

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA



CARRERA DE INGENIERIA MECANICA

Trabajo Estructurado de Manera Independiente, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico

TEMA:

INFLUENCIA DEL ESTUDIO DE LA TECNOLOGIA DE VACIO EN TUBOS SOBRE LA EFICIENCIA PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA USANDO LA ENERGIA SOLAR.

AUTOR:

Egdo. Victor Manuel Salcedo Cobo

TUTOR:

Ing. Santiago Paúl Cabrera Anda, Mg.

AMBATO – ECUADOR

Septiembre 2011

CERTIFICACION

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación, bajo el tema “ INFLUENCIA DEL ESTUDIO DE LA TECNOLOGIA DE VACIO EN TUBOS SOBRE LA EFICIENCIA PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA USANDO LA ENERGIA SOLAR”, desarrollado por el estudiante Víctor Manuel Salcedo Cobo, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos suficientes para ser sometidos a la evaluación del tribunal examinador designado por el Consejo Directivo de esta Facultad.

Ambato, Septiembre del 2011

EL TUTOR

.....

Ing. Santiago Paúl Cabrera Anda, Mg.

AUTORIA DEL TRABAJO DE GRADO

Declaro que los criterios expresados en la investigación denominada “INFLUENCIA DEL ESTUDIO DE LA TECNOLOGIA DE VACIO EN TUBOS SOBRE LA EFICIENCIA PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA USANDO LA ENERGIA SOLAR”, así como también las ideas, análisis, conclusiones y propuesta original es autenticas y de exclusiva responsabilidad de mi persona como autor del presente investigación de grado.

Ambato, Septiembre del 2011

EL AUTOR

.....

Egdo. Víctor Manuel Salcedo Cobo

C.I. 180411685-1

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a Dios, a mi madre Mercedes, a mi padre Víctor, a mi esposa Zulay, a mi hermano Julio, a mis hermanas Mónica y Adriana; quienes siempre han estado apoyándome para lograr mis objetivos; por su gran apoyo y colaboración durante todo el tiempo que impulsaron mi superación personal y profesional con amor y paciencia.

Víctor Manuel Salcedo Cobo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por el esfuerzo realizado para darme la oportunidad de estudiar y poder culminar con los estudios de mi carrera; ya que me apoyaban permanentemente durante toda mi vida de estudiante. A mi esposa Zulay, mi hermano, a mis hermanas, a mis suegros, a mí cuñado y cuñada por impulsarme a culminar mis estudios.

Al Ing. Santiago Cabrera tutor de la presente tesis por compartir sus conocimientos y brindar su apoyo en todo el tiempo del desarrollo del presente trabajo de investigación.

A todos los profesores que con esfuerzo y dedicación impartieron todos sus conocimientos en cada clase impartida y por su amistad brindada.

INDICE

A. PAGINAS PRELIMINARES

Página de portada.....	I
Página de aprobación por el tutor.....	II
Página de auditoría de la tesis.....	III
Página de dedicatoria.....	IV
Página de agradecimiento.....	V
Índice general de contenido.....	VI
Índice de tablas.....	XI
Índices de figuras y gráficas.....	XII
Simbología.....	XIV
Resumen ejecutivo.....	XX

B. TEXTO

CAPITULO 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
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes investigativos.....	6
2.2 Fundamentación filosófica.....	8
2.3 Fundamentación teórica.....	8
2.3.1 Miscelánea de ecuaciones.....	8
2.3.2 Mecanismos de transferencia de calor.....	10
2.3.3 Mecánica de fluidos.....	19
2.3.4 Diseño de elementos Mecánicos.....	23

2.3.5 El calentador solar de agua.....	24
2.3.6 Tipos de colectores.....	27
2.3.7 Tipos de tanques térmicos.....	36
2.3.8 Diferencias entre un sistema de placas planas y tubos de vidrio al vacío.....	36
2.3.9 Red de Categorías Fundamentales.....	39
2.4 Hipótesis.....	39
2.5 Señalamiento de Variables de la Hipótesis.....	40
2.5.1 Variable Independiente.....	40
2.5.2 Variable Dependiente.....	40

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1 Enfoque.....	41
3.2 Modalidad Básica de la Investigación.....	41
3.2.1 Bibliográfica.....	41
3.2.2 Experimental.....	41
3.3 Nivel o Tipo de Investigación.....	41
3.3.1 Exploratorio.....	42
3.3.2 Descriptivo.....	42
3.3.3 Asociación de variables.....	42

3.4 Operacionalización de Variables.....	42
3.5 Plan de recolección de la información.....	45
3.5.1 Estudio de estado transitorio.....	45
3.6 Plan de procesamiento de la información.....	45

CAPITULO IV

ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

4.1 Análisis de los resultados.....	46
4.1.1 Calentamiento del agua.....	46
4.1.2 Determinación de la eficiencia global de Calentador.....	50
4.2 Interpretación de datos.....	51
4.3 Verificación de la hipótesis.....	53

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.....	55
5.2 Recomendaciones.....	56

CAPITULO VI

PROPUESTA

6.1 Datos Informativos.....	57
6.2 Antecedentes de la propuesta.....	57

6.2.1 Parámetros de diseño.....	57
6.3 Justificación.....	58
6.4 Objetivos.....	58
6.5 Análisis de factibilidad.....	58
6.5.1 Análisis técnico.....	58
6.5.2 Económico – Financiero.....	58
6.6. Fundamentación.....	62
6.6.1 Cálculos térmicos.....	62
6.6.2 Cálculos Mecánicos.....	80
6.6.3 Visualización de distribución de temperaturas en el tubo al vacío en estado estable.....	85
6.7 Metodología.....	87
6.7.1 Construcción.....	88
6.7.2 Instrumentos utilizados.....	92
6.8 Administración.....	94
6.8.1 Montaje del calentador solar de tubos al vacío.....	94
6.8.2 Pasos a realizar en las pruebas de calentamiento de agua.....	94
6.9 Previsión de la evaluación.....	95
6.9.1 Plan de mantenimiento.....	95

INDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Valores típicos de coeficiente de convección.....	14
Tabla 4-1 Calentamiento de agua.....	47
Tabla 4-2 Energía almacenada.....	48
Tabla 4-3 Eficiencia instantánea.....	49
Tabla 6-1 Datos generales de la propuesta.....	57
Tabla 6-2 Costo de materiales para la estructura del calentador.....	59
Tabla 6-3 Costo de materiales para el termotanque.....	59
Tabla 6-4 Costo de materiales para la placa reflectora.....	60
Tabla 6-5 Costo de mano de obra.....	61
Tabla 6-6 Costo de los tubos al vacío y equipos.....	61
Tabla 6-7 Costo final del calentador solar de tubos al vacío.....	62
Tabla 6-8 Datos para cálculo de pérdidas de calor en el tubo al vacío.....	63
Tabla 6-9 Datos para cálculo del calentamiento del agua.....	73
Tabla 6-10 Datos para cálculo del calentador.....	78
Tabla 6-11 Datos del termotanque.....	88
Tabla 6-12 Datos de la estructura del calentador.....	90

Tabla 6-13 Datos de la placa reflectora.....	91
---	----

INDICE DE FIGURAS Y GRAFICAS

Figura 2-1 Calentador solar de placa plana.....	7
Figura 2-2 Proceso de conducción.....	11
Figura 2-3 Proceso de convección.....	13
Figura 2-4 Representación de la descomposición de la radiación solar global en sus componentes directa y difusa.....	18
Figura 2-5 Velocidad de flujo másico.....	21
Figura 2-6 Velocidad de flujo de volumen.....	21
Figura 2-7 Tanque de almacenamiento.....	24
Figura 2-8 Calentador de agua complementado con los sistemas convencionales...25	
Figura 2-9 Funcionamiento de un calentador solar de agua.....	26
Figura 2-10 Colectores de placa plana.....	27
Figura 2-11 Colector de serpentín y colector de tubos paralelos.....	28
Figura 2-12 Componentes de un colector solar plano.....	29
Figura 2-13 Tubo de vidrio al vacío.....	30
Figura 2-14 Características del tubo de vidrio al vacío.....	31
Figura 2-15 Colector de tubos al vacío.....	32

Figura 2-16 Tubo al vacío con capa de bario.....	33
Figura 2-17 Comparación entre un tubo al vacío intacto y un defectuoso.....	34
Figura 2-18 Componentes de un calentador solar con tubos al vacío.....	35
Figura 2-19 Tipos de tanques de acuerdo a su posicionamiento y funcionamiento...36	
Figura 2-20 Aprovechamiento de la radiación solar por un sistema de placas planas y tubos de vidrio al vacío.....	37
Figura 2-21 Eficiencia de un colector solar plano y de tubos al vacío.....	38
Gráfica 4-1 Variación de temperatura del agua almacenada.....	51
Gráfica 4-2 Variación de energía almacenada en el termotanque.....	52
Gráfica 4-3 Variación de la eficiencia instantánea.....	53
Figura 6-1 Esquema del tubo al vacío.....	62
Figura 6-2 Circuito térmico equivalente del tubo al vacío.....	64
Figura 6-3 Circuito térmico equivalente simplificado del tubo al vacío.....	67
Figura 6-4 Diagrama del termotanque.....	69
Figura 6-5 Circuito térmico equivalente del termotanque.....	70
Figura 6-6 Calentamiento del agua mediante la radiación solar.....	72
Figura 6-7 Diagrama de estructura del calentador solar.....	82
Figura 6-8 Diagrama de cuerpo libre de la estructura.....	83
Figura 6-9 Diagrama de cuerpo libre de la columna.....	84
Figura 6-10 Partes principales del tubo al vacío.....	85

Figura 6-11 Distribución de temperaturas en el tubo al vacío.....	85
Figura 6-12 Visualización de temperaturas en el tubo al vacío y la superficie absorbente.....	86
Figura 6-13 Identificación de temperaturas en el tubo externo, tubo interno y superficie absorbente.....	86
Figura 6-14 Calentador solar de tubos al vacío.....	87
Figura 6-15 Termotanque del calentador.....	89
Figura 6-16 Tomas de agua.....	89
Figura 6-17 Colocación del sensor de temperatura.....	90
Figura 6-18 Estructura del calentador.....	91
Figura 6-19 Placa Reflectora.....	92
Figura 6-20 Sensor de nivel de agua y de temperatura.....	92
Figura 6-21 Piranómetro.....	93
Figura 6-22 Anemómetro.....	93

SIMBOLOGIA

A_{col}	Área del colector [m ²]
$A_{c_{tubo}}$	Área transversal del tubo interior [m ²]
A_{ef}	Área efectiva [m ²]

A_g	Área de la sección utilizada [m ²]
A_s	Área de la superficie [m ²].
$A_{s_{\text{tubo}}}$	Área de la superficie del tubo interno [m ²]
C_p	Calor específico del agua [KJ/Kg. °C]
$D_{e_{\text{ais}}}$	Diámetro externo del aislamiento [m]
$D_{e_{\text{tanq}}}$	Diámetro externo del tanque [m]
$D_{i_{\text{tanq}}}$	Diámetro interno del tanque [m]
D_2	Diámetro interno del tubo interno [m]
D_3	Diámetro externo del tubo interno [m]
D_5	Diámetro externo del tubo externo [m]
e_T	Espesor del tanque [mm]
F_a	Presión permisible [MPa]
G_{solar}	Radiación solar incidente en el colector [W/m ²]
h	Altura del agua [m]
h_{conv}	Coefficiente de convección [W/°C]
h_{rad}	Coefficiente de radiación [W/°C]
$h_{\text{rad-v}}$	Coefficiente de radiación en el vacío [W/°C]
k	Factor de restricciones de columnas

K_{placa}	Conductividad térmica de la placa [W/m°C]
K_{vidrio}	Conductividad térmica del vidrio [W/m°C]
L	Longitud de la columna [m]
L_t	Longitud del tubo para captación solar [m]
L_{ta}	Longitud del tubo para llenado del agua [m]
L_{tanq}	Longitud del tanque [m]
m_{agua}	Masa del agua [Kg]
\dot{m}_{agua}	Velocidad de flujo másico en el tubo [kg/seg]
\dot{m}_{Ta}	Velocidad de flujo másico total [kg/seg]
n	Factor de seguridad
N_{tubos}	Números de tubos
P_{Hagua}	Presión hidrostática [Pa]
$P_{Permisible}$	Fuerza permisible [N]
Q_{alm}	Calor almacenado en el colector [KJ]
Q_{inc}	Calor incidente en el colector [W]
Q_{nec}	Calor necesario para calentamiento del agua [J]
Q_{rad}	Pérdidas de calor en el tubo al vacío [W]
Q_{sale}	Pérdidas de calor en el termotanque [W]

Q_{util}	Calor útil del colector [W]
r	Radio de giro [m]
r_1	Radio interno de la placa de absorción [m]
r_2	Radio interno del tubo interno [m]
r_3	Radio externo del tubo interno [m]
r_4	Radio interno del tubo externo [m]
r_5	Radio externo del tubo externo [m]
R_T	Resistencia térmica total [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]
R_1	Resistencia térmica de convección [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]
R_2	Resistencia térmica de radiación [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]
R_3	Resistencia térmica de conducción [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]
R_4	Resistencia térmica de radiación en el vacío [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]
S_y	Límite de fluencia [Pa]
t	Tiempo necesario para calentamiento del agua en el tubo [seg.]
t_{Tc}	Tiempo total para calentamiento del agua [seg.]
T_a	Temperatura ambiente [K]
T_{cielo}	Temperatura del cielo [K]

T_f	Temperatura final del agua [°C]
T_i	Temperatura inicial del agua [°C]
T_{placa}	Temperatura de la placa de absorción [°C]
T_1	Temperatura externa del tubo externo [K]
T_2	Temperatura externa del tubo interno [K]
T_3	Temperatura interna del tubo interno [K]
v_{agua}	Velocidad media del agua en el tubo [m/seg]
v_v	Velocidad del viento [m/seg.]
V_{agua}	Volumen del agua en el tubo al vacío [m ³]
\dot{V}_{agua}	Velocidad de flujo de volumen en el tubo [m ³ /seg]
V_o	Volumen del tanque [m ³]
\dot{V}_{Ta}	Velocidad de flujo de volumen total [m ³ /seg]

Letras griegas

α	Coefficiente de absorción de la placa
β	Ángulo del arco
ϵ_v	Emisividad del vidrio

ϵ_p	Emisividad de la placa de absorción
γ_{agua}	Peso específico del agua [N/m ³]
τ	Transmisibilidad del vidrio del tubo
η_{col}	Eficiencia del colector solar
ρ_{agua}	Densidad del agua [Kg/m ³]
σ_t	Esfuerzo tangencial [Pa]

RESUMEN EJECUTIVO

Este proyecto fue enfocado al estudio de la eficiencia en los calentadores solares de tubos al vacío, para de esta manera comparar con la eficiencia de los calentadores tradicionales de serpentín o paralelos. Otra de las razones por lo que se investiga la influencia que tiene la utilización del vacío es de evaluar las temperaturas que puede alcanzar el agua almacenada.

Otro motivo para la realización de este estudio fue el interés de investigar un nuevo sistema que permite tener un mayor aprovechamiento de la energía solar y evitar que la energía almacenada se pierda en cantidades considerables una vez que las condiciones climatológicas cambien repentinamente, es decir haya presencia de viento o lluvia.

Con las conclusiones obtenidas de este estudio en el capítulo cinco se puede determinar que con el uso de la tecnología de vacío se logra calentar una cantidad de agua considerable y se alcanza una temperatura satisfactoria de aproximadamente 62 ° C, para alcanzar esta temperatura se necesita de un tiempo de seis horas y se logra almacenar una energía útil de aproximadamente 1854,61 W.

Es por este motivo que se propone el diseño y construcción de un calentador solar de tubos al vacío para poder evaluar su eficiencia, la cual fue de aproximadamente del 81,8 %, con estos resultados obtenidos se puede comprobar que los calentadores con tecnología de vacío son superiores a los calentadores convencionales.

CAPITULO I

PROBLEMA

1.1 Tema

Influencia del estudio de la tecnología de vacío en tubos sobre la eficiencia para el calentamiento de agua usando la energía solar.

1.2 Planteamiento del Problema

1.2.1 Contextualización

En varios países del mundo como España, México, Japón, China y Estados Unidos se ha optado por investigar nuevas formas de captación de energía solar con sistemas más eficientes, que permite recibir una mayor cantidad de energía variando la superficie de captación de energía de plana a cilíndrica ya que los rayos del sol siempre esta impactando a los tubos en un ángulo que es perpendicular a su superficie, esto reduce la reflexión de manera que maximiza la cantidad total de radiación solar a la que los colectores están expuestos cada día. A más de lo mencionado se ha investigado la manera de evitar las pérdidas que se dan por conducción y convección.

Es por esta razón que en los países mencionados se tiene un gran porcentaje de utilización de estos equipos, ya que ofrecen grandes ventajas sobre los calentadores convencionales.

