13°C.

Tabla 4.1 Variación de temperaturas de entrada y salida del agua de en el colector solar parabólico compuesto, 19-agosto-2014.

N°	HORA	TEMPERATURA DE ENTRADA DEL AGUA AL COLECTOR Ti(°C)	TEMPERATURA DEL ABSORBEDOR CIRCULAR T abs (°C)	TEMPERATURA DE SALIDA DEL AGUA DEL COLECTOR Ts(°C)	DIFERENCIAL DE TEMPERATURA SALIDA - ENTRADA DEL COLECTOR $\Delta T(^{\circ}C)$
1	10:00	16.0	22.9	23.0	7.0
2	10:15	16.0	23.6	23.7	7.7
3	10:30	16.0	24.0	24.1	8.1
4	10:45	16.1	26.4	26.5	10.4
5	11:00	16.7	26.4	26.5	9.8
6	11:15	16.8	26.9	27.0	10.2
7	11:30	17.2	28.0	28.1	10.9
8	11:45	18.2	33.0	33.1	14.9
9	12:00	18.2	36.1	36.2	18.0
10	12:15	17.1	34.8	34.9	17.8
11	12:30	16.6	30.0	30.1	13.5
12	12:45	16.9	30.2	30.3	13.4
13	13:00	17.1	32.0	32.1	15.0
14	13:15	17.1	31.5	31.6	14.5
15	13:30	17.1	29.6	29.7	12.6

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

Continuación de la Tabla 4.1

16	13:45	17.1	28.6	28.7	11.6
17	14:00	17.6	32.4	32.5	14.9
18	14:15	18.3	34.0	34.1	15.8
19	14:30	18.2	32.7	32.8	14.6
20	14:45	17.8	29.5	29.6	11.8
21	15:00	19.7	39.3	39.4	19.7
Promedio:		17.2	30.1	30.2	13.0

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

4.1.1.2 VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA ENTRE LA ENTRADA Y SALIDA DEL AGUA DEL COLECTOR EN UN DÍA PARCIAL NUBLADO

Para esta condición climática, la temperatura de salida presentó un promedio de 43.2°C, mientras que la temperatura promedio de entrada bordeó los 19.3°C, teniendo una variación de temperatura de 23.8°C.

Tabla 4.2 Variación de temperaturas de entrada y salida del agua del colector solar parabólico compuesto, 18- julio-2014.

N°	HORA	TEMPERATURA DE ENTRADA DEL AGUA AL COLECTOR $T_i(^{\circ}\text{C})$	TEMPERATURA DEL ABSORBEDOR CIRCULAR $T_{\text{abs}}(^{\circ}\text{C})$	TEMPERATURA DE SALIDA DEL AGUA DEL COLECTOR $T_s(^{\circ}\text{C})$	DIFERENCIAL DE TEMPERATURA SALIDA - ENTRADA DEL COLECTOR $\Delta T(^{\circ}\text{C})$
1	10:00	16.0	32.9	33.0	17.0
2	10:15	16.1	34.3	34.4	18.3
3	10:30	16.0	34.9	35.0	19.0
4	10:45	16.5	36.1	36.2	19.7
5	11:00	19.9	40.0	40.1	20.2
6	11:15	19.2	41.3	41.4	22.2
7	11:30	18.9	37.6	37.7	18.8
8	11:45	19.5	36.3	36.4	16.9
9	12:00	21.1	37.1	37.2	16.1

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

Continuación de la Tabla 4.2

10	12:15	22.1	39.1	39.2	17.1
11	12:30	20.3	48.2	48.3	28.0
12	12:45	19.3	49.0	49.1	29.8
13	13:00	20.3	47.8	47.9	27.6
14	13:15	19.0	51.4	51.5	32.5
15	13:30	19.3	45.1	45.2	25.9
16	13:45	19.4	43.8	43.9	24.5
17	14:00	21.5	51.6	51.7	30.2
18	14:15	20.1	51.8	51.9	31.8
19	14:30	20.4	49.6	49.7	29.3
20	14:45	20.5	49.2	49.3	28.8
21	15:00	20.8	47.1	47.2	26.4
Promedio:		19.3	43.1	43.2	23.8

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

4.1.1.3 VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA ENTRE LA ENTRADA Y SALIDA DEL AGUA DEL COLECTOR SOLAR EN UN DÍA SOLEADO

La temperatura de salida para esta condición climática presentó un promedio de 61.7°C, mientras que la temperatura promedio de entrada bordeó los 22.3°C, teniendo una variación de temperatura de 39.4°C.

Tabla 4.3 Variación de temperaturas de entrada y salida del agua del colector solar parabólico compuesto, 22-julio-2014.

N°	HORA	TEMPERATURA DE ENTRADA DEL AGUA AL COLECTOR Ti(°C)	TEMPERATURA DEL ABSORBEDOR CIRCULAR T abs (°C)	TEMPERATURA DE SALIDA DEL AGUA DEL COLECTOR Ts(°C)	DIFERENCIAL DE TEMPERATURA SALIDA - ENTRADA DEL COLECTOR ΔT(°C)
1	10:00	15.8	38.5	38.6	22.8
2	10:15	16.9	45.8	45.9	29.0
3	10:30	23.5	48.3	48.4	24.9

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

Continuación de la Tabla 4.3

4	10:45	27.8	57.9	58.0	30.2
5	11:00	31.3	60.7	60.8	29.5
6	11:15	33.8	65.6	65.7	31.9
7	11:30	35.1	70.4	70.5	35.4
8	11:45	20.5	67.7	67.8	47.3
9	12:00	19.1	68.2	68.3	49.2
10	12:15	19.6	65.7	65.8	46.2
11	12:30	19.9	66.1	66.2	46.3
12	12:45	20.3	62.3	62.4	42.1
13	13:00	19.8	67.0	67.1	47.3
14	13:15	19.9	66.9	67.0	47.1
15	13:30	20.2	63.6	63.7	43.5
16	13:45	20.2	64.4	64.5	44.3
17	14:00	20.8	64.6	64.7	43.9
18	14:15	20.3	62.6	62.7	42.4
19	14:30	21.9	63.1	63.2	41.3
20	14:45	21.3	63.0	63.1	41.8
21	15:00	21.3	61.5	61.6	40.3
Promedio:		22.3	61.6	61.7	39.4

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

4.1.2 EFICIENCIA TÉRMICA DEL COLECTOR SOLAR PARABOLICO COMPUESTO

Para cada dato de eficiencia en el intervalo del ensayo, el valor de la eficiencia fue calculado utilizando la ecuación (4.1) propuesta por ANSI/ASHRAE 93-1986:

$$\eta_g = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \dot{m} C_p (T_s - T_i) dt}{A_g \int_{t_1}^{t_2} G_T dt} \quad (4.1)$$

\dot{m} Flujo de masa de agua (kg/s)

C_p Calor específico del agua, en (J/kg.°C)

T_i Temperatura del agua a la entrada del colector (°C)

T_s Temperatura del agua a la salida del colector (°C)

A_g Área bruta del colector solar (m²)

G_b Radiación directa incidente en el colector (W/m²)

t_1 y t_2 Tiempo de inicio y final del intervalo del ensayo (minutos)

dt derivada de la variable con respecto al tiempo t

La ecuación (4.1) se la puede expresar de la manera siguiente:

$$\eta_g = \frac{\dot{m} C_p \int_{t_1}^{t_2} (T_s - T_i) dt}{A_g \int_{t_1}^{t_2} G_T dt} \quad (4.2)$$

$$A_g = \text{largo} * \text{ancho} = 1.535\text{m} * 0.85\text{m} = 1.305 \text{ m}^2$$

$\dot{m} = 0.003$ kg/s mediante la ecuación (2.35) con valores de densidad del agua de $\rho_{\text{agua}} = 997$ kg/m³ velocidad promedio del agua $v_{\text{prom}} = 0.01$ m/s asumida de acuerdo a Toalombo (2011) que especifica que la velocidad del flujo de líquidos dentro de tuberías no sobrepasa los 3m/s; y una área de la sección transversal del ducto (absorbedor circular) $A_c = 0.00028$ m².

Se desarrolló las dos integrales de la ecuación (4.2) por separado y asumiendo como como constantes los valores de \dot{m} , C_p y A_g .

Para la resolución de las integrales de la ecuación (4.2) se aplicó el método del trapecio Toalombo (2011), el cual asume un comportamiento lineal tanto de ($\Delta T = T_s - T_i$) y de la radiación directa G_b incidente sobre el colector solar en intervalos de quince minutos.

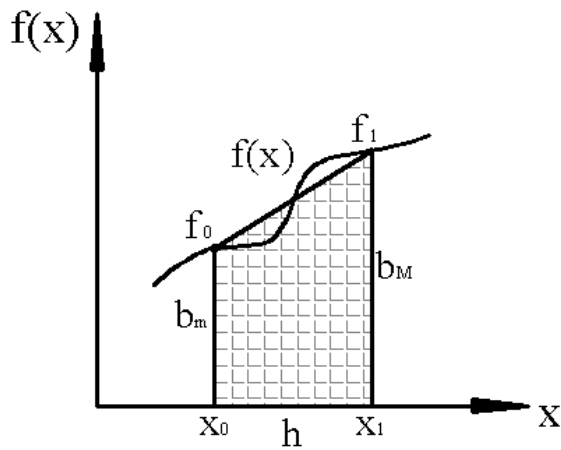


Figura 4.1 Definición del Método del Trapecio para determinación del área bajo una curva.

Fuente: Toalombo (2011)

$$A = \frac{h (b_m + b_M)}{2} \quad (4.3)$$

$$A = \int_{x_0}^{x_1} f(x) dx \approx \frac{(x_1 - x_0)(f_0 + f_1)}{2} \quad (4.4)$$

De acuerdo a los datos de radiación directa G_b incidente sobre el colector solar, obtenidas del Anexo A, para cada día analizado, se obtuvo la energía almacenada en intervalos de quince minutos aplicando el método del trapecio para la resolución de la ecuación (4.5).

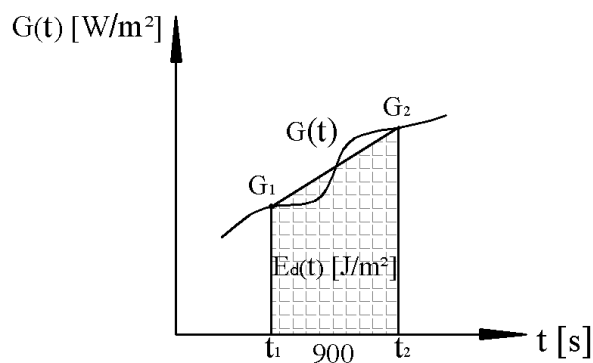


Figura 4.2 Definición del método del trapecio para determinación de la energía almacenada en el colector solar en intervalos de quince minutos.

Fuente: Toalombo (2011)

$$Ea = \int_{t_1}^{t_2} G_b dt \approx \frac{(t_2 - t_1)(G_{b_1} + G_{b_2})}{2} \approx \sum_{i=1}^{N-1} 450 (G_{b_i} + G_{b_{i+1}}) \quad (4.5)$$

Según Toalombo (2011) es posible determinar la variación de temperaturas entre la salida y entrada del panel con respecto al tiempo en intervalos de quince minutos empleando el método del trapecio para la resolución de la ecuación (4.6) y sumar los parciales.

$$\int_{t_1}^{t_2} \Delta T dt = \int_{t_1}^{t_2} (T_s - T_i) dt \cong \sum_{i=1}^{N-1} 450 (\Delta T_i + \Delta T_{i+1}) \quad (4.6)$$

4.1.2.1 EFICIENCIA TÉRMICA EN UN DÍA NUBLADO

Mediante la ecuación (4.5) se calculó la energía en intervalos de 15 minutos y se sumó los parciales para el total aplicando el método del trapecio para aproximación de áreas y cuyos valores se presentan en la tabla (4.4).

Tabla 4.4 Energía almacenada en el colector (19-agosto-2014)

HORA (hh:mm)	RADIACIÓN DIRECTA INCIDENTE EN EL COLECTOR Gb (W/m ²)	ENERGÍA CADA 15MIN Ea (J/m ²)	ENERGÍA ACUMULADA Ea (J/m ²)
10:00	147.04	0	0
10:15	172.36	143730	143730
10:30	150.19	145144	288875
10:45	188.33	152331	441206
11:00	198.52	174082	615288
11:15	204.40	181317	796604
11:30	248.23	203688	1000292
11:45	265.50	231180	1231472
12:00	245.10	229770	1461243
12:15	202.94	201617	1662860

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

Continuación de la Tabla 4.4

12:30	183.69	173982	1836842
12:45	191.68	168919	2005761
13:00	201.75	177046	2182807
13:15	191.39	176914	2359722
13:30	194.31	173567	2533289
13:45	212.17	182916	2716205
14:00	195.19	183309	2899513
14:15	175.66	166882	3066395
14:30	309.70	218412	3284807
14:45	366.90	304471	3589279
15:00	205.94	257779	3847058

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

Mediante la ecuación (4.6) se determinó la variación de temperatura en intervalos de 15 minutos cuyos resultados se presentan en la Tabla (4.5).

Tabla 4.5 Integración de la variación de la temperatura entre la entrada y salida del agua del colector en función del tiempo (19-agosto-2014)

HORA (hh:mm)	TIEMPO t(s)	Ti(°C)	Ts(°C)	ΔT (°C)	$\int_{t1}^{t2} (T_s - T_i) dt$ (s °C)
10:00	0	16.0	23.0	7.0	0
10:15	900	16.0	26.4	10.4	7830
10:30	1800	16.0	24.1	8.1	16155
10:45	2700	16.1	26.5	10.4	24480
11:00	3600	16.7	26.5	9.8	33570
11:15	4500	16.8	27.0	10.2	42570
11:30	5400	17.2	28.1	10.9	52065
11:45	6300	18.2	33.1	14.9	63675
12:00	7200	18.2	36.2	18.0	78480
12:15	8100	17.1	34.9	17.8	94590
12:30	9000	16.6	30.1	13.5	108675
12:45	9900	16.9	30.3	13.4	120780
13:00	10800	17.1	32.1	15.0	133560
13:15	11700	17.1	31.6	14.5	146835

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

Continuación de la Tabla 4.5

13:30	12600	17.1	29.7	12.6	159030
13:45	13500	17.1	28.7	11.6	169920
14:00	14400	17.6	32.5	14.9	181845
14:15	15300	18.3	34.1	15.8	195660
14:30	16200	18.2	32.8	14.6	209340
14:45	17100	17.8	29.6	11.8	221220
15:00	18000	19.7	39.4	19.7	235395

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

En la Tabla (4.6) se muestran los valores de eficiencia térmica determinados mediante la ecuación (4.2) en intervalos de 15 minutos con los valores obtenidos en las Tablas (4.4) y (4.5).

Tabla 4.6 Eficiencia térmica del colector solar parabólico compuesto (19-agosto-2014).

HORA (hh:mm)	η_g (%)
10:00	-
10:15	52.3480
10:30	53.7384
10:45	53.3159
11:00	52.4276
11:15	51.3509
11:30	50.0157
11:45	49.6857
12:00	51.6088
12:15	54.6609
12:30	56.8519
12:45	57.8633
13:00	58.7960
13:15	59.7938
13:30	60.3228
13:45	60.1131
14:00	60.2647
14:15	61.3142
14:30	61.2392
14:45	59.2249
15:00	58.7971

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

4.1.2.2 EFICIENCIA TÉRMICA EN UN DÍA PARCIAL NUBLADO

Mediante la ecuación (4.5) se calculó la energía en intervalos de 15 minutos y se sumó los parciales para el total aplicando el método del trapecio para aproximación de áreas y cuyos valores se presentan en la tabla (4.7) para un día parcial nublado.

Tabla 4.7 Energía almacenada en el colector (18-julio-2014)

HORA (hh:mm)	RADIACIÓN DIRECTA INCIDENTE EN EL COLECTOR G_b (W/m²)	ENERGÍA CADA 15MIN E_a (J/m²)	ENERGÍA ACUMULADA E_a (J/m²)
10:00	186.134	0	0
10:15	211.865	179100	179100
10:30	244.578	205400	384499
10:45	394.813	287726	672225
11:00	408.378	361436	1033661
11:15	397.212	362515	1396176
11:30	265.660	298293	1694469
11:45	282.711	246767	1941236
12:00	250.426	239912	2181148
12:15	366.084	277430	2458578
12:30	383.962	337521	2796099
12:45	270.439	294480	3090579
13:00	416.127	308955	3399534
13:15	271.648	309499	3709033
13:30	332.840	272020	3981053
13:45	380.382	320950	4302003
14:00	328.499	318997	4621000
14:15	327.547	295221	4916221
14:30	213.622	243526	5159747
14:45	177.850	176162	5335909
15:00	123.333	135532	5471441

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

Mediante la ecuación (4.6) se determinó la variación de temperatura para un día parcial nublado, en intervalos de 15 minutos cuyos resultados se presentan en la Tabla (4.8).

Tabla 4.8 Integración de la variación de la temperatura entre la entrada y salida del agua del colector en función del tiempo (18-julio-2014)

HORA (hh:mm)	TIEMPO t(s)	Ti(°C)	Ts(°C)	ΔT (°C)	$\int_{t1}^{t2} (T_s - T_i) dt$ (s °C)
10:00	0	16.0	33.0	17.0	0
10:15	900	16.1	34.4	18.3	15885
10:30	1800	16.0	35.0	19.0	32670
10:45	2700	16.5	36.2	19.7	50085
11:00	3600	19.9	40.1	20.2	68040
11:15	4500	19.2	41.4	22.2	87120
11:30	5400	18.9	37.7	18.8	105570
11:45	6300	19.5	36.4	16.9	121635
12:00	7200	21.1	37.2	16.1	136485
12:15	8100	22.1	39.2	17.1	151425
12:30	9000	20.3	48.3	28.0	171720
12:45	9900	19.3	49.1	29.8	197730
13:00	10800	20.3	47.9	27.6	223560
13:15	11700	19.0	51.5	32.5	250605
13:30	12600	19.3	45.2	25.9	276885
13:45	13500	19.4	43.9	24.5	299565
14:00	14400	21.5	51.7	30.2	324180
14:15	15300	20.1	51.9	31.8	352080
14:30	16200	20.4	49.7	29.3	379575
14:45	17100	20.5	49.3	28.8	405720
15:00	18000	20.8	47.2	26.4	430560

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

En la Tabla (4.9) se muestran los valores de eficiencia térmica determinados mediante la ecuación (4.2) en intervalos de 15 minutos con los valores obtenidos en las Tablas (4.7) y (4.8) para un día parcial nublado.

Tabla 4.9 Eficiencia térmica del colector solar parabólico compuesto (18-julio-2014).

HORA (hh:mm)	η_g (%)
10:00	-
10:15	85.23
10:30	81.65
10:45	71.59
11:00	63.25
11:15	59.96
11:30	59.87
11:45	60.21
12:00	60.13
12:15	59.18
12:30	59.01
12:45	61.48
13:00	63.19
13:15	64.93
13:30	66.83
13:45	66.91
14:00	67.41
14:15	68.82
14:30	70.69
14:45	73.06
15:00	75.62

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

4.1.2.3 EFICIENCIA TÉRMICA EN UN DÍA SOLEADO

Mediante la ecuación (4.5) se calculó la energía en intervalos de 15 minutos y se sumó los parciales para el total aplicando el método del trapecio para aproximación de áreas y cuyos valores se presentan en la tabla (4.10) para un día soleado.

Tabla 4.10 Energía almacenada en el colector (22-agosto-2014)

HORA (hh:mm)	RADIACIÓN DIRECTA INCIDENTE EN EL COLECTOR Gb (W/m²)	ENERGÍA CADA 15MIN Ea (J/m²)	ENERGÍA ACUMULADA Ea (J/m²)
10:00	393.550	0	0
10:15	441.202	375638	375638
10:30	469.822	409960	785599
10:45	545.177	456749	1242348
11:00	556.543	495774	1738122
11:15	615.222	527294	2265416
11:30	695.368	589766	2855182
11:45	642.843	602195	3457377
12:00	683.268	596750	4054127
12:15	664.900	606675	4660803
12:30	655.145	594020	5254823
12:45	634.527	580352	5835175
13:00	622.519	565671	6400846
13:15	600.284	550261	6951107
13:30	581.921	531992	7483099
13:45	553.511	510944	7994044
14:00	519.164	482704	8476748
14:15	550.152	481192	8957940
14:30	459.349	454275	9412216
14:45	435.954	402887	9815102
15:00	322.393	341256	10156358

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

Mediante la ecuación (4.6) se determinó la variación de temperatura para un día soleado, en intervalos de 15 minutos cuyos resultados se presentan en la Tabla (4.11).

Tabla 4.11 Integración de la variación de la temperatura entre la entrada y salida del agua del colector en función del tiempo (22-julio-2014)

HORA (hh:mm)	TIEMPO t(s)	Ti(°C)	Ts(°C)	ΔT (°C)	$\int_{t_1}^{t_2} (T_s - T_i) dt$ (s °C)
10:00	0	15.8	38.6	22.8	0
10:15	900	16.9	45.9	29.0	23310
10:30	1800	23.5	48.4	24.9	47565
10:45	2700	27.8	58.0	30.2	72360
11:00	3600	31.3	60.8	29.5	99225
11:15	4500	33.8	65.7	31.9	126855
11:30	5400	35.1	70.5	35.4	157140
11:45	6300	20.5	67.8	47.3	194355
12:00	7200	19.1	68.3	49.2	237780
12:15	8100	19.6	65.8	46.2	280710
12:30	9000	19.9	66.2	46.3	322335
12:45	9900	20.3	62.4	42.1	362115
13:00	10800	19.8	67.1	47.3	402345
13:15	11700	19.9	67.0	47.1	444825
13:30	12600	20.2	63.7	43.5	485595
13:45	13500	20.2	64.5	44.3	525105
14:00	14400	20.8	64.7	43.9	564795
14:15	15300	20.3	62.7	42.4	603630
14:30	16200	21.9	63.2	41.3	641295
14:45	17100	21.3	63.1	41.8	678690
15:00	18000	21.3	61.6	40.3	715635

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

En la Tabla (4.12) se muestran los valores de eficiencia térmica determinados mediante la ecuación (4.2) en intervalos de 15 minutos con los valores obtenidos en las Tablas (4.10) y (4.11) para un día soleado.

Tabla 4.12 Eficiencia térmica del colector solar parabólico compuesto (22-julio-2014).

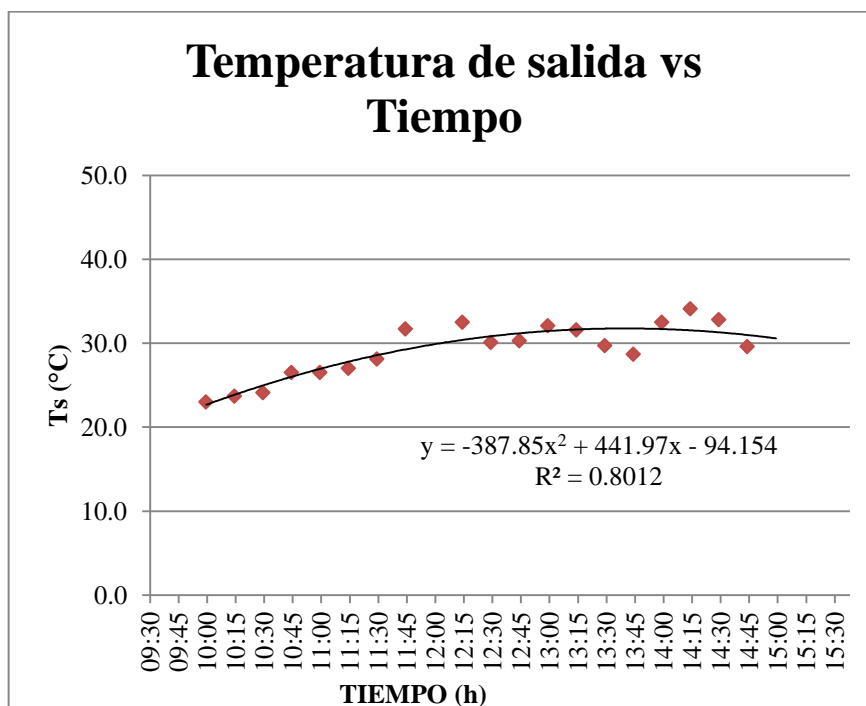
HORA (hh:mm)	η_g (%)
10:00	-
10:15	59.63
10:30	58.18
10:45	55.97
11:00	54.86
11:15	53.81
11:30	52.89
11:45	54.02
12:00	56.36
12:15	57.87
12:30	58.94
12:45	59.63
13:00	60.40
13:15	61.49
13:30	62.36
13:45	63.12
14:00	64.02
14:15	64.75
14:30	65.47
14:45	66.45
15:00	67.71

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

4.2 INTERPRETACIÓN DE DATOS

A partir de los valores establecidos en el literal (4.1) se realizó las gráficas de dispersión en las cuales se analizó la temperatura de salida, radiación solar en función del tiempo, y la curva de eficiencia se obtuvo a partir de la relación de la eficiencia térmica del colector en función de la relación de la temperatura de entrada del agua al colector T_i menos la temperatura ambiente T_a sobre la componente directa de la radiación incidente en el colector solar; de acuerdo a la configuración geométrica del absorbedor del colector solar parabólico compuesto.

Gráfica 4-1 Temperatura de salida vs Tiempo, 19-agosto-2014 - nublado (absorbedor circular).



En la gráfica 4-1 se aprecia la variación de la temperatura para el día 19 de agosto del 2014, con una condición climática *nublado*, la cual tiende a una curva de distribución cuadrática. La temperatura de salida tiene un comportamiento inestable y presenta un valor de 34.8°C como su pico más alto.

La tabla (4.13) muestra los valores de la relación de la temperatura de entrada menos la temperatura ambiente sobre la componente directa de la radiación incidente en el colector solar, para el día 19-agosto-2014.

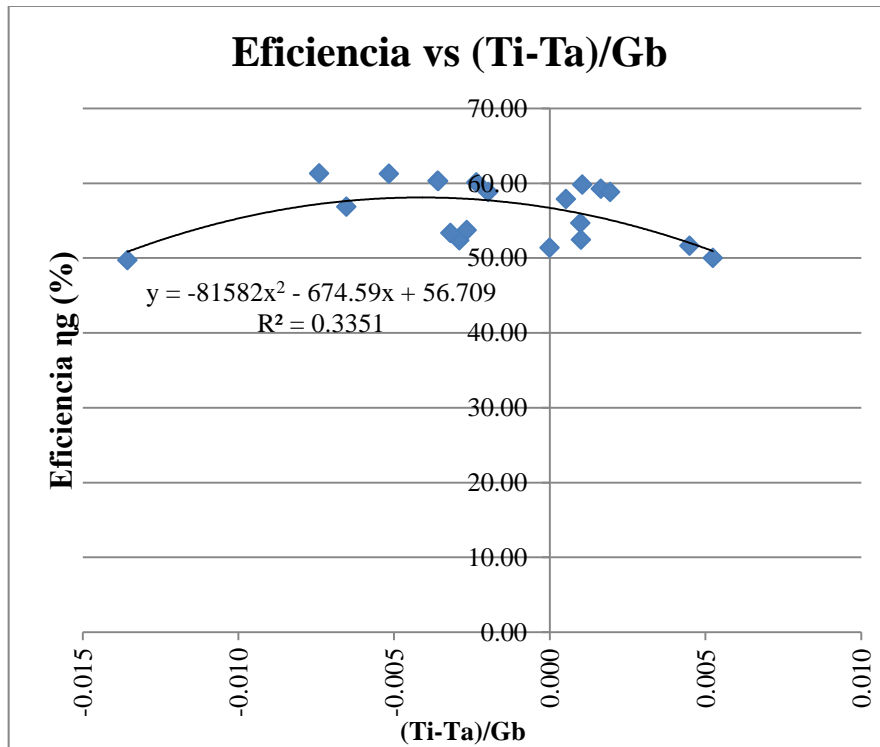
Tabla 4.13 Relación diferencia de temperatura de entrada menos temperatura de salida sobre la componente directa de la radiación incidente en el colector, 19-agosto-2014.