En el Ecuador la mayoría de centros de educación superior no se ha optado por realizar nuevos estudios para tener una mejor captación de la energía solar para el uso de calentamiento de agua ya que el único sistema que se ha venido estudiando son aquellos que únicamente funcionan eficazmente cuando tienen los rayos solares directamente y la temperatura ambiente es alta.

Es por esta razón que estos no tienen un buen funcionamiento y son afectados por viento o bruma, los mismos con superficie plana únicamente absorben los rayos solares perpendicularmente solamente a medio día, durante un mínimo tiempo en la mañana y en la tarde son captados, resultado en energía desaprovechada.

En nuestra ciudad, Ambato, en la universidad se ha seguido estudiando los calentadores solares convencionales de placa plana los cuales funcionan solo cuando los rayos solares son directos, en los que se tiene mayor pérdidas de calor cuando la temperatura ambiente baja ya que se tiene pérdida por conducción y convección, no permiten que la eficiencia de estos sistemas sea alta y satisfactoria.

Se puede decir que la utilización del vacío para el calentamiento del agua mediante la utilización de energías convencionales, no ha sido estudiada como en otros países, es por eso que no ha existido mucho interés en esta clase de equipos térmicos.

1.2.2 Análisis Crítico

En la actualidad el problema que se tiene es que los calentadores solares convencionales no son muy efectivos y pierden una gran cantidad de energía cuando el día se encuentra nublado ya que el aire existen en la placa permite que haya pérdidas mayores.

La energía solar puede ser aprovechada de una mejor manera utilizando la tecnología de vacío, ya que se investigará para ver si se puede tener un mejoramiento en el rendimiento de los calentadores de agua y de esta manera se podrá lograr que el agua alcance temperaturas más elevadas que las temperaturas alcanzadas con los calentadores comunes.

Por lo mencionado anteriormente es importante buscar y proponer soluciones adecuadas para tener un mayor beneficio de la energía solar la cual está disponible naturalmente y así poder garantizar una mayor eficiencia en los sistemas de los calentadores.

1.2.3 Prognosis

El desarrollo de esta investigación es necesaria ya que se hará un estudio sobre un nuevo sistema que reduzca las pérdidas de calor y mejore la captación de energía solar en una mayor proporción, ya que siendo los tubos al vacío redondos los rayos solares siempre permanecen perpendiculares a su superficie reduciendo de esta manera la reflexiones lo cual ayudara a mejorar la eficiencia de los calentadores.

Por lo cual es importante su desarrollo, ya que si no se la realiza, no se podrá comprobar si el calentador con tubos al vacío es más eficiente que calentador convencional y de esta forma nos ayudará a mejorar estos sistemas de calentamiento para de esta manera poder aprovechar la energía solar disponible.

1.2.4 Formulación del Problema

¿Mediante la tecnología de vacío se podrá incrementar la eficiencia de los calentadores de agua usando la energía solar?

1.2.5 Preguntas Directrices

¿Mediante la investigación de los calentadores solares se podrá conocer sobre los sistemas convencionales y de los tubos al vacío?

¿Con la utilización de la tecnología de vacío se puede alcanzar mayores temperaturas en el calentamiento del agua?

¿Mediante la realización del estudio se podrá comparar los resultados teóricos con los obtenidos experimentalmente?

¿Con el desarrollo del estudio se podrá determinar la eficiencia de los sistemas de calentamiento de agua?

1.2.6 Delimitación

1.2.6.1 Delimitación Temporal

El estudio de la influencia de los tubos al vacío sobre la eficiencia para el calentamiento de agua usando energía solar esta previsto iniciar en noviembre del 2010 hasta septiembre del 2011.

1.2.6.2 Delimitación Espacial

La presente investigación se realizará en la provincia de Tungurahua en el Cantón Ambato en el sector de Huachi Chico, en la Universidad Técnica de Ambato.

1.2.6.3 Delimitación Contenido

Las materias que serán necesarias para el estudio del tema de investigación son las siguientes: Transferencia de Calor, Mecánica de Fluidos, Diseño de Elementos Mecánicos y Proyectos Industriales.

1.3 Justificación

Con el desarrollo de este proyecto se podrá estudiar si al utilizar tecnología de vacío en los calentadores solares se puede reducir sus pérdidas cuyo efecto es la progresiva disminución del rendimiento del mismo a medida que aumenta la diferencia de temperatura entre la placa absorbadora y el ambiente.

Por otra parte con el estudio del avance tecnológico se podrá ir desarrollando tipos de calentadores solares más eficientes y apropiados para diferentes usos, donde se necesite un rango de temperatura de trabajo mayor que las que se puede obtener de un calentador convencional normal.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Determinar la influencia de los tubos al vacío sobre la eficiencia para el calentamiento de agua usando la energía solar.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Investigar sobre los sistemas existentes de los calentadores solares convencionales y de los tubos al vacío.
- Establecer si con la utilización de la tecnología de vacío se puede alcanzar mayores temperaturas.
- Comparar los resultados obtenidos en la práctica con los resultados teóricos.
- Determinar la eficiencia de los sistemas de calentamiento solar del agua.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes investigativos

Años atrás se han venido realizando varios estudios para aprovechar la energía solar, en diversos países del mundo se han ido realizando nuevos estudios para mejorar los sistemas de calentamientos solares.

El 18 de agosto de 1987 en Estados Unidos se inventó un calentador solar que consta de tubos de vidrio al vacío y de un tubo de calor que transmite la energía absorbida al agua para su calentamiento, esto fue inventado por John D. Garrison, 5607 Yerba Anita Dr., San Diego.

El sistema de tubos al vacío comprende una serie de tubos paralelos de vidrio transparente. Este sistema se viene estudiando en países como: México, Alemania, Inglaterra, Canadá y China.

Anteriormente este sistema era caro que el sistema común de serpentín. Recientemente el sistema de tubos al vacío se ha desarrollado, y se han abierto más fábricas produciendo un mayor volumen, y a su vez el precio está al alcance de más gente.

Instituciones en nuestro país han desarrollado modelos, prototipos de calentadores solares convencionales para aprovechamiento de la energía solar. En el Ecuador algunas instituciones educativas han efectuado estudios y esfuerzos significativos para el aprovechamiento de la energía solar.

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) en la Facultad de Ingeniería Mecánica se desarrolló un trabajo de investigación de tema “ESTANDARIZACION DE SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA

CON ENERGIA SOLAR EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA”, realizado por Jiménez Arias Hernán Santiago y Portalanza Molina Narcisa de Jesús. Donde se realizó el diseño y construcción de un calentador solar convencional de placa plana que alcanzó una eficiencia global del 58%.



Figura 2-1 Calentador solar de placa plana.

Fuente: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/269/1/15T00417.pdf>

En el desarrollo del tema “COLECTORES SOLARES PARA AGUA CALIENTE” realizado por Cora Placco, Luis Saravia, Carlos Cadena, se expresa que en los calentadores solares de tubos al vacío se aprovechan la radiación de manera más efectiva que los colectores planos, al permitir que los rayos de sol incidan de forma perpendicular sobre los tubos durante el día por su forma cilíndrica. Estos colectores son hasta unos 30% más eficientes que los colectores convencionales planos.

2.2 Fundamentación filosófica

El desarrollo de este estudio está orientado a conocer sobre los calentadores solares convencionales y calentadores solares de tecnología al vacío, para de esta manera mejorar los sistemas de los calentadores solares utilizando nueva tecnología para poder mejorar la eficiencia de los mismos.

2.3 Fundamentación teórica

2.3.1 Miscelánea de ecuaciones

➤ Área de un colector

En el caso de calentadores solares el área de captación de la energía será el área de la superficie en donde se da la transferencia de calor.

$$A = \frac{m \cdot C_p \cdot (T_f - T_i)}{G_{\text{solar}} \cdot \eta_{\text{asumida}} \cdot t} \quad (2-1)$$

Donde:

m : Cantidad de agua a calentar [Kg].

C_p : Calor específico del agua [KJ/Kg °C].

T_f : Temperatura del agua caliente [° C].

T_i : Temperatura del agua fría [° C].

t : Tiempo necesario para calentamiento del agua en el tubo [seg.]

➤ Número de tubos

$$N_{\text{tubos}} = \frac{A_{\text{ef}}}{\pi \cdot D_i \cdot L_{\text{ta}}} \quad (2-2)$$

Donde:

A_{ef} : Área efectiva del colector [m²].

D_i : Diámetro de la placa absorbadora [m].

L_t : Longitud del tubo para almacenar el agua [m].

➤ Tiempo necesario para calentamiento

$$t = \frac{Q_{nec}}{Q_{\acute{u}til}} \quad (2-3)$$

Donde:

Q_{nec} : Calor necesario para calentamiento del agua [J].

$Q_{\acute{u}til}$: Calor útil del colector [W].

➤ Calor útil

$$Q_{\acute{u}til} = \frac{m \cdot C_p \cdot (T_f - T_i)}{t} \quad (2-4)$$

➤ Eficiencia global del calentador

$$\eta_{col} = \frac{Q_{\acute{u}til}}{A_{ef} \cdot G_{solar \text{ promedio}}} \quad (2-5)$$

Donde:

$G_{solar \text{ promedio}}$: Radiación solar promedio [W/m^2].

➤ Eficiencia instantánea del calentador

$$\eta_{inst} = \tau\alpha - U_T \left(\frac{T_m + T_a}{G_{solar \text{ inst}}} \right) \quad (2-6)$$

Donde:

$\tau\alpha$: Producto de la transmitancia de la cubierta y absortancia de la placa.

U_T : Coeficiente de pérdidas globales [$W/m^2 \text{ } ^\circ C$].

T_m : Temperatura promedio del agua [$^\circ C$].

T_a : Temperatura ambiente [$^{\circ}\text{C}$].

$G_{\text{solar inst}}$: [W/m^2]

➤ Volumen de un cilindro

$$V = \frac{\pi * D^2}{4} * L \quad (2-7)$$

Donde:

D : Diámetro interno del cilindro [m].

L : Longitud del cilindro [m].

➤ Área de la superficie de un cilindro

$$A_{S_{\text{tubo}}} = \pi * D_i * L_t \quad (2-8)$$

Donde:

L_t : Longitud del tubo para la captación de energía solar [m].

2.3.2 Mecanismos de transferencia de calor

Calor es la forma de energía que fluye debido a una diferencia de temperatura desde un punto de mayor a un punto de menor temperatura. El calor, o energía térmica, puede transmitirse de tres formas distintas. Estos tres mecanismos son la conducción, la convección y la radiación.

2.3.2.1 Conducción

La conducción es el mecanismo por el cual el calor se transmite dentro de un medio sólido, dentro de un fluido en reposo o entre dos cuerpos que están en contacto físico.

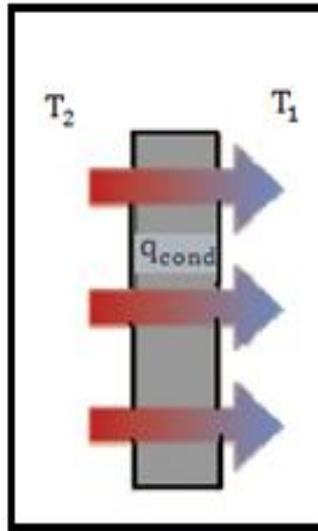


Figura 2-2 Proceso de conducción.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/50647345/energia-calor>

La rapidez con que el calor se transmite a través de un cuerpo es directamente proporcional a la diferencia de temperatura y al área de la superficie que atraviesa. Para el caso de conducción de calor en estado estacionario a través de una pared plana perpendicular a un eje x se tiene la siguiente expresión:

$$q_x = k * A * \left(\frac{T_2 + T_1}{L} \right) \quad \text{Ecuación (2-9)}$$

Donde:

q_x : es la rapidez de conducción de calor en el sentido del eje x [W].

K : es la conductividad térmica del material [W/m. °C].

A : es el área [m²].

$T_2 - T_1$: es la diferencia de temperatura entre dos puntos separados por una distancia L [°C].

Conducción unidimensional de estado estable en sistemas radiales.

En el cilindro y en la esfera se produce conducción unidimensional, ya que solamente la dirección radial es la coordenada necesaria para describir la variación espacial de las variables dependientes. La ecuación para la transferencia de calor en este sistema es:

$$q = \frac{2\pi L K (T_{s1} - T_{s2})}{\ln(r_2/r_1)} \quad \text{Ecuación (2-10)}$$

Donde:

q : Flujo de calor para pared cilíndrica [W].

L : Longitud [m].

ΔT : Variación de temperatura [°C].

r_e : Radio externo [m].

r_i : Radio interno [m].

La resistencia térmica de la capa cilíndrica contra la conducción de calor o simplemente la resistencia a la conducción de la capa de cilíndrica se puede expresar de la siguiente manera:

$$R_{\text{cond-cil}} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k L} \quad \text{Ecuación (2-11)}$$

Donde:

r_2 : Radio externo [m].

r_1 : Radio interno [m].

k : Conductividad térmica [W/m. °C].

L : Longitud [m].

2.3.2.2 Convección

La convección es la forma de propagación de calor de un lugar a otro por el movimiento de una sustancia. Es un mecanismo característico de transferencia entre un sólido y un fluido que está en contacto. Si el fluido es obligado a moverse por un ventilador o una bomba el proceso se llama de convección forzada. Pero si la sustancia se mueve a causa de diferencias de densidad, se habla de un fenómeno de convección natural.

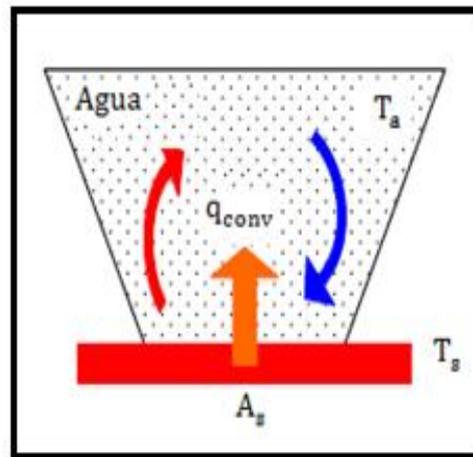


Figura 2-3 Proceso de convección.

Fuente: <http://www2.udec.cl/~jinzunza/fisica/cap14.pdf>

La rapidez de la transferencia de calor por convección sigue la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{conv}} = h_{\text{conv}} * A_s (T_s - T_a) \quad \text{Ecuación (2-12)}$$

Donde:

h_{conv} : es el coeficiente de transferencia de calor por convección [W/m².°C].

T_s : es la temperatura de la superficie [°C].

T_a : es la temperatura ambiente [°C].

A_s : es el área de la superficie [m²].

Las pérdidas de calor por convección en los colectores expuestos a vientos externos se da por una expresión dimensional obtenida del libro “Energía Solar Fundamentos y Aplicaciones Fototérmicas” de Manrique José, la cual fue dada por Mc Adams, esta relaciona el coeficiente de transferencia de calor en $[W/m^2\text{°C}]$ a la velocidad del viento $[m/s]$.

$$h = 5,7 + 3,8 v_v \quad \text{Ecuación (2-13)}$$

Donde:

v_v : es la velocidad del viento $[m/s]$.

Tabla 2-1 Valores típicos de coeficiente de convección.

Proceso	$h(W/m^2.K)$
Convección Libre	
Gases	2 - 25
Líquido	50 - 1000
Convección Forzada	
Gases	25 - 250
Líquido	50 - 20000

Fuente: Libro de Fundamentos de Transferencia de calor-Frank P. Incropera y David P. De Witt.

La resistencia térmica por convección viene dada por la siguiente ecuación:

$$R_1 = \frac{1}{h_{conv} \cdot \pi \cdot D \cdot L} \quad \text{Ecuación (2-14)}$$

Donde:

h_{conv} : es el coeficiente de transferencia de calor por convección [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$].

D : Diámetro del cilindro [m].

L : Longitud [m].

2.3.2.3 Radiación

Es el mecanismo de transferencia de calor basado en la absorción y emisión de ondas electromagnéticas. Cuando estas inciden sobre un cuerpo que no es transparente a ellas, son absorbidas y su energía transformada en calor.

El flujo de energía emitida por este mecanismo depende de la temperatura del cuerpo.

La radiación es el único mecanismo de transferencia de calor que no requiere de un medio material, ya que las ondas electromagnéticas se propagan en el vacío. Es la forma por la cual la energía térmica llega desde el Sol a la Tierra.

Para la rapidez de la transferencia de calor por radiación se sigue las siguientes ecuaciones:

➤ Transferencia de calor por radiación.

$$Q_{\text{rad}} = \varepsilon * \sigma * A_s * (T_s^4 - T_{\text{cielo}}^4) \quad \text{Ecuación (2-15)}$$

Donde:

ε : es la emisividad de la superficie de la placa.

σ : es la constante de Stefan Boltzman [$5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2 \text{ K}^4$].

A_s : es el área de la superficie [m^2].

T_s : es la temperatura de la superficie [$^\circ \text{K}$].

- Transferencia de calor por radiación entre dos placas paralelas.

$$Q_{\text{rad}} = \frac{\sigma * A_s (T_s^4 - T_{\text{cielo}}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad \text{Ecuación (2-16)}$$

Donde:

ε_1 : es la emisividad de la superficie de la cubierta.

ε_2 : es la emisividad de la superficie de la placa.

- Transferencia de calor por radiación entre dos cilindros concéntricos.

$$Q_{\text{rad}} = \frac{\sigma * A_s * (T_s^4 - T_{\text{cielo}}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_2} * \left(\frac{D_{\text{int}}}{D_{\text{ext}}}\right)} \quad \text{Ecuación (2-17)}$$

Donde:

D_{int} : es el diámetro del tubo interior [m].

D_{ext} : es el diámetro del tubo exterior [m].

Temperatura del cielo

$$T_{\text{cielo}} = 0,0552 (T_a)^{1,5} \quad \text{Ecuación (2-18)}$$

T_a : es la temperatura ambiente [° K].

El coeficiente de transferencia de calor por radiación es modelado en forma similar a la convección, observe sin embargo que h_{rad} depende marcadamente de la temperatura mientras que la dependencia de la temperatura del coeficiente de transferencia de calor por convección h_{conv} es por lo general débil. El coeficiente de transferencia de calor por radiación viene expresado de la siguiente forma:

$$h_{\text{rad}} = \varepsilon * \sigma (T_s + T_{\text{cielo}}) (T_s^2 + T_{\text{cielo}}^2) \quad \text{Ecuación (2-19)}$$

La resistencia térmica por radiación es similar a la de convección y es de la forma expresada en la ecuación:

$$R_1 = \frac{1}{h_{\text{rad}} * \pi * D * L} \quad \text{Ecuación (2-20)}$$

Donde:

h_{rad} : es el coeficiente de transferencia de calor por radiación [W/m². °C].

D : Diámetro del cilindro [m].

L : Longitud [m].

2.3.2.4 Calor Necesario

Es la cantidad de calor que se requiere para un cierto fin, en el caso que se requiere calentar agua se determinará esta demanda mediante la determinación del calor requerido para calentar el fluido.

$$Q_{\text{Nec}} = m * C_p * (T_f - T_i) \quad \text{Ecuación (2-21)}$$

Donde:

m : Cantidad de agua a calentar [Kg].

C_p : Calor específico del agua [KJ/Kg °C].

T_f : Temperatura del agua caliente [° C].

T_i : Temperatura del agua fría [° C].

2.3.2.5 Radiación solar

La energía solar, como recurso energético terrestre, está constituida simplemente por la porción de luz que emite el Sol y que es interceptada por la Tierra.

La intensidad de la radiación solar en el borde exterior de la atmósfera, considerando la distancia promedio entre la Tierra y el Sol, se llama constante solar, y su valor medio es 1353 W/m². La intensidad de energía real disponible en la superficie terrestre es menor que la constante solar, siendo alrededor de 1000 W/m², debido a la absorción y a la dispersión de la radiación que origina la

interacción de los fotones con la atmósfera. Esta porción de energía se conoce como radiación directa.

Otra parte de la energía solar que llega a la superficie de la tierra se denomina radiación difusa que es aquella energía solar reflejada por la atmósfera terrestre, en especial por las nubes.

Además, a nivel del suelo se tiene la radiación reflejada que es parte de la energía reflejada por los objetos terrestres. Por ejemplo, la proveniente de una pared blanca, un charco de agua o un lago, etc.

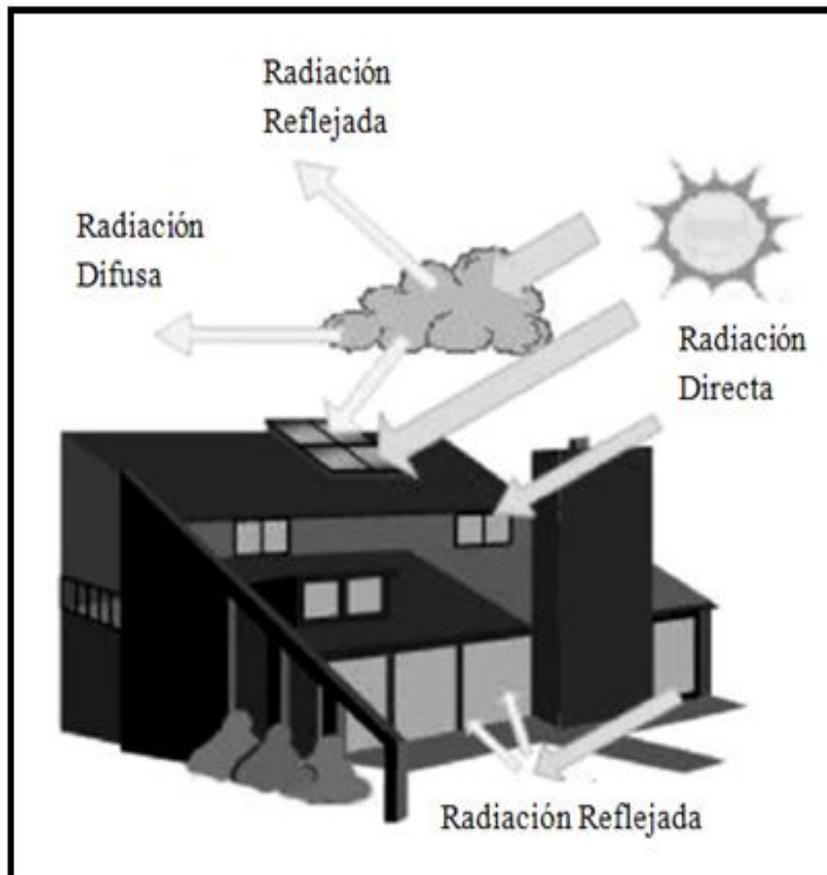


Figura 2-4 Representación de la descomposición de la radiación solar global en sus componentes directa y difusa.

Fuente: <http://mesasolar.org/cursos/manualweb.pdf>

De otra parte, en el diseño de calentadores solares, la radiación que interesa es la que llega a la parte superior de la superficie del colector solar. En este caso, se considera la radiación directa, difusa y reflejada, por lo tanto, la energía que recibe el colector solar se le denomina como radiación global.

Un caso particular, pero de mucho interés en el estudio de calentadores solares, es la radiación total sobre una superficie expuesto hacia el sol.

2.3.2.6 Calor incidente en el colector

$$Q_{inc} = \tau * \alpha * G_{solar} * A_s \quad \text{Ecuación (2-22)}$$

Donde:

τ : es la transmitancia de la cubierta de vidrio.

α : es el coeficiente de absorción de la placa.

G_{solar} : es la radiación solar necesaria [W/m^2].

2.3.3 Mecánica de fluidos

Desde el punto de vista de la Termodinámica la materia puede estar en estado gaseoso, líquido o sólido, siendo que a una sustancia en estado gaseoso o líquido se la denomina fluido. Para Mecánica de Fluidos la definición de fluido tiene que ver con aspectos mecánicos de la materia y se define como tal a una sustancia cualquiera que reacciona deformándose en forma instantánea.

Como punto de partida se define como la ciencia que estudia la cinemática y dinámica de los fluidos ante la acción de fuerzas aplicadas. Y se puede afirmar que los conocimientos son científicos, porque conforman teorías corroboradas por la experimentación.

A continuación se describirán algunas ecuaciones básicas que se utilizarán para realizar este estudio.

2.3.3.1 Densidad

La densidad, es una de las propiedades más características de cada sustancia, se define como la masa por unidad de volumen.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ecuación (2-23)}$$

Donde:

ρ : es la densidad de la sustancia [Kg/m³].

m : es la masa de una sustancia [Kg].

V : es el volumen de una sustancia [m³].

2.3.3.2 Peso específico

El peso específico de una sustancia es el peso de la unidad de volumen, se obtiene dividiendo un peso conocido de la sustancia entre el volumen que ocupa o con la relación entre la densidad y la gravedad.

$$\gamma = \rho * g \quad \text{Ecuación (2-24)}$$

Donde:

γ : es el peso específico de la sustancia [N/m³].

g : es la aceleración de la gravedad [m/s²].

2.3.3.3 Velocidad de flujo másico

El flujo de masa que pasa a través de un área de sección transversal en un intervalo de tiempo definido se conoce como flujo másico.

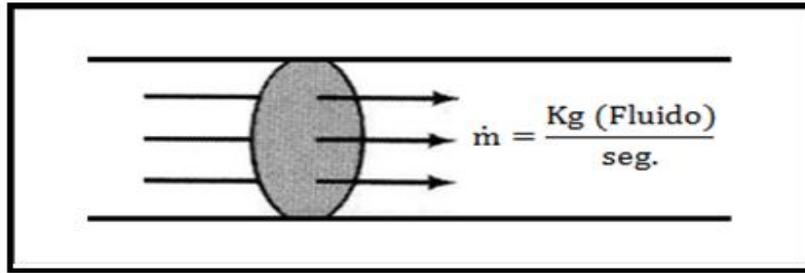


Figura 2-5 Velocidad de flujo másico

Fuente: <http://www.gresiq.es.tl/Teor%EDa.htm>

$$\dot{m} = \frac{m}{t} \quad \text{Ecuación (2-25)}$$

Donde:

\dot{m} : velocidad de flujo másico [Kg/seg].

t : tiempo [seg].

2.3.3.4 Velocidad de flujo de volumen

Es la cantidad de flujo que fluye en un sistema por unidad de tiempo o la relación de la velocidad de flujo másico por la densidad, se puede expresar de las siguientes maneras:

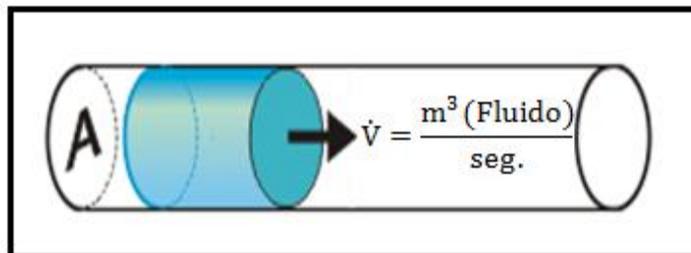


Figura 2-6 Velocidad de flujo de volumen

Fuente: http://neuro.qi.fcen.uba.ar/ricuti/No_me_salén/FLUIDOS/FT_caudal.html

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad \text{Ecuación (2-26)}$$

Donde:

\dot{V} : velocidad de flujo de volumen [m³/seg].

2.3.3.5 Velocidad promedio del fluido

La velocidad promedio de un fluido se puede obtener de la relación entre la rapidez de flujo de volumen y el área transversal de la sección.

$$V_{\text{agua}} = \frac{\dot{V}_{\text{agua}}}{A_c} \quad \text{Ecuación (2-27)}$$

2.3.3.6 Área transversal

$$A_{\text{trans}} = \frac{\pi * D^2}{4} \quad \text{Ecuación (2-28)}$$

Donde:

A_{trans} : es el área transversal.

D : es el diámetro del cilindro.

2.3.3.7 Presión hidrostática

La presión hidrostática es la presión existente bajo de un líquido en reposo, ejercida por sí mismo.

$$P_H = \gamma * h \quad \text{Ecuación (2-29)}$$

Donde:

P_H : es la presión hidrostática [Pa].

h : es la altura del fluido [m].

2.3.4 Diseño de elementos Mecánicos

2.3.4.1 Espesor de la pared del tanque

Cuando se trata de recipientes cilíndricos cuya pared tiene un espesor de 1/10 de su radio o menos se trata de un tanque de pared delgada.

$$e_{\text{tanque}} = \frac{P_{\text{Hagua}} * D_i}{2 * \sigma_t} \quad \text{Ecuación (2-30)}$$

2.3.4.2 Esfuerzo tangencial

$$\sigma_t = \frac{S_y}{n} \quad \text{Ecuación (2-31)}$$

σ_t : es el esfuerzo tangencial.

S_y : es el límite de fluencia del acero.

n : es el factor de seguridad.

2.3.4.3 Peso

El peso es la fuerza que ejerce la gravedad sobre una masa y ambas magnitudes son proporcionales entre sí, pero no iguales, pues están vinculadas por el factor aceleración de la gravedad. Se obtienen aplicando la siguiente fórmula:

$$P = m * g \quad \text{Ecuación (2-32)}$$

2.3.4.4 Fuerza permisible

$$P_{\text{Permisible}} = F_a * A_g \quad \text{Ecuación (2-33)}$$

F_a : Presión permisible [MPa].

A_g : Área de la sección requerida [m²].

2.3.5 El calentador solar de agua

Aunque los sistemas investigados tienen grandes diferencias entre sí, todos poseen tres partes fundamentales:

2.3.5.1 Colector

Elemento encargado de captar la energía del sol y transformarlo en calor. Por medio de una estructura metálica se dota a los colectores de una inclinación idónea para lograr que la captación sea óptima, ya que es la parte más importante y su área de captación.

2.3.5.2 Acumulador

Allí es donde se deposita el agua caliente, para conservarla con la menor pérdida posible y de esta manera disponer de la misma cuando sea necesaria.

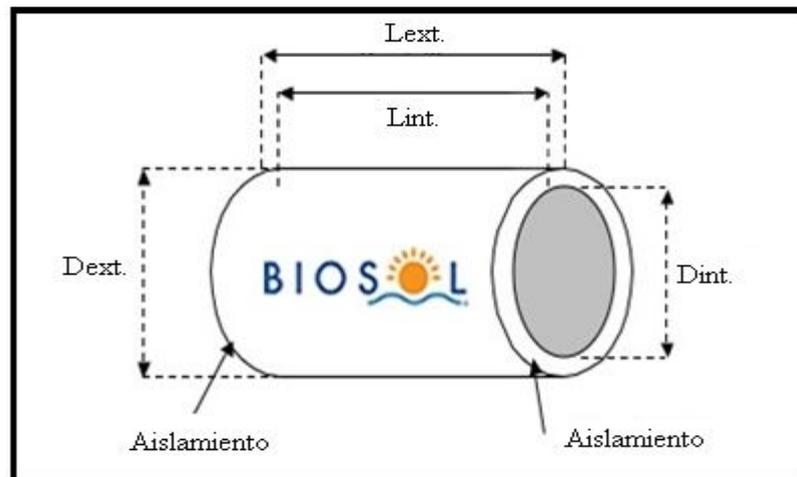


Figura 2-7 Tanque de almacenamiento.

Fuente: http://www.biosol.com.mx/index_es.php?action=page&option=196

2.3.5.3 Sistema de caños

Poseen la función de transportar el agua fría y el agua caliente a través de los elementos que forman el sistema.

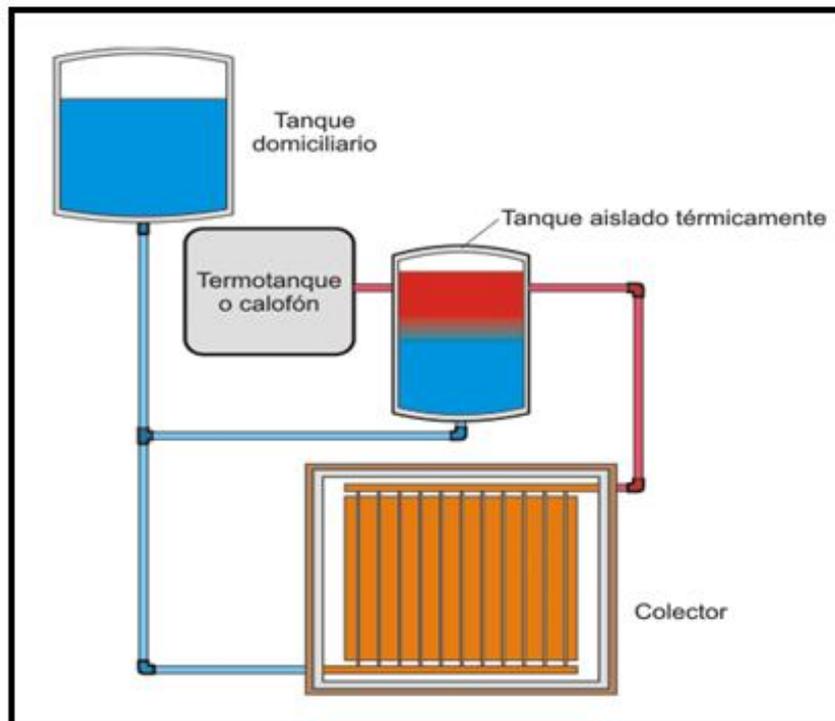


Figura 2-8 Calentador de agua complementado con los sistemas convencionales.

Fuente: <http://www.textoscientificos.com/energia/calentador-solar/aplicaciones/colectores-solares-agua>

2.3.5.4 Funcionamiento de un calentador solar

El proceso de calentamiento del agua se inicia cuando los rayos solares inciden sobre la superficie del colector y elevan la temperatura del agua que circula por los conductos que tiene en su interior.