N°	HORA	TEMPERATURA AMBIENTE T_a (°C)	TEMPERATURA DE ENTRADA DEL AGUA AL COLECTOR T_i (°C)	RADIACIÓN DIRECTA INCIDENTE EN EL COLECTOR G_b (W/m ²)	$(T_i-T_a)/G_b$
1	10:00	16.1	16.0	147.04	-0.001
2	10:15	16.5	16.0	172.36	-0.003
3	10:30	16.4	16.0	150.19	-0.003
4	10:45	16.7	16.1	188.33	-0.003
5	11:00	16.5	16.7	198.52	0.001
6	11:15	16.8	16.8	204.40	0.000
7	11:30	15.9	17.2	248.23	0.005
8	11:45	21.8	18.2	265.50	-0.014
9	12:00	17.1	18.2	245.10	0.004
10	12:15	16.9	17.1	202.94	0.001
11	12:30	17.8	16.6	183.69	-0.007
12	12:45	16.8	16.9	191.68	0.001
13	13:00	17.5	17.1	201.75	-0.002
14	13:15	16.9	17.1	191.39	0.001
15	13:30	17.8	17.1	194.31	-0.004
16	13:45	17.6	17.1	212.17	-0.002
17	14:00	18.3	17.6	195.19	-0.004
18	14:15	19.6	18.3	175.66	-0.007
19	14:30	19.8	18.2	309.70	-0.005
20	14:45	17.2	17.8	366.90	0.002
21	15:00	19.3	19.7	205.94	0.002

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

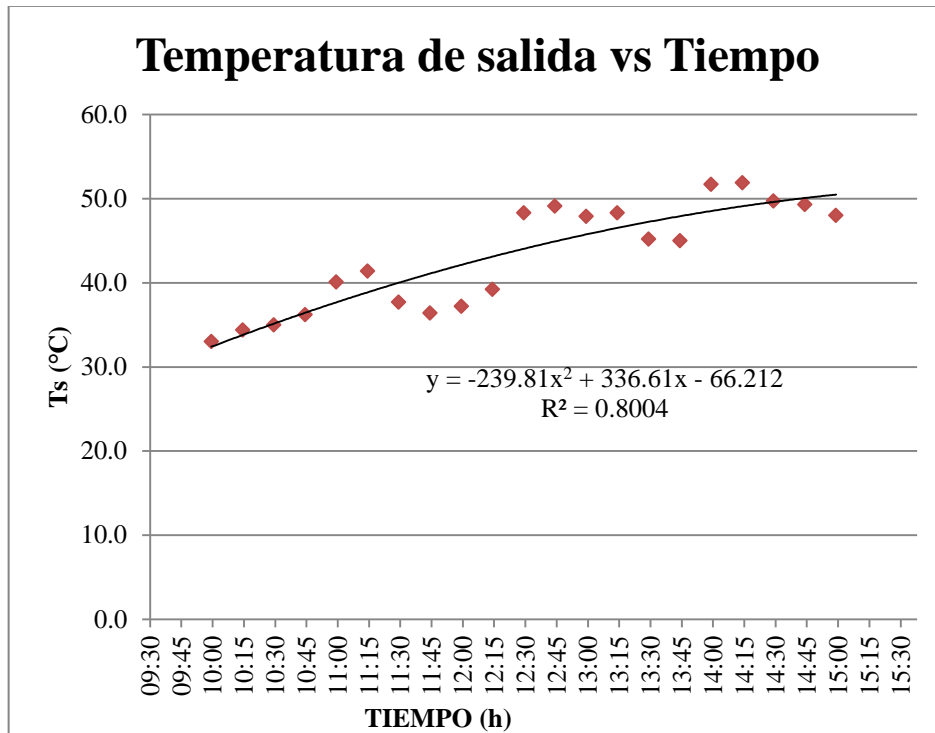
En la gráfica 4-2 se aprecia la curva de eficiencia en base a los valores de eficiencia de la tabla (4.6) y los valores de la relación de la temperatura de entrada menos la temperatura ambiente sobre la componente directa de la radiación incidente en el colector solar de la tabla (4.13).

Gráfica 4-2 Eficiencia Térmica, 19-agosto-2014 - nublado (absorbedor circular).



Para esta condición climática la gráfica produce una curva de distribución cuadrática, entre la eficiencia térmica del colector solar y la relación de la temperatura de entrada menos la temperatura ambiente sobre la componente directa de la radiación incidente en el colector, la cual nos muestra para un día nublado, valores de eficiencia térmica de entre 50% y 61%.

Gráfica 4-3 Temperatura de salida vs Tiempo, 18- julio-2014- parcial nublado (absorbedor circular).



En la gráfica 4-3 se aprecia la variación de la temperatura de salida para el día 18 de julio del 2014, con una condición climática *parcial nublado*, la cual tiende a una curva de distribución cuadrática creciente, teniendo un valor máximo de 51.9°C y un valor mínimo de 33°C de la temperatura de salida del agua del colector.

La tabla (4.14) muestra los valores de la relación de la temperatura de entrada menos la temperatura ambiente sobre la componente directa de la radiación incidente en el colector solar, para el día 18-julio-2014.

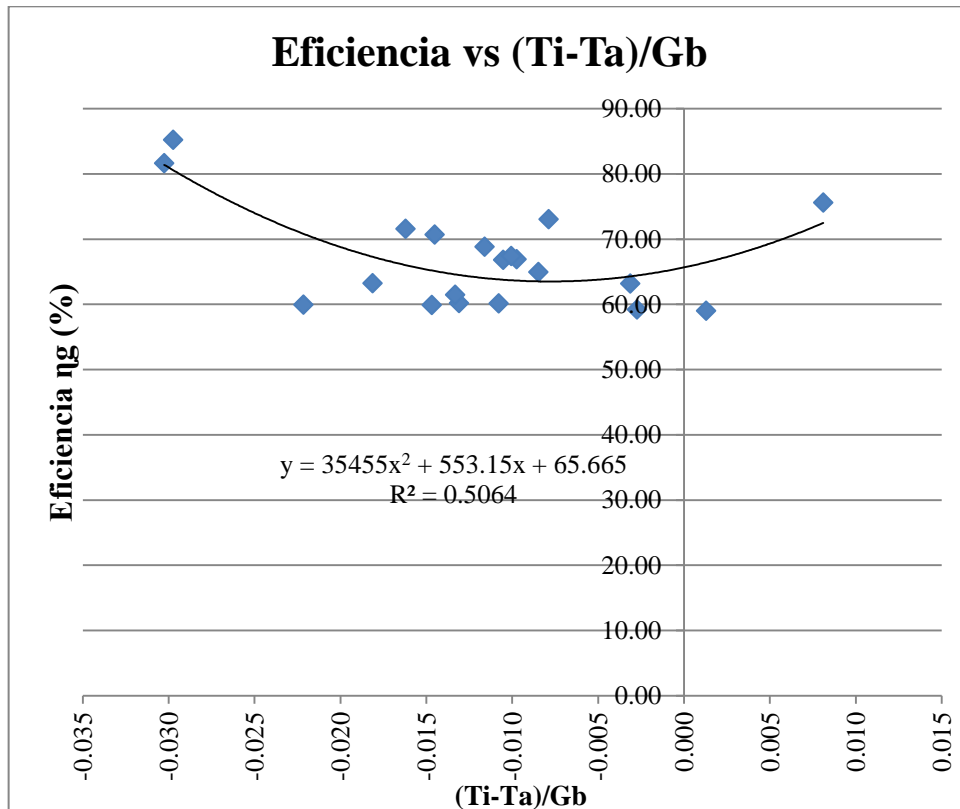
Tabla 4.14 Relación diferencia de temperatura de entrada menos temperatura de salida sobre la componente directa de la radiación incidente en el colector, 18-julio-2014.

N°	HORA	TEMPERATURA AMBIENTE T_a (°C)	TEMPERATURA DE ENTRADA DEL AGUA AL COLECTOR T_i (°C)	RADIACIÓN DIRECTA INCIDENTE EN EL COLECTOR G_b (W/m ²)	(T_i-T_a)/ G_b
1	10:00	20.8	16.0	186.13	-0.03
2	10:15	22.4	16.1	211.87	-0.03
3	10:30	23.4	16.0	244.58	-0.03
4	10:45	22.9	16.5	394.81	-0.02
5	11:00	27.3	19.9	408.38	-0.02
6	11:15	28.0	19.2	397.21	-0.02
7	11:30	22.8	18.9	265.66	-0.01
8	11:45	23.2	19.5	282.71	-0.01
9	12:00	23.8	21.1	250.43	-0.01
10	12:15	23.1	22.1	366.08	0.00
11	12:30	19.8	20.3	383.96	0.00
12	12:45	22.9	19.3	270.44	-0.01
13	13:00	21.6	20.3	416.13	0.00
14	13:15	21.3	19.0	271.65	-0.01
15	13:30	22.8	19.3	332.84	-0.01
16	13:45	23.1	19.4	380.38	-0.01
17	14:00	24.8	21.5	328.50	-0.01
18	14:15	23.9	20.1	327.55	-0.01
19	14:30	23.5	20.4	213.62	-0.01
20	14:45	21.9	20.5	177.85	-0.01
21	15:00	19.8	20.8	123.33	0.01

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

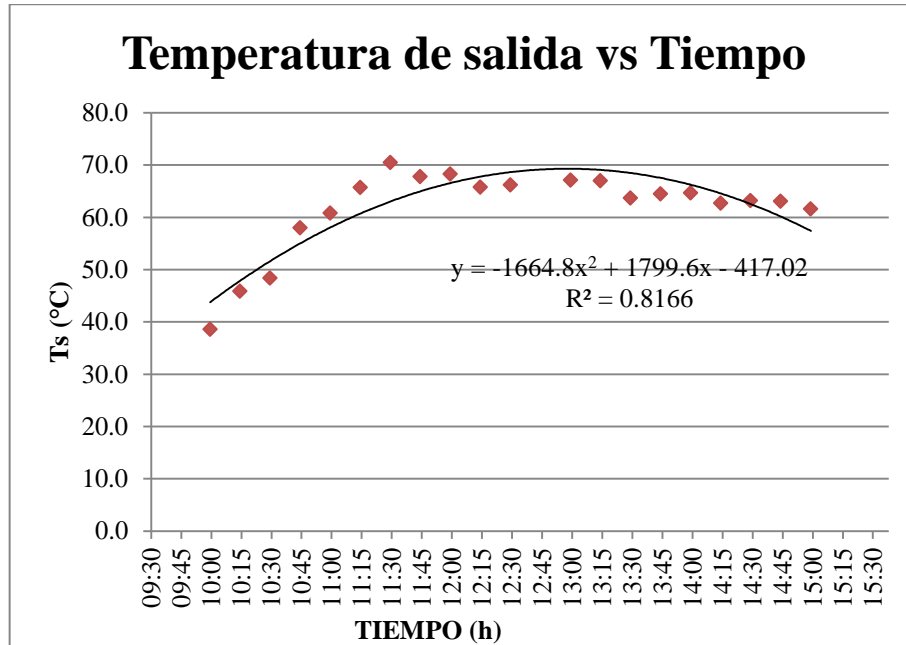
En la gráfica 4-4 se aprecia la curva de eficiencia en base a los valores de eficiencia de la tabla (4.7) y los valores de la relación de la temperatura de entrada menos la temperatura ambiente sobre la componente directa de la radiación incidente en el colector solar de la tabla (4.14).

Gráfica 4-4 Eficiencia Térmica, 18-julio-2014 - parcial nublado (absorbedor circular).



Para esta condición climática la gráfica produce una distribución cuadrática entre eficiencia térmica del sistema y la relación de la temperatura de entrada menos la temperatura ambiente sobre la componente directa de la radiación incidente en el colector solar, la cual nos muestra para un día parcial nublado, valores de eficiencia térmica de entre el 59% y 85%.

Gráfica 4-5 Temperatura de salida vs Tiempo, 22- julio-2014 - soleado (absorbedor circular).



En la gráfica 4-5 se aprecia la variación de la temperatura para el día 22 de julio del 2014, con una condición climática *soleado*, la cual tiende a una curva de distribución cuadrática. El pico más alto tiene un valor de 70.4°C, y tiene valores estables de entre 60 y 65 °C a partir de las 11:00.

La tabla (4.15) muestra los valores de la relación de la temperatura de entrada menos la temperatura ambiente sobre la componente directa de la radiación incidente en el colector solar, para el día 22-julio-2014.

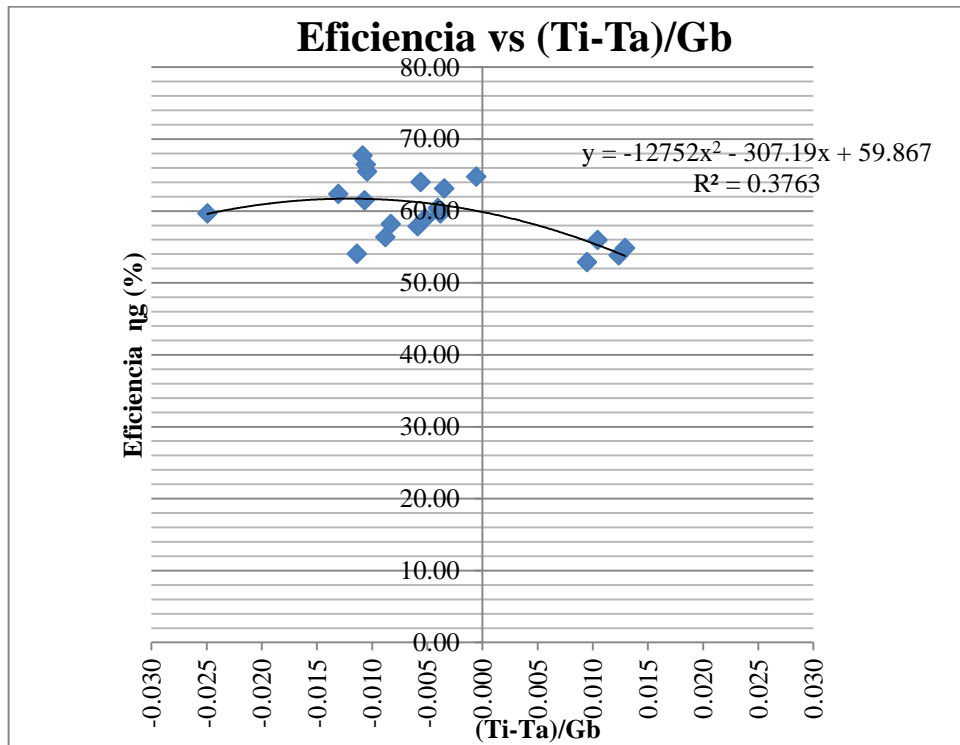
Tabla 4.15 Relación diferencia de temperatura de entrada menos temperatura de salida sobre la componente directa de la radiación incidente en el colector, 22-julio-2014.

N°	HORA	TEMPERATURA AMBIENTE T_a (°C)	TEMPERATURA DE ENTRADA DEL AGUA AL COLECTOR T_i (°C)	RADIACIÓN DIRECTA INCIDENTE EN EL COLECTOR G_b (W/m ²)	$(T_i-T_a)/G_b$
1	10:00	27.2	15.8	393.55	-0.03
2	10:15	27.9	16.9	441.20	-0.02
3	10:30	27.4	23.5	469.82	-0.01
4	10:45	22.1	27.8	545.18	0.01
5	11:00	24.1	31.3	556.54	0.01
6	11:15	26.2	33.8	615.22	0.01
7	11:30	28.5	35.1	695.37	0.01
8	11:45	27.8	20.5	642.84	-0.01
9	12:00	25.1	19.1	683.27	-0.01
10	12:15	23.5	19.6	664.90	-0.01
11	12:30	23.3	19.9	655.14	-0.01
12	12:45	22.7	20.3	634.53	0.00
13	13:00	22.3	19.8	622.52	0.00
14	13:15	26.3	19.9	600.28	-0.01
15	13:30	27.8	20.2	581.92	-0.01
16	13:45	22.1	20.2	553.51	0.00
17	14:00	23.7	20.8	519.16	-0.01
18	14:15	20.6	20.3	550.15	0.00
19	14:30	26.7	21.9	459.35	-0.01
20	14:45	25.9	21.3	435.95	-0.01
21	15:00	24.8	21.3	322.39	-0.01

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

En la gráfica 4-6 se aprecia la curva de eficiencia en base a los valores de eficiencia de la tabla (4.8) y los valores de la relación de la temperatura de entrada menos la temperatura ambiente sobre la componente directa de la radiación incidente en el colector solar de la tabla (4.15).

Gráfica 4-6 Eficiencia Térmica, 22-julio-2014 - soleado (absorbedor circular).



Para esta condición climática la gráfica produce una distribución cuadrática entre eficiencia térmica del colector y la relación de la temperatura de entrada menos la temperatura ambiente sobre la componente directa de la radiación incidente en el colector, la cual nos muestra para un día soleado, valores de eficiencia térmica de entre el 59% y 68%.

4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Hipótesis

La utilización del absorbedor circular del colector solar parabólico compuesto permitirá alcanzar mayor eficiencia térmica que con la superficie absorbedora plana convencional.

Comprobación

Por medio del estudio realizado de la geometría del absorbedor del colector solar parabólico compuesto, se pudo determinar la eficiencia térmica. Para examinar la energía almacenada en el colector solar, la ecuación (4.2) se expresa así:

$$\eta_g = \frac{\dot{m} C_p \int_{t_1}^{t_2} (T_s - T_i) dt}{A_g \int_{t_1}^{t_2} G_T dt} = \frac{q_{\text{útil}}}{q_{\text{incidente}}} \quad (4.7)$$

Datos constantes:

$$\dot{m} = 0.003 \text{ Kg/s}$$

$$C_p = 4180 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$$

$$A_g = 1.305 \text{ m}^2$$

Se realizó el análisis para tres días en diferentes condiciones climáticas, como se muestra en las Tabla (4.16):

Tabla 4.16 Verificación de hipótesis (absorbedor circular).

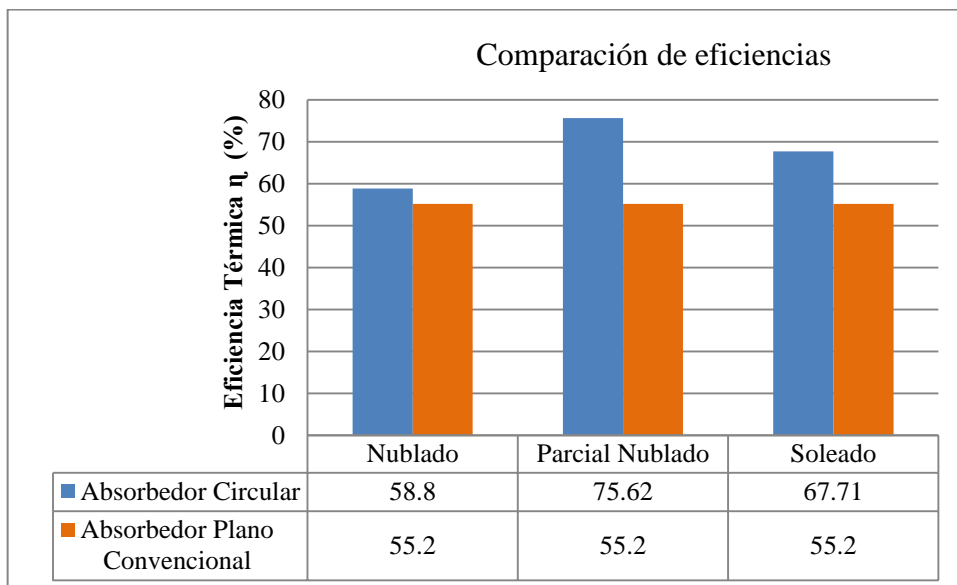
DÍA	CONDICIÓN CLIMÁTICA	ENERGÍA ACUMULADA E_a (KJ/m ²)	CALOR ÚTIL $q_{\text{útil}}$ (KJ)	CALOR INCIDENTE $q_{\text{incidente}}$ (KJ)	EFICIENCIA TÉRMICA η_g [%]
19-08-2014	Nublado	3847.058	2951.8533	5020.41038	58.80
18-07-2014	Parcial Nublado	5471.441	5399.2224	7140.23044	75.62
22-07-2014	Soleado	10156.358	8974.0629	13254.04765	67.71

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

En un calentador solar de superficie absorbadora plana convencional construido en la F.I.C.M-U.T.A se alcanzó una eficiencia térmica del 55.2% en un día soleado, Toalombo Byron (2011) tomando en cuenta el área bruta del colector.

La gráfica 4-7 muestra la diferencia de eficiencia térmica de un colector solar de superficie absorbadora plana convencional y del colector solar parabólico compuesto con un absorbedor circular.

Gráfica 4-7 Verificación de la Hipótesis (absorbedor circular).



La gráfica muestra que en un día soleado el colector solar con absorbedor circular, supera en un 12.51% al valor de 55.2% de eficiencia térmica del colector solar de superficie absorbedora plana convencional; mientras que en un día parcial nublado y nublado supera dicho valor en un 20.42% y 3.6% respectivamente; con lo cual se puede comprobar que con el absorbedor circular del colector solar parabólico compuesto nos permitirá alcanzar mayor eficiencia térmica que con la superficie absorbedora plana convencional

La configuración del colector solar parabólico compuesto, concentra la radiación mediante el uso de múltiples reflexiones así como la intercepción directa, para así tener un mayor beneficio de la energía solar la cual está disponible naturalmente y así poder garantizar una mayor eficiencia térmica en los sistemas de calentadores.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La variación de temperatura del agua entre la entrada y salida del colector se presentó de manera inestable en los periodos de ensayo, ya que al ser este tipo de colector un concentrador de la radiación produce incrementos de temperatura instantáneos.
- Las temperaturas de salida del agua, del colector solar parabólico compuesto con el absorbedor circular superó los 60°C en un día soleado, con el cielo totalmente despejado.
- En días con poca presencia de sol, parcial nublado la temperatura de salida del agua del colector solar bordeó los 50°C, y en un día nublado alcanzó temperaturas mayores a los 30°C.
- En los días con condiciones climáticas parcial nublado y soleado la temperatura de salida del agua estuvo dentro del rango indicativo del colector solar parabólico compuesto que es de 60°C a 240°C.
- La eficiencia térmica alcanzada en el colector solar parabólico compuesto con el absorbedor circular alcanzó un valor de 67.71% mayor en 12.51% al valor de 55.2 % de eficiencia térmica del colector solar de superficie plana convencional para un día soleado.
- La eficiencia térmica en el colector solar parabólico compuesto con el absorbedor circular para días, parcial nublado y nublado fueron de 75.62% y

58.8% respectivamente los cuales superaron el valor de eficiencia térmica del colector solar de superficie absorbadora plana convencional en un 20.42% y 3.6%.

5.2 RECOMENDACIONES

- Realizar pruebas de calentamiento de agua en días soleados y parciales nublados para poder apreciar de mejor manera el principio de funcionamiento de este tipo de colector, el cual es concentrar la radiación mediante múltiples reflexiones.
- Instalar el colector solar parabólico compuesto con la orientación correcta, ya que Ambato se encuentra en la latitud $S1^{\circ}14'30$, debemos orientarlo hacia el norte, con el eje principal con el recorrido del sol de este a oeste.
- Para poder tener un adecuado funcionamiento debemos ubicar el colector solar en un lugar donde no existan obstáculos que puedan producir sombra sobre el equipo, para lo cual se debe tomar en cuenta la trayectoria del sol.
- Se puede tener una exposición al sol desde las 10:00 am hasta las 16:00 pm, ya que al ser un colector solar concentrador aprovecha la radiación existente con la orientación y la inclinación adecuada.
- La inclinación del colector solar parabólico compuesto debe ser de 16° .
- Es necesario limpiar el polvo o cualquier otro agente contaminante, de la cubierta del colector para tener una mejor recepción de la radiación solar, se lo debe hacer en la mañana o tarde sin la presencia del sol.
- Incentivar a que los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la F.I.C.M, realicen estudios sobre nuevas formas de captación de la radiación solar, y desarrollar nuevas aplicaciones, sean de uso doméstico o industrial.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

La propuesta es realizar un análisis de transferencia de calor, al configurar el absorbedor circular del colector solar parabólico compuesto, con una placa absorbidora de aluminio, para determinar la ventaja energética en el calentamiento de agua de uso sanitario.

6.1 DATOS INFORMATIVOS

Tabla 6.1 Datos generales de la propuesta.

Ejecutor	Santiago Rubén Guanoluisa Tenorio
Descripción del equipo	Colector solar parabólico compuesto
Lugar de construcción del equipo	Taller particular
Lugar de ensayos	FICM
Beneficiarios	Estudiantes de la FICM
Tiempo de ejecución	Enero 2014 – Enero 2015
Costo	929.09 USD

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Del estudio realizado aproximándose a condiciones similares en diferentes días, se obtuvo valores promedio de temperatura tanto de entrada como de salida del agua, radiación solar, temperatura ambiente y velocidad del viento, los cuales fueron la base para realizar los diferentes cálculos termodinámicos y de transferencia de calor, para su posterior análisis.

Para obtener un sistema de concentración con una elevada eficiencia térmica para el calentamiento de agua de uso sanitario, también se ha tomado en cuenta las características y propiedades de los materiales para tener una configuración óptima del absorbedor del colector solar parabólico compuesto.

6.3 JUSTIFICACIÓN

El motivo fundamental para proponer el análisis de transferencia de calor en el colector solar parabólico compuesto, es evaluar las pérdidas de calor sean estas por convección, radiación y conducción lo cual nos permitirá obtener el calor útil transferido al agua y posteriormente calcular la eficiencia térmica de acuerdo a la configuración geométrica del absorbedor, en las horas de mayor incidencia de radiación solar en un día soleado.

Además de que el modelo teórico aplicado servirá de guía para que los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Mecánica relacionen los conocimientos teóricos con los prácticos y sea un incentivo para el estudio de nuevas formas de captación de la radiación solar.

6.4 OBJETIVOS

- Análisis de las pérdidas de calor en el absorbedor.
- Calcular la eficiencia térmica del colector solar parabólico compuesto de acuerdo a la configuración geométrica del absorbedor.
- Determinar la configuración adecuada del absorbedor para el calentamiento de agua de uso sanitario.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

6.5.1 ANÁLISIS TÉCNICO

Con la realización de esta investigación se determinará los parámetros como el diferencial de temperaturas entre la entrada y salida del colector, pérdidas de calor y eficiencia los cuales permitirán establecer la configuración más adecuada del absorbedor del colector solar parabólico compuesto para el calentamiento de agua de uso sanitario, ya que al aumentar el área de captación de la radiación solar mediante una placa absorbedora de aluminio estamos aprovechando tanto la radiación directa como la radiación difusa.

6.5.2 ECONÓMICO FINANCIERO

En este el análisis se presentará la información de los costos de los componentes y partes constituyentes del equipo para realizar el estudio planteado.

Tabla 6.2 Costos de materiales de la caja colectora.

DETALLE	CANTIDAD	COSTO (USD)
Plancha de acero inoxidable e=0.5mm	1	40
Plancha de tol galvanizado e=1mm	1	30
Vidrio templado Low-E	1	45
Tubería de cobre rígido D=1”	½ (6m c/u)	36
Tubería de cobre rígido D= 3/4 ”	1 (6m c/u)	65
Tubo cuadrado galvanizado 25x25x1.5mm	1 (6m c/u)	12
Planchas de lana de vidrio	2	6
Termómetros de mercurio digitales	2	33
TOTAL		267

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

Tabla 6.3 Costos de materiales del tanque de almacenamiento y estructura.

DETALLE	CANTIDAD	COSTO (USD)
plancha de tol galvanizado e=1.5mm	1	32
Plancha de acero inoxidable e=1mm	1	45
Tubo cuadrado galvanizado 30x30x1.5mm	1 (6m c/u)	18
Poliuretano	2500ml	52
Tubería de acero inoxidable D= ½ ”	1m	15
TOTAL		162

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

Tabla 6.4: Tubería y accesorios.

DETALLE	CANTIDAD	COSTO (USD)
Tubería de polipropileno D= ½ ”	1 (6m c/u)	8.10
Válvulas de bola D= ½ ”	4	14
Válvulas universales D= ½ ”	2	6
Neplos D=½ ”	4	2.10
Válvula check D= ½ ”	1	4.60
Codos D= ½ ”	6	2.58
Válvula de alivio de aire D= ½ ”	1	11.35
Uniones D= ½ ”	3	1.36
TOTAL		50.09

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

Tabla 6.5 Costos de mano de obra.

DETALLE	COSTO (USD)
Mano de obra	450
TOTAL	450

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

Tabla 6.6 Costo total colector solar parabólico compuesto.

DETALLE	COSTO (USD)
CAJA COLECTORA	267
TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y ESTRUCTURA	162
TUBERÍA Y ACCESORIOS	50.09
MANO DE OBRA	450
TOTAL	929.09

Elaborado por: Santiago Guanoluisa

6.6 FUNDAMENTACIÓN

Los cálculos de la presente investigación se basan en el marco teórico del capítulo II el cual se desarrolló en esta tesis especificando factores y parámetros que nos permitirán tener una configuración adecuada para tener un correcto funcionamiento de este equipo.

6.6.1 DIMENSIONAMIENTO DEL REFLECTOR DEL COLECTOR

Para la obtención del reflector se requiere de parámetros como el factor de concentración que es una función del semiángulo de aceptación cuya relación viene dada por:

$$C = \frac{1}{\text{sen } \theta_c} \quad (2.1)$$

Despejando tenemos:

$$\theta_c = \sin^{-1} \left(\frac{1}{C} \right) \quad (6.1)$$

Dónde:

C Factor de concentración.

θ_c semiángulo de aceptación(°)

Del diámetro de la tubería de cobre por la cual circulará agua, depende las dimensiones de las secciones de la parábola e involuta del reflector del colector solar parabólico compuesto, para lo cual tenemos:

$$x = r_a * \text{sen } \theta_{pa} - \rho_d * \text{cos } \theta_{pa} \quad (2.2)$$

$$y = -r_a * \text{cos } \theta_{pa} - \rho_d * \text{sen } \theta_{pa} \quad (2.3)$$

Para la involuta:

$$\rho_d = r_a * \theta_{pa} \quad (2.4)$$

Cuando,

$$0 \leq \theta_{pa} \leq \frac{\pi}{2} + \theta_c \quad (2.5)$$

Para la parábola:

$$\rho_d = r_a \left[\frac{\frac{\pi}{2} + \theta_c + \theta_{pa} - \text{cos}(\theta_{pa} - \theta_c)}{1 + \text{sen}(\theta_{pa} - \theta_c)} \right] \quad (2.6)$$

Cuándo:

$$\frac{\pi}{2} + \theta_c \leq \theta_{pa} \leq \frac{3\pi}{2} - \theta_c \quad (2.7)$$

Donde:

r_a radio del absorbedor tubular (m)

θ_{pa} ángulo de la parábola (°)

Datos:

Según Jaramillo A. (2011) el factor de concentración tiene un rango de 1 – 5 para un prototipo CPC, y se ha tomado un porcentaje del 10% adicional para un truncamiento del reflector, para no tener dimensiones excesivas.

$C = 4 \rightarrow$ Factor de concentración más el 10% $C = 4.4$

$D_a = \frac{3}{4}$ pulg. = 0.01905 m Diámetro nominal del absorbedor $\rightarrow r_a = 0.009525$ m

Aplicando la ecuación (6.1) tenemos:

$$\theta_c = 13.14^\circ$$

Una vez especificados los parámetros y con las ecuaciones (2.2) hasta (2.7) obtenemos los segmentos de parábola e involuta del perfil del reflector, como se muestra en la figura 6.1.

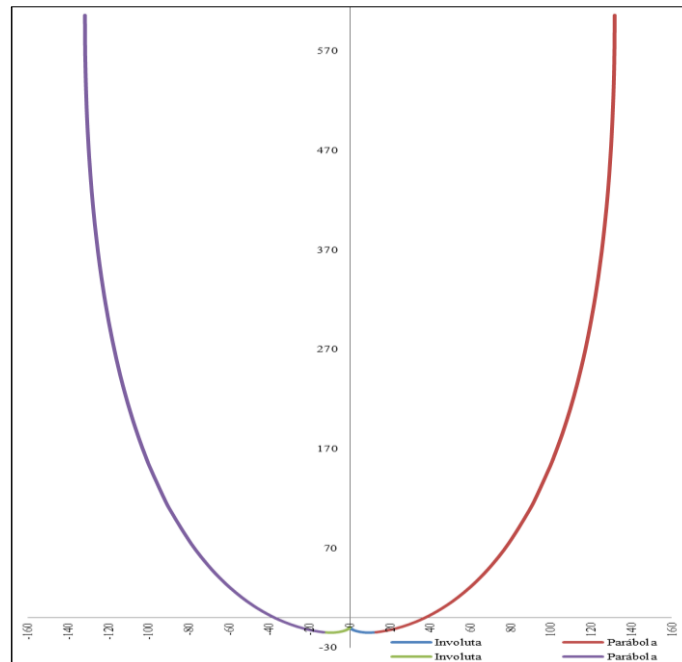


Figura 6.1 Perfil completo del reflector del colector solar parabólico compuesto.

Fuente: Santiago Guanoluiza.

En la figura 6.1 se muestra el perfil del reflector completo el cual presenta una altura de 0.62 m la cual resulta demasiado grande para construir nuestro colector por lo cual se ha tomado un cierto porcentaje de este perfil haciendo un truncamiento.

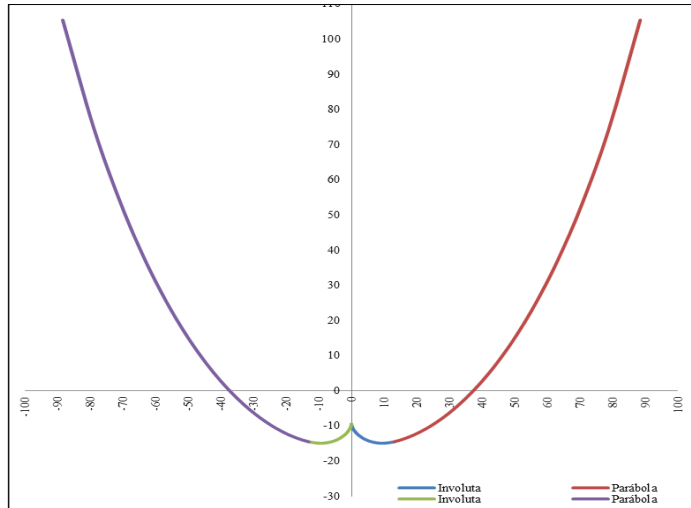


Figura 6.2 Perfil truncado del reflector del colector solar parabólico compuesto.

Fuente: Santiago Guanoluisa.

En la figura 6.2 se muestra el porcentaje de truncamiento que es del 80% el cual servirá para tener una buena absorción de la radiación.

6.6.2 CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL ABSORBEDOR

Inicialmente se tomó como parámetro para la obtención del perfil del reflector el *absorbedor circular* que para este estudio es tubería de cobre.

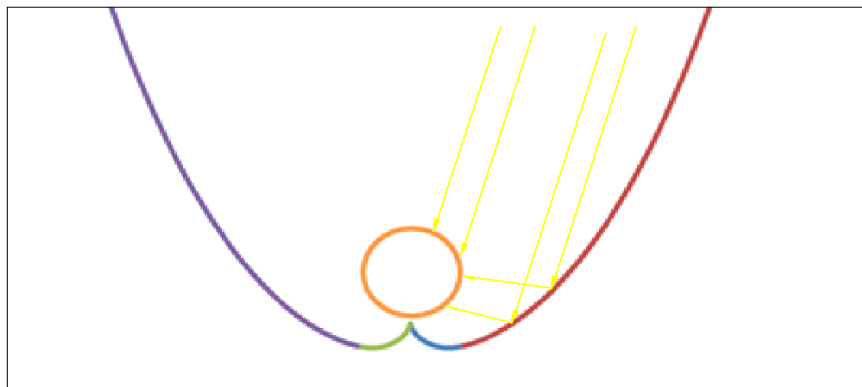


Figura 6.3 Configuración circular del absorbedor.

Fuente: Santiago Guanoluisa.

Con la finalidad de aumentar la cantidad de radiación captada que viene con cualquier inclinación y además la radiación difusa, se configura al absorbedor con una placa absorbidora convenientemente dispuesta.

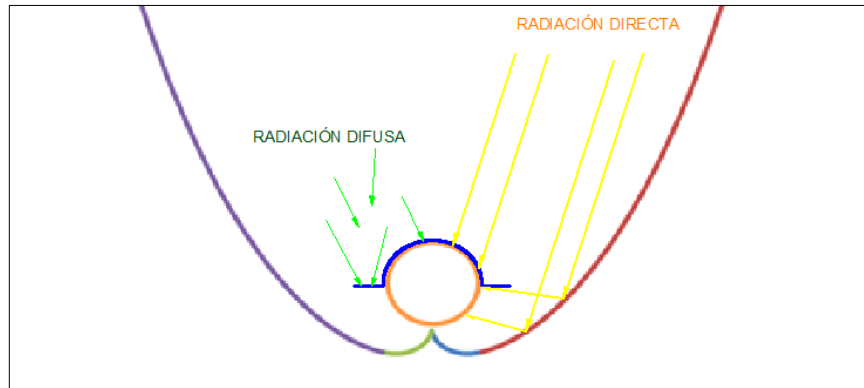


Figura 6.4 Absorbedor circular configurado con una placa absorbidora.

Fuente: Santiago Guanoluisa.

En la figura 6.4 se muestra como se mejora captación de la radiación solar, instalando una placa absorbidora sobre el absorbedor circular, tomando en cuenta una propiedad importante del material de dicha placa absorbidora como es su conductividad térmica.

6.6.3 CÁLCULOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR Y TERMODINÁMICA

6.6.3.1 Cálculo de temperaturas y calor útil en el absorbedor circular

Los cálculos se realizaron con valores promedio de temperatura ambiente, velocidad del viento de un día *soleado* ya que con esta condición climática se alcanzan temperaturas óptimas para el calentamiento de agua, y se encuentran especificados en el Anexo B2.

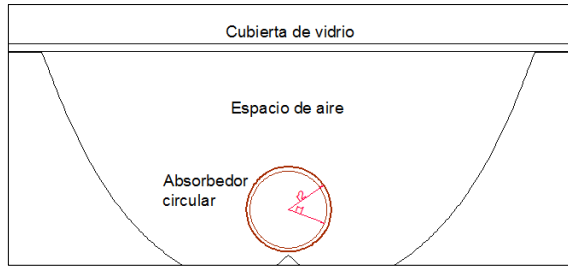


Figura 6.5 Esquema del absorbedor circular.

Fuente: Santiago Guanoluisa.

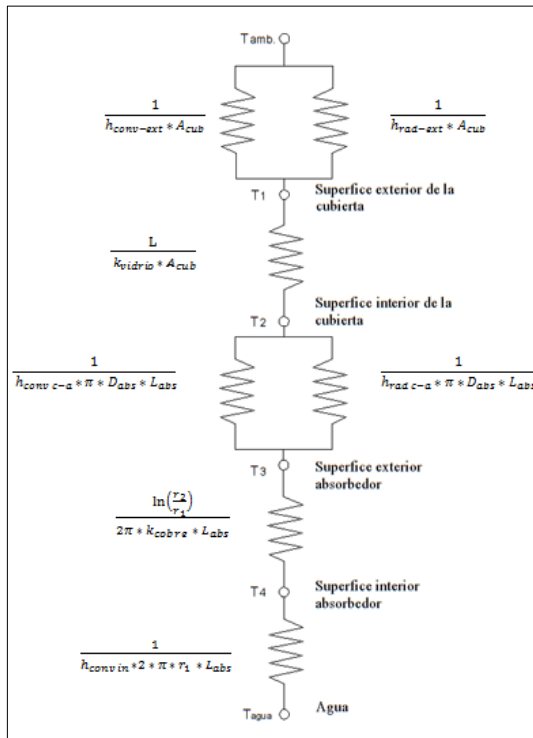


Figura 6.6 Circuito térmico equivalente del absorbedor circular.

Fuente: Santiago Guanoluisa.

- Coeficiente de convección entre la cubierta y el ambiente.

Datos:

$v_{vi} = 2.0 \text{ m/s}$ → velocidad promedio del viento *día soleado*.

$A_{cub.} = 0.269 \text{ m}^2$ → se tomó como área de la cubierta el área de apertura del reflector: Ancho = 0.187m, Largo = 1.44m.

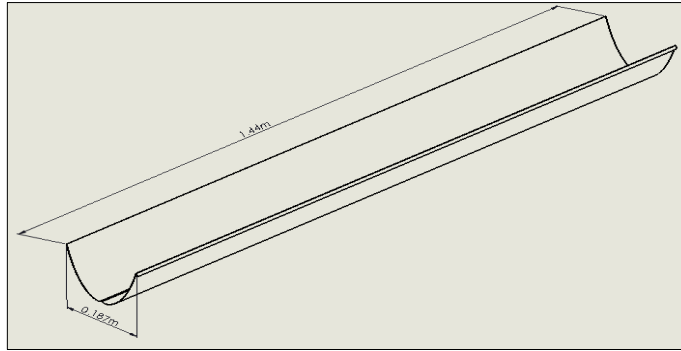


Figura 6.7 Dimensiones del reflector del colector.

Fuente: Santiago Guanoluisa.

$$h_{\text{conv-ext}} = 5.7 + 3.8 v_{vi} \quad (2.25)$$

$$h_{\text{conv-ext}} = 13.0 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Resistencia térmica por convección.

$$R_1 = \frac{1}{h_{\text{conv-ext}} * A_{\text{cub}}} \quad (2.24)$$

$$R_1 = 0.28 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

- Coeficiente de radiación entre la cubierta y el ambiente se calculó según las expresiones de Manrique J. (1984), así:

$$T_{\text{cielo}} = 0.0552(T_a)^{1.5} \quad (6.2)$$

$$h_{\text{rad-ext}} = \varepsilon_{\text{vidrio}} * \sigma * (T_1 + T_{\text{cielo}})(T_1^2 + T_{\text{cielo}}^2) \quad (6.3)$$

Datos:

$T_a = 25.05^\circ\text{C}$ → Temperatura ambiente promedio para un *día soleado*.

$T_1 = 31.6^\circ\text{C}$ → Temperatura superficie exterior de la cubierta.

$$A_s = A_{\text{cub.}} = 0.269 \text{ m}^2$$

$$T_{\text{cielo}} = 284.03 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$h_{\text{rad-ext}} = 5.5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Resistencia térmica por radiación.

$$R_2 = \frac{1}{h_{rad} * A_s} \quad (2.26)$$

$$R_2 = 0.675 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

- Resistencia térmica equivalente por convección y por radiación aplicando la ecuación (6.4).

$$R_{1-2} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1} \quad (6.4)$$

$$R_{1-2} = 0.20 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

- Resistencia térmica por conducción en la pared de la cubierta de vidrio.

Datos:

$K_{vidrio} = 0.75 \text{ W/m.K}$ → Conductividad térmica del vidrio.

$L_{vidrio} = 0.003 \text{ m}$ → Espesor de la pared del vidrio.

$A = A_{cub.} = 0.269 \text{ m}^2$

$$R_3 = \frac{L_{vidrio}}{k_{vidrio} * A} \quad (2.22)$$

$$R_3 = 0.0149^\circ\text{C/W}$$

- Coeficiente de convección entre la cubierta y el absorbedor.

Datos:

$T_2 = 32.1^\circ\text{C}$ → Temperatura superficie interior de la cubierta.

$T_3 = 61.6^\circ\text{C}$ → Temperatura superficie exterior del absorbedor de cobre.

$D_a = \frac{3}{4} \text{ pulg.} = 0.01905 \text{ m}$ → Diámetro nominal del absorbedor de cobre.

Propiedades del aire a $T_f = 47^\circ\text{C}$:

$$T_{f(\text{Cubierta-absorbedor})} = \frac{T_2 + T_3}{2}$$

$$T_{f(\text{Cubierta-absorbedor})} = 47^\circ\text{C}$$

$k_{aire} = 0.0268 \text{ W/m.K}$ → Conductividad térmica del aire.

$\nu_{aire} = 1.76E-05 \text{ m}^2/\text{s} \rightarrow$ Viscosidad cinemática del aire.

$Pr_{aire} = 0.7273 \rightarrow$ Número de Prandtl.

$g = 9.81 \text{ m/s}^2 \rightarrow$ Gravedad.

$\beta_{aire} = 0.0031 \text{ K}^{-1} \rightarrow$ Coeficiente de expansión volumétrica.

$$Ra = \frac{g \cdot \beta_{aire} \cdot (T_3 - T_2) \cdot D_{abs}^3}{\nu_{aire}^2} * Pr_{aire} \quad (6.5)$$

$$Nu = \left[0.6 + \frac{0.387 Ra^{1/6}}{(1 + (0.559 / Pr_{aire})^{9/16})^{8/27}} \right]^2 \quad (6.6)$$

$$h_{conv \text{ c-a}} = \frac{k_{aire} \cdot Nu}{D_a} \quad (6.7)$$

Donde:

N_u Número de Nusselt.

R_a Número de Rayleigh.

Aplicando las ecuaciones (6.5), (6.6) y (6.7) tenemos:

$$R_a = 14453.534$$

$$N_u = 4.787$$

$$h_{conv \text{ c-a}} = 6.741 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Resistencia térmica por convección absorbedor - cubierta.

Datos:

$D_{abs} = 0.02223 \text{ m} \rightarrow$ Diámetro exterior del absorbedor de cobre.

$L_{abs} = 1.44 \text{ m} \rightarrow$ Longitud del absorbedor de cobre.

Reemplazando el área de transferencia de calor por convección A_{conv} en la ecuación (2.24) tenemos:

$$R_4 = \frac{1}{h_{conv \text{ c-a}} * \pi * D_{abs} * L_{abs}} \quad (6.8)$$

$$R_4 = 1.475 \text{ °C/W}$$

- Coeficiente de radiación entre el absorbedor y la cubierta.

Datos:

$A_{abs} = \pi * D_{abs} * L_{abs} = 0.1006 \text{ m}^2 \rightarrow$ Área de la superficie exterior del absorbedor.

$\varepsilon_{vidrio} = 0.95 \rightarrow$ Emisividad del vidrio.

$\varepsilon_{cobre} = 0.75 \rightarrow$ Emisividad del cobre.

$F_{32} = 1 \rightarrow$ Factor de visión.

$\sigma = 5.67E-08 \text{ W/m}^2\text{K}^4 \rightarrow$ Constante de Stefan Boltzmann.

$$h_{rad\ a-c} = \frac{\sigma(T_2^2 + T_3^2)(T_2 + T_3)}{\frac{1 - \varepsilon_{vidrio}}{\varepsilon_{vidrio}} + \frac{1}{F_{32}} + \frac{(1 - \varepsilon_{cobre}) * A_{cub}}{\varepsilon_{cobre} * A_{abs}}} \quad (2.27)$$

$$h_{rad\ a-c} = 3.827 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Resistencia térmica por radiación, reemplazando el área de transferencia de calor por radiación A_s en la ecuación (2.26) Tenemos:

$$R_5 = \frac{1}{h_{rad\ a-c} * \pi * D_{abs} * L_{abs}} \quad (6.9)$$

$$R_5 = 2.598 \text{ °C/W}$$

- Resistencia térmica equivalente por convección y por radiación, aplicando la ecuación (6.10).

$$R_{4-5} = \left(\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} \right)^{-1} \quad (6.10)$$

$$R_{4-5} = 0.941 \text{ °C/W}$$

- Resistencia térmica por conducción en el tubo absorbedor.

Datos:

$k_{cobre} = 401 \text{ W/m.K} \rightarrow$ Conductividad térmica de la tubería de cobre.

$r_1 = 0.00946 \text{ m} \rightarrow$ Radio interno tubo absorbedor de cobre.

$r_2 = 0.011115 \text{ m} \rightarrow$ Radio externo tubo absorbedor de cobre.

$$R_6 = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi * k_{cobre} * L_{abs}} \quad (2.22)$$

$$R_6 = 4.444 * 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

- Coeficiente de convección en el interior del tubo absorbedor.

Datos:

$v_{prom} = 0.01 \text{ m/s}$ → Toalombo B. (2011:96), especifica que la velocidad de un líquido dentro de una tubería no sobrepasa los 3m/s, por lo cual se asumió la velocidad del agua dentro de la tubería de cobre.

$T_i = 22.35 \text{ } ^\circ\text{C}$ → Temperatura del agua a la entrada del colector.

$T_s = 61.71 \text{ } ^\circ\text{C}$ → Temperatura del agua a la salida del colector.

Propiedades del aire a $T_f = 42^\circ\text{C}$:

$$T_{f(\text{int-abs})} = \frac{T_i + T_s}{2}$$

$$T_{f(\text{int-abs})} = 42 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$\rho_{agua} = 991.32 \text{ kg/m}^3$ → Densidad del agua.

$Cp_{agua} = 4179.39 \text{ J/Kg. } ^\circ\text{C}$ → Calor específico del agua.

$k_{agua} = 0.6332 \text{ W/m.K}$ → Conductividad térmica del agua.

$\mu_{agua} = 6.30\text{E-}04 \text{ kg/m.s}$ → Viscosidad dinámica del agua.

$Pr_{agua} = 4.1541$ → Número de Prandtl.

$\beta_{agua} = 3.17\text{E-}03 \text{ K}^{-1}$ → Coeficiente de expansión volumétrica.

$D_i = 2 r_1 = 0.01892 \text{ m}$ → Diámetro interior del absorbedor de cobre.

$$Re = \frac{\rho * V_{prom} * D_i}{\mu_{agua}} \quad (6.11)$$

Cengel Y. (2007:484) propone la siguiente ecuación para el cálculo del número de Nusselt para flujo laminar:

$$Nu = 3.66 + \frac{0.065 (D_{in}/L) Re * Pr_{agua}}{1 + 0.04 [(D_{in}/L) Re * Pr_{agua}]^{2/3}} \quad (6.12)$$

$$h_{\text{int-abs}} = \frac{k_{agua} * Nu}{D_{in}} \quad (6.13)$$

Donde:

R_e Número de Reynolds

N_u Número de Nusselt

$$R_e = 336.6803 \rightarrow \text{Flujo laminar}$$

$$N_u = 12.07$$

$$h_{\text{int-abs}} = 403.871 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Resistencia térmica por convección aplicando la ecuación (2.24).

$$R_7 = \frac{1}{h_{\text{int-abs}} * \pi * D_i * L_{\text{abs}}}$$

$$R_7 = 0.02893 \text{ °C/W}$$

- Resistencia térmica total o equivalente del circuito aplicando la ecuación (6.14).

$$R_T = R_{1-2} + R_3 + R_{4-5} + R_6 + R_7 + \dots + R_n \quad (6.14)$$

$$R_T = R_{1-2} + R_3 + R_{4-5} + R_6 + R_7$$

$$R_T = 1.185 \text{ °C/W}$$

- Pérdidas de calor desde el interior del tubo absorbedor hacia el ambiente aplicando la ecuación (6.15).

$$Q = \frac{T_s - T_a}{R_T} \quad (6.15)$$

$$Q = 30,93 \text{ W}$$

- Temperatura en la superficie exterior de la cubierta de vidrio.

$$T_1 = T_s - [Q * (R_3 + R_{4-5} + R_6 + R_7)]$$

$$T_1 = 31.5 \text{ °C}$$

- Temperatura en la superficie interior de la cubierta de vidrio.

$$T_2 = T_s - [Q * (R_{4-5} + R_6 + R_7)]$$

$$T_2 = 32.05 \text{ °C}$$

- Temperatura en la superficie exterior del tubo absorbedor.

$$T_3 = T_s - [Q * (R_6 + R_7)]$$

$$T_3 = 61.01 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Temperatura en la superficie interior del tubo absorbedor.

$$T_4 = T_s - [Q * R_7]$$

$$T_4 = 61.2 \text{ } ^\circ\text{C} \cong T_s$$

- El calor útil transferido al agua se calculó aplicando al ecuación (2.30).

$$Q_{\text{útil}} = F_R * A_a [S - \frac{A_r}{A_a} * U_L * (T_i - T_{\text{amb}})] \quad (2.30)$$

$$U_L = \left[\frac{1}{h_{\text{conv c-a}}} \right]^{-1} \quad (6.16)$$

$$h_{\text{conv c-a}} = 6.741 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

El coeficiente global de pérdidas se calculó mediante la ecuación (6.20), el cual considera convección asumiendo que no hay gradientes de temperatura en los alrededores del absorbedor:

$$U_L = 6.741 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Para calcular el calor útil debemos calcular la cantidad de radiación S absorbida por el colector, para lo cual simplificaremos la ecuación (2.16) obteniendo la siguiente expresión:

$$S = (G_b + G_d)(\tau_c * \tau_{\text{CPC}} * \alpha_{\text{abs}}) \quad (6.17)$$

Datos:

$\tau_c = 0.86 \rightarrow$ transmisividad de la cubierta de vidrio, Cengel Y. (2007:717).

$\alpha_{\text{abs}} = 0.97 \rightarrow$ absorptividad del absorbedor, Cengel Y. (2007:711).

$G_b = 554.42 \text{ W/m}^2 \rightarrow$ Radiación directa promedio para un día *soleado*, Anexo A7.

$G_d = 75.34 \text{ W/m}^2 \rightarrow$ Radiación difusa promedio para un día *soleado*, Anexo A7.

$C = 4.4 \rightarrow$ Factor de concentración.