El agua al calentarse pierde densidad y tiende a ascender pasando a través de las tuberías al acumulador que está situado encima. El espacio que deja libre el agua que ha ascendido es reemplazado por agua que aún no ha sido calentada proveniente del acumulador. Esta agua se calienta a su vez por el mismo procedimiento y vuelve a ascender repitiéndose el proceso mientras los rayos solares incidan en el colector.

Así se establece un circuito natural en el cual toda la energía solar captada en el colector pasa al tanque.

El ángulo de inclinación del colector es aproximadamente de 10 a 15 grados, además de la latitud del lugar de instalación. Esta es la configuración ideal que le permite reunir mayor cantidad de luz durante todo el año.

Para tener agua caliente siempre lista para usar se recomienda iniciar el ciclo de calentamiento de agua generalmente desde las 10:00 hrs. a las 16:00 hrs. Al final del día tenemos agua caliente, entre 45 y 75 grados centígrados, almacenada en el tanque termo sellado. Se estima que la pérdida media de temperatura durante la noche en el interior del tanque es de entre 3 y 7 grados centígrados.

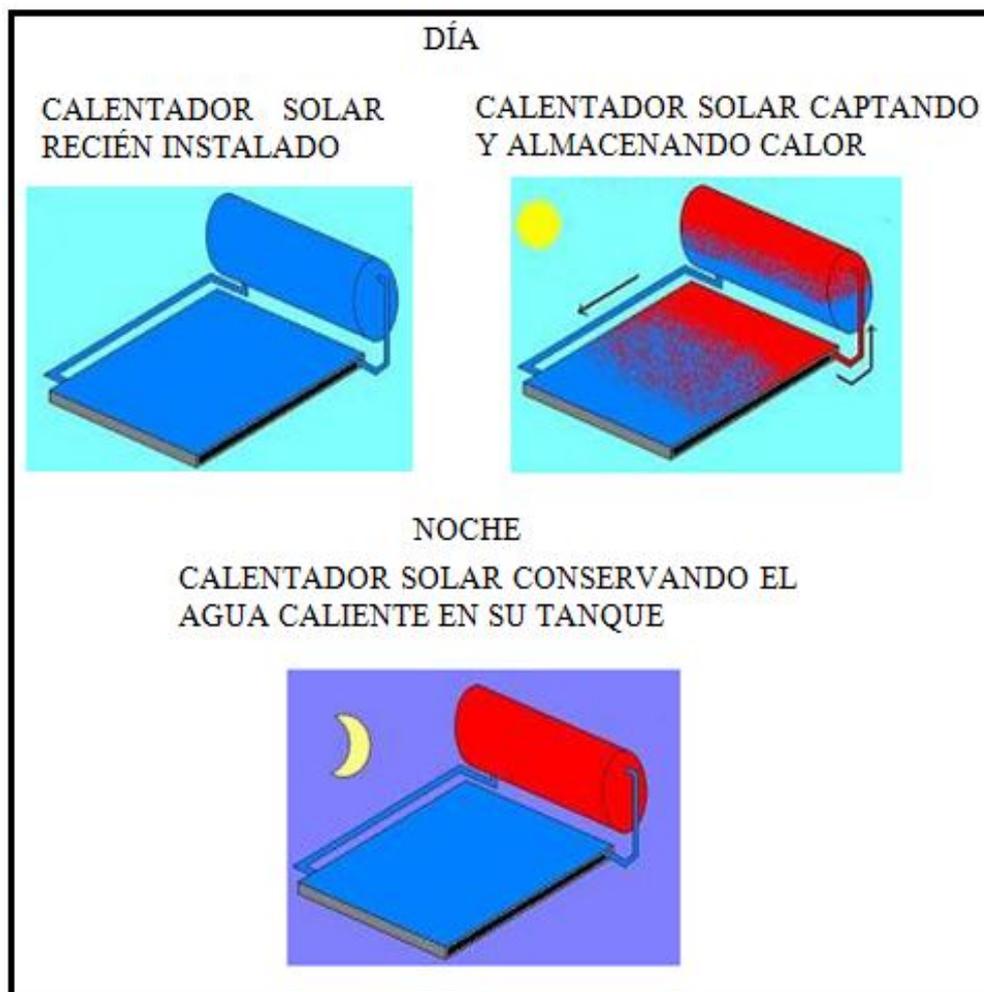


Figura 2-9 Funcionamiento de un Calentador Solar de Agua.

Fuente: <http://www.enverdemexico.com/archivos/MANUAL-INDUCCION-ENVER.pdf>

2.3.6 Tipos de colectores

2.3.6.1 Colectores de placa plana

Los colectores de placa plana son sofisticados invernaderos que atrapan y utilizan el calor del sol para aumentar la temperatura del agua desde 30° C hasta alrededor de los 65° C. Estos equipos normalmente tienen una eficiencia térmica del 30 al 70% ya que las pérdidas de calor aumentan a medida que se eleva la temperatura del colector.

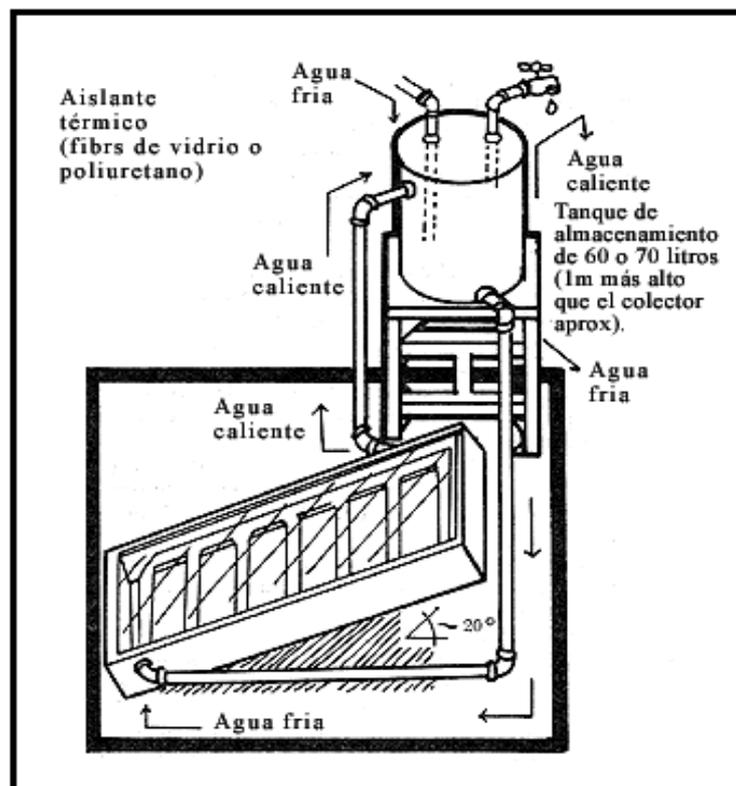


Figura 2-10 Colectores de placa plana.

Fuente:http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/119/htm/sec_6.htm

Estos colectores consisten en una caja herméticamente cerrada con una cubierta de vidrio algún otro material transparente. En su interior se ubica una placa de absorción la cual está en contacto con unos tubos por los que circula un líquido que transporta el calor. Existen un gran número de diferentes configuraciones de los tubos internos en los colectores de placa plana.

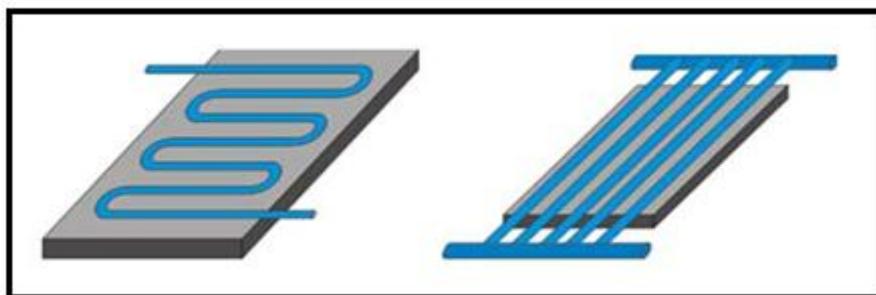


Figura 2-11 Colector de serpentina y Colector de tubos paralelos.

Fuente: <http://www.ciencias.holguin.cu/2009/Noviembre/articulos/ARTI4.htm>

Los colectores tradicionales, como los de serpentina o los de tubos paralelos, consisten en varios tubos de cobre orientados en forma vertical con respecto al colector y en contacto con una placa de color oscuro, generalmente esta placa es metálica aunque que en algunos casos puede ser de plástico o algún otro material.

En el caso de los colectores de tubos paralelos, se colocan tubos de mayor sección en la parte inferior y superior, para asistir a la extracción de agua caliente y al ingreso de agua fría para su calefacción.

La placa de absorción es aislada de la pared exterior con material aislante para evitar pérdidas de calor.

En los últimos años se han desarrollado platos compuestos de superficies de absorción selectiva, hechos de materiales con fuerte absorción de la radiación electromagnética y baja emisión.

Básicamente los colectores planos están formados por:

- Cubierta transparente
- Placa o aletas de metal
- Tubos
- Caja

➤ Aislante térmico

La cubierta transparente (generalmente vidrio) es la encargada de producir un efecto invernadero dentro del colector, porque permite la entrada de la radiación solar incidente (de onda corta) impidiendo la salida de la energía de la placa al calentarse (de onda larga).

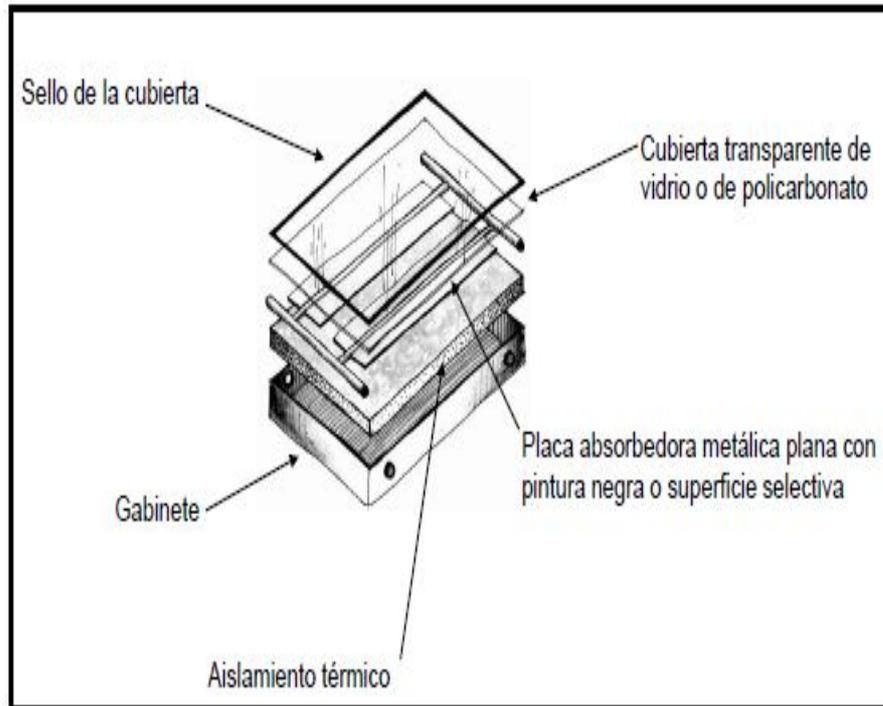


Figura 2-12 Componentes de un colector solar plano.

Fuente:http://portal.infonavit.org.mx/wps/wcm/connect/e2b602804ccc808baf54efc23531e445/calentadores_solar.pdf?MOD=AJPERES

2.3.6.2 Colectores de tubo al vacío

Calentadores de última generación sistema termosifón con tubos de vidrio de máxima eficiencia y rapidez de calentamiento. El calentador ocupa la energía solar para calentar agua.

Tiempo de calentamiento de 4 a 6 horas partiendo con aguas de 15° C. Llegando a un promedio de 65° C. Controlado por un panel electrónico, indicador de temperatura y programación de llenado del tanque.

Con los tubos de vacío la mecánica es distinta al reducirse la superficie captadora en favor de pérdidas de calor menores. Los colectores de tubo de vacío se encuentran entre los tipos de colectores solares más eficientes. Estos colectores se aprovechan al máximo en aplicaciones que requieren temperaturas moderadas, entre 50° C y 95° C, y/o en climas muy fríos.

Los colectores de tubo de vacío poseen un absorbedor para capturar la radiación del sol que está sellado al vacío dentro de un tubo. Las pérdidas térmicas de estos sistemas son muy bajas incluso en climas fríos y la lámina captadora se fija dentro de tubos, lo que reduce la pérdida de calor considerablemente.

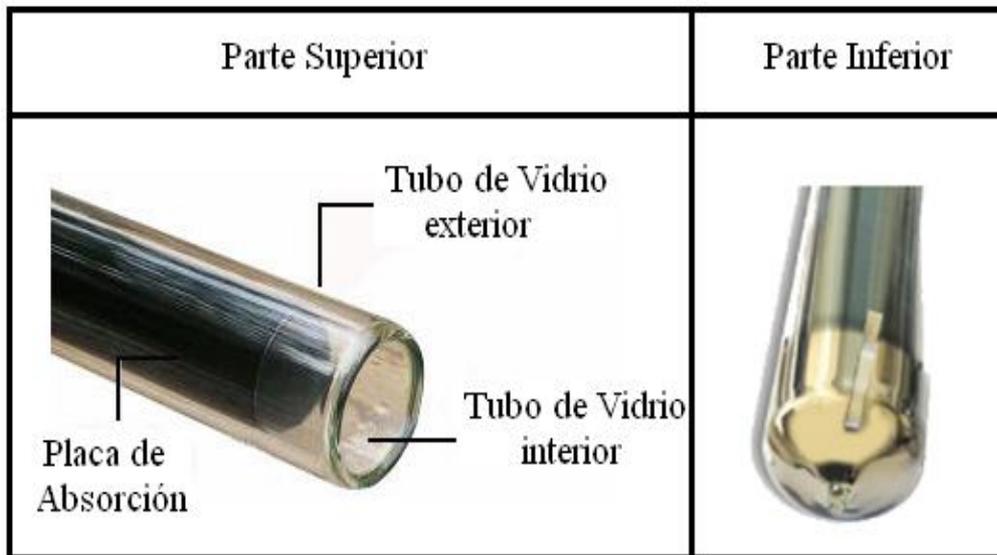


Figura 2-13 Tubo de vidrio al vacío.

Fuente: <http://www.aquaysol.com/funcionamiento.html>

Estos tubos son empleados por sus buenas condiciones ópticas y resistencia mecánica. En este tipo de colector se requiere que los tubos tengan una inclinación mínima de 20° con respecto a la horizontal, para que el fluido frío baje por gravedad. Los calentadores solares de tubos al vacío al ser cilíndricos, toleran variaciones de hasta 25° sobre la inclinación idónea sin pérdida de rendimiento, lo que permite adaptarlos a la gran mayoría de las edificaciones existentes.

Por todo esto el sistema de captación de tubos de vacío, confiere una eficiencia térmica muy superior a la de los tradicionales paneles planos, debido a que en

estos últimos, la mayor pérdida de calor se produce por conducción y convección entre la superficie captadora y el cristal exterior a través del aire existente entre ellos.

Con el sistema de tubos de vacío, esto no ocurre, ya que a través del vacío casi total entre los tubos captadores y el cristal que los recubre, no se produce esta perjudicial pérdida de energía. Todo esto, proporciona una eficiencia térmica superior al 70%. Solar energy ofrece calentadores solares de tubos al vacío con una eficiencia de aproximadamente 84,4%.

El vacío no solo contribuye a la reducción de pérdidas, sino también a minimizar la influencia de las condiciones climáticas (condensación, humedad, etc.) sobre los materiales empleados, evitando su rápido deterioro y mejorando así la durabilidad y el rendimiento global del sistema, además los tubos de estos colectores poseen un recubrimiento altamente selectivo de las superficies absorbentes, y debido a la forma curva de los tubos, su superficie de captación es superior, rebajando además, las pérdidas por reflexión, mejorando de esta forma todavía más su rendimiento.