$\rho_c = 0.88 \rightarrow$ Reflectividad de la parábola, Campuzano Gabriela y Chiriboga Juan (2010:127).

$$\tau_{CPC} = \rho_c^{n_r} \quad (2.20)$$

$$n_r = 1 - \frac{1}{c} \quad (2.21)$$

Donde:

τ_{CPC} Transmisividad del colector CPC.

n_r Número promedio de reflexiones.

$$\tau_{CPC} = 0.906$$

$$n_r = 0.773$$

$$S = 475.9 \text{ W/m}^2$$

El factor de eliminación de calor F_r se calculó a través de las siguientes expresiones:

$$F' = \frac{U_o}{U_L} \quad (2.32)$$

Reemplazando el área de la sección transversal A_c en la ecuación (2.40), tenemos la ecuación (6.22) para el cálculo del gasto de masa del agua, así:

$$\dot{m} = \rho_{agua} * V_{prom} * \frac{\pi}{4} * D_i^2 \quad (6.18)$$

$$F'' = \frac{\dot{m} * C_p}{A_r * U_L * F'} * [1 - \exp(-\frac{A_r * U_L * F'}{\dot{m} * C_p})] \quad (2.33)$$

$$U_o = \left[\frac{1}{U_L} + \frac{D_o}{h_f D_i} + \frac{D_o * \ln(\frac{D_o}{D_i})}{2k} \right]^{-1} \quad (2.34)$$

$$F_R = F' * F'' \quad (2.31)$$

Datos:

$$\rho_{agua} = 991.32 \text{ kg/m}^3$$

$$Cp_{agua} = 4179.39 \text{ J/Kg. } ^\circ\text{C}$$

$$v_{prom} = 0.01 \text{ m/s}$$

$$D_i = 0.01892 \text{ m}$$

$$D_o = D_{abs} = 0.02223 \text{ m} \rightarrow \text{Diámetro exterior del absorbedor de cobre.}$$

$$A_a = A_{cub.} = 0.269 \text{ m}^2 \rightarrow \text{área de apertura del colector.}$$

$$A_r = A_{abs} = 0.1006 \text{ m}^2 \rightarrow \text{área de la superficie externa del receptor o absorbedor.}$$

$$\dot{m} = 0.0028 \text{ kg/s}$$

$$F'' = 0.9731$$

$$U_o = 6.353 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$F' = 0.9424$$

$$F_R = 0.917$$

$$Q_{\text{útil}} = 119.21 \text{ W}$$

6.6.3.2 Determinación de la eficiencia del colector solar parabólico compuesto con el absorbedor circular

Para determinar la eficiencia del colector solar parabólico compuesto se aplicó la ecuación (2.29).

$$\eta_g = \frac{Q_{\text{útil}}}{G_{\text{solar in}} * A_g} \quad (2.29)$$

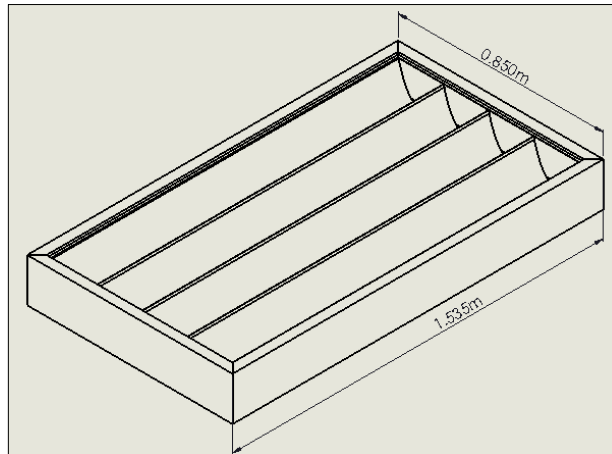


Figura 6.8 Dimensiones del colector.

Fuente: Santiago Guanoluisa.

Datos:

$n = 4 \rightarrow$ Número de tubos absorbedores del colector.

$$G_{solar\ in} = G_b + G_d = 629.76\ W/m^2$$

$Q_{\acute{u}til} = 119.21\ W * n = 476.82\ W \rightarrow$ Calor útil total del colector.

$A_g = 1.305\ m^2 \rightarrow$ Área de bruta del colector.

$$\eta_g = 58.02\%$$

6.3.3.3 Cálculo de temperaturas y calor útil en el absorbedor circular configurado con una placa absorbedora

Los cálculos se realizaron con valores promedio de temperatura ambiente, velocidad del viento, tratando de aproximarse a condiciones climáticas con las cuales se evaluó en el absorbedor circular, de un día *soleado* cuyos valores se encuentran especificados en el Anexo B14.

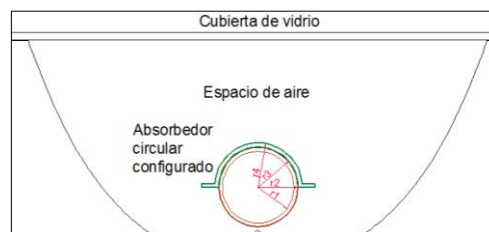


Figura 6.9 Esquema del absorbedor circular con una placa absorbedora.

Fuente: Santiago Guanoluisa.

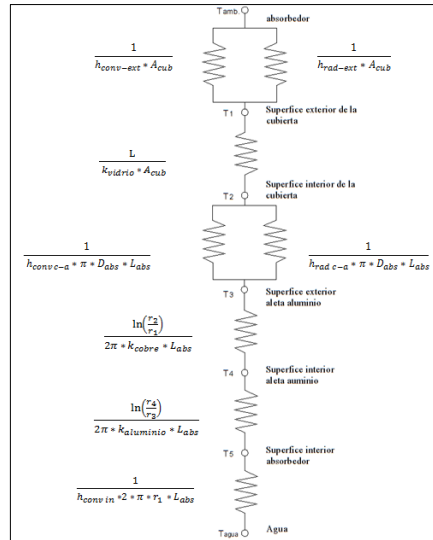


Figura 6.10 Circuito térmico equivalente del absorbedor circular con una placa absorbedora.

Fuente: Santiago Guanoluisa.

- Coeficiente de convección entre la cubierta y el ambiente.

Datos:

$$v_{vi} = 2.9 \text{ m/s}$$

$$A_{cub.} = 0.269 \text{ m}^2 \rightarrow \text{Ancho} = 0.187\text{m}, \text{Largo} = 1.44\text{m}.$$

$$h_{conv-ext} = 5.7 + 3.8 v_{vi} \quad (2.25)$$

$$h_{conv-ext} = 16.70 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Resistencia térmica por convección.

$$R_1 = \frac{1}{h_{conv-ext} * A_{cub}} \quad (2.24)$$

$$R_1 = 0.222 \text{ °C/W}$$

- Coeficiente de radiación entre la cubierta y el ambiente se calculó según las expresiones de Manrique J. (1984), así:

$$T_{cielo} = 0.0552(T_a)^{1.5} \quad (6.2)$$

$$h_{rad-ext} = \epsilon_{vidrio} * \sigma * (T_1 + T_{cielo})(T_1^2 + T_{cielo}^2) \quad (6.3)$$

Datos:

$T_a = 26.6^\circ\text{C}$ → Temperatura ambiente promedio para un *día soleado*.

$T_l = 39.9^\circ\text{C}$ → Temperatura superficie exterior de la cubierta.

$A_s = A_{cub.} = 0.269 \text{ m}^2$

$$T_{\text{cielo}} = 286.32 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$h_{\text{rad-ext}} = 5.81 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Resistencia térmica por radiación.

$$R_2 = \frac{1}{h_{\text{rad}} \cdot A_s} \quad (2.26)$$

$$R_2 = 0.639 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

- Resistencia térmica equivalente por convección y por radiación aplicando la ecuación (6.4).

$$R_{1-2} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1} \quad (6.4)$$

$$R_{1-2} = 0.165 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

- Resistencia térmica por conducción en la pared de la cubierta de vidrio.

Datos:

$K_{\text{vidrio}} = 0.75 \text{ W/m.K}$ → Conductividad térmica del vidrio.

$L_{\text{vidrio}} = 0.003 \text{ m}$ → Espesor de la pared del vidrio.

$A = A_{cub.} = 0.269 \text{ m}^2$

$$R_3 = \frac{L_{\text{vidrio}}}{k_{\text{vidrio}} \cdot A} \quad (2.22)$$

$$R_3 = 0.0149^\circ\text{C/W}$$

- Coeficiente de convección entre la cubierta y el absorbedor.

Datos:

$T_2 = 41.6^\circ\text{C}$ → Temperatura superficie interior de la cubierta.

$T_3 = 76.1^\circ\text{C}$ → Temperatura superficie exterior de la placa absorbadora de aluminio.

$L_c = 0.012115 \text{ m}$.

Propiedades del aire a $T_f = 59^\circ\text{C}$:

$$T_{f(\text{Cubierta-absorbedor})} = \frac{T_2 + T_3}{2}$$

$$T_{f(\text{Cubierta-absorbedor})} = 59^\circ\text{C}$$

$k_{\text{aire}} = 0.02799 \text{ W/m.K}$ → Conductividad térmica del aire.

$\nu_{\text{aire}} = 1.8851 \text{E-}05 \text{ m}^2/\text{s}$ → Viscosidad cinemática del aire.

$Pr_{\text{aire}} = 0.7204$ → Número de Prandtl.

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$ → Gravedad.

$\beta_{\text{aire}} = 0.003013 \text{ K}^{-1}$ → Coeficiente de expansión volumétrica.

$$Ra = \frac{g \cdot \beta_{\text{aire}} \cdot (T_3 - T_2) \cdot L_c^3}{\nu_{\text{aire}}^2} \cdot Pr_{\text{aire}} \quad (6.5)$$

$$Nu = \left[0.6 + \frac{0.387 Ra^{1/6}}{(1 + (0.559 / Pr_{\text{aire}})^{9/16})^{8/27}} \right]^2 \quad (6.6)$$

$$h_{\text{conv c-a}} = \frac{k_{\text{aire}} \cdot Nu}{L_c} \quad (6.7)$$

Donde:

N_u Número de Nusselt.

R_a Número de Rayleigh.

L_c Longitud característica de la configuración geométrica.

Aplicando las ecuaciones (6.5), (6.6) y (6.7) tenemos:

$$R_a = 3681.46$$

$$N_u = 3.47$$

$$h_{\text{conv c-a}} = 8.03 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Resistencia térmica por convección absorbador - cubierta.

Datos:

$A_{al} = 0.1701 \text{ m}^2 \rightarrow$ Área de la superficie exterior del absorbedor circular configurado con una placa absorbedora de acuerdo a la *Figura 6.11*.

$a = 1\text{mm}, b = 10\text{mm}$

$r_3 = 0.011115 \text{ m} \rightarrow$ Radio interno de la placa absorbedora de aluminio.

$r_4 = 0.012115 \text{ m} \rightarrow$ Radio externo de la placa absorbedora de aluminio.

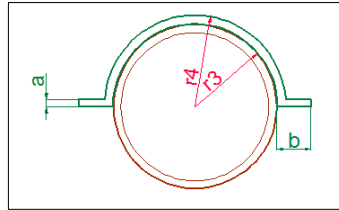


Figura 6.11 Dimensiones del absorbedor circular con una placa absorbedora.

Fuente: Santiago Guanoluisa.

Reemplazando el área de transferencia de calor por convección A_{conv} en la ecuación (2.24) tenemos:

$$R_4 = \frac{1}{h_{conv} \pi a A_{al}} \quad (6.8)$$

$$R_4 = 0.732 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

· Coeficiente de radiación entre el absorbedor y la cubierta.

Datos:

$\epsilon_{vidrio} = 0.95 \rightarrow$ Emisividad del vidrio.

$\epsilon_{aluminio} = 0.75 \rightarrow$ Emisividad del aluminio.

$F_{32} = 1 \rightarrow$ Factor de visión.

$\sigma = 5.67\text{E-}08 \text{ W/m}^2\text{K}^4 \rightarrow$ Constante de Stefan Boltzmann.

$$h_{rad a-c} = \frac{\sigma(T_2^2 + T_3^2)(T_2 + T_3)}{\frac{1 - \epsilon_{vidrio}}{\epsilon_{vidrio}} + \frac{1}{F_{32}} + \frac{(1 - \epsilon_{aluminio})A_{cub}}{\epsilon_{aluminio}A_{al}}} \quad (2.27)$$

$$h_{rad a-c} = 6.14 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Resistencia térmica por radiación, reemplazando el área de transferencia de calor por radiación A_s en la ecuación (2.26) Tenemos:

$$R_5 = \frac{1}{h_{\text{rad a-c}} * A_{\text{al}}} \quad (6.9)$$

$$R_5 = 0.958 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

- Resistencia térmica equivalente por convección y por radiación, aplicando la ecuación (6.10).

$$R_{4-5} = \left(\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} \right)^{-1} \quad (6.10)$$

$$R_{4-5} = 0.415 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

- Resistencia térmica por conducción en la placa absorbadora de aluminio.

Datos:

$K_{\text{aluminio}} = 401 \text{ W/m.K}$ → Conductividad térmica del aluminio.

$$R_6 = \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_4}\right)}{2\pi * k_{\text{aluminio}} * L_{\text{abs}}} \quad (2.22)$$

$$R_6 = 4.02 * 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

- Resistencia térmica por conducción en el tubo de cobre.

Datos:

$k_{\text{cobre}} = 401 \text{ W/m.K}$ → Conductividad térmica de la tubería de cobre.

$r_1 = 0.00946 \text{ m}$ → Radio interno tubo absorbador de cobre.

$r_2 = 0.011115 \text{ m}$ → Radio externo tubo absorbador de cobre.

$$R_7 = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi * k_{\text{cobre}} * L_{\text{abs}}} \quad (2.22)$$

$$R_7 = 4.444 * 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

- Coeficiente de convección en el interior del tubo de cobre.

Datos:

$v_{\text{prom}} = 0.01 \text{ m/s}$ → Asumida

$T_i = 21.75 \text{ } ^\circ\text{C}$ → Temperatura del agua a la entrada del colector.

$T_s = 76.2 \text{ } ^\circ\text{C}$ → Temperatura del agua a la salida del colector.

Propiedades del aire a $T_f = 49 \text{ } ^\circ\text{C}$:

$$T_{f(\text{int-abs})} = \frac{T_i + T_s}{2}$$

$$T_{f(\text{int-abs})} = 49 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$\rho_{\text{agua}} = 988.26 \text{ kg/m}^3 \rightarrow$ Densidad del agua.

$Cp_{\text{agua}} = 4181.1 \text{ J/Kg. } ^\circ\text{C} \rightarrow$ Calor específico del agua.

$k_{\text{agua}} = 0.64204 \text{ W/m.K} \rightarrow$ Conductividad térmica del agua.

$\mu_{\text{agua}} = 5.55\text{E-}04 \text{ kg/m.s} \rightarrow$ Viscosidad dinámica del agua.

$Pr_{\text{agua}} = 3.6148 \rightarrow$ Número de Prandtl.

$\beta_{\text{agua}} = 0.0031 \text{ K}^{-1} \rightarrow$ Coeficiente de expansión volumétrica.

$D_i = 2 r_1 = 0.01892 \text{ m} \rightarrow$ Diámetro interior del tubo de cobre.

$$Re = \frac{\rho_{\text{agua}} * V_{\text{prom}} * D_i}{\mu_{\text{agua}}} \quad (6.11)$$

Cengel Y. (2007:484) propone la siguiente ecuación para el cálculo del número de Nusselt:

$$Nu = 3.66 + \frac{0.065 (\text{Din/L}) Re * Pr_{\text{agua}}}{1 + 0.04 [(\text{Din/L}) Re * Pr_{\text{agua}}]^{2/3}} \quad (6.12)$$

$$h_{\text{int-abs}} = \frac{k_{\text{agua}} * Nu}{D_{\text{in.}}} \quad (6.13)$$

Donde:

Re Número de Reynolds

Nu Número de Nusselt

$$Re = 336.6803 \rightarrow \text{Flujo laminar}$$

$$Nu = 11.95$$

$$h_{\text{int-abs}} = 405.493 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Resistencia térmica por convección aplicando la ecuación (2.24).

$$R_8 = \frac{1}{h_{\text{int-abs}} * \pi * D_i * L_{\text{abs}}}$$

$$R_8 = 0.0288 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

- Resistencia térmica total o equivalente del circuito aplicando la ecuación (6.14).

$$R_T = R_{1-2} + R_3 + R_{4-5} + R_6 + R_7 + R_8 \quad (6.14)$$

$$R_T = 0.624 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

- Pérdidas de calor desde el interior del tubo absorbedor hacia el ambiente aplicando la ecuación (6.15).

$$Q = \frac{T_s - T_a}{R_T} \quad (6.15)$$

$$Q = 79.56 \text{ W}$$

- Temperatura en la superficie exterior de la cubierta de vidrio.

$$T_1 = T_s - [Q * (R_3 + R_{4-5} + R_6 + R_7 + R_8)]$$

$$T_1 = 40.0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Temperatura en la superficie interior de la cubierta de vidrio.

$$T_2 = T_s - [Q * (R_{4-5} + R_6 + R_7 + R_8)]$$

$$T_2 = 41 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Temperatura en la superficie exterior de la placa absorbedora de aluminio.

$$T_3 = T_s - [Q * (R_6 + R_7 + R_8)]$$

$$T_3 = 74.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Temperatura en la superficie exterior del tubo absorbedor.

$$T_4 = T_s - [Q * R_7 + R_8]$$

$$T_4 = 75.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Temperatura en la superficie interior del tubo absorbedor.

$$T_5 = T_s - [Q * R_7]$$

$$T_5 = 75.49 \text{ }^\circ\text{C} \cong T_s$$

· El calor útil transferido al agua se calculó aplicando al ecuación (2.30).

$$Q_{\text{útil}} = F_R * A_a [S - \frac{A_f}{A_a} * U_L * (T_i - T_{\text{amb}})] \quad (2.30)$$

$$U_L = \left[\frac{1}{h_{\text{conv}} \text{ c-a}} \right]^{-1} \quad (6.16)$$

El coeficiente global de pérdidas se calculó mediante la ecuación (6.20), el cual considera convección asumiendo que no hay gradientes de temperatura en los alrededores del absorbedor:

$$U_L = 8.0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$$

Radiación S absorbida por el colector.

$$S = (G_b + G_d)(\tau_c * \tau_{\text{CPC}} * \alpha_{\text{abs}}) \quad (6.17)$$

Datos:

$\tau_c = 0.86 \rightarrow$ transmisividad de la cubierta de vidrio, Cengel Y. (2007:717).

$\alpha_{\text{abs}} = 0.97 \rightarrow$ absorptividad del absorbedor, Cengel Y. (2007:711).

$G_b = 579.48 \text{ W/m}^2 \rightarrow$ Radiación directa promedio para un día *soleado*, Anexo A11.

$G_d = 76.20 \text{ W/m}^2 \rightarrow$ Radiación difusa promedio para un día *soleado*, Anexo A11.

$C = 4.4 \rightarrow$ Factor de concentración (calculado).

$\rho_c = 0.88 \rightarrow$ Reflectividad de la parábola, Campuzano Gabriela y Chiriboga Juan (2010:127).

$$\tau_{\text{CPC}} = 0.906$$

$$n_r = 0.773$$

$$S = 495.5 \text{ W/m}^2$$

El factor de eliminación de calor F_r :

$$F_r = \frac{U_o}{U_L} \quad (2.32)$$

Reemplazando el área de la sección transversal A_c en la ecuación (2.40), tenemos la ecuación (6.22) para el cálculo del gasto de masa del agua, así:

$$\dot{m} = \rho_{agua} * v_{prom} * \frac{\pi}{4} * D_i^2 \quad (6.18)$$

$$F'' = \frac{\dot{m} * C_p}{A_r * U_L * F'} * [1 - \exp(-\frac{A_r * U_L * F'}{\dot{m} * C_p})] \quad (2.33)$$

$$U_o = [\frac{1}{U_L} + \frac{D_o}{h_f D_i} + \frac{D_o * \ln(\frac{D_o}{D_i})}{2k}]^{-1} \quad (2.34)$$

$$F_R = F' * F'' \quad (2.31)$$

Datos:

$$\rho_{agua} = 988.26 \text{ kg/m}^3$$

$$Cp_{agua} = 4181.1 \text{ J/Kg. } ^\circ\text{C}$$

$$v_{prom} = 0.01 \text{ m/s}$$

$$D_i = 0.01892 \text{ m}$$

$$D_o = 2r_4 = 0.02423 \text{ m}$$

$$A_a = A_{cub.} = 0.269 \text{ m}^2 \rightarrow \text{área de apertura del colector.}$$

$$A_r = A_{abs} = 0.1006 \text{ m}^2 \rightarrow \text{área de la superficie externa del receptor o absorbedor.}$$

$$\dot{m} = 0.00278 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$F'' = 0.9448$$

$$U_o = 7.83 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$F' = 0.975$$

$$F_R = 0.9214$$

$$Q_{\text{útil}} = 129.13 \text{ W}$$

6.6.3.4 Determinación de la eficiencia del colector solar parabólico compuesto con el absorbedor circular configurado con una placa absorbedora de aluminio

Para determinar la eficiencia del colector solar parabólico compuesto se aplicó la ecuación (2.29).

$$\eta_g = \frac{Q_{\text{útil}}}{G_{\text{solar in}} * A_g} \quad (2.29)$$

Datos:

$n = 4$ → Número de tubos absorbedores del colector.

$$G_{\text{solar in}} = G_b + G_d = 655.68 \text{ W/m}^2$$

$Q_{\text{útil}} = 137.85 \text{ W} * n = 516.103 \text{ W}$ → Calor útil total del colector.

$A_g = 1.305 \text{ m}^2$ → Área de colección bruta.

$$\eta_g = 60.35\%$$

6.7 METODOLOGÍA

Los ensayos de calentamiento de agua en el colector solar parabólico compuesto se realizaron en los predios de los Laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

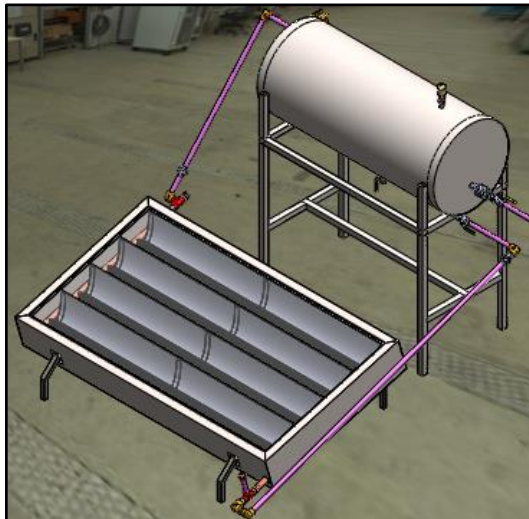


Figura 6.12 Colector solar parabólico compuesto.

Fuente: Santiago Guanoluisa.

Tabla 6.7: Especificaciones técnicas del colector solar parabólico compuesto y sus partes.

ITEM	DETALLE	ESPECIFICACIÓN
CAJA COLECTORA	Dimensiones	Largo: 1.535m, ancho:0.85m, altura: 0.18m
	Peso total	38.8 kg
	Fluido	Agua
	Alimentación	Red de agua potable
	Tipo de circulación	Circulación Natural (termosifón)
	Área total	1.305 m ²
	Inclinación	16 °

Elaborado por: Santiago Guanoluisa.

Continuación de la tabla 6.7

CAJA COLECTORA	Temperatura máxima registrada	80°C
	Cubierta	Vidrio Templado Low-E
	Tubería del serpentín	Cobre
	Placa absorbedora	Aluminio
	Aislante	Lana de vidrio
TANQUE DE ALMACENAMIENTO	Dimensiones	Largo: 1.1m, Diámetro: 0.422m
	Peso total	20.2kg
	Fluido	Agua
	Alimentación	Red de agua potable
	Tipo de circulación	Circulación natural (Termosifón)
	Volumen máximo del fluido al interior del tanque	110 lt
	Aislante	Espuma Poliuretano
COLECTOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO	Dimensiones	Ancho: 1.60m, Largo: 2m Altura: 1.30m.
	Peso total máximo	118 kg

Elaborado por: Santiago Guanoluisa.

6.7.1 INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Termómetros digitales

En la caja colectora se colocó termómetros digitales uno a la entrada y otro a la salida del agua para facilitar la lectura de la temperatura del agua.



Figura 6.13 Termómetros digitales.

Fuente: Santiago Guanoluisa.

Anemómetro

Este instrumento fue utilizado para la adquisición de datos como la velocidad del viento, humedad relativa y temperatura ambiente.



Figura 6.14 Anemómetro.

Fuente: Santiago Guanoluisa.

Foto-radiómetro

Este equipo cumple la función de piranómetro el cual sirvió para obtener valores de radiación solar.



Figura 6.15 Piranómetro.

Fuente: Santiago Guanoluisa.

6.8 ADMINISTRACIÓN

6.8.1 PLANIFICACIÓN Y MANTENIMIENTO

6.8.1.1 Instalación

Previo a la instalación del colector se sometió a un ensayo de presión estática para verificar la resistencia, que no haya ninguna deformación y que no existan fugas de agua, tanto en el serpentín como en el tanque de almacenamiento.

Para la instalación del equipo se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Ubicar el colector en un lugar adecuado donde no exista obstáculos o edificios que hagan sombra.
- Orientar el colector mediante una brújula de acuerdo a las imágenes 6.12 y 6.13

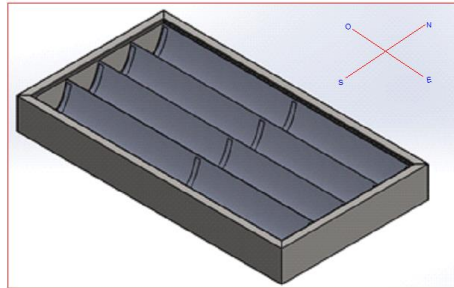


Figura 6.16 Orientación de la caja colectora.

Fuente: Santiago Guanoluisa.

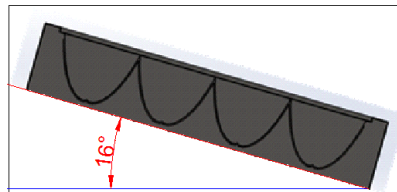


Figura 6.17 Inclinación de la caja colectora orientada hacia el norte geográfico.

Fuente: Santiago Guanoluisa.

6.8.1.2 Pasos para realizar los ensayos de calentamiento de agua

A continuación se describe el procedimiento para realizar el ensayo de calentamiento de agua de uso sanitario:

- Observar que las condiciones atmosféricas sean favorables (días soleados o parcial nublados) para poder apreciar el principio de funcionamiento de este tipo de colector y tener resultados satisfactorios en el calentamiento de agua de uso sanitario.

- Verificar que la cubierta de vidrio de la caja colectora esté en condiciones de limpieza óptimas para tener mayor concentración de la radiación solar (se lo debe hacer antes de exponer el colector al sol en la mañana o tarde).
- Instalar los termómetros digitales en las entradas especificadas para cada uno de estos.
- Cerrar la válvula v3 y abrir la válvula v2.
- Llenar el tanque de almacenamiento desde la red de agua potable, hasta que el agua rebose por la válvula v2.
- Cerrar la válvula v2, cerrar el suministro de la red de agua potable y abrir la válvula v3.
- Expuesto el colector a la radiación solar, tomar datos de temperatura del agua de entrada y de salida del colector, además de otros parámetros como radiación solar, velocidad del viento, temperatura ambiente y humedad relativa.
- Registrar los parámetros especificados en el paso anterior, cada 15 minutos.

6.8.1.3 Mantenimiento preventivo

- Realizar una inspección visual y rutinaria de todos los componentes.
- Limpiar la suciedad y condensaciones de la cubierta de vidrio templado de la caja colectora.
- Al ser la cubierta de vidrio desmontable, se debe hacer una limpieza de los reflectores, evitando rayarlos.
- Revisar que las conexiones no tengas fugas de agua.
- Realizar un vaciado y purgado del tanque de almacenamiento.
- Comprobar que no haya humedad en aislante del tanque de almacenamiento.
- Realizar prueba de estanqueidad del circuito hidráulico.

Nota: Se recomienda hacer estas actividades semestralmente.

6.8.1.4 Mantenimiento correctivo

- En caso de encontrar anomalías como fugas en el circuito hidráulico se debe reemplazar los accesorios o tuberías afectadas, y sellarlas correctamente.

Nota: El mantenimiento correctivo se especifica como la reparación de las averías y anomalías del funcionamiento de la instalación detectadas en el mantenimiento preventivo.

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Posteriormente se puede hacer un mejoramiento en el colector solar parabólico compuesto, mejorando el modelo matemático usado y determinar un material adecuado para configurar el absorbedor, y diseñar este tipo de colector con otra configuración del absorbedor de la radiación solar.

6.9.1 Comparación de resultados entre el absorbedor circular y absorbedor circular configurado

Diferencial de temperatura entre la entrada y salida del agua del colector con el absorbedor circular.

Datos:

$$T_i = 22.35^{\circ}\text{C}$$

$$T_s = 61.71^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta_T = T_s - T_i$$

$$\Delta_T = 39.37^{\circ}\text{C}$$

Diferencial de temperatura entre la entrada y salida del agua del colector con el absorbedor circular con una placa absorbedora.

Datos:

$$T_i = 21.75 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_s = 76.26 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta_T = T_s - T_i$$

$$\Delta_T = 54.50 \text{ }^\circ\text{C}$$

El valor del diferencial de temperatura con el absorbedor circular configurado es mayor con relación al valor del diferencial del absorbedor circular.

· *Comparación de pérdidas de calor totales.*

Para el absorbedor circular tenemos:

$$Q = 30.93 \text{ W}$$

Para el absorbedor circular configurado tenemos:

$$Q = 79.56 \text{ W}$$

El incremento de las pérdidas de calor en el absorbedor circular configurado, se debe a que el gradiente de temperaturas entre la entrada y la salida del agua del colector es grande, ya que al incrementarse la temperatura de salida del agua del colector se incrementan las pérdidas de calor por convección y radiación y por consiguiente las pérdidas de calor totales.

· *Comparación coeficiente global de pérdidas.*

Coficiente global de pérdidas del colector con el absorbedor circular:

$$U_L = 6.74 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Coficiente global de pérdidas del colector con el absorbedor circular configurado:

$$U_L = 8 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Al igual que las pérdidas de calor el coeficiente global de pérdidas se incrementó debido al gradiente de temperaturas entre la entrada y salida del agua del colector solar.

- *Comparación de la eficiencia térmica.*

Eficiencia térmica del colector con el absorbedor circular:

$$\eta_g = 60.3\%$$

Eficiencia térmica del colector con el absorbedor circular configurado:

$$\eta_g = 60.45\%$$

NOTA: Los resultados obtenidos son aproximados ya que lo ideal sería evaluar los parámetros de temperatura del agua, pérdida de calor, coeficiente global de pérdidas y eficiencia térmica de forma simétrica y en condiciones atmosféricas iguales.

6.9.2 Conclusiones de la propuesta

- Se desarrolló un modelo matemático (modelo teórico) que servirá como punto de referencia para la configuración y dimensionamiento del absorbedor del colector solar parabólico compuesto, el cual consta de una secuencia de cálculos a través del cual se conoció la eficiencia térmica para el calentamiento de agua de uso sanitario tomando en cuenta parámetros hidráulicos, físicos y térmicos.
- Considerando que con el absorbedor circular configurado se aumentó la temperatura de salida del agua del colector, las pérdidas de calor también se incrementaron.
- La eficiencia térmica del colector solar no tuvo una variación apreciable entre el absorbedor circular y el absorbedor circular configurado, se especifica que

la eficiencia térmica del colector solar es el porcentaje de radiación que es aprovechada y convertida en calor transferido al agua, la cual, en el absorbedor circular como en el absorbedor circular configurado tienen un valor adecuado para el calentamiento de agua de uso sanitario.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA

- ANSI/ASHRAE 93-1986. *Methods of testing to determine the thermal performance of solar collectors*. ASHRAE Standard.
- Aguayo, D., Velasquez, N., & Ojeda, S. (2009). *Desarrollo de un sistema de calentamiento solar y acoplamiento a un digestor anaerobico*. Recuperado el 11 de Octubre de 2013, de Redisa: <http://www.redisa.uji.es>
- Byron, T. (2011). *Estudio del espectro de irradiación solar para determinar el potencial de energía aprovechable en la ciudad de Ambato*. “Tesis de Ingeniería Mecánica”. UTA, Ambato, Ecuador.
- Campuzano, G. y Chiriboga, J. (2010). *Diseño y construcción de un sistema de enfriamiento por par de adsorción*. “Tesis de Ingeniería Mecánica”. EPN, Quito, Ecuador.
- Carta, J., Calero, R., Colmenar, A., & Castro, M. (2009). *Centrales de energías renovables*. Madrid: Pearson Educación.
- Cengel, Y. (2007). *Transferencia de calor y masa* (Cuarta ed.). México: Mc. Graw-Hill.
- Duffie, J., & Beckman, W. (1980). *Solar engineering of thermal processes*. Wisconsin-Madison: Jhon Wiley & Sons, INC.
- Echeverría, C. (2011). *Diseño de un colector cilindro parabólico compuesto*. Recuperado el 8 de Octubre de 2013, de <http://pirhua.udep.edu.pe>

- Estrada, C., Arancibia, C., Dorantes, R., Islas, J., & Mulhia, I. (2005). *Visión a largo plazo sobre la utilización de las energías renovables en México*. Recuperado el 20 de 11 de 2013, de <http://www.sener.gob.mx>

- Fernandez, F., Ramos, F., Tinaut, D., Rodriguez, M., Díaz, C., Macias, M., y otros. (1987). *Metodología y cálculo de radiación para colectores concentradores*. Madrid: Artegraf.

- Gutierrez, J. (2010). *Diseño y caracterización de un concentrador parabólico compuesto*. Recuperado el 10 de 09 de 2013, de <http://www.perusolar.org>

- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN INEN 2 507: 2009. *Rendimiento térmico de colectores solares en sistemas de calentamiento de agua para uso sanitario. Requisitos*. Quito, Ecuador: INEN.

- Jaramillo, A. (2012). *Concentración solar y Calor de procesos industriales_22_FEB_2012*. Recuperado el 5 de Diciembre de 2014, de <http://www.cie.unam.mx>

- Jutglar, L. (2004). *Energía solar*. Barcelona: Ceac.

- Manrique, J. (1984). *Energía solar-fundamentos y aplicaciones fototérmicas*. México.

- Meinel, A., & Meinel, M. (1984). *Aplicaciones de la energía solar*. Barcelona: Reverte.

- Nandwani, S. (2006). *Calentador Solar de Agua: Tipo Circulación Natural*. Recuperado el 10 de Octubre de 2013, de <https://www.doctornandwanisolarcook>

- Perales, T. (2008). *Instalación de paneles solares térmicos* (Tercera ed.). México: Alfaomega.
- Pillajo, J. Y Castillo, L. (2007). *Diseño y construcción de un calentador solar de agua con capacidad de 200 litros para el laboratorio de energías no convencionales del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica*. “Tesis de Ingeniería Mecánica”. ESPE, Quito, Ecuador.
- Placco, C., Saravia, L., & Cadena, C. (s.f.). *Colectores solares para agua caliente*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2013, de <http://www.inti.gob.ar>
- Salcedo, V. (2011). *Influencia del estudio de la tecnología de vacío en tubos sobre la eficiencia para el calentamiento de agua usando energía solar*. “Tesis de Ingeniería Mecánica”. UTA, Ambato, Ecuador
- Sánchez, M. (1996). *Caracterización y de gradación de polimeros reflectantes para aplicaciones mediante métodos espectroscópicos*. Recuperado el 2 de Diciembre de 2013, de <http://biblioteca.ucm.es>
- Saravia, L., Salvo, N., Echazú, R., & Fernández. (2005). *Diseño y ensayo en un banco de pruebas de un colector para agua con CPC*. Recuperado el 23 de Septiembre de 2013
- Sol-arq. (2012). *Características superficiales*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2013, de <http://www.sol-arq.com>
- Tapia, S., & Del Río, J. (2009). *Concentrador parabólico compuesto: una descripción opto-geométrica*. Recuperado el 12 de Octubre de 2013, de <http://www.scielo.org.mx>

ANEXOS

ANEXO A

ANEXO A1

Propiedades del agua saturada.

Propiedades del agua saturada

Temp., T °C	Presión de saturación, P_{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpia de vaporización, h_{fg} , kJ/kg	Calor específico, c_p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792×10^{-3}	0.922×10^{-5}	13.5	1.00	-0.068×10^{-3}
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519×10^{-3}	0.934×10^{-5}	11.2	1.00	0.015×10^{-3}
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307×10^{-3}	0.946×10^{-5}	9.45	1.00	0.733×10^{-3}
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 185	1 863	0.589	0.0179	1.138×10^{-3}	0.959×10^{-5}	8.09	1.00	0.138×10^{-3}
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002×10^{-3}	0.973×10^{-5}	7.01	1.00	0.195×10^{-3}
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891×10^{-3}	0.987×10^{-5}	6.14	1.00	0.247×10^{-3}
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798×10^{-3}	1.001×10^{-5}	5.42	1.00	0.294×10^{-3}
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720×10^{-3}	1.016×10^{-5}	4.83	1.00	0.337×10^{-3}
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653×10^{-3}	1.031×10^{-5}	4.32	1.00	0.377×10^{-3}
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596×10^{-3}	1.046×10^{-5}	3.91	1.00	0.415×10^{-3}
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547×10^{-3}	1.062×10^{-5}	3.55	1.00	0.451×10^{-3}
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504×10^{-3}	1.077×10^{-5}	3.25	1.00	0.484×10^{-3}
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467×10^{-3}	1.093×10^{-5}	2.99	1.00	0.517×10^{-3}
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433×10^{-3}	1.110×10^{-5}	2.75	1.00	0.548×10^{-3}
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404×10^{-3}	1.126×10^{-5}	2.55	1.00	0.578×10^{-3}
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378×10^{-3}	1.142×10^{-5}	2.38	1.00	0.607×10^{-3}
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355×10^{-3}	1.159×10^{-5}	2.22	1.00	0.653×10^{-3}
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333×10^{-3}	1.176×10^{-5}	2.08	1.00	0.670×10^{-3}
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315×10^{-3}	1.193×10^{-5}	1.96	1.00	0.702×10^{-3}
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297×10^{-3}	1.210×10^{-5}	1.85	1.00	0.716×10^{-3}
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282×10^{-3}	1.227×10^{-5}	1.75	1.00	0.750×10^{-3}
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255×10^{-3}	1.261×10^{-5}	1.58	1.00	0.798×10^{-3}

ANEXO A2

Propiedades del aire a 1 atm de presión.

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., <i>T</i> , °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, c_p , J/kg · K	Conductividad térmica, k , W/m · K	Difusividad térmica, α , m ² /s ²	Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177

ANEXO A3

Transmisividad para algunos tipos comunes de vidrios.

Coeficiente de sombra SC y
transmisividad solar τ_{solar} para
algunos tipos comunes de vidrio,
para condiciones de diseño de
verano (tomada del *Handbook of
Fundamentals* de la ASHRAE,
cap. 27, tabla 11)

Tipo de encristalado	Espesor <i>nominal</i>		τ_{solar}	SC*
	mm	in		
a) Encristalado sencillo				
Transparente	3	$\frac{1}{8}$	0.86	1.0
	6	$\frac{1}{4}$	0.78	0.95
	10	$\frac{3}{8}$	0.72	0.92

ANEXO A4

Absortividad y transmisividad superficies

Comparación de la absortividad solar α_s de algunas superficies con su emisividad ε a la temperatura ambiente

Superficie	α_s	ε
Aluminio		
Pulido	0.09	0.03
Anodizado	0.14	0.84
Hoja	0.15	0.05
Cobre		
Pulido	0.18	0.03
Deslustrado	0.65	0.75
Acero inoxidable		
Pulido	0.37	0.60
Opaco	0.50	0.21
Metales plateados		
Óxido negro		
de níquel	0.92	0.08
Cromo negro	0.87	0.09
Concreto	0.60	0.88
Mármol blanco	0.46	0.95
Ladrillo rojo	0.63	0.93
Asfalto	0.90	0.90
Pintura negra	0.97	0.97
Pintura blanca	0.14	0.93
Nieve	0.28	0.97
Piel humana (caucásica)	0.62	0.97

ANEXO A5

Ángulos solares

INCLINACION β (°)	16
LATITUD ϕ (°)	-1.2417

MESES	DIA PROM. DEL MES	n DIA DEL MES	DECLINACION δ (°)	B (°)	ECU. TIEMPO (MIN)	ECU. TIEMPO (horas)
ENERO	17	17	-20.92	-63.297	-9.968	-0.166
FEBRERO	16	47	-12.95	-33.626	-14.542	-0.242
MARZO	22	81	0.00	0.000	-7.530	-0.126
ABRIL	15	105	9.41	23.736	-0.223	-0.004
MAYO	15	135	18.79	53.407	3.755	0.063
JUNIO	28	179	23.29	96.923	-2.943	-0.049
JULIO	18	199	21.01	116.703	-5.881	-0.098
JULIO	22	203	20.24	120.659	-6.110	-0.102
AGOSTO	19	231	12.45	148.352	-3.194	-0.053
AGOSTO	27	239	9.60	156.264	-0.984	-0.016
SEPTIEMBRE	18	261	1.01	178.022	6.793	0.113
SEPTIEMBRE	19	262	0.61	179.011	7.162	0.119
DICIEMBRE	10	344	-23.05	260.110	6.111	0.102

ANEXO A6

Ángulo de incidencia de la radiación sobre una superficie inclinada y radiación solar incidente sobre el colector, 18-07-2014.

		RADIACION INCIDENTE SOBRE EL COLECTOR		
N°	Θ (°)	G _d (W/m ²)	G _b (W/m ²)	G _r (W/m ²)
1	24.894	26.964	186.134	213.098
2	21.873	30.000	211.865	241.865
3	18.974	33.985	244.578	278.563
4	16.230	54.034	394.813	448.847
5	13.685	55.231	408.378	463.608
6	11.396	53.245	397.212	450.457
7	9.431	35.387	265.660	301.048
8	7.871	37.503	282.711	320.214
9	6.800	33.140	250.426	283.566
10	6.288	48.396	366.084	414.481
11	6.374	50.768	383.962	434.730
12	7.051	35.808	270.439	306.247
13	8.270	55.256	416.127	471.383
14	9.954	36.241	271.648	307.890
15	12.019	44.717	332.840	377.557
16	14.388	51.603	380.382	431.985
17	16.995	45.137	328.499	373.637
18	19.787	45.742	327.547	373.289
19	22.724	30.433	213.622	244.055
20	25.775	25.952	177.850	203.802
21	28.917	18.515	123.333	141.848

Metodología aplicada, Toalombo B. (2011:138)

ANEXO A7

Ángulo de incidencia de la radiación sobre una superficie inclinada y radiación solar incidente sobre el colector, 22-07-2014.

		RADIACION INCIDENTE SOBRE EL COLECTOR		
N°	Θ (°)	G _d (W/m ²)	G _b (W/m ²)	G _r (W/m ²)
1	24.532	56.846	393.550	450.396
2	21.470	62.299	441.202	503.500
3	18.526	65.111	469.822	534.933
4	15.734	74.428	545.177	619.605
5	13.137	75.098	556.543	631.641
6	10.793	82.299	615.222	697.520
7	8.773	92.456	695.368	787.825
8	7.163	85.137	642.843	727.980
9	6.054	90.288	683.268	773.556
10	5.522	87.778	664.900	752.678
11	5.612	86.504	655.145	741.649
12	6.315	83.889	634.527	718.416
13	7.576	82.522	622.519	705.041
14	9.312	79.933	600.284	680.218
15	11.432	78.015	581.921	659.936
16	13.856	74.914	553.511	628.425
17	16.514	71.156	519.164	590.320
18	19.353	76.622	550.152	626.774
19	22.333	65.255	459.349	524.605
20	25.424	63.429	435.954	499.383
21	28.601	48.252	322.393	370.645

Metodología aplicada, Toalombo B. (2011:138)

ANEXO A8

Ángulo de incidencia de la radiación sobre una superficie inclinada y radiación solar incidente sobre el colector, 19-08-2014.

		RADIACION INCIDENTE SOBRE EL COLECTOR		
N°	Θ (°)	G _d (W/m ²)	G _b (W/m ²)	G _r (W/m ²)
1	20.804	20.670	147.044	167.714
2	17.378	23.732	172.356	196.088
3	14.023	20.341	150.187	170.528
4	10.764	25.190	188.327	213.517
5	7.642	26.320	198.521	224.841
6	4.719	26.951	204.405	231.356
7	2.092	32.641	248.234	280.875
8	0.091	34.888	265.500	300.388
9	1.627	32.220	245.101	277.322
10	2.297	26.688	202.937	229.625
11	1.975	24.152	183.691	207.843
12	0.724	25.190	191.685	216.875
13	1.254	26.517	201.752	228.269
14	3.743	25.203	191.391	216.594
15	6.574	25.703	194.314	220.017
16	9.633	28.278	212.166	240.444
17	12.849	26.307	195.187	221.494
18	16.173	24.034	175.661	199.695
19	19.577	43.193	309.699	352.892
20	23.037	52.391	366.904	419.294
21	26.542	30.249	205.939	236.188

Metodología aplicada, Toalombo B. (2011:138)

ANEXO A9

Ángulo de incidencia de la radiación sobre una superficie inclinada y radiación solar incidente sobre el colector, 27-08-2014.

		RADIACION INCIDENTE SOBRE EL COLECTOR		
N°	Θ (°)	G _d (W/m ²)	G _b (W/m ²)	G _r (W/m ²)
1	17.584	23.745	172.257	196.002
2	14.074	25.598	188.953	214.550
3	10.625	26.478	198.045	224.523
4	7.265	38.344	289.458	327.801
5	4.037	49.881	378.658	428.540
6	1.017	26.964	205.168	232.132
7	1.663	37.161	282.681	319.842
8	3.776	44.756	339.861	384.617
9	4.991	51.038	386.927	437.965
10	5.007	24.060	182.401	206.461
11	3.818	19.500	148.071	167.571
12	1.723	27.017	205.507	232.524
13	0.946	31.287	238.068	269.355
14	3.959	26.189	198.824	225.013
15	7.183	18.554	140.092	158.646
16	10.541	41.498	310.470	351.968
17	13.988	19.159	141.476	160.635
18	17.496	27.687	200.952	228.639
19	21.048	25.729	182.736	208.465
20	24.633	20.604	142.531	163.135
21	28.241	22.457	150.556	173.013

Metodología aplicada, Toalombo B. (2011:138)

ANEXO A10

Ángulo de incidencia de la radiación sobre una superficie inclinada y radiación solar incidente sobre el colector, 18-09-2014.

		RADIACION INCIDENTE SOBRE EL COLECTOR		
Nº	Θ (°)	G _d (W/m ²)	G _b (W/m ²)	G _T (W/m ²)
1	15.998	36.044	263.676	299.720
2	12.259	36.320	270.097	306.417
3	8.523	37.936	285.512	323.448
4	4.792	54.559	413.749	468.308
5	1.069	61.852	470.618	532.470
6	2.639	63.376	481.789	545.165
7	6.314	60.932	460.887	521.819
8	9.899	63.534	476.302	539.836
9	13.041	39.224	290.801	330.026
10	13.100	67.726	501.987	569.713
11	9.985	77.936	584.117	662.053
12	6.404	27.779	210.081	237.860
13	2.730	34.980	265.898	300.878
14	0.977	55.400	421.539	476.939
15	4.700	17.700	134.247	151.947
16	8.431	18.108	136.311	154.418
17	12.167	46.754	347.808	394.562
18	15.906	62.969	460.853	523.822
19	19.647	40.118	287.525	327.643
20	23.390	40.880	285.534	326.414
21	27.135	38.515	260.841	299.355

Metodología aplicada, Toalombo B. (2011:138)

ANEXO A11

Ángulo de incidencia de la radiación sobre una superficie inclinada y radiación solar incidente sobre el colector, 19-09-2014.

		RADIACION INCIDENTE SOBRE EL COLECTOR		
Nº	Θ (°)	G _d (W/m ²)	G _b (W/m ²)	G _T (W/m ²)
1	15.881	42.194	339.335	381.529
2	12.138	46.360	447.859	494.218
3	8.398	60.196	538.761	598.958
4	4.660	71.563	565.524	637.087
5	0.929	74.559	594.122	668.681
6	2.792	78.081	651.126	729.207
7	6.491	85.663	684.186	769.849
8	10.124	90.485	730.546	821.031
9	13.401	97.515	737.946	835.461
10	13.335	99.683	713.140	812.823
11	10.036	96.306	668.413	764.720
12	6.400	89.197	694.047	783.245
13	2.701	91.773	747.968	839.741
14	1.021	98.396	626.701	725.096
15	4.752	82.364	647.467	729.831
16	8.489	85.374	542.490	627.864
17	12.230	72.075	451.711	523.786
18	15.973	60.735	463.488	524.223
19	19.717	63.350	399.048	462.398
20	23.462	55.702	409.402	465.104
21	27.208	58.646	515.731	574.377

Metodología aplicada, Toalombo B. (2011:138)

ANEXO B
Fichas de campo
ANEXO B1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERÍA MECÁNICA FICHA DE CAMPO: CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO SANITARIO MEDIANTE ENERGÍA SOLAR REPORTE DEL ENSAYO								
Fecha:			18 de julio del 2014					
Hora de inicio			10:00					
COLECTOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO								
Hora	Radiación Solar (W/m ²)	T _a (°C)	v _{vi} (m/s)	Humedad Relativa (%)	T agua entrada Colector (°C)	T agua salida Colector (°C)	T absorbedor (°C)	Condición Climática
10:00	205.2	20.8	1.1	44.1	16.0	33.0	32.9	Parcial Nublado
10:15	228.3	22.4	1.4	43.7	16.1	34.4	34.3	Parcial Nublado
10:30	258.6	23.4	1.0	43.8	16.0	35.0	34.9	Parcial Nublado
10:45	411.2	22.9	1.3	43.1	16.5	36.2	36.1	Parcial Nublado
11:00	420.3	27.3	1.1	31.5	19.9	40.1	40.0	Parcial Nublado
11:15	405.2	28.0	1.2	28.9	19.2	41.4	41.3	Parcial Nublado
11:30	269.3	22.8	0.9	38.3	18.9	37.7	37.6	Parcial Nublado
11:45	285.4	23.2	1.3	38.7	19.5	36.4	36.3	Parcial Nublado
12:00	252.2	23.8	0.6	34.1	21.1	37.2	37.1	Parcial Nublado
12:15	368.3	23.1	0.9	39.2	22.1	39.2	39.1	Parcial Nublado
12:30	386.4	19.8	1.2	44.6	20.3	48.3	48.2	Parcial Nublado
12:45	272.5	22.9	1.1	40.9	19.3	49.1	49.0	Parcial Nublado
13:00	420.5	21.6	1.0	41.2	20.3	47.9	47.8	Parcial Nublado
13:15	275.8	21.3	1.1	42.7	19.0	51.5	51.4	Parcial Nublado
13:30	340.3	22.8	1.5	42.1	19.3	45.2	45.1	Parcial Nublado
13:45	392.7	23.1	1.2	34.4	19.4	43.9	43.8	Parcial Nublado
14:00	343.5	24.8	1.3	33.2	21.5	51.7	51.6	Parcial Nublado
14:15	348.1	23.9	0.8	32.5	20.1	51.9	51.8	Parcial Nublado
14:30	231.6	23.5	1.2	32.3	20.4	49.7	49.6	Parcial Nublado
14:45	197.5	21.9	1.1	37.5	20.5	49.3	49.2	Parcial Nublado
15:00	140.9	19.8	1.5	44.2	20.8	47.2	47.1	Parcial Nublado
Observaciones:			Calentamiento de agua con el absorbedor circular.					

ANEXO B2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERÍA MECÁNICA FICHA DE CAMPO: CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO SANITARIO MEDIANTE ENERGÍA SOLAR REPORTE DEL ENSAYO								
Fecha:			22 de julio del 2014					
Hora de inicio			10:00					
COLECTOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO								
Hora	Radiación Solar (W/m ²)	T _a (°C)	v _{vi} (m/s)	Humedad Relativa (%)	T agua entrada Colector (°C)	T agua salida Colector (°C)	T absorbedor (°C)	Condición Climática
10:00	432.6	27.2	0.8	32.8	15.8	38.6	38.5	Soleado
10:15	474.1	27.9	1.7	28.4	16.9	45.9	45.8	Soleado
10:30	495.5	27.4	1.1	27.1	23.5	48.4	48.3	Soleado
10:45	566.4	22.1	1.8	34.2	27.8	58.0	57.9	Soleado
11:00	571.5	24.1	1.3	31.8	31.3	60.8	60.7	Soleado
11:15	626.3	26.2	1.7	34.7	33.8	65.7	65.6	Soleado
11:30	689.4	28.5	1.2	32.2	35.1	70.5	70.4	Soleado
11:45	647.9	27.8	1.3	30.6	20.5	67.8	67.7	Soleado
12:00	662.5	25.1	1.1	30.2	19.1	68.3	68.2	Soleado
12:15	668.0	23.5	1.5	33.2	19.6	65.8	65.7	Soleado
12:30	658.3	23.3	2.5	34.1	19.9	66.2	66.1	Soleado
12:45	638.4	22.7	1.7	37.8	20.3	62.4	62.3	Soleado
13:00	628.0	22.3	2.1	33.9	19.8	67.1	67.0	Soleado
13:15	608.3	26.3	1.8	30.2	19.9	67.0	66.9	Soleado
13:30	593.7	27.8	1.2	29.1	20.2	63.7	63.6	Soleado
13:45	570.1	22.1	2.7	35.8	20.2	64.5	64.4	Soleado
14:00	541.5	23.7	1.4	34.1	20.8	64.7	64.6	Soleado
14:15	583.1	20.6	2.6	36.1	20.3	62.7	62.6	Soleado
14:30	496.6	26.7	2.2	25.2	21.9	63.2	63.1	Soleado
14:45	482.7	25.9	2.1	31.2	21.3	63.1	63.0	Soleado
15:00	367.2	24.8	2.0	31.9	21.3	61.6	61.5	Soleado
Promedio		25.05	2.0	32.1	22.35	61.71	61.61	-
Observaciones:			Calentamiento de agua con el absorbedor circular.					