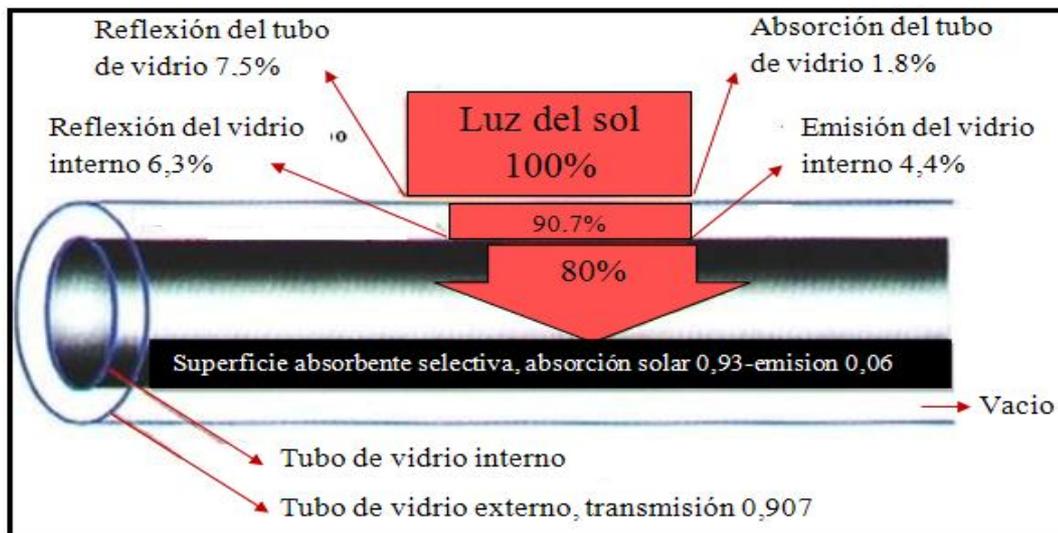


Figura 2-14 Características del tubo de vidrio al vacío.

Fuente: <http://www.solarsuno.com/spanishsite/Descargas/FOLLETOA4.pdf>

La forma redonda de los tubos y la separación entre ellos permiten que el absorbedor concéntrico a 360° proporcione una captación solar completa con los primeros rayos de sol de la mañana hasta última hora de la tarde. Incluso la parte posterior de los tubos absorben radiación directa y difusa gracias al reflector metálico del colector. El resultado es un campo de energía captado mucho mayor a lo largo de la vida del colector y son más limpios que los colectores de placa plana por acumular menos polvo y suciedad.

En colectores de este tipo generalmente la distancia entre centros es de 70 mm cuando se emplean tubos de vidrio al vacío con un diámetro 47 mm y 1500 mm de largo según UNICLIMA, mientras que al utilizar tubos de vidrio al vacío con un diámetro 58 mm y 1800 mm de largo la distancia entre centros es de 83 mm según SOLARGREEN. Los paneles son formados con algunos de estos tubos incrustados formando una especie de cepillo.



Figura 2-15 Colector de tubos al vacío

Fuente: <http://coyoacan.olx.com.mx/calentador-solar-iid-85958052#pics>

Estos funcionan por efecto termosifón. Este efecto se presenta cuando el agua se calienta, por lo que pierde densidad y peso, y esto causa que tienda a ascender de manera natural al tanque del calentador. Al mismo tiempo, el agua fría desciende

al interior de los tubos al vacío, y de esta manera el agua en el calentador empieza a circular hasta que toda el agua se calienta.

Este movimiento se produce sin necesidad de una bomba y no necesita ningún componente eléctrico o mecánico. Esto convierte a los calentadores en equipos fiables, de fácil funcionamiento, sencillos de instalar y mantener.

El vacío es el mejor aislante térmico y eléctrico en la actualidad, ya que no tiene partículas por las cuales pueda conducir calor ni electricidad, además de otras características que lo colocan como el número 1 en aislamiento.

Estos tubos tienen el tubo interior recubierto con nitrato de aluminio que tiene una excelente absorción de energía solar y mínimas propiedades de reflexión. Para mantener el vacío dentro del tubo, un elemento de bario es expuesto a alta temperatura, el cual causa que el fondo del tubo se cubra con una capa de bario puro (plateado).



Figura 2-16 Tubo al vacío con capa de bario.

Fuente: <http://www.aquaysol.com/funcionamiento.html>

Esta capa de bario puro, es un indicar visual del vacío interno del tubo. Sí el color plateado se torna blanco el vacío se ha perdido y el tubo tiene que ser reemplazado.

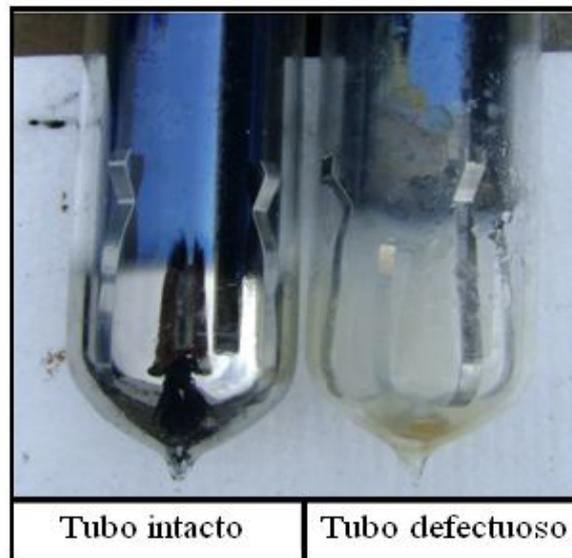


Figura 2-17 Comparación entre un tubo al vacío intacto y un defectuoso.

Fuente: Por autor

La vida útil de un calentador solar con tubos al vacío es aproximadamente de 15 a 20 años.

Estructura:

1. Tubos de cristal al alto vacío.
2. Tanque exterior.
3. Aislamiento térmico.
4. Tanque interior.
5. Cubiertas laterales.
6. Entradas para tubos al vacío.

7. Paneles reflectores.
8. Estructuras de acero.
9. Soporte para tubos.



Figura 2-18 Componentes de un calentador solar con tubos al vacío.

Fuente: <http://lambient.com.mx/pdf/CalentadoresSolaresGeneralidades.pdf>

Los tubos de cristal al alto vacío no son afectados por condiciones climáticas tales como: lluvia, viento, nubes, etc.; su forma y recubrimiento, ayudan a evitar la refracción y tener un inmejorable aprovechamiento solar. En comparación, el sistema de serpentín de cobre y planchas de cristal, sólo absorben los rayos solares cuando estos son perpendiculares a su superficie plana; de esta manera la refracción a la radiación solar es permanente, resultando en energía solar no aprovechada durante todo el día.

2.3.7 Tipos de tanques térmicos

Los tanques térmicos pueden clasificarse usualmente de dos maneras.

- a) En cuanto a su posicionamiento físico los tanques son clasificados en horizontales y verticales.
- b) En cuanto a su funcionamiento pueden operar en desnivel o en nivel con tanque de agua fría.

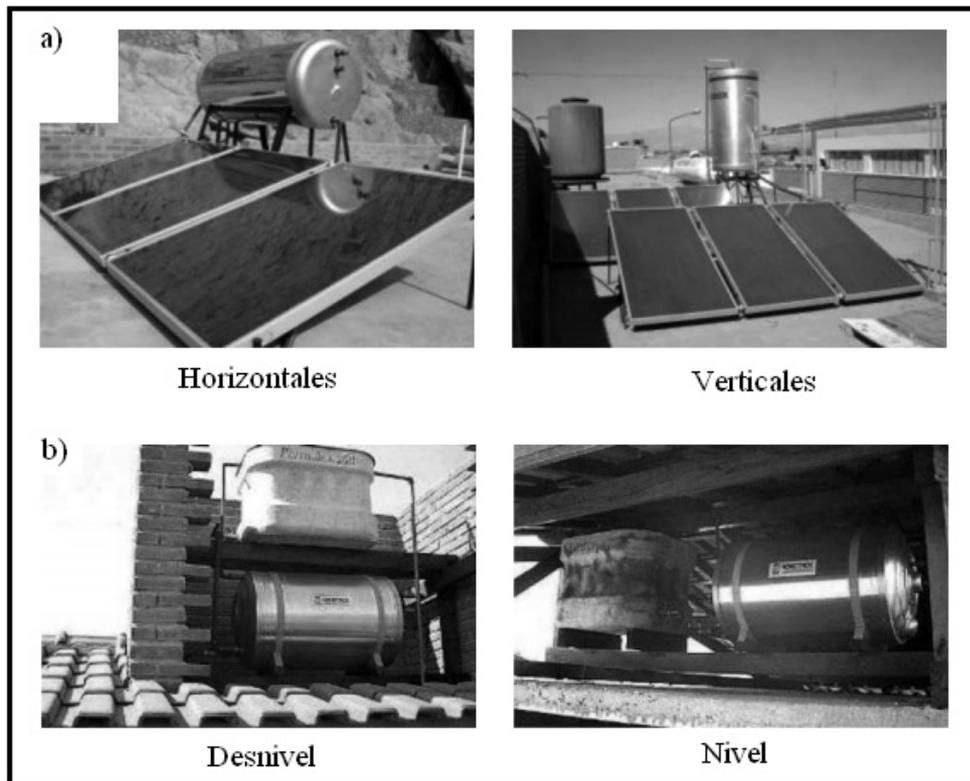


Figura 2-19 Tipos de tanques de acuerdo a su posicionamiento y Funcionamiento.

Fuente: <http://mesasolar.org/cursos/manualweb.pdf>

2.3.8 Diferencias entre un sistema de placas planas y tubos de vidrio al vacío.

Un tubo colector al vacío puede ser comparado a un termo de vidrio aislado al vacío y el sistema de serpentín con un vaso de plástico entonces el agua caliente en el vaso de plástico va a perder el calor mucho más rápido que un termo de vidrio aislado al vacío.

La conversión de la energía radiante del sol en energía térmica lleva asociadas unas pérdidas por radiación, conducción y convección, cuyo efecto es la progresiva disminución del rendimiento a medida que aumenta la diferencia de temperatura entre la placa absorbedora y el ambiente.

La cubierta de vidrio (simple o doble), el tratamiento selectivo de la placa y la evacuación del aire en el interior del colector, son técnicas encaminadas a la reducción de las pérdidas en el colector y, en consecuencia, a la mejora de su eficiencia.

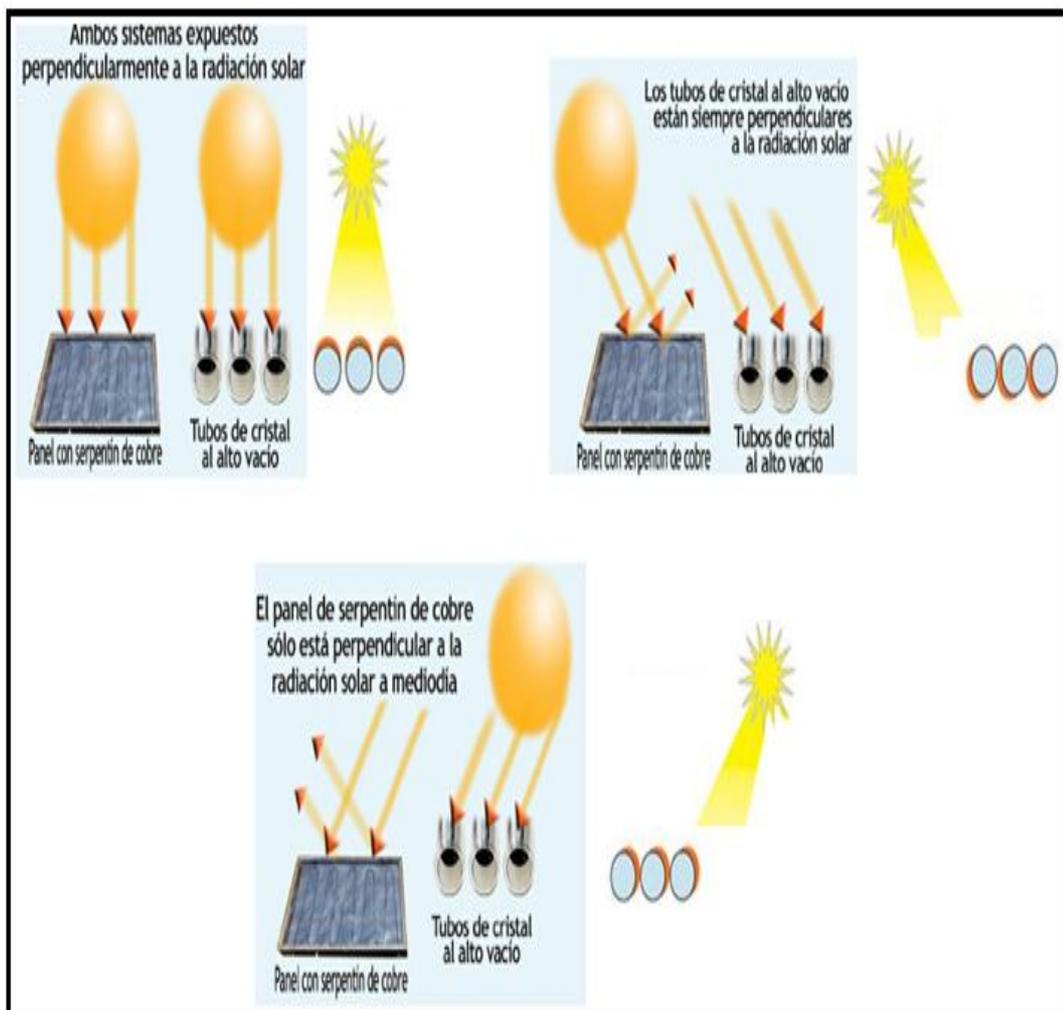


Figura 2-20 Aprovechamiento de la radiación solar por un sistema de placas planas y tubos de vidrio al vacío.

Fuente: <http://calentadoressolaresterqro.com/>

Renombrados institutos de investigación de Alemania e Inglaterra inventaron y experimentaron con tubos al vacío como colectores de energía solar. La tecnología es ahora muy aceptada por todo el mundo y ha sido usada por varios años en países como Alemania, Inglaterra, Canadá y China.

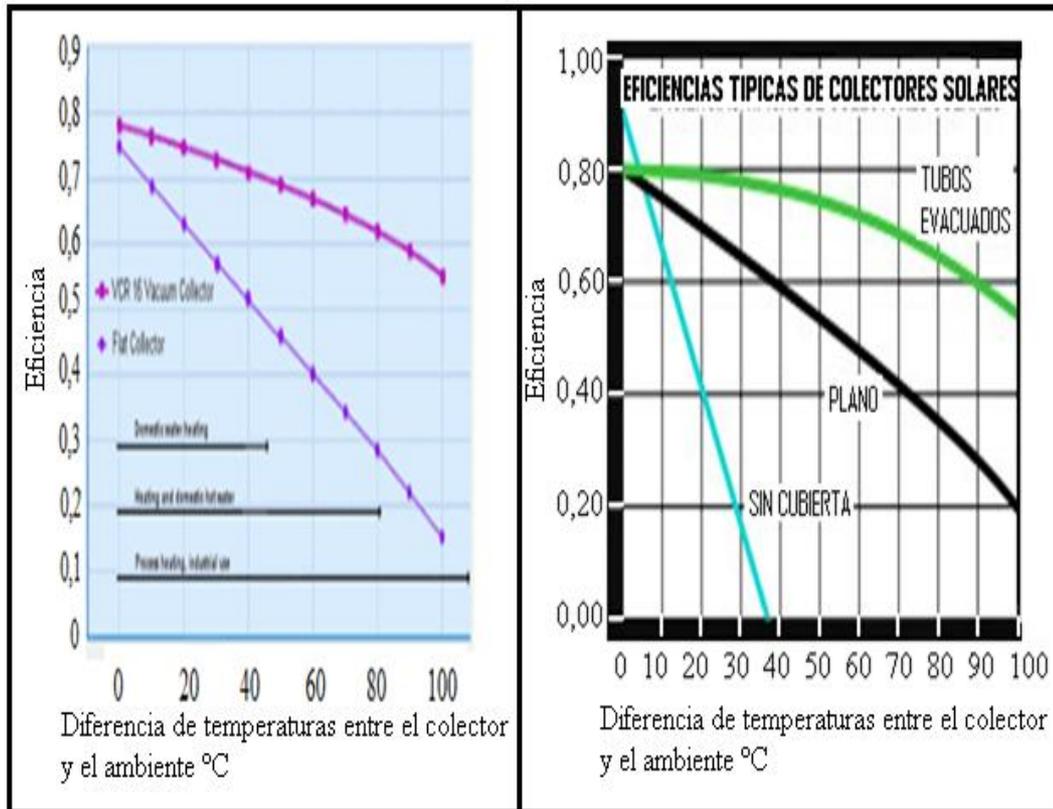
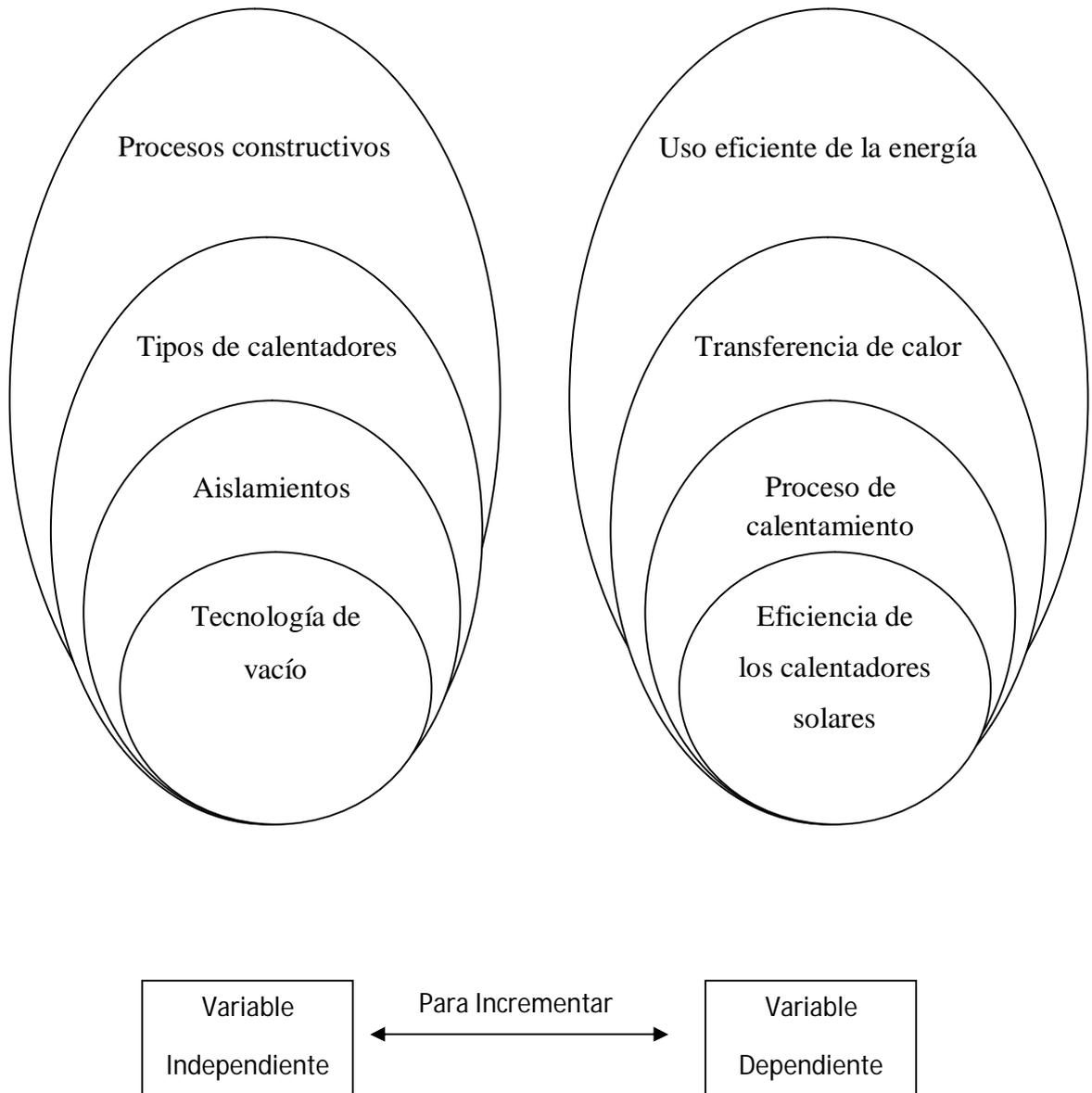