ANEXO B3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERÍA MECÁNICA FICHA DE CAMPO: CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO SANITARIO MEDIANTE ENERGÍA SOLAR REPORTE DEL ENSAYO								
Fecha:			29 de julio del 2014					
Hora de inicio			10:00					
COLECTOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO								
Hora	Radiación Solar (W/m ²)	T _a (°C)	v _{vi} (m/s)	Humedad Relativa (%)	T agua entrada Colector (°C)	T agua salida Colector (°C)	T absorbedor (°C)	Condición Climática
10:00	-	-	-	-	-	-	-	-
10:15	212.2	18.4	2.4	43.7	17.4	22.8	22.7	Nublado
10:30	241.5	21.1	2.8	40.2	22.5	32.1	32	Nublado
10:45	245.8	21.3	2.1	39.8	22.2	30.6	30.5	Nublado
11:00	247.2	20.8	1.8	42.9	21.9	32.5	32.4	Nublado
11:15	386.5	21.2	2.1	44.6	22.8	32.7	32.6	Parcial Nublado
11:30	495.8	24.1	1.8	37.3	22.6	35.5	35.4	Parcial Nublado
11:45	527.1	21.8	2.9	39.4	22.3	37.8	37.7	Parcial Nublado
12:00	598.6	24.1	1.4	31.8	21.9	42.6	42.5	Parcial Nublado
12:15	580.3	24.6	1.9	30.6	22.2	41.9	41.8	Nublado
12:30	414.6	21.5	3.1	35.3	22.8	36.6	36.5	Nublado
12:45	378.3	20.3	1.1	41.7	22.8	33	32.9	Parcial Nublado
13:00	255.6	21.2	2.1	39.8	23.2	32.8	32.7	Parcial Nublado
13:15	493.4	23.8	1.6	31.7	23.1	40.2	40.1	Parcial Nublado
13:30	215.6	23.7	0.9	35.5	23.6	32.4	32.3	Nublado
13:45	184.7	21.4	2.4	37.3	22.8	32	31.9	Nublado
14:00	385.6	24.8	2.2	34.5	23.9	39.3	39.2	Parcial Nublado
14:15	203.9	19.8	3.1	31.8	24.1	37.1	37	Parcial Nublado
14:30	391.8	23.1	1.4	30.6	25	36.4	36.3	Parcial Nublado
14:45	421.6	24.8	1.5	32.1	26	37.2	37.1	Parcial Nublado
15:00	439.2	25.2	1.6	30.3	26.2	38.1	38	Parcial Nublado
Observaciones:			Calentamiento de agua con el absorbedor circular.					

ANEXO B4

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERÍA MECÁNICA FICHA DE CAMPO: CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO SANITARIO MEDIANTE ENERGÍA SOLAR REPORTE DEL ENSAYO								
Fecha:			30 de julio del 2014					
Hora de inicio			10:00					
COLECTOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO								
Hora	Radiación Solar (W/m ²)	T _a (°C)	v _{vi} (m/s)	Humedad Relativa (%)	T agua entrada Colector (°C)	T agua salida Colector (°C)	T absorbedor (°C)	Condición Climática
10:00	-	-	-	-	-	-	-	-
10:15	-	-	-	-	-	-	-	-
10:30	268.5	21.5	0.9	42.8	16.0	27.2	27.1	Parcial Nublado
10:45	304.2	22.3	1.2	42.4	16.8	27.5	27.4	Parcial Nublado
11:00	305.1	19.2	0.9	44.7	22.3	28.1	28.0	Parcial Nublado
11:15	306.3	21.3	2.7	43.5	23.0	28.8	28.7	Parcial Nublado
11:30	283.7	21.5	1.8	39.8	23.0	31.3	31.2	Nublado
11:45	263.8	19.6	2.9	39.4	23.1	30.0	29.9	Nublado
12:00	271.5	20.1	1.5	43.4	23.4	29.5	29.4	Nublado
12:15	233.2	19.1	1.8	47.2	21.9	27.6	27.5	Nublado
12:30	465.1	21.8	1.9	38.7	22.8	29.1	29.0	Parcial Nublado
12:45	367.8	19.4	2.1	43.0	22.4	30.7	30.6	Nublado
13:00	489.7	21.9	2.2	40.7	20.1	37.0	36.9	Parcial Nublado
13:15	495.3	23.1	2.0	41.6	19.8	37.6	37.5	Parcial Nublado
13:30	333.1	20.4	2.1	42.9	19.6	32.9	32.8	Parcial Nublado
13:45	437.5	22.8	0.9	41.8	20.2	32.3	32.2	Parcial Nublado
14:00	491.6	21.6	2.4	37.2	23.3	37.6	37.5	Parcial Nublado
14:15	318.4	22.9	2.8	39.6	22.9	34.8	34.7	Parcial Nublado
14:30	186.9	19.3	3.3	43.6	21.4	30.2	30.1	Nublado
14:45	276.1	22.7	1.8	43.8	20.8	28.2	28.1	Nublado
15:00	253.8	21.5	2.7	44.1	24.6	33.7	33.6	Nublado
Observaciones:			Calentamiento de agua con el absorbedor circular.					

ANEXO B5

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERÍA MECÁNICA FICHA DE CAMPO: CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO SANITARIO MEDIANTE ENERGÍA SOLAR REPORTE DEL ENSAYO								
Fecha:			19 de agosto del 2014					
Hora de inicio			10:00					
COLECTOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO								
Hora	Radiación Solar (W/m ²)	T _a (°C)	v _{vi} (m/s)	Humedad Relativa (%)	T agua entrada Colector (°C)	T agua salida Colector (°C)	T absorbedor (°C)	Condición Climática
10:00	157.3	16.1	1.8	45.1	16.0	23.0	22.9	Nublado
10:15	180.6	16.5	2.1	44.2	16.0	23.7	23.6	Nublado
10:30	154.8	16.4	1.7	44.5	16.0	24.1	24.0	Nublado
10:45	191.7	16.7	2.0	43.8	16.1	26.5	26.4	Nublado
11:00	200.3	16.5	2.9	40.8	16.7	26.5	26.4	Nublado
11:15	205.1	16.8	2.5	41.4	16.8	27.0	26.9	Nublado
11:30	248.4	15.9	2.7	44.2	17.2	28.1	28.0	Nublado
11:45	265.5	21.8	2.1	35.9	18.2	33.1	33.0	Nublado
12:00	245.2	17.1	2.4	37.9	18.2	36.2	36.1	Nublado
12:15	203.1	16.9	2.6	37.8	17.1	34.9	34.8	Nublado
12:30	183.8	17.8	2.8	35.1	16.6	30.1	30.0	Nublado
12:45	191.7	16.8	2.3	36.8	16.9	30.3	30.2	Nublado
13:00	201.8	17.5	2.1	35.1	17.1	32.1	32.0	Nublado
13:15	191.8	16.9	2.0	35.6	17.1	31.6	31.5	Nublado
13:30	195.6	17.8	2.7	34.1	17.1	29.7	29.6	Nublado
13:45	215.2	17.6	2.1	36.2	17.1	28.7	28.6	Nublado
14:00	200.2	18.3	2.3	32.4	17.6	32.5	32.4	Nublado
14:15	182.9	19.6	1.5	32.6	18.3	34.1	34.0	Nublado
14:30	328.7	19.8	1.0	31.3	18.2	32.8	32.7	Nublado
14:45	398.7	17.2	2.1	33.6	17.8	29.6	29.5	Nublado
15:00	230.2	19.3	2.9	30.2	19.7	39.4	39.3	Nublado
Observaciones:			Calentamiento de agua con el absorbedor circular.					

ANEXO B6

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERÍA MECÁNICA FICHA DE CAMPO: CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO SANITARIO MEDIANTE ENERGÍA SOLAR REPORTE DEL ENSAYO								
Fecha:			21 de agosto del 2014					
Hora de inicio			10:00					
COLECTOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO								
Hora	Radiación Solar (W/m ²)	Ta (°C)	v _{vi} (m/s)	Humedad Relativa (%)	T agua entrada Colector (°C)	T agua salida Colector (°C)	T absorbedor (°C)	Condición Climática
10:00	429.2	19.1	2.1	31.8	17.1	59.7	59.6	Soleado
10:15	520.1	19.9	1.8	30.2	18.8	60.5	60.4	Soleado
10:30	535.9	22.5	2.0	28.7	19.8	73.8	73.7	Soleado
10:45	564.8	23.2	2.1	28.3	19.8	75.6	75.5	Soleado
11:00	564.9	23.5	1.8	28.1	19.5	76.8	76.7	Soleado
11:15	520.1	22.1	1.9	29.3	19.4	70.0	69.9	Soleado
11:30	603.7	23.5	1.1	28.7	20.4	59.7	59.6	Soleado
11:45	421.1	23.8	1.3	27.3	20.3	47.5	47.4	Parcial Nublado
12:00	697.5	23.9	1.1	27.1	22.5	60.7	60.6	Soleado
12:15	544.6	25.1	2.3	26.0	21.4	53.0	52.9	Parcial Nublado
12:30	439.3	23.2	2.8	28.1	21.8	51.5	51.4	Parcial Nublado
12:45	363.8	22.8	2.9	30.5	21.5	48.8	48.7	Parcial Nublado
13:00	349.7	23.1	1.7	29.0	22.1	41.3	41.2	Parcial Nublado
13:15	250.7	22.8	2.9	30.8	22.1	40.4	40.3	Nublado
13:30	262.8	22.5	2.7	30.9	22.5	42.7	42.6	Nublado
13:45	421.3	21.0	2.6	33.1	22.1	47.8	47.7	Parcial Nublado
14:00	228.7	22.3	3.1	33.5	21.8	40.9	40.8	Parcial Nublado
14:15	453.8	22.8	2.3	28.6	21.6	47.2	47.1	Parcial Nublado
14:30	491.7	22.9	2.6	28.4	22.5	50.3	50.2	Parcial Nublado
14:45	215.7	19.8	2.9	33.8	22.1	48.4	48.3	Nublado
15:00	201.3	18.1	3.2	36.7	22.1	44.3	44.2	Nublado
Observaciones:			Calentamiento de agua con el absorbedor circular.					

ANEXO B7

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERÍA MECÁNICA FICHA DE CAMPO: CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO SANITARIO MEDIANTE ENERGÍA SOLAR REPORTE DEL ENSAYO								
Fecha:			23 de agosto del 2014					
Hora de inicio			10:00					
COLECTOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO								
Hora	Radiación Solar (W/m ²)	T _a (°C)	v _{vi} (m/s)	Humedad Relativa (%)	T agua entrada Colector (°C)	T agua salida Colector (°C)	T absorbedor (°C)	Condición Climática
10:00	N.R	19.2	1.1	37.2	16.9	28.7	28.6	Nublado
10:15	258.3	20	1.5	34.1	16.9	29.8	29.7	Nublado
10:30	265.2	20.1	1.8	33.7	17.1	36.3	36.2	Nublado
10:45	277.8	23.7	1.9	30.8	18.3	45.6	45.5	Nublado
11:00	528.7	25.7	1.5	30.2	20.9	48.5	48.4	Parcial Nublado
11:15	641.6	25.4	1.2	30.1	20.0	56.8	56.7	Soleado
11:30	673.5	25.8	1.7	29.1	20.2	57.7	57.6	Soleado
11:45	681.2	23.9	2.1	32.7	20.7	61.3	61.2	Soleado
12:00	409.7	23.9	1.0	32.8	21.1	54.7	54.6	Parcial Nublado
12:15	681.3	22.9	2.1	32.1	21.9	62.6	62.5	Soleado
12:30	520.1	24.8	2.0	28.6	21.3	58.3	58.2	Parcial Nublado
12:45	704.7	24.9	1.7	27.8	21.3	63.7	63.6	Soleado
13:00	511.2	23.1	1.0	29.1	21.2	56.5	56.4	Soleado
13:15	653.8	23.8	2.1	28.1	22.3	62.9	62.8	Soleado
13:30	613.8	25.7	2.4	29.6	22.1	63.5	63.4	Soleado
13:45	617.5	25.5	3.0	26.3	23.5	63.7	63.6	Soleado
14:00	648.4	23.8	2.7	28.4	23.8	65.3	65.2	Soleado
14:15	590.2	23.2	2.6	29.9	23.6	56.5	56.4	Parcial Nublado
14:30	532.3	22.1	3.1	32.3	23.9	54.8	54.7	Parcial Nublado
14:45	525.7	21.8	2.8	33.7	24.1	54.1	54	Parcial Nublado
15:00	502.4	22.2	3.3	33.8	25.8	57.3	57.2	Parcial Nublado
Observaciones:			Calentamiento de agua con el absorbedor circular.					

ANEXO B8

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERÍA MECÁNICA FICHA DE CAMPO: CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO SANITARIO MEDIANTE ENERGÍA SOLAR REPORTE DEL ENSAYO								
Fecha:			25 de agosto del 2014					
Hora de inicio			10:00					
COLECTOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO								
Hora	Radiación Solar (W/m ²)	T _a (°C)	v _{vi} (m/s)	Humedad Relativa (%)	T agua entrada Colector (°C)	T agua salida Colector (°C)	T absorbedor (°C)	Condición Climática
10:00	158.1	17.5	2.1	48.4	16.0	25.2	25.1	Nublado
10:15	159.7	17.3	2.0	48.2	16.0	25.0	24.9	Nublado
10:30	168.3	18.5	1.5	48.1	16.1	26.3	26.2	Nublado
10:45	170.4	18.8	3.1	43.5	16.0	26.0	25.9	Nublado
11:00	171.8	18.7	2.8	47.8	16.1	27.2	27.1	Nublado
11:15	176.1	19.3	2.5	48.9	16.2	28.3	28.2	Nublado
11:30	176.1	19.5	2.1	48.1	18.1	28.8	28.7	Nublado
11:45	205.6	21.6	1.1	43.5	19.0	27.8	27.7	Nublado
12:00	263.4	22.8	1.0	41.8	19.8	33.5	33.4	Nublado
12:15	368.6	23.8	1.6	39.6	20.8	48.2	48.1	Nublado
12:30	258.3	22.9	1.7	37.7	19.5	38.8	38.7	Nublado
12:45	215.3	23.1	1.1	37.5	19.8	34.3	34.2	Nublado
13:00	211.3	20.8	1.9	42.8	19.9	30.6	30.5	Nublado
13:15	205.4	20.1	2.0	43.1	19.8	29.1	29.0	Nublado
13:30	285.4	21.8	2.5	39.3	20.1	35.3	35.2	Nublado
13:45	386.9	22.5	1.9	40.0	21.8	48.7	48.6	Parcial Nublado
14:00	387.3	22.8	2.3	40.7	21.9	54.5	54.4	Parcial Nublado
14:15	395.4	23.4	2.1	38.7	22.4	51.7	51.6	Parcial Nublado
14:30	425.4	22.8	2.8	39.6	23.3	54.0	53.9	Nublado
14:45	197.3	21.7	3.1	44.2	22.2	48.9	48.8	Nublado
15:00	163.4	21.6	2.5	43.5	21.9	43.5	43.4	Nublado
Observaciones:			Calentamiento de agua mediante el absorbedor circular configurado.					

ANEXO B9

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERÍA MECÁNICA FICHA DE CAMPO: CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO SANITARIO MEDIANTE ENERGÍA SOLAR REPORTE DEL ENSAYO								
Fecha:			27 de agosto del 2014					
Hora de inicio			10:00					
COLECTOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO								
Hora	Radiación Solar (W/m ²)	T _a (°C)	v _{vi} (m/s)	Humedad Relativa (%)	T agua entrada Colector (°C)	T agua salida Colector (°C)	T absorbedor (°C)	Condición Climática
10:00	180.7	21.4	2.0	43.2	15.9	29.0	28.9	Nublado
10:15	194.8	21.8	1.5	40.0	15.9	29.6	29.5	Nublado
10:30	201.5	22.5	2.2	39.8	16.8	31.8	31.7	Nublado
10:45	291.8	21.9	1.8	38.5	16.8	34.2	34.1	Nublado
11:00	379.6	23.6	1.3	39.6	16.9	36.9	36.8	Nublado
11:15	205.2	22.9	3.0	40.7	17.7	34.9	34.8	Nublado
11:30	282.8	23.2	1.7	40.1	17.9	34.5	34.4	Nublado
11:45	340.6	23.9	1.2	37.1	17.8	35.3	35.2	Nublado
12:00	388.4	23.9	1.1	36.2	17.8	39.8	39.7	Nublado
12:15	183.1	22.3	1.8	37.8	17.9	34.1	34.0	Nublado
12:30	148.4	20.8	1.9	40.5	17.8	33.6	33.5	Nublado
12:45	205.6	21.3	2.0	39.8	18.1	34.8	34.7	Nublado
13:00	238.1	21.6	2.7	39.6	18.0	33.6	33.5	Nublado
13:15	199.3	21.1	1.0	39.8	17.8	34.3	34.2	Nublado
13:30	141.2	20.3	3.1	41.7	18.3	38.5	38.4	Nublado
13:45	315.8	22.5	2.1	38.6	17.9	41.5	41.4	Nublado
14:00	145.8	20.8	2.0	39.1	17.9	42.3	42.2	Nublado
14:15	210.7	22.5	2.2	40.2	18.5	40.5	40.4	Nublado
14:30	195.8	21.9	2.8	39.9	18.0	38.9	38.8	Nublado
14:45	156.8	20.4	3.1	40.7	18.0	37.8	37.7	Nublado
15:00	170.9	20.7	2.5	39.8	17.8	39.7	39.6	Nublado
Observaciones:			Calentamiento de agua mediante el absorbedor circular configurado.					

ANEXO B10

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERÍA MECÁNICA FICHA DE CAMPO: CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO SANITARIO MEDIANTE ENERGÍA SOLAR REPORTE DEL ENSAYO								
Fecha:			28 de agosto del 2014					
Hora de inicio			10:00					
COLECTOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO								
Hora	Radiación Solar (W/m ²)	T _a (°C)	v _{vi} (m/s)	Humedad Relativa (%)	T agua entrada Colector (°C)	T agua salida Colector (°C)	T absorbedor (°C)	Condición Climática
10:00	-	-	-	-	17.1	36.2	36.1	Parcial Nublado
10:15	421.9	21.8	1.6	43.1	19.5	38.7	38.6	Parcial Nublado
10:30	589.7	22.7	1.7	44.3	19.7	42.5	42.4	Parcial Nublado
10:45	591.3	22.9	2.1	43.1	19.8	44.7	44.6	Parcial Nublado
11:00	386.5	21.4	1.6	43.2	19.9	40.5	40.4	Parcial Nublado
11:15	350.7	21.1	2.8	44.3	20.2	37.4	37.3	Parcial Nublado
11:30	268.4	21	2.1	42.1	20.5	34.3	34.2	Nublado
11:45	256.8	20.6	2.0	41.8	20.1	35.6	35.5	Nublado
12:00	251.3	22.7	1.9	38.1	20.3	35.2	35.1	Nublado
12:15	358.6	21.2	2.8	38.7	20.2	38.6	38.5	Nublado
12:30	328.2	21.9	1.5	38.9	20.5	34.8	34.7	Nublado
12:45	243.7	19.5	1.9	39.6	20.3	32.3	32.2	Nublado
13:00	347.4	22.5	2.3	38.2	20.5	36	35.9	Nublado
13:15	248.6	20.6	2.8	39.9	20.1	32.1	32	Nublado
13:30	215.6	20	1.5	38.5	20.8	31.7	31.6	Nublado
13:45	196.3	20.3	2.3	40.7	21	32.8	32.7	Nublado
14:00	285.3	20.8	2.1	35.2	21.2	36.1	36	Nublado
14:15	242.1	21.7	1.9	37	21.1	36.4	36.3	Nublado
14:30	291.3	21.6	2.7	30.6	21.7	37.9	37.8	Nublado
14:45	241.6	21.3	2.8	32.1	21.3	37.2	37.1	Parcial Nublado
15:00	293.4	22.5	2.4	30.3	21.5	38.2	38.1	Parcial Nublado
Observaciones:			Calentamiento de agua mediante el absorbedor circular configurado.					

ANEXO B11

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERÍA MECÁNICA FICHA DE CAMPO: CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO SANITARIO MEDIANTE ENERGÍA SOLAR REPORTE DEL ENSAYO								
Fecha:			16 de septiembre del 2014					
Hora de inicio			10:00					
COLECTOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO								
Hora	Radiación Solar (W/m ²)	T _a (°C)	v _{vi} (m/s)	Humedad Relativa (%)	T agua entrada Colector (°C)	T agua salida Colector (°C)	T absorbedor (°C)	Condición Climática
10:00	200.2	20.1	2.1	47.3	16.6	40.6	40.5	Parcial Nublado
10:15	203.1	20.3	3	45.5	18.7	42.8	42.7	Parcial Nublado
10:30	310.8	21.5	2.6	41.5	21.1	46.2	46.1	Parcial Nublado
10:45	670.3	23.8	2.5	40.5	22.0	50.3	50.2	Parcial Nublado
11:00	698.7	24.2	1.3	36.2	22.6	69.4	69.3	Parcial Nublado
11:15	251.7	21.0	2.7	38.3	22.0	63.8	63.7	Parcial Nublado
11:30	382.3	22.9	1.9	37.6	23.7	59.8	59.7	Parcial Nublado
11:45	705.8	24.6	2.9	31.7	24.2	73.7	73.6	Parcial Nublado
12:00	231.0	23.5	2.8	32.8	23.3	61.4	61.3	Parcial Nublado
12:15	201.4	21.6	2.1	33.9	23.0	54.1	54	Parcial Nublado
12:30	539.2	24.6	1.7	32.1	23.1	63.4	63.3	Parcial Nublado
12:45	528.1	23.4	3.1	43.2	23.4	68.5	68.4	Parcial Nublado
13:00	720.2	24.8	1.9	30.1	22.7	75.3	75.2	Soleado
13:15	737.5	25.6	1.7	31.0	24.8	76.4	76.3	Soleado
13:30	672.3	25.2	1.5	30.1	25.1	71.6	71.5	Soleado
13:45	632.0	24.1	3.8	29.8	24.3	65.1	65	Soleado
14:00	624.4	24.5	2.7	31.2	24.0	63.5	63.4	Soleado
14:15	538.1	24.4	2.0	31.6	24.2	61.3	61.2	Parcial Nublado
14:30	551.7	25.6	1.3	30.1	24.2	60.8	60.7	Parcial Nublado
14:45	496.9	24.3	2.5	31.1	24.1	57.9	57.8	Parcial Nublado
15:00	503.8	22.9	2.1	31.0	24.0	59.1	59	Parcial Nublado
Observaciones:			Calentamiento de agua mediante el absorbedor circular configurado.					

ANEXO B12

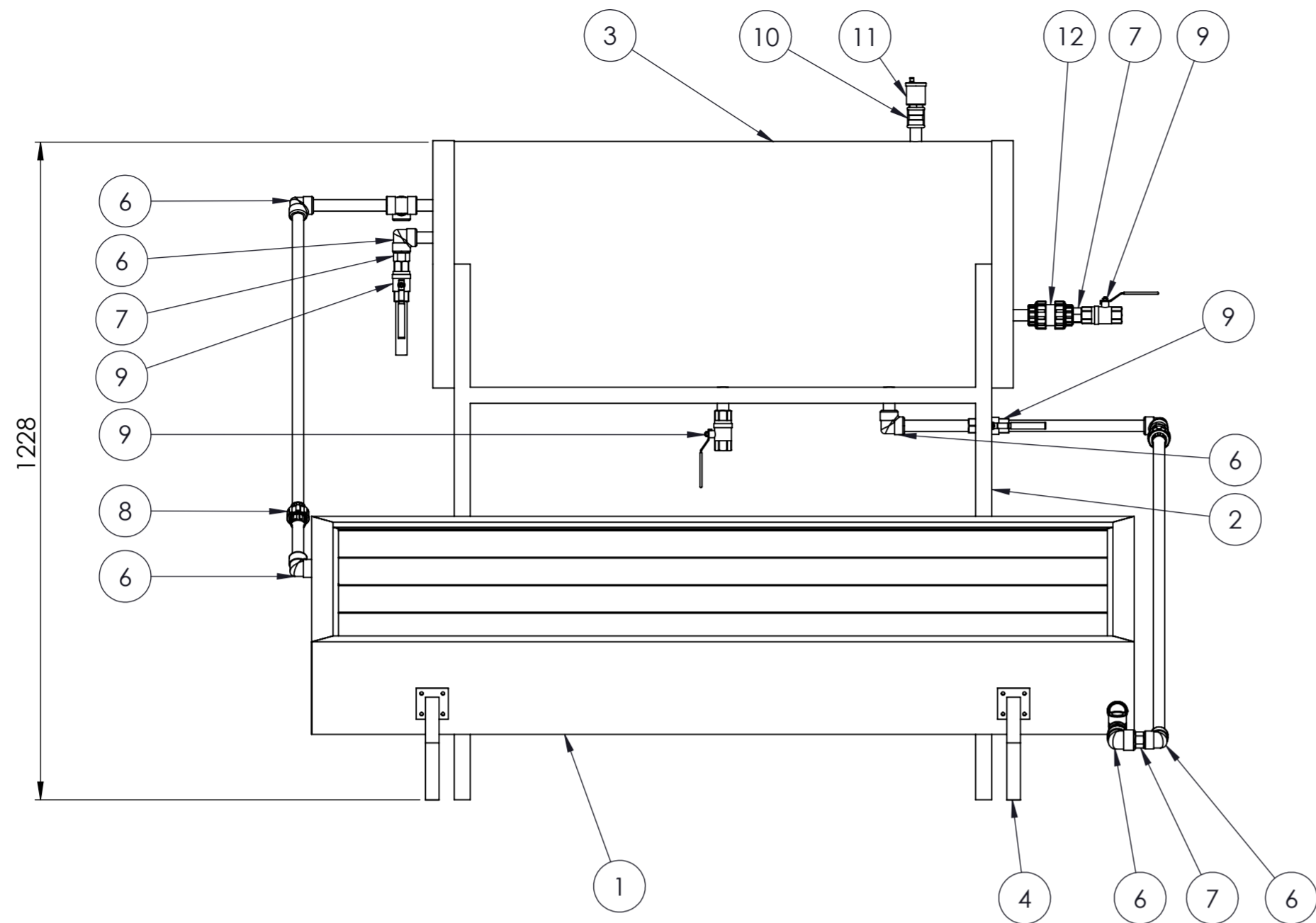
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERÍA MECÁNICA FICHA DE CAMPO: CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO SANITARIO MEDIANTE ENERGÍA SOLAR REPORTE DEL ENSAYO								
Fecha:			17 de septiembre del 2014					
Hora de inicio			10:00					
COLECTOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO								
Hora	Radiación Solar (W/m ²)	T _a (°C)	v _{vi} (m/s)	Humedad Relativa (%)	T agua entrada Colector (°C)	T agua salida Colector (°C)	T absorbedor (°C)	Condición Climática
10:00	398	23.6	2.1	42.3	17.2	46.8	46.7	Soleado
10:15	426.4	24.1	1.5	41.3	17.8	52.7	52.6	Soleado
10:30	531.6	24.1	1.0	40.1	18.7	68.1	68.0	Soleado
10:45	620.3	24.8	1.1	38.7	21.0	78.3	78.2	Soleado
11:00	651.7	25.6	0.9	36.8	22.6	81.5	81.4	Soleado
11:15	719.4	25.7	2.0	36.5	22.5	84.1	84.0	Soleado
11:30	657.4	25.9	0.9	36.1	24.7	77.9	77.8	Soleado
11:45	782.1	24.8	2.2	32.8	24.1	84.0	83.9	Soleado
12:00	812.2	23.5	1.4	33.1	23.9	84.7	84.6	Soleado
12:15	718.9	23.1	2.2	33.0	25.8	74.8	74.7	Soleado
12:30	802.1	29.8	1.9	32.5	25.7	81.5	81.4	Soleado
12:45	726.8	24.5	1.8	31.5	26.4	78.4	78.3	Soleado
13:00	763.5	24.1	2.1	32.9	28.4	82.2	82.1	Soleado
13:15	750.7	26.9	2.0	28.5	26.7	84.3	84.2	Soleado
13:30	725.3	27.2	2.3	28.0	24.9	81.2	81.1	Soleado
13:45	642.8	26.3	1.7	30.0	27.0	75.7	75.6	Soleado
14:00	589.8	28.0	1.0	28.2	25.4	77.6	77.5	Soleado
14:15	536.7	27.6	2.1	29.3	28.0	80.7	80.6	Soleado
14:30	529.5	28.0	0.8	28.0	26.7	83.5	83.4	Soleado
14:45	457.1	25.8	1.5	30.1	26.6	78.9	78.8	Soleado
15:00	491.3	25.1	2.1	30.3	27.4	79.7	79.6	Soleado
Observaciones:			Calentamiento de agua mediante el absorbedor circular configurado.					