Figura 2-21 Eficiencia de un colector solar plano y de tubos al vacío.

Fuente: http://www.sotecsol.org/images/stories/uploads/sotecsol_comp.jpg

Anteriormente este sistema era más caro que el sistema común de serpentín. Recientemente ha crecido el uso de sistema de tubos al vacío, se han abierto más fábricas produciendo en mayor cantidad y reduciendo el precio para estar al alcance de más consumidores.

2.4 Red de Categorías Fundamentales



2.5 Hipótesis

La aplicación de la tecnología de vacío permitirá incrementar la eficiencia en niveles superiores a un 10% de los calentadores de agua usando la energía solar.

2.6 Señalamiento de Variables de la Hipótesis

2.6.1 Variable Independiente

Tecnología de vacío

2.6.2 Variable Dependiente

Eficiencia de los calentadores solares.

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1 Enfoque

En el siguiente estudio se utilizarán variables cuantitativas continuas ya que se tomará el tiempo en que el agua se demora en alcanzar una cierta temperatura, la temperatura máxima a la que llegue el agua y los datos obtenidos pueden tomar cualquier valor dentro de un cierto intervalo.

3.2 Modalidad Básica de la Investigación

En el siguiente estudio se utilizará las modalidades bibliográfica y experimental.

3.2.1 Bibliográfica

Será de tipo bibliográfico ya que toda la información necesaria para desarrollar el estudio será obtenida de libros, tesis y internet para poder ampliar nuestros conocimientos sobre este tema.

3.2.2 Experimental

La investigación será experimental ya que es necesario en este proyecto analizar y evaluar los resultados obtenidos para poder sacar conclusiones que nos permitan verificar nuestros objetivos.

3.3 Nivel o Tipo de Investigación

En el siguiente estudio se utilizarán los tipos de investigación exploratorio descriptivo y asociación de variables.

3.3.1 Exploratorio

La investigación de este estudio trata de solucionar un problema que se presenta en los sistemas solares de calentamiento de agua, ya que al existir mayores pérdidas de calor no se puede alcanzar una eficiencia satisfactoria.

3.3.2 Descriptivo

Ya que con esta estudio se podrá investigar si hay lo posibilidad de mejorar la eficiencia de los calentadores al diseñar un sistema con la utilización de la tecnología de vacío.

3.3.3 Asociación de Variables

En el desarrollo de este tema a investigar es importante asociar las variables, ya que de esta manera se podrá determinar si en realidad la implementación de la tecnología de vacío en los calentadores solares se podrá obtener una mayor eficiencia.

3.4 Operacionalización de Variables

V.I.: Tecnología de vacío.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
<p>Con la tecnología de vacío se fabrican los nuevos tubos, en donde el aire existente es evacuado del espacio entre tubos para formar al vacío, lo cual permite tener un mejor aprovechamiento de la energía solar y para mantener el vacío dentro del tubo, un elemento de bario es expuesto a alta temperatura, el cual causa que el fondo del tubo se cubra con una capa de bario puro (plateado).</p>	<p>Coefficientes de pérdidas de calor.</p> <p>Presión de vacío</p>	<p>Alta</p> <p>Óptima</p> <p>Adecuada</p>	<p>$> 0,6 \text{ W/m}^2 * \text{ }^\circ\text{C}$</p> <p>$\leq 0,6 \text{ W/m}^2 * \text{ }^\circ\text{C}$</p> <p>$\leq 5 * 10^{-3} \text{ Pa}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Observación - Hoja técnica - Observación - Hoja técnica

V.D.: Eficiencia de calentadores solares.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
<p>La eficiencia de un colector solar, por lo general se deduce comparando la cantidad de calor que se obtiene del agua y la cantidad de calor que recibe el colector de la radiación solar. La eficiencia puede caer bruscamente a medida que aumenta la temperatura, debido naturalmente a las pérdidas térmicas.</p>	<p>Temperatura de salida</p> <p>Energía absorbida</p>	<p>Baja</p> <p>Adecuada</p> <p>Baja</p> <p>Optima</p>	<p>< 50° C</p> <p>> 50° C</p> <p>< 1405 W</p> <p>≥1405 W</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Observación - Hoja de toma de datos - Observación - Hoja de toma de datos

3.5 Plan de recolección de la información

En la recolección de datos se aplicó la técnica de observación directa y la de laboratorio, ya que fue necesario apreciar directamente cada uno de los parámetros como son las temperaturas, el tiempo y la radiación solar.

3.5.1 Estudio de estado transitorio

Consiste en determinar la variación de la temperatura del agua que esta almacenada en el termotanque, cada cierto tiempo cuando el calentador está expuesto a la radiación solar, los ensayos se lo realizarán en un calentador solar de tubos al vacío.

3.6 Plan de procesamiento de la información

Una vez que se ha realizado y terminado todas las pruebas experimentales del calentamiento del agua y con los parámetros obtenidos en la hoja de datos nos ayudará para almacenar los datos requeridos para nuestro estudio.

Luego de obtener la información necesaria, se realizó una tabulación de los datos y una representación gráfica para poder observar el comportamiento de los resultados obtenidos en nuestra investigación.

Las gráficas que se utilizaron para el análisis son las siguientes:

- Temperatura vs Tiempo.
- Energía almacenada vs Tiempo
- Eficiencia instantánea vs Diferencia de temperaturas entre el colector y el ambiente.

Una vez representados los resultados obtenidos se podrá verificar la hipótesis planteada inicialmente en nuestro estudio. Se realizó un análisis estadístico del calentamiento del agua con el calentador solar de tubos al vacío y de esta manera se establecieron las conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO IV

ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

4.1 Análisis de los resultados

A continuación se presentan los valores de los resultados obtenidos en las pruebas experimentales realizadas durante nuestro estudio, las cuales fueron efectuadas cuando las condiciones climatológicas eran favorables, es decir cuando había presencia de sol con cielo despejado ya que con estas condiciones se alcanzará temperaturas optimas en el calentamiento del agua almacenada en el termotanque.

Los ensayos se realizaron utilizando un calentador de 20 tubos al vacío para el calentamiento del agua mediante el aprovechamiento de la energía solar.

4.1.1 Calentamiento del agua

4.1.1.1 Ensayos de calentamiento del agua

De los anexos (10) – (15) de las pruebas realizadas durante 6 días entre el 04 y el 20 de mayo con el calentador solar de tubos al vacío se sacó un promedio de la temperatura ambiente, de la velocidad del viento, de la humedad relativa y de la radiación solar.

Una vez obtenidos los datos anteriores se procedió a la obtención de la temperatura almacenada en el termotanque, energía almacenada, eficiencia instantánea y global del colector solar.

Tabla 4-1 Calentamiento de agua.

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA			
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA			
Temperatura del agua de entrada (° C): 17,5		Velocidad del Viento (m/s): 2,1	
Humedad Relativa: 33,77		Hora de inicio: 10:00	
Condiciones Atmosférica: Cielo despejado con presencia de sol.			
CALENTADOR SOLAR CON TUBOS AL VACIO			
Tiempo	Radiación	Temperatura	Temperatura del agua
(horas)	solar (W/m²)	Ambiente (° C)	almacenada (° C)
10:00	457,95	22,9	17,50
10:15	490,27	23,2	19,00
10:30	526,83	23,5	22,00
10:45	551,25	24,0	24,00
11:00	569,73	24,4	26,00
11:15	596,28	24,6	27,50
11:30	609,82	25,1	30,50
11:45	625,08	25,5	32,50
12:00	636,32	26,0	34,00
12:15	633,22	26,4	36,00
12:30	620,10	27,0	37,50
12:45	604,43	27,3	40,50
13:00	583,07	27,0	41,50
13:15	565,10	26,5	44,00
13:30	545,40	26,0	45,50
13:45	517,47	25,6	47,00
14:00	492,47	25,2	49,00
14:15	465,07	24,6	50,50
14:30	435,05	24,1	52,00
14:45	407,70	23,5	54,00
15:00	379,85	23,1	56,00
15:15	357,30	22,8	57,00
15:30	341,63	22,5	58,00
15:45	322,85	22,1	60,50
16:00	308,58	21,6	61,17

4.1.1.2 Energía Almacenada

En base al incremento de temperatura que se da cada 15 minutos se obtendrá la cantidad de energía almacenada en el termotanque.

Tabla 4-2 Energía almacenada.

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA CARRERA DE INGENIERIA MECANICA			
Temperatura del agua de entrada (° C): 17,5		Velocidad del Viento (m/s): 2,1	
Humedad Relativa: 33,77		Hora de inicio: 10:00	
Condiciones Atmosférica: Cielo despejado con presencia de sol.			
CALENTADOR SOLAR CON TUBOS AL VACIO			
Tiempo	Temperatura agua	Incremento de	Energía
Horas (h)	almacenada (° C)	energía (KJ)	Almacenada (KJ)
10:00	17,5	0	0
10:15	19	1379,4	1379,4
10:30	22	2758,8	4138,2
10:45	24	1839,2	5977,4
11:00	26	1839,2	7816,6
11:15	27,5	1379,4	9196
11:30	30,5	2758,8	11954,8
11:45	32,5	1839,2	13794
12:00	34	1379,4	15173,4
12:15	36	1839,2	17012,6
12:30	37,5	1379,4	18392
12:45	40,5	2758,8	21150,8
13:00	41,5	919,6	22070,4
13:15	44	2299	24369,4
13:30	45,5	1379,4	25748,8
13:45	47	1379,4	27128,2
14:00	49	1839,2	28967,4
14:15	50,5	1379,4	30346,8
14:30	52	1379,4	31726,2
14:45	54	1839,2	33565,4
15:00	56	1839,2	35404,6
15:15	57	919,6	36324,2
15:30	58	919,6	37243,8
15:45	60,5	2299	39542,8
16:00	61,17	616,132	40158,9

4.1.1.2 Eficiencia instantánea

Mediante el incremento de temperatura de cada 15 minutos se obtendrá la eficiencia instantánea del colector.

Tabla 4-3 Eficiencia instantánea.

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA CARRERA DE INGENIERIA MECANICA					
Temperatura del agua de entrada (° C): 17,5			Velocidad del Viento (m/s): 2,1		
Humedad Relativa: 33,77			Hora de inicio: 10:00		
Condiciones Atmosférica: Cielo despejado con presencia de sol.					
CALENTADOR SOLAR CON TUBOS AL VACIO					
Tiempo Horas (h)	Radiación solar (W/m ²)	Temperatura Ambiente (° C)	Temperatura agua almacenada (° C)	T. media agua Almacenada (° C)	Eficiencia instantánea
10:00	457,95	22,9	17,5		
10:15	490,27	23,2	19	18,3	
10:30	526,83	23,5	22	20,5	
10:45	551,25	24,0	24	23,0	0,862
11:00	569,73	24,4	26	25,0	0,859
11:15	596,28	24,6	27,5	26,8	0,857
11:30	609,82	25,1	30,5	29,0	0,854
11:45	625,08	25,5	32,5	31,5	0,851
12:00	636,32	26,0	34	33,3	0,849
12:15	633,22	26,4	36	35,0	0,847
12:30	620,1	27,0	37,5	36,8	0,845
12:45	604,43	27,3	40,5	39,0	0,842
13:00	583,07	27,0	41,5	41,0	0,837
13:15	565,1	26,5	44	42,8	0,833
13:30	545,4	26,0	45,5	44,8	0,827
13:45	517,47	25,6	47	46,3	0,822
14:00	492,47	25,2	49	48,0	0,816
14:15	465,07	24,6	50,5	49,8	0,809
14:30	435,05	24,1	52	51,3	0,801
14:45	407,7	23,5	54	53,0	0,791
15:00	379,85	23,1	56	55,0	0,780
15:15	357,3	22,8	57	56,5	0,770
15:30	341,63	22,5	58	57,5	0,763

15:45	322,85	22,1	60,5	59,3	0,751
16:00	308,58	21,6	61,17	60,8	0,739

4.1.2 Determinación de la eficiencia global de calentador

A partir de las pruebas realizadas calcularemos la eficiencia global que tiene el calentador en base a la temperatura de agua de entrada y a la temperatura del agua almacenada en el termotanque.

➤ Calor útil del colector

$$Q_{\text{util}} = \dot{m} * C_p * (T_{\text{ea}} - T_{\text{sa}})$$

$$Q_{\text{util}} = 10,16 * 10^{-3} * 4180 * 43,67$$

$$Q_{\text{util}} = 1854,61 \text{ W}$$

Como método alternativo se calculará el calor útil en base de la energía almacenada en el termotanque y el tiempo de funcionamiento del colector solar.

$$Q_{\text{util}} = \frac{Q_{\text{alm}}}{t}$$

$$Q_{\text{util}} = \frac{40158,9}{6 * 3600}$$

$$Q_{\text{util}} = 1,859 \text{ KW}$$

A partir del calor útil obtenido, del área superficial del colector y de la radiación incidente promedio se calculara la eficiencia global del colector.

➤ Eficiencia global de calentador

$$\eta_{\text{col}} = \frac{Q_{\text{util}}}{A_{\text{col}} * G_{\text{solar promedio}}}$$

$$\eta_{\text{col}} = \frac{1854,61}{4,48 * 506}$$

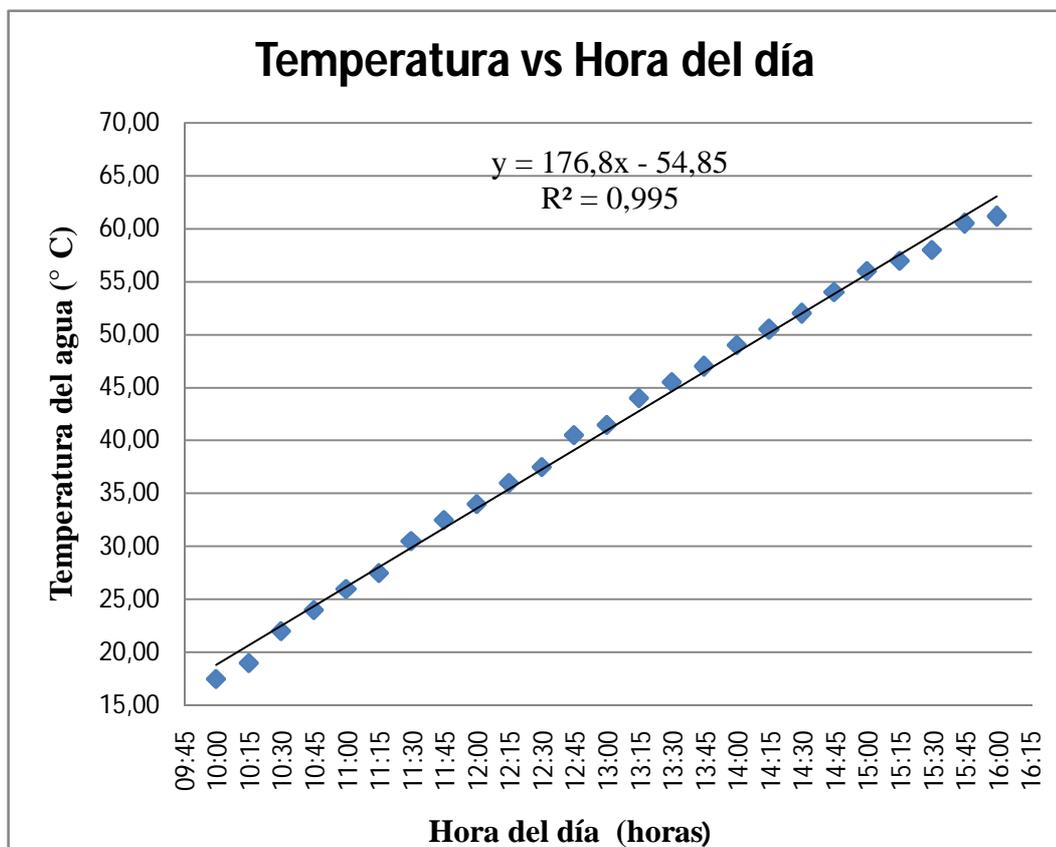
$$\eta_{\text{col}} = 0,818$$

$$\eta_{col} = 81,8 \%$$

4.2 Interpretación de datos

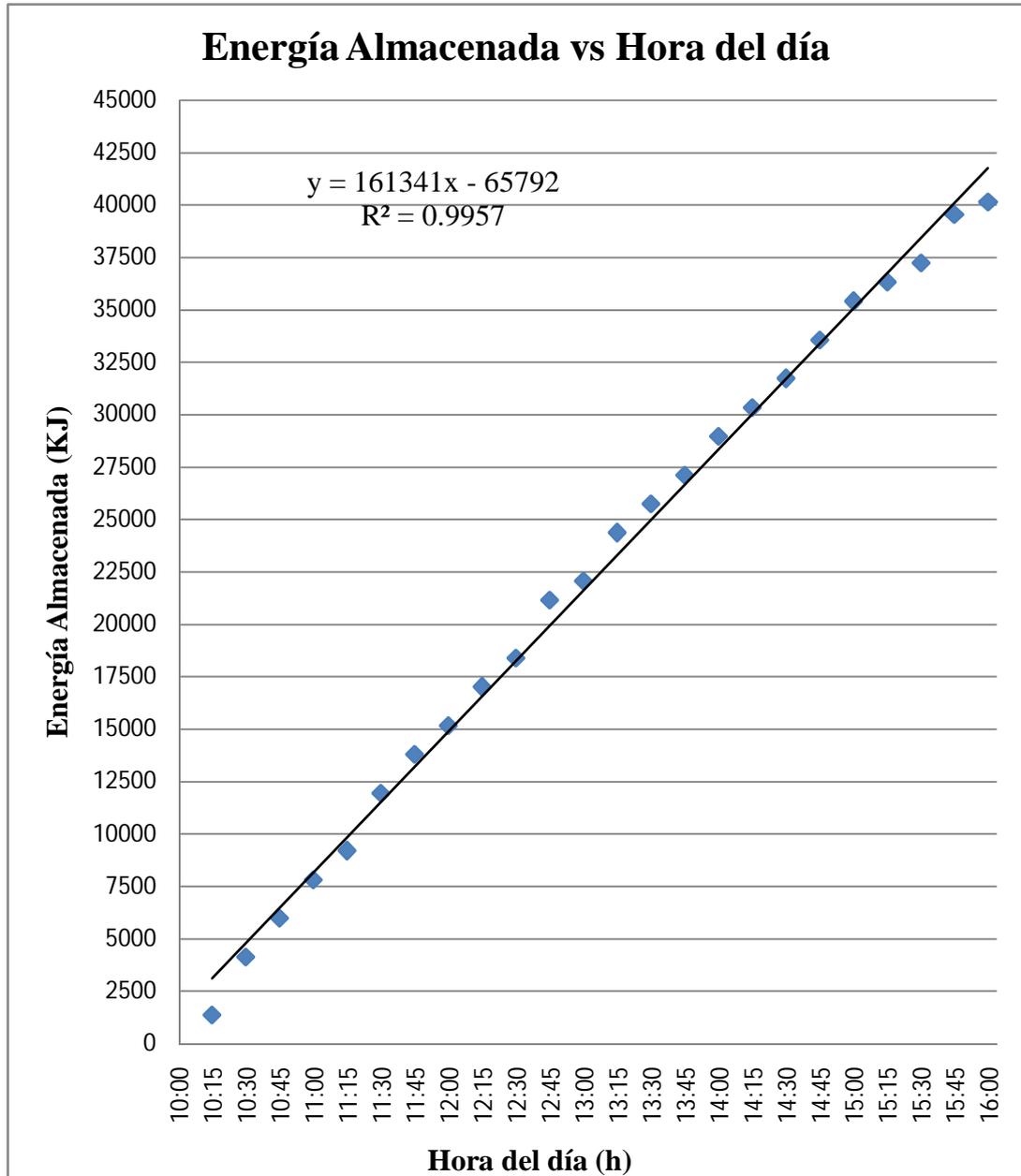
Con base en los valores establecidos en el numeral anterior (4.1 Análisis de resultados) se procede a realizar la gráfica de doble variable para poder tener una mejor visualización e interpretación de los resultados alcanzados.

Gráfica 4-1 Variación de temperatura del agua almacenada



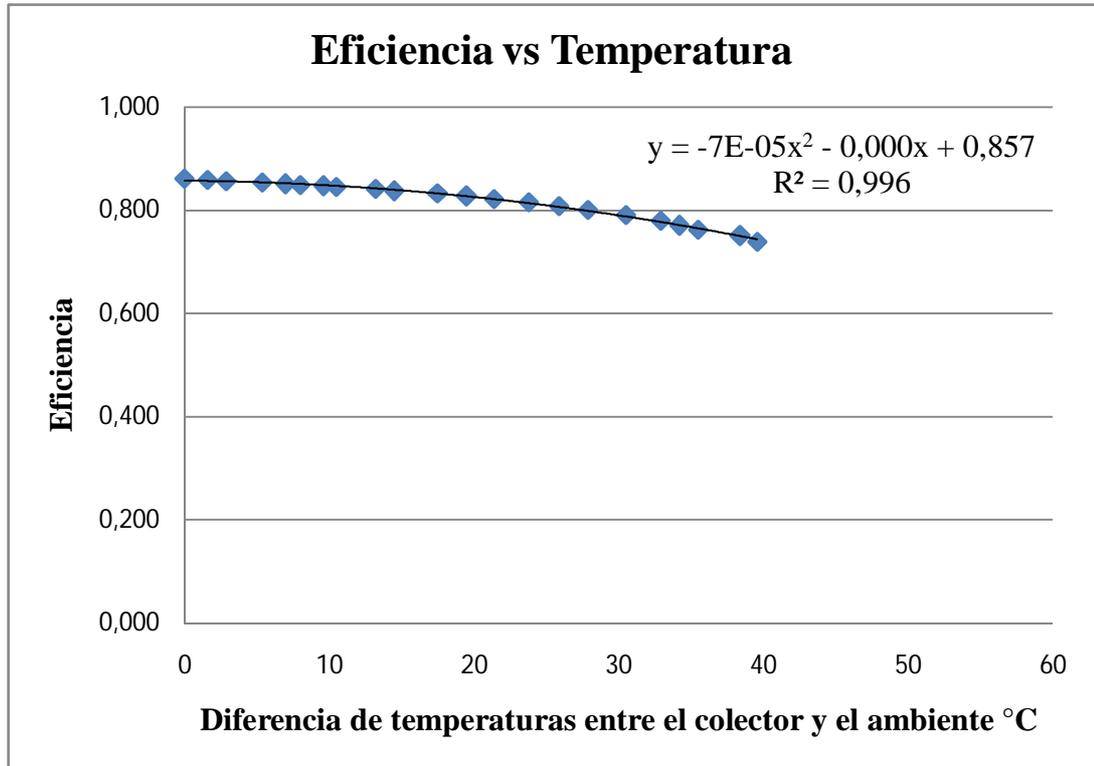
A medida que se va incrementando las horas (x) de exposición al sol se va incrementando la temperatura del agua (y) almacenada en el tanque, como se puede observar en la gráfica se tiene una tendencia lineal creciente; en donde el valor 176,8 es el factor multiplicador de las horas del día y el valor -54,85 es el desplazamiento de la temperatura del agua; éstas variables mantienen un coeficiente de determinación del 99,5%.

Gráfica 4-2 Variación de energía almacenada en el termotanque.



La energía almacenada (y) tiene una tendencia lineal creciente con respecto al tiempo (x), en donde 16134 es el factor multiplicativo del tiempo y el valor -65792 es el desplazamiento de la energía almacenada; éstas variables mantienen un coeficiente de determinación del 99,5%.

Gráfica 4-3 Variación de la eficiencia instantánea.



La variación de la eficiencia (y) tiene una tendencia decreciente cuadrática con respecto a la temperatura (x), la variación de la eficiencia es mínima. Las variables guardan una relación de determinación del 99,60%.

4.3 Verificación de la hipótesis

Hipótesis

La aplicación de la tecnología de vacío permitirá incrementar la eficiencia en niveles superiores a un 10% de los calentadores de agua usando la energía solar.

Comprobación:

Con el uso de los tubos de vidrio al vacío se puede observar que se tendrá una mayor captación de energía solar ya que los rayos solares siempre se encuentran perpendiculares a ellos, por esta razón se llegará a alcanzar temperaturas de entre 50 y 95 ° C.

Con la utilización de estos equipos se tendrá eficiencias mayores que 70%, pudiendo llegar a tener aproximadamente una eficiencia hasta un 30% más que los calentadores solares convencionales de placa plana, en estos calentadores permiten recibir una mayor cantidad de energía variando la superficie de captación de energía de plana a cilíndrica ya que los rayos del sol siempre esta impactando a los tubos en un ángulo que es perpendicular a su superficie, esto reduce la reflexión de manera que maximiza la cantidad total de radiación solar a la que los colectores están expuestos cada día. Con la utilización de este aislamiento se reduce notablemente el efecto de disminución la eficiencia a medida que aumenta la diferencia de temperatura entre la placa absorbedora y el ambiente, al eliminarse las pérdidas de calor por conducción y convección.

En los calentadores solares convencionales de placa plana la eficiencia esta entre un 30 y 70 % por lo que existe mayor cantidad de perdidas de calor, en un calentador solar de placa plana construido en la ESPOCH alcanzo una eficiencia global del 58%; mientras que en los calentadores de tubos al vacío se llega a alcanzar eficiencias global de aproximadamente el 84,4 %, con estos rangos de eficiencia se puede comprobar que los calentadores solares de tubos al vacío llegan a incrementar más del 10% la eficiencia con respecto a los calentadores de placa plana.

Con la utilización del vacío se tiene pérdidas mínimas de calor con lo cual el decrecimiento de la eficiencia instantánea del colector es mínimo y de esta manera se tiene una mayor cantidad de energía almacenada.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.1 Conclusiones

- El incremento en la temperatura del agua almacenada en el termotanque está entre 1 a 3° C, cada 15 minutos durante todo el periodo funcionamiento.
- El tiempo necesario para que el agua alcance una temperatura mayor que 60° C es de 6 horas, luego de este tiempo el agua alcanzará una temperatura adecuada.
- La eficiencia térmica que se llega a alcanzar al utilizar el calentador solar de tubos al vacío es del 82%.
- Con los datos obtenidos se determinó que al utilizar los tubos al vacío se obtiene una buena cantidad de calor útil de aproximadamente 1854,61 W.
- En el calentador solar de tubos al vacío la variación de la eficiencia instantánea es mínima, ya que se reducen las pérdidas de calor al utilizar el vacío.
- En días parcialmente nublados con poca presencia de sol, las temperaturas que se alcanzan en el agua almacenada en el calentador es de aproximadamente 40° C, en un tiempo de seis horas.
- Las temperaturas alcanzadas en el equipo durante las pruebas realizadas se encuentran dentro de los rangos de temperaturas a las cuales trabajan estos calentadores solares, se alcanzan temperaturas mayores que 60° C (62 ° C).

5.2 Recomendaciones

- Las pruebas de calentamiento de agua se deben realizar en días despejados y con presencia de sol, así antes de realizar la instalación del calentador solar se debe ver un lugar despejado, sin obstáculos que hagan sombra y permitiendo que de el sol completamente de 10:00 am a 16:00 pm.
- El sensor de temperatura debe ubicarse en la parte inferior del tanque, pues ahí se tendrá la menor temperatura a la que está el agua almacenada.
- Para tener una buena captación de energía solar al momento de la ubicación del equipo se debe tomar en cuenta la trayectoria del sol durante el día para darle la orientación adecuada ya sea está orientada al norte o al sur.
- Cuando no se vaya a ocupar el agua del calentador solar por más de dos días se debe cubrirlo con una lona gruesa blanca o algún color claro para evitar que se sobrecaliente.
- En caso de contaminación atmosférica, es necesario limpiar los tubos de vacío del polvo para una mejor recepción de la radiación solar, se pueden limpiar con una franela húmeda, esto debe hacerse antes de salir el sol o por lo menos 2 horas después de ocultarse para protección de los tubos.
- La instalación del calentador solar se lo debe hacer cuando no haya presencia de sol, es decir en la mañana o tarde, para evitar que ocurra un choque térmico ya que la temperatura al interior del tubo es alta y al momento de tener contacto con el agua fría se pueden romper.

CAPITULO VI

PROPUESTA

6.1 Datos Informativos

La propuesta es el diseño y la construcción de un calentador solar de tubos al vacío para el calentamiento de agua.

En la tabla 6-1 se presentan algunos datos generales:

Tabla 6-1 Datos generales de la propuesta

Ejecutor	Victor M. Salcedo Cobo
Descripción	Calentador solar de tubos al vacío
Lugar de Construcción	Taller particular
Lugar de Ensayos	FICM
Beneficiarios	Estudiantes de la FICM
Tiempo de ejecución	Diciembre 2010 – Septiembre 2011
Costo	\$ 1553,55

6.2 Antecedentes de la propuesta

6.2.1 Parámetros de diseño

Los cálculos realizados para el diseño del calentador solar se lo hizo en base los parámetros atmosféricos: temperatura ambiental, velocidad del viento y principalmente radiación solar. También se tomó en cuenta las características de los tubos al vacío, las propiedades del agua.

6.3 Justificación

El motivo para proponer el diseño y construcción de un calentador solar de tubos al vacío para el calentamiento de agua, es obtener las temperaturas que puede alcanzar el agua mediante el funcionamiento del mismo, lo cual nos permitirá verificar si pueden alcanzar mayores temperaturas y mayor eficiencia que los calentadores solares convencionales.

También se podrá utilizar para realizar ensayos o pruebas en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica y de esta manera verificar los datos teóricos, esto ayudará a adquirir conocimientos teóricos y prácticos, para incrementar el interés sobre la utilización de la energía solar.

6.4 Objetivos

- Evaluar las pérdidas de calor en los tubos al vacío.
- Establecer el tiempo necesario para que el agua alcance la temperatura deseada en el calentamiento.
- Evaluar las pérdidas de calor en el termotanque.

6.5 Análisis de factibilidad

6.5.1 Análisis técnico

Los ensayos de calentamiento de agua se lo pueden realizar con normalidad, ya que la toma de datos que son importantes para nuestra investigación se lo puede hacer con los equipos e instrumentos existentes en los laboratorios Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica y con el controlador instalado en el calentador solar.

6.5.2 Económico – Financiero

En el análisis se tomarán en cuenta todos los componentes necesarios para poder realizar y concluir el estudio planteado; los cuales son: compra de materiales para la construcción del equipo e instalaciones necesarias para el funcionamiento del mismo y la mano de obra necesaria.

Tabla 6-2 Costo de materiales para la estructura del calentador.