ANEXO B13

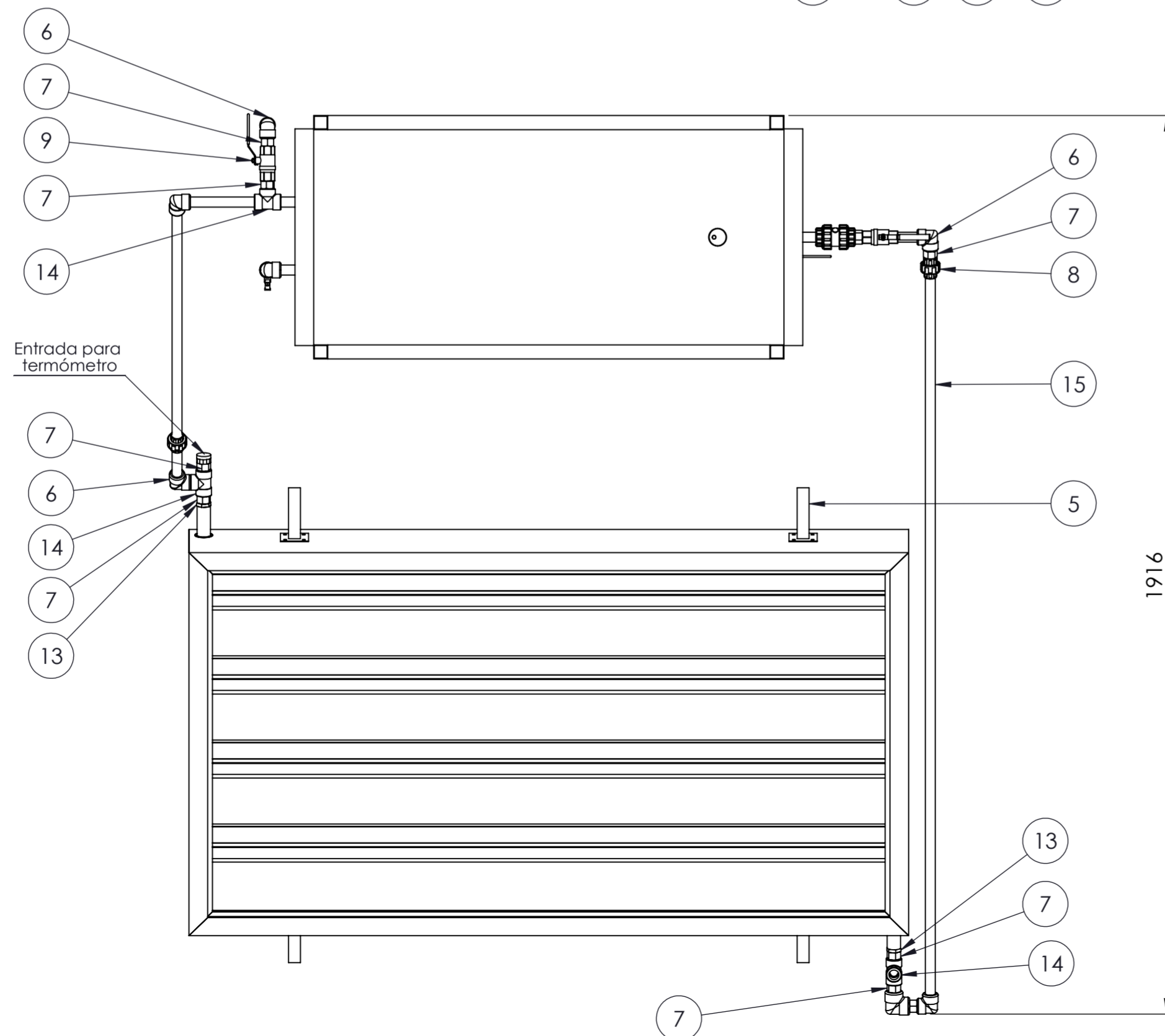
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERÍA MECÁNICA FICHA DE CAMPO: CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO SANITARIO MEDIANTE ENERGÍA SOLAR REPORTE DEL ENSAYO								
Fecha:			18 de septiembre del 2014					
Hora de inicio			10:00					
COLECTOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO								
Hora	Radiación Solar (W/m ²)	T _a (°C)	v _{vi} (m/s)	Humedad Relativa (%)	T agua entrada Colector (°C)	T agua salida Colector (°C)	T absorbedor (°C)	Condición Climática
10:00	274.3	22.2	2.4	39.7	16.3	43.7	43.6	Parcial Nublado
10:15	276.4	23.6	2.7	39.6	16.3	49.9	49.8	Parcial Nublado
10:30	288.7	23.8	2.6	38.4	16.1	54.3	54.2	Parcial Nublado
10:45	415.2	24.1	3.4	37.1	16.6	58.0	57.9	Parcial Nublado
11:00	470.7	24.6	3.8	36.8	17.1	60.4	60.3	Parcial Nublado
11:15	482.3	25.1	2.6	35.1	19.4	62.4	62.3	Parcial Nublado
11:30	463.7	24.9	3.0	33.8	19.3	58.2	58.1	Parcial Nublado
11:45	483.5	23.4	2.4	33.9	23.6	62.1	62.0	Parcial Nublado
12:00	298.5	22.9	2.8	34.6	19.3	56.3	56.2	Parcial Nublado
12:15	515.4	25.4	2.7	30.1	23.8	62.9	62.8	Parcial Nublado
12:30	593.1	24.5	3.9	31.9	19.7	65.3	65.2	Parcial Nublado
12:45	211.4	23.5	2.1	30.1	23.2	62.7	62.6	Parcial Nublado
13:00	266.2	23.7	3.6	34.7	21.9	47.8	47.7	Parcial Nublado
13:15	421.6	24.6	3.1	32.1	23.9	62.8	62.7	Parcial Nublado
13:30	134.7	20.7	3.6	40.1	21.2	46.1	46.0	Parcial Nublado
13:45	137.8	22.9	2.8	37.0	22.2	45.1	45.0	Parcial Nublado
14:00	355.8	23.6	4.1	36.5	23.9	55.2	55.1	Parcial Nublado
14:15	479.2	25.5	3.8	31.5	26.9	59.5	59.4	Parcial Nublado
14:30	305.3	24.3	2.0	32.0	25.2	62.0	61.9	Parcial Nublado
14:45	311.1	23.9	4.7	33.1	25.1	61.4	61.3	Parcial Nublado
15:00	293.1	22.8	3.2	34.6	25.5	60.2	60.1	Parcial Nublado
Observaciones:			Calentamiento de agua mediante el absorbedor circular configurado.					

ANEXO B14

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERÍA MECÁNICA FICHA DE CAMPO: CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO SANITARIO MEDIANTE ENERGÍA SOLAR REPORTE DEL ENSAYO								
Fecha:			19 de septiembre del 2014					
Hora de inicio			10:00					
COLECTOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO								
Hora	Radiación Solar (W/m ²)	Ta (°C)	v _{vi} (m/s)	Humedad Relativa (%)	T agua entrada Colector (°C)	T agua salida Colector (°C)	T absorbedor (°C)	Condición Climática
10:00	321.1	25.0	2.4	40.1	16.0	52.1	52.0	Soleado
10:15	352.8	25.8	2.7	39.5	16.2	60.3	60.2	Soleado
10:30	458.1	26.0	2.6	39.0	17.0	64.1	64.0	Soleado
10:45	544.6	26.1	3.4	39.2	17.5	69.4	69.3	Soleado
11:00	567.4	26.9	3.8	38.1	19.1	78.2	78.1	Soleado
11:15	594.2	27.3	2.6	37.2	19.9	79.3	79.2	Soleado
11:30	651.9	27.5	3.0	36.1	20.4	80.2	80.1	Soleado
11:45	688.6	27.0	2.4	35.9	20.9	81.2	81.1	Soleado
12:00	742.1	26.3	2.8	35.1	21.2	81.8	81.7	Soleado
12:15	758.6	26.5	2.7	34.6	21.8	83.9	83.8	Soleado
12:30	732.9	25.6	3.9	34.1	22.9	81.5	81.4	Soleado
12:45	678.8	28.2	2.1	30.5	22.9	80.7	80.6	Soleado
13:00	698.4	28.0	3.6	31.5	24.0	79.8	79.7	Soleado
13:15	748.8	26.8	3.1	30.1	24.3	83.5	83.4	Soleado
13:30	626.8	26.2	3.6	29.7	24.0	79.8	79.7	Soleado
13:45	649.7	27.2	2.8	29.8	24.9	82.1	82.0	Soleado
14:00	548.5	26.7	4.1	30.5	24.3	79.1	79.0	Soleado
14:15	462.2	26.5	3.8	30.1	24.7	77.9	77.8	Soleado
14:30	482.1	26.5	2.0	30.8	25.0	79.8	79.7	Soleado
14:45	423.9	26.7	4.7	31.0	25.0	72.4	72.3	Soleado
15:00	446.3	26.8	3.2	30.0	24.8	74.3	74.2	Soleado
Promedio		26.6	2.9	21.75	21.75	76.2	76.1	-
Observaciones:			Calentamiento de agua mediante el absorbedor circular configurado.					



Especificaciones Técnicas	
Peso total aproximado:	118 kg
Altura total:	1.3m
Ancho total:	1.63m
Longitud total:	1.95m
Capacidad Térmica:	551 W
Fluido:	Agua

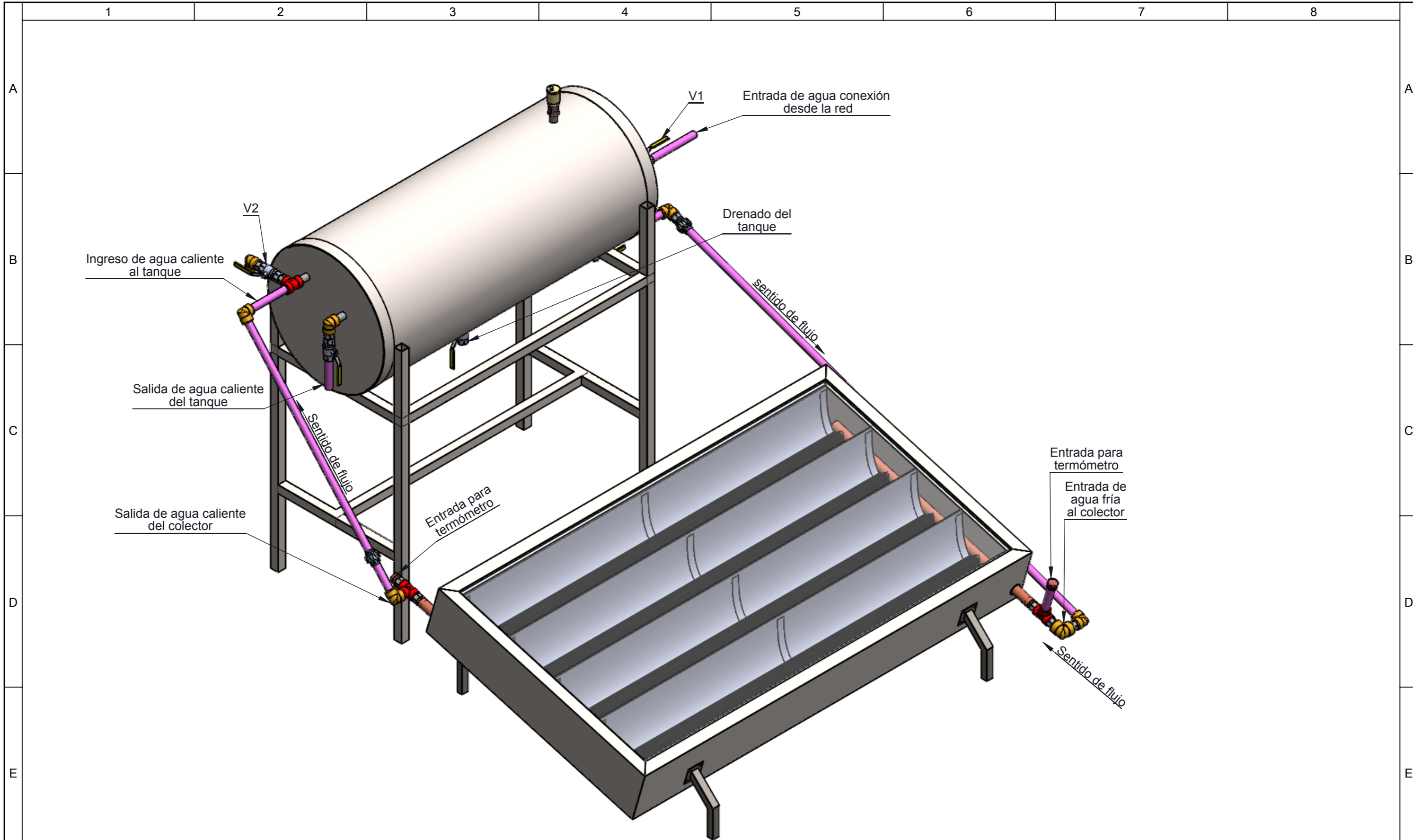


Recomendaciones de montaje:	
1.	Aislar las tuberías de circulación del agua.
2.	Sellar las conexiones de válvulas y tuberías apropiadamente.
3.	Utilice la herramienta adecuada para evitar dañar las conexiones.

No. de orden	Denominación	No. de dibujo	Material	No. de piezas	Peso kg/pieza	Observaciones
15	Tubería	15	Polipropileno	1	2	Ø 1/2"
14	Te	14	Polipropileno	3	0.065	Ø 1/2"
13	Reducción Cu	13	Cobre	2	0.07	de 1" a 1/2"
12	Válvula check	12	Bronce	1	0.16	Ø 1/2"
11	Válvula de alivio de aire	11	Bronce	1	0.16	Ø 1/2"
10	Unión	10	Polipropileno	1	0.06	Ø 1/2"
9	Válvula de bola	9	Varios	5	0.15	1/2v - Ø 1/2"
8	Universal	8	Polipropileno	2	0.09	Ø 1/2"
7	Neplo corto	7	Polipropileno	10	0.06	Ø 1/2"
6	Codo de 90°	6	Polipropileno	8	0.06	Ø 1/2"
5	Pata soporte posterior	5	Acero ASTM A500 - Galv.	2	0.42	Tubo Cuadrado 25x25x1.5
4	Pata soporte frontal	4	Acero ASTM A500 - Galv.	2	0.25	Tubo Cuadrado 25x25x1.5
3	Tanque de almacenamiento	3	Varios	1	45	
2	Estructura tanque de almacenamiento	2	Acero ASTM A500 - Galv.	1	17	Tubo Cuadrado 30x30x1.5
1	Caja colectora	1	Varios	1	51	

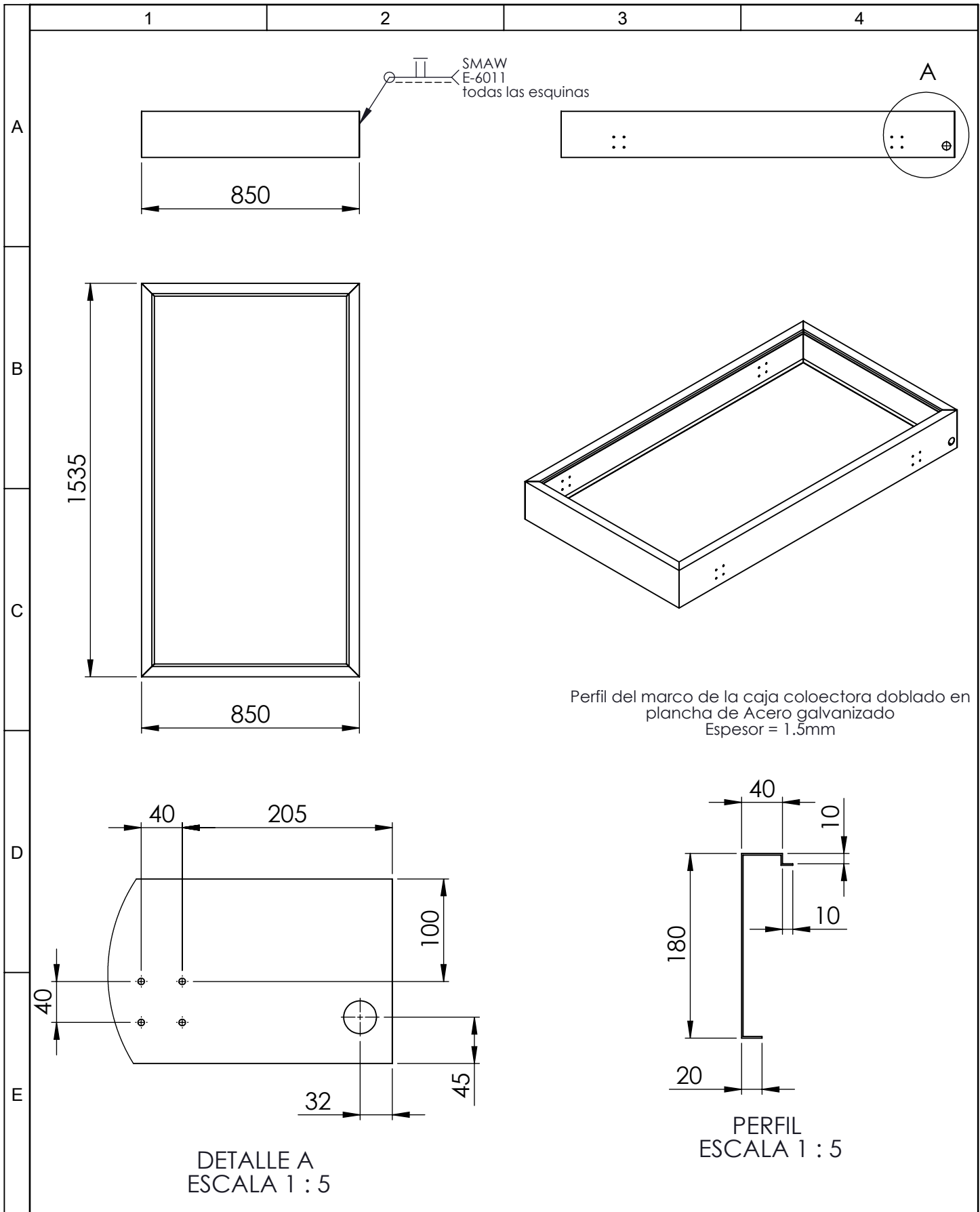
Tolerancia		(Peso)		Materiales:	
±2		118 Kg		Varios	
Fecha		Nombre		Denominación:	
10/01/15		Guanoluisa S.		COLECTOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO	
Revisó:		Ing. Mayorga A.		Escala:	
25/02/15		Ing. Mayorga A.		1:10	
Aprobó:		Ing. Mayorga A.		Número del dibujo: 01	
		UTA		(Sustitución)	
		Ing. Mecánica			

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

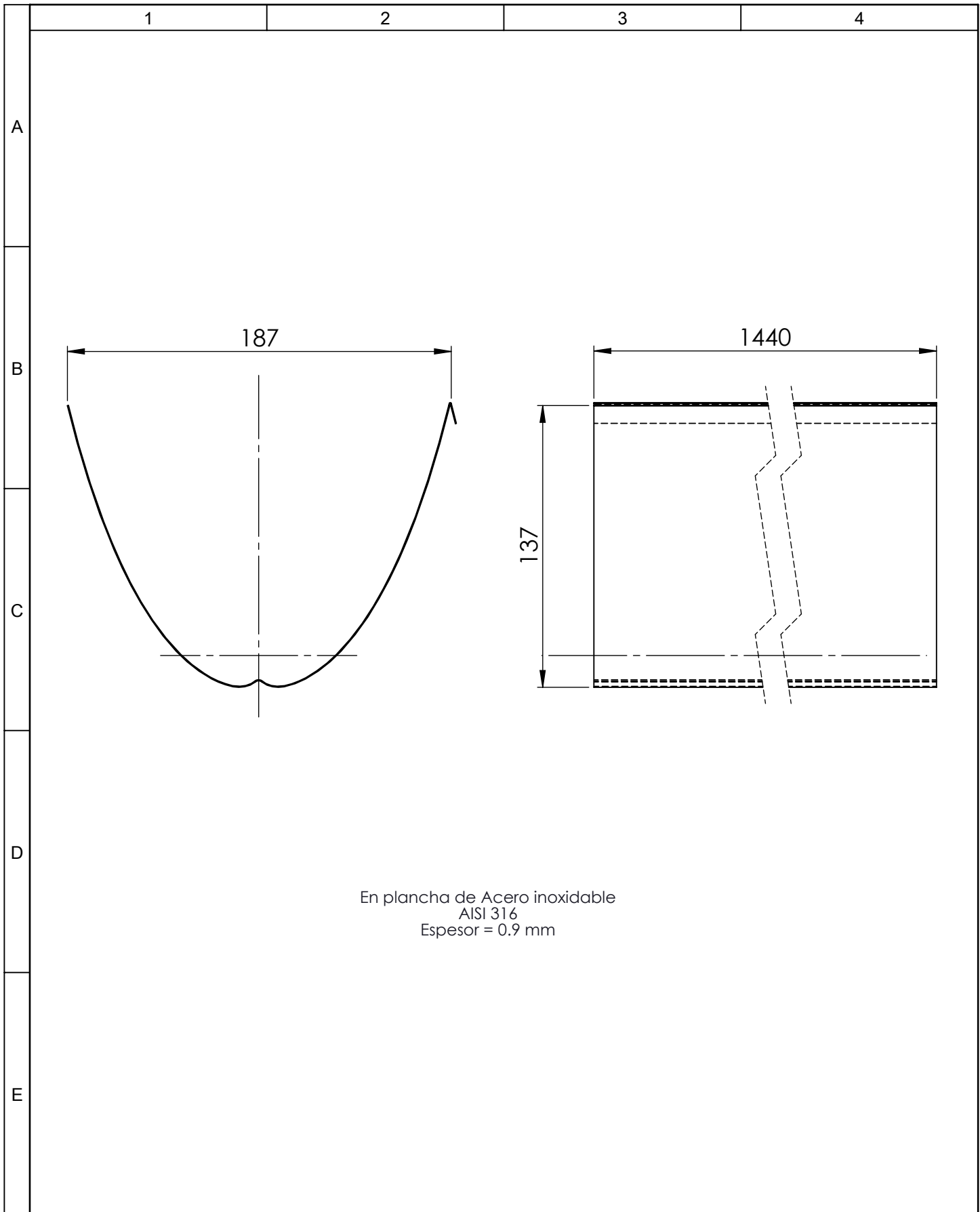


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±2	118 kg	Varios	
					Fecha	Nombre	Denominación: COLECTOR SOLAR PARABÓLICO COMPUESTO
				Dibujó:	22/02/11	Guanoluisa S.	
				Revisó:	05/03/11	Ing. Mayorga S.	
				Aprobó:	05/03/15	Ing. Mayorga S.	Número del dibujo: 02
				UTA Ing. Mecánica		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Escala: 1:10

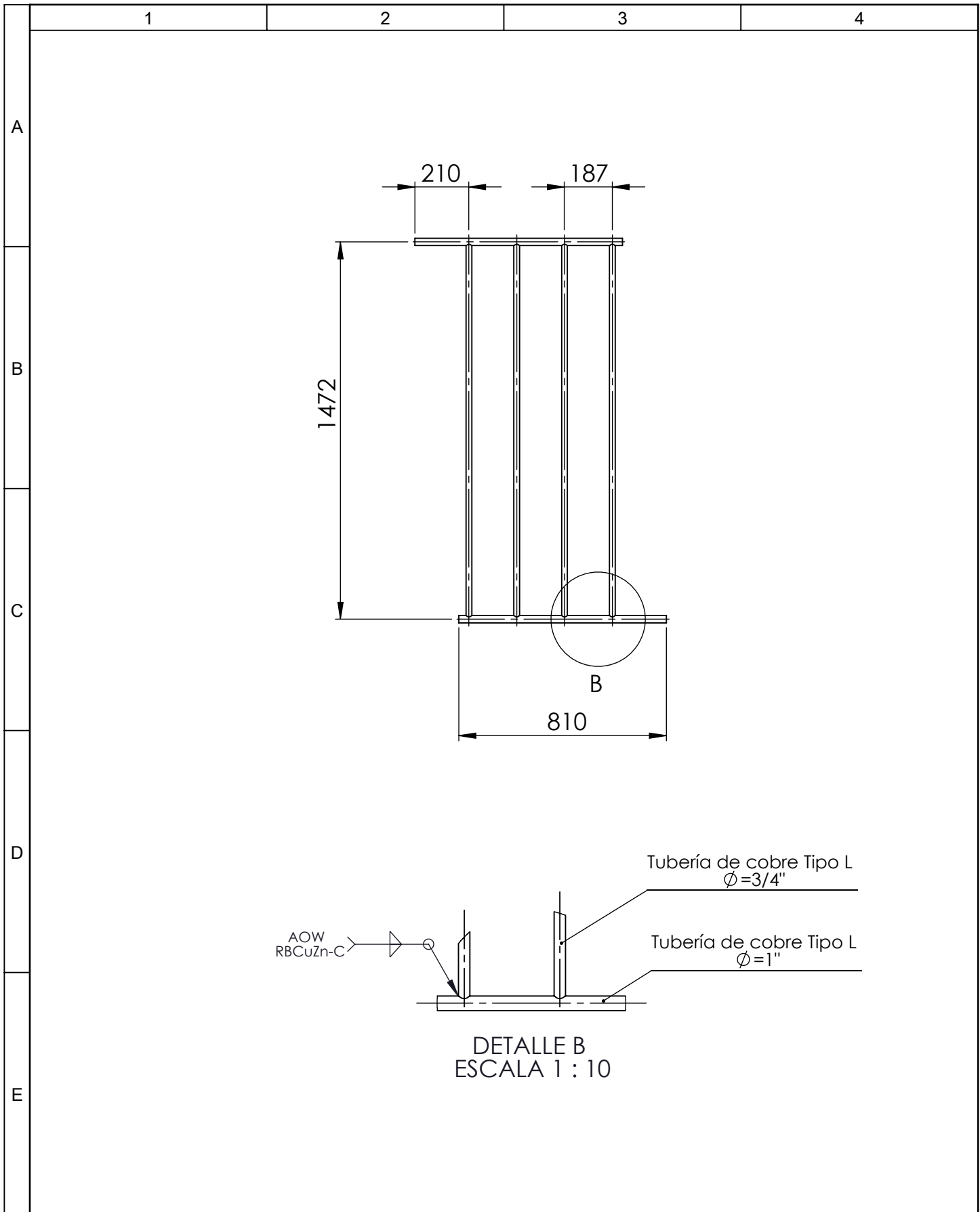
F

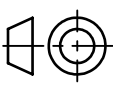


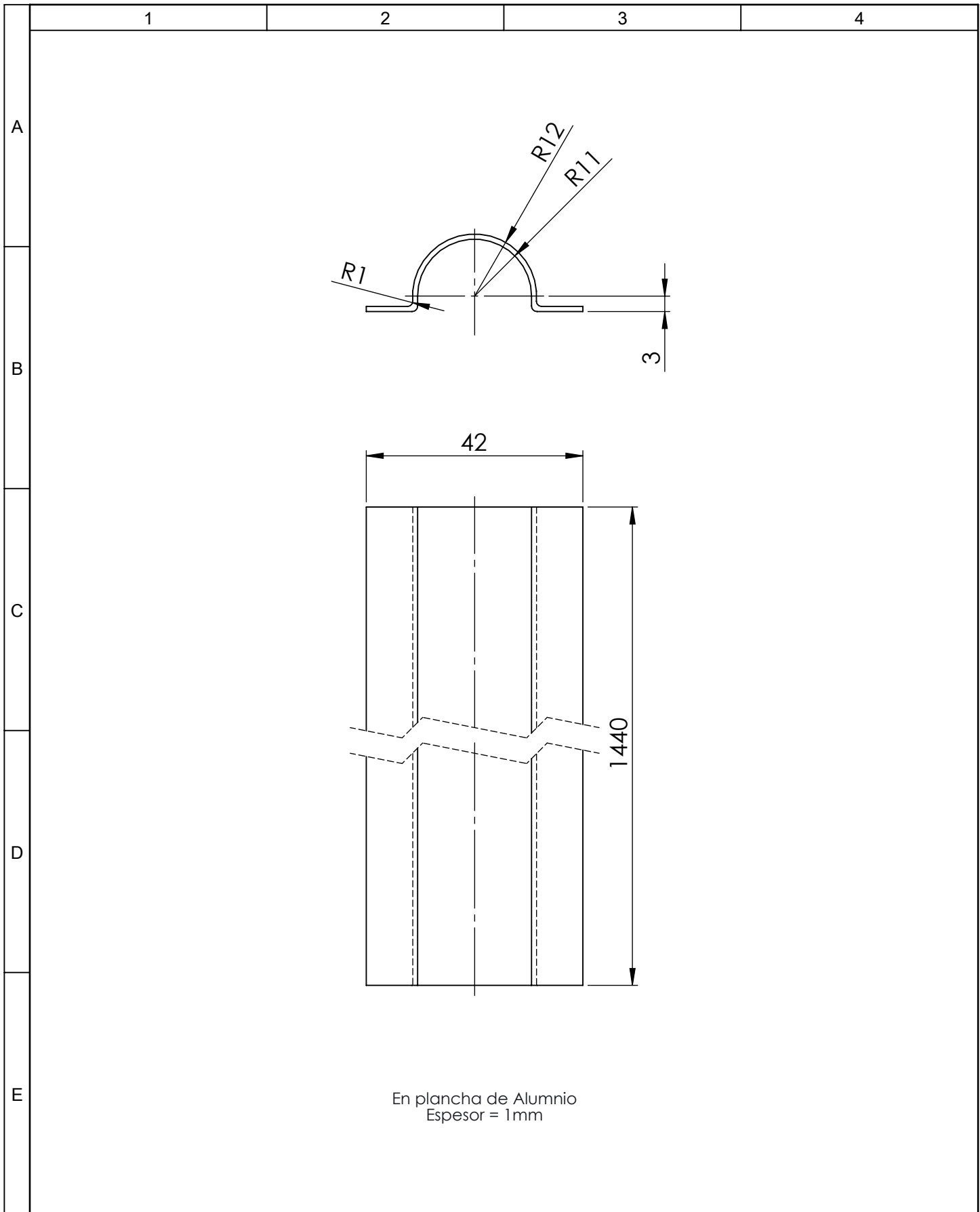
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	14 Kg	Acero ASTM A500 - Galvanizado	
				Fecha	Nombre	Denominación: MARCO CAJA COLECTORA	Escala: 1:20
				Dibujó: 15/15/15	Guanoluisa S.		
				Revisó: 25/02/15	Ing. Mayorga A.		
				Aprobó: 25/02/15	Ing. Mayorga A.	Número del dibujo: 04	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ing. Mecánica		(Sustitución)	

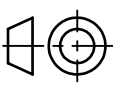


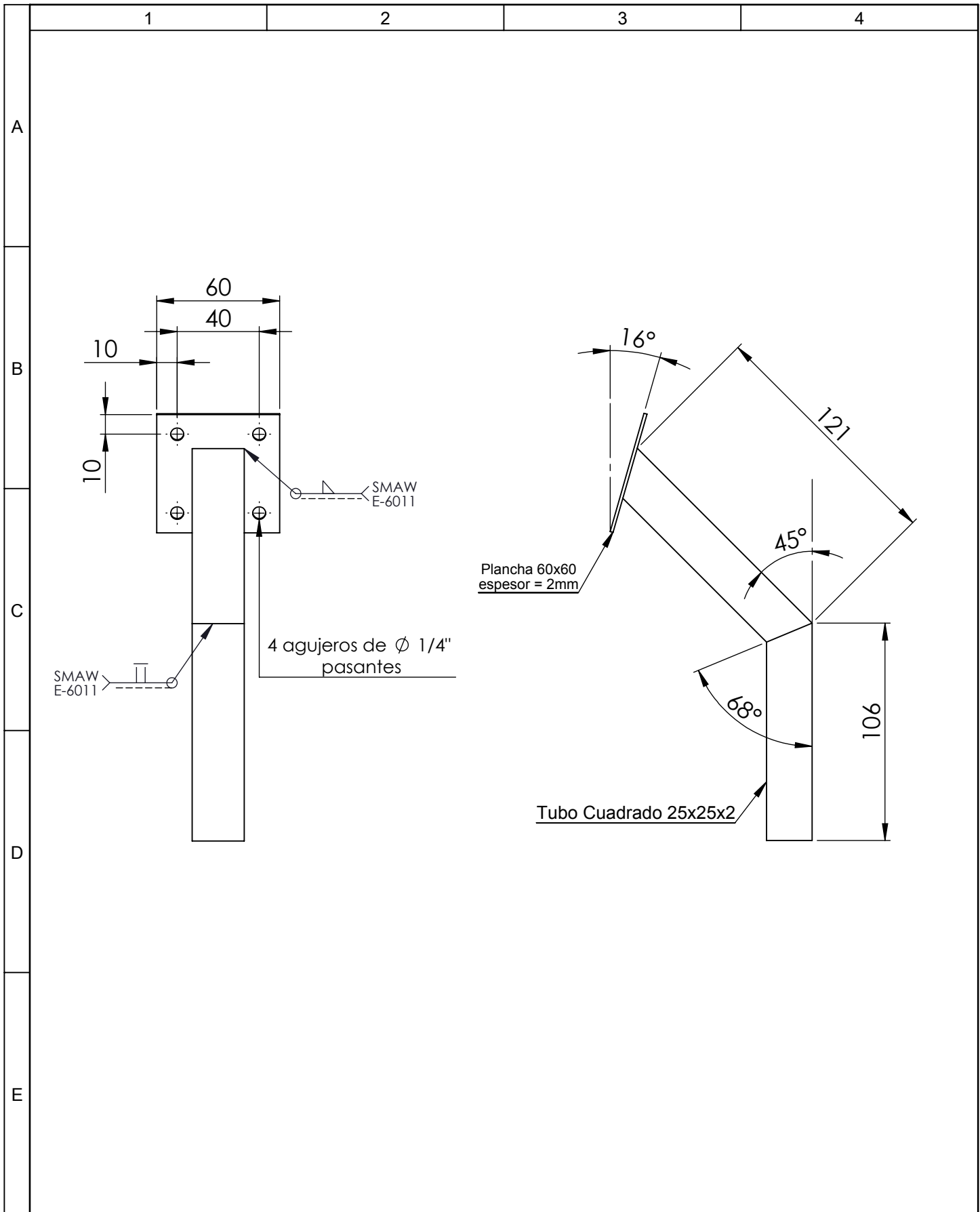
					Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
					±1	2.5Kg	Acero AISI 316		
					Fecha	Nombre	Denominación: REFLECTOR		Escala: 1:2.5
				Dibujó:	10/01/15	Guanoluisa S.			
				Revisó:	25/02/15	Ing. Mayorga A.			
					Aprobó:	25/02/15	Ing. Mayorga A.	Número del dibujo: 05	
				UTA Ing. Mecánica			(Sustitución)		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						



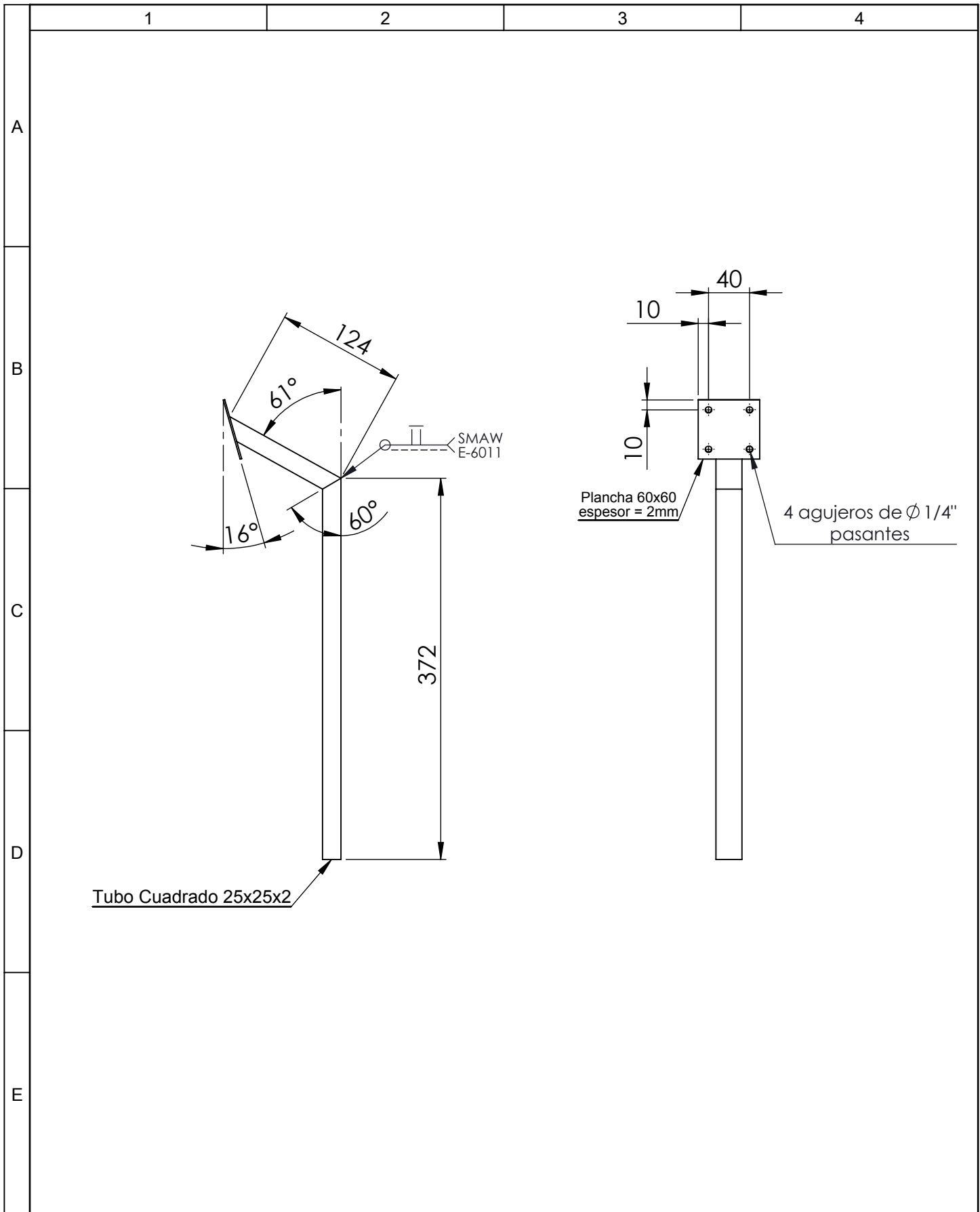
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	7.5 Kg	Cobre	
				Fecha	Nombre	Denominación: SERPENTÍN	Escala: 1:20
				Dibujó: 10/01/15	Guanoluisa S.		
				Revisó: 25/02/15	Ing. Mayorga A.		
				Aprobó: 25/02/15	Ing. Mayorga A.		
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 06	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



					Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
					±1	0.2 Kg	Aluminio		
					Fecha	Nombre	Denominación:		Escala:
					Dibujó: 10/01/15	Guanoluisa S.	ALETA ABSORBEDORA		1:1
					Revisó: 25/02/15	Ing. Mayorga A.			
					Aprobó: 25/02/15	Ing. Mayorga A.			
					UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 07		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)			



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	0.4 Kg	Acero ASTM A500 - Galvanizado	
				Fecha	Nombre	Denominación: PATA FRONTAL	Escala: 1:2.5
			Dibujó:	10/01/15	Guanoluisa S.		
			Revisó:	25/02/15	Ing. Mayorga A.		
				Aprobó:	25/02/15	Ing. Mayorga A.	
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 08	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

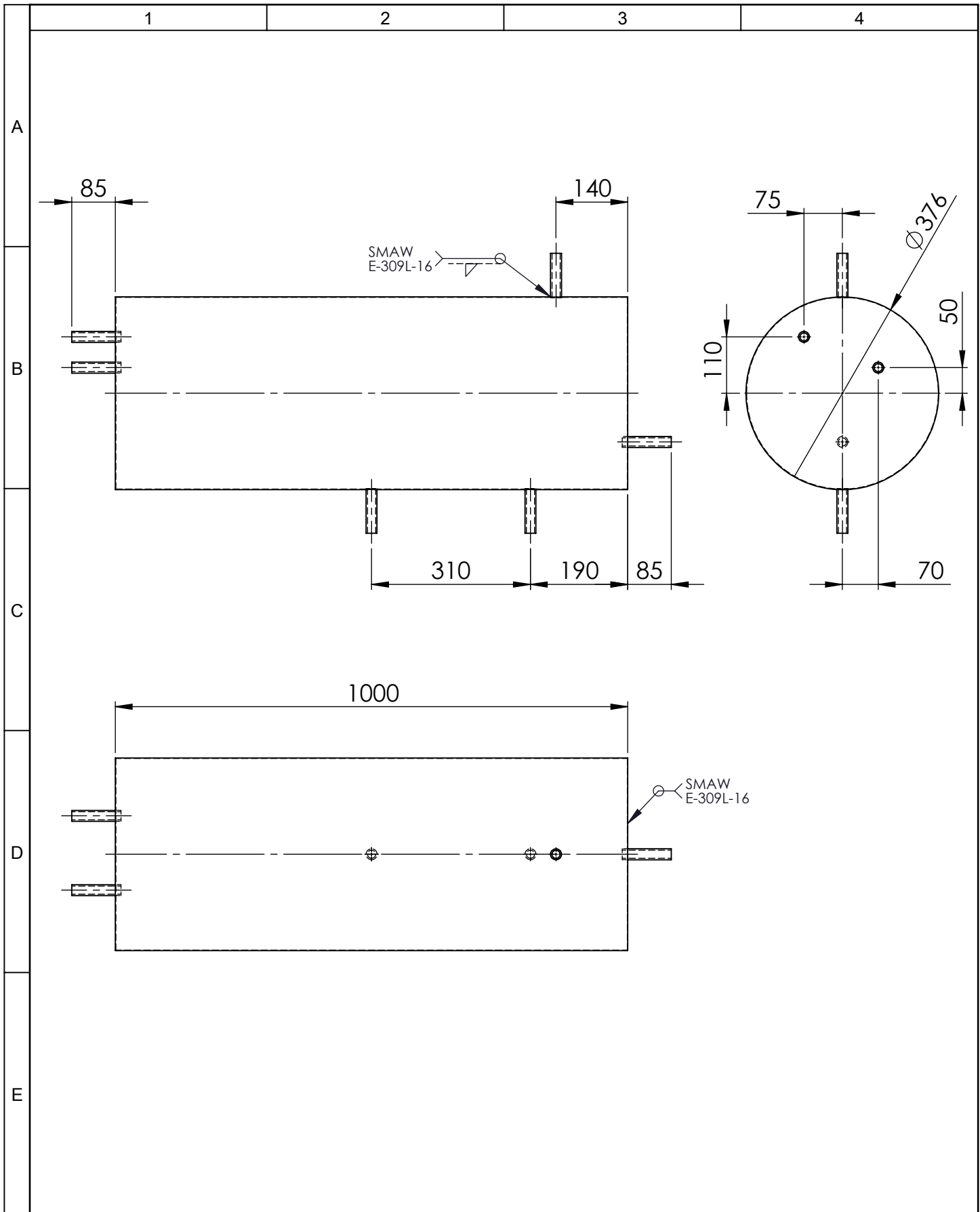


Tubo Cuadrado 25x25x2

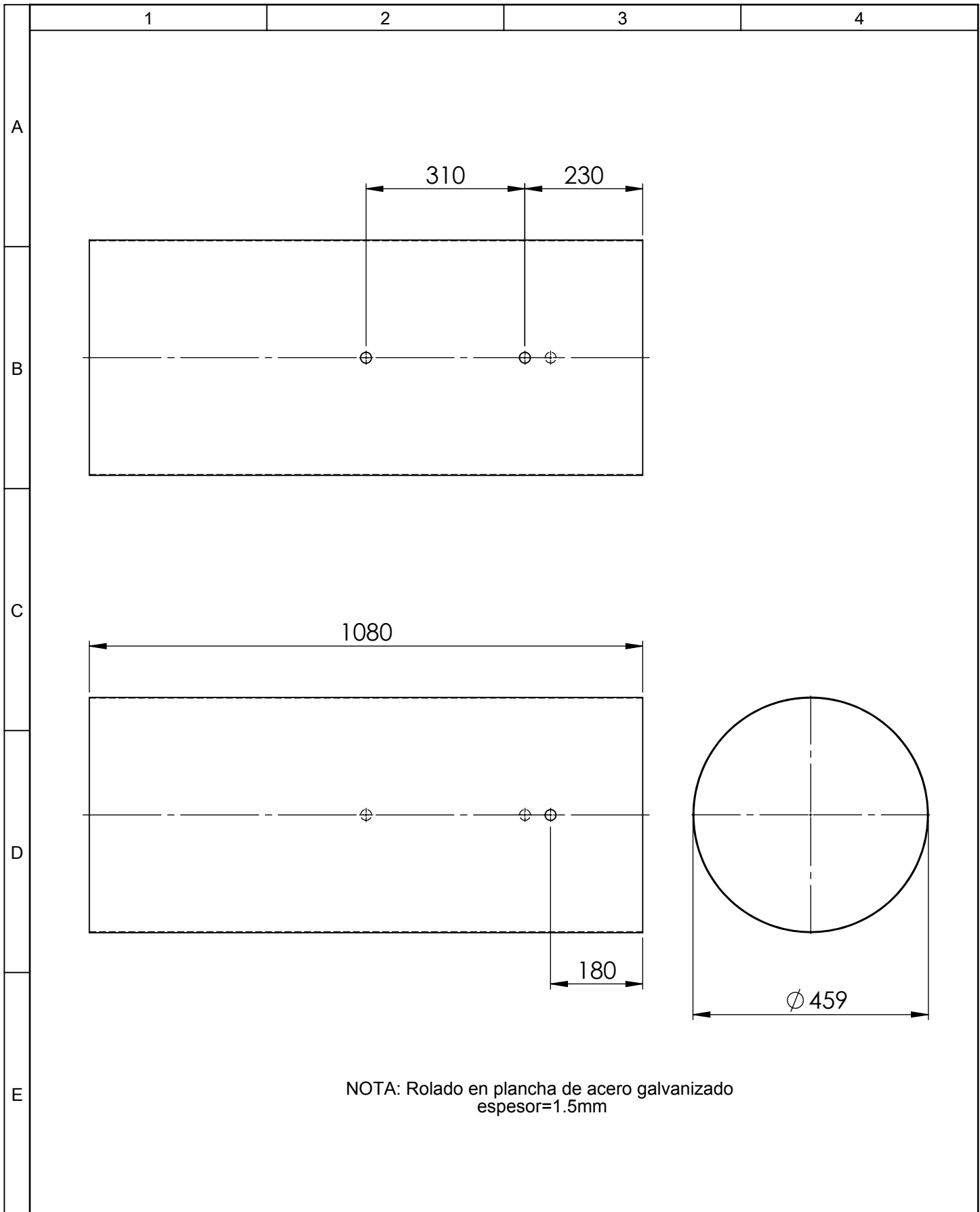
Plancha 60x60
espesor = 2mm

4 agujeros de ϕ 1/4"
pasantes

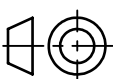
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	0.6 Kg	Acero ASTM A500 - Galvanizado	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	10/01/15	Guanoluisa S.		
			Revisó:	25/02/15	Ing. Mayorga A.		
				Aprobó:	25/02/15	Ing. Mayorga A.	1:5
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo:	09
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

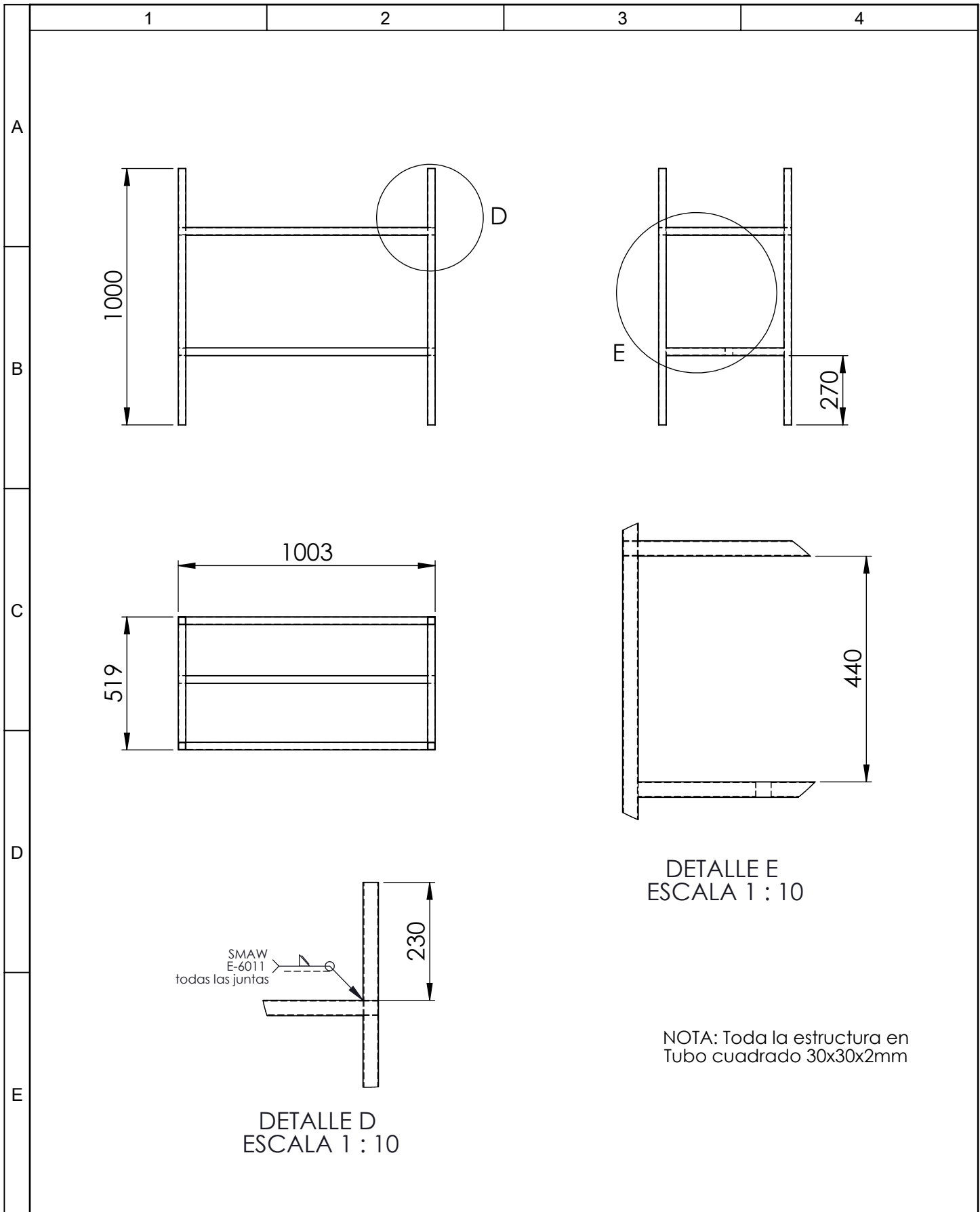


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				± 1	17 Kg	Acero AISI 304	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	10/01/15	Guanoluisa S.		
			Revisó:	25/02/15	Ing. Mayorga A.		
				Aprobó:	25/02/15	Ing. Mayorga A.	1:10
				UTA		Número del dibujo:	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Ing. Mecánica		11	
						(Sustitución)	



NOTA: Rolado en plancha de acero galvanizado
 espesor=1.5mm

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	14 Kg	Acero ASTM A500 - Galvanizado	
				Fecha	Nombre	Denominación: TANQUE EXTERNO	Escala: 1:10
			Dibujó:	10/01/15	Guanoluisa S.		
			Revisó:	25/02/15	Ing. Mayorga A.		
				Aprobó:	25/02/15	Ing. Mayorga A.	
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 12	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



DETALLE E
ESCALA 1 : 10

NOTA: Toda la estructura en
Tubo cuadrado 30x30x2mm

SMAW
E-6011
todas las juntas

DETALLE D
ESCALA 1 : 10

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	17 Kg	Acero ASTM A500 - Galvanizado	
				Fecha	Nombre	Denominación: ESTRUCTURA TANQUE ALMACENAMIENTO	Escala: 1:20
				Dibujó: 10/01/15	Guanoluisa S.		
				Revisó: 25/02/15	Ing. Mayorga A.		
				Aprobó: 25/02/15	Ing. Mayorga A.	Número del dibujo: 14	
				UTA Ing. Mecánica		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			