ESTRUCTURA DEL CALENTADOR				
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO UNIDAD	COSTO TOTAL
1	Tubo Cuadrado	2	19	38
2	Electrodo 6011	1 libra	1,75	1,75
3	Tubo rectangular	2 m	2,5	5
4	Tubo redondo	1 m	3,5	3,5
5	Pintura	1 litro	6	6
6	Tiñer	2 litro	1,5	3
7	Lija	2	0,5	1
8	Platina (38 mm * 4 mm)	1 m	1,25	1,25
TOTAL				59,5

Tabla 6-3 Costo de materiales para el termotanque.

TERMOTANQUE				
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO UNIDAD	COSTO TOTAL
1	Plancha Acero Inoxidable 0,5 mm	1	42	42
2	Plancha de tol galvanizado de 0,5 mm	1	20	20

3	Poliuretano	20 Kg	7,50	150
4	Electrodo 6011	1 libra	1,75	1,75
5	Pintura	1 litro	6	6
6	Tiñer	2 litro	1,5	3
7	Lija	2	0,5	1
8	Tubo redondo	1 m	5	5
TOTAL				228,75

Tabla 6-4 Costo de materiales para la placa reflectora.

PLACA REFLECTORA				
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO UNIDAD	COSTO TOTAL
1	Platina (24,5 mm * 4 mm)	9	0,95	8,55
2	Plancha de acero inoxidable 0,4 mm	1	30	30
3	Electrodos 6011	1 libra	1,75	1,75
TOTAL				40,3

Tabla 6-5 Costo de mano de obra.

MANO DE OBRA		
ITEM	DESCRIPCION	COSTO TOTAL
1	Taller Mecánico	250
TOTAL		250

Tabla 6-6 Costo de los tubos al vacío y equipos

COLECTOR Y EQUIPOS				
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO UNIDAD	COSTO TOTAL
1	Tubo al Vacío	20	18	360
2	Protector para base del tubo	20	2,5	50
3	Empaque interno	20	3	60
4	Anillo externo	20	2	40
5	Controlador digital y sensores	1	385	385
6	Electroválvula	1	80	80
TOTAL				975

Tabla 6-7 Costo final del calentador solar de tubos al vacío.

CALENTADOR SOLAR DE TUBOS AL VACIO		
ITEM	DESCRIPCION	COSTO TOTAL
1	ESTRUCTURA DEL CALENTADOR	59,5
2	TERMOTANQUE	228,75
3	COLECTOR Y EQUIPOS	975
4	PLACA REFLECTORA	40,3
5	MANO DE OBRA	250
TOTAL		1553.55

6.6. Fundamentación:

Los cálculos para el diseño y construcción del calentador solar están basados en el marco teórico del Capítulo II desarrollado en esta tesis, en el cual se cuenta con todos los parámetros necesarios y formas de funcionamientos de estos equipos.

6.6.1 Cálculos térmicos

6.6.1.1 Cálculo de las temperaturas y calor que sale del tubo.

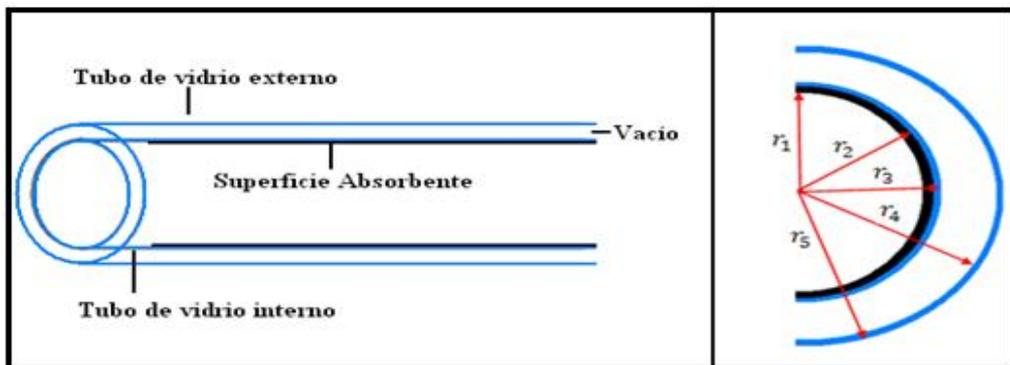


Figura 6-1 Esquema del tubo al vacío.

Fuente: Por autor

A continuación se presentan los valores obtenidos, la temperatura ambiente promedio y la velocidad de viento promedio, los radios del tubo medidos con un calibrador pie de rey y más datos obtenidos de la hoja técnica.

Tabla 6-8 Datos para cálculo de pérdidas de calor en el tubo al vacío.

Temperatura Agua = Temperatura Placa	(° C)	61
Temperatura ambiente promedio	(° C)	24,6
Velocidad del viento promedio	(m/s)	2,1
Radio de la placa absorbente - r1	(m)	0,022
Radio interno del tubo interno - r2	(m)	0,022
Radio externo del tubo interno - r3	(m)	0,0235
Radio interno del tubo externo - r4	(m)	0,0275
Radio externo del tubo externo - r5	(m)	0,029
Conductividad térmica vidrio	(W/m.K)	0,8
Conductividad térmica placa	(W/m.K)	200
Temperatura exterior del tubo exterior	(° C)	25,1
Temperatura interior del tubo exterior	(° C)	25,2
Temperatura exterior del tubo interior	(° C)	61
Emisividad del vidrio		1
Constante de Stefan Boltzmann - σ		5,67E-08
Longitud del tubo	(m)	1,62
Emisividad de la placa absorvedora		0,05

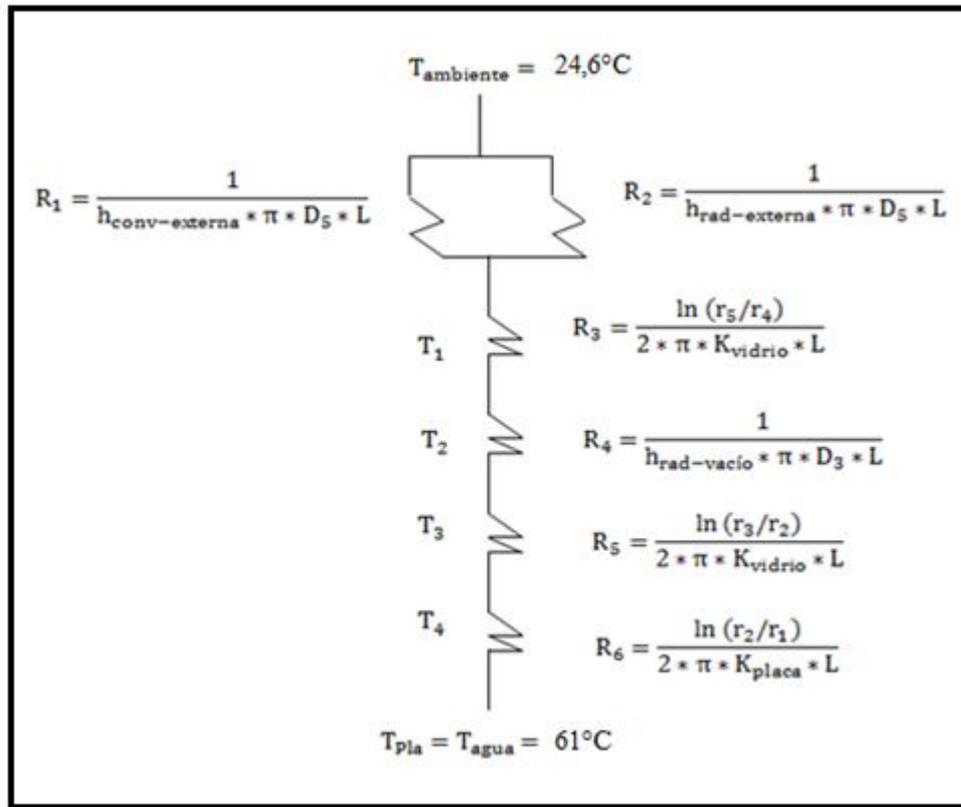


Figura 6-2 Circuito térmico equivalente del tubo al vacío.

Fuente: Por autor

- El coeficiente de convección se calculó mediante la ecuación (2-13).

$$h_{\text{conv}} = 5,7 + 3,8 v_v$$

$$h_{\text{conv}} = 5,7 + 3,8(2,1\text{m/s})$$

$$h_{\text{conv}} = 13,68 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

- La resistencia térmica para convección fue dada por la ecuación (2-14).

$$R_1 = \frac{1}{h_{\text{conv}} * \pi * D_5 * L_t}$$

$$R_1 = \frac{1}{13,68\text{W/m}^2 \cdot \text{C} * 3,1416 * 0,058\text{m} * 1,62\text{m}}$$

$$R_1 = 0,25 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

- La temperatura del cielo se determinó mediante la ecuación (2-18).

$$T_{\text{cielo}} = 0,0552 (T_a)^{1.5}$$

$$T_{\text{cielo}} = 0,0552 (24,6 + 273)^{1.5}$$

$$T_{\text{cielo}} = 283,40 \text{ } ^\circ\text{K}$$

- El coeficiente de radiación se calculó mediante la ecuación (2-19).

$$h_{\text{rad}} = \varepsilon_v * \sigma (T_1 + T_{\text{cielo}})(T_1^2 + T_{\text{cielo}}^2)$$

$$h_{\text{rad}} = 1 * 5,67 * 10^{-8} (298,1 + 283,40)(298,1^2 + 283,40^2)$$

$$h_{\text{rad}} = 5,58 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

- La resistencia térmica para radiación en el ambiente se halló con la ecuación (2-20).

$$R_2 = \frac{1}{h_{\text{rad}} * \pi * D_5 * L_t}$$

$$R_2 = \frac{1}{5,58 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C} * 3,1416 * 0,058\text{m} * 1,62\text{m}}$$

$$R_2 = 0,61 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

- Resistencia térmica equivalente a la resistencia térmica de convección y radiación en el ambiente.

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

$$R_{1-2} = \left(\frac{1}{0,25} + \frac{1}{0,61} \right)^{-1}$$

$$R_{1-2} = 0,18 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

- La resistencia térmica para la conducción en la pared del tubo de vidrio externo se determinó con la ecuación (2-11).

$$R_3 = \frac{\ln\left(\frac{r_5}{r_4}\right)}{2 * \pi * K_{\text{vidrio}} * L_t}$$

$$R_3 = \frac{\ln\left(\frac{0,029}{0,0275}\right)}{2 * 3,1416 * 0,8\text{W/m}^\circ\text{C} * 1,62}$$

$$R_3 = 6,52 * 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C/W}$$

- Coeficiente de radiación.

$$h_{\text{rad-v}} = \varepsilon_p * \sigma(T_3 + T_2)(T_3^2 + T_2^2)$$

$$h_{\text{rad-v}} = 0,05 * 5,67 * 10^{-8}(334 + 298,2)(334^2 + 298,2^2)$$

$$h_{\text{rad-v}} = 0,36 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

- Resistencia térmica para radiación en el vacío.

$$R_4 = \frac{1}{h_{\text{rad-v}} * \pi * D_3 * L_t}$$

$$R_4 = \frac{1}{0,36 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C} * 3,1416 * 0,047\text{m} * 1,62\text{m}}$$

$$R_4 = 11,51 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

- Resistencia térmica para la conducción en la pared del tubo de vidrio interno.

$$R_5 = \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2 * \pi * K_{\text{vidrio}} * L_t}$$

$$R_5 = \frac{\ln\left(\frac{0,0235}{0,022}\right)}{2 * 3,1416 * 0,8\text{W/m}^\circ\text{C} * 1,62}$$

$$R_5 = 8,1 * 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

- Resistencia térmica para la conducción en la pared de la placa de absorción es nula ya que la diferencia de diámetros es mínima, casi nula.

$$R_6 = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 * \pi * K_{\text{placa}} * L_t}$$

$$R_6 = 0 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

- Resistencia térmica total del circuito o resistencia equivalente.

$$R_T = R_{1-2} + R_3 + R_4 + R_5 + R_6$$

$$R_T = 0,18 + 6,52 * 10^{-3} + 11,51 + 8,1 * 10^{-3} + 0$$

$$R_T = 11,7 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

- Una vez que se encontró la resistencia equivalente del termotanque, se procedió a calcular las pérdidas de calor desde el interior del tubo hacia el ambiente.

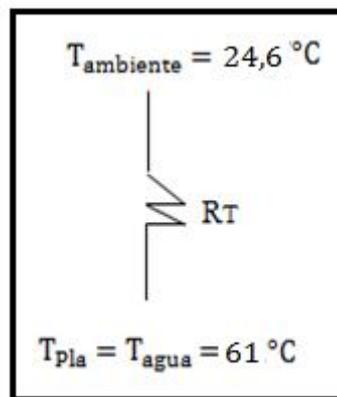


Figura 6-3 Circuito térmico equivalente simplificado del tubo al vacío.

Fuente: Por autor

$$Q = \frac{T_{\text{placa}} - T_a}{R_T}$$

$$Q = \frac{61 - 24,6}{11,7}$$

$$Q = 3,11 \text{ W}$$

- Temperatura de la pared externa del tubo de vidrio externo.

$$T_1 = T_{\text{placa}} - (Q \times R_{6+5+4+3})$$

$$T_1 = 61 - (3,11 \times 11,52)$$

$$T_1 = 25,1 \text{ °C}$$

- Temperatura de la pared interna del tubo de vidrio externo.

$$T_2 = T_{\text{placa}} - (Q \times R_{6+5+4})$$

$$T_2 = 61 - (3,11 \times 11,518)$$

$$T_2 = 25,2 \text{ °C}$$

- Temperatura de la pared externa del tubo de vidrio interno.

$$T_3 = T_{\text{placa}} - (Q \times R_{6+5})$$

$$T_3 = 61 - (3,11 \times 0,0054)$$

$$T_3 = 60,98 \text{ °C}$$

- Temperatura de la pared interna del tubo de vidrio interno.

$$T_4 = T_{\text{placa}} - (Q \times R_6)$$

$$T_4 = 61 - (2,9 \times 0)$$

$$T_4 = 61 \text{ °C}$$

6.6.1.2 Calor que sale del tanque

A continuación se calculará las pérdidas de calor que se tienen en el termotanque.

Datos

$$D_{i_{\text{tanq}}} = 0,37 \text{ m}$$

$$D_{e_{rc}} = 0,472 \text{ m}$$

$$D_{e_{\text{tanq}}} = 0,371 \text{ m}$$

$$L_{\text{tanq}} = 1,62 \text{ m}$$

$$D_{e_{ai}} = 0,471 \text{ m}$$

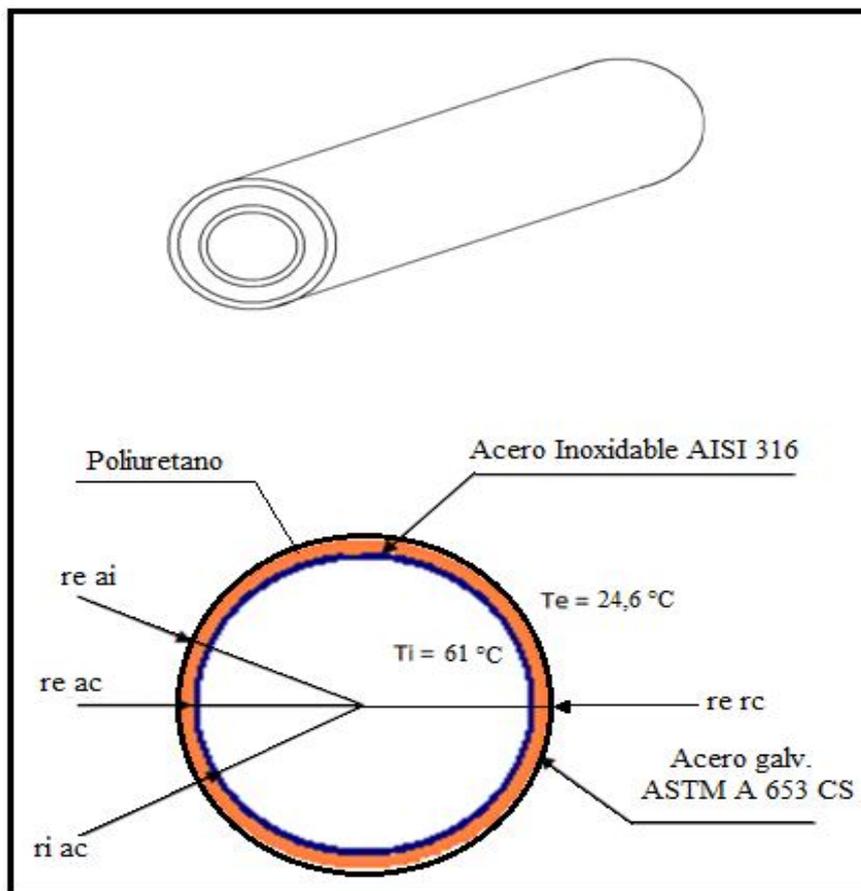


Figura 6-4 Diagrama del termotanque.

Fuente: Por autor

A continuación se describe el circuito térmico simplificado del termotanque.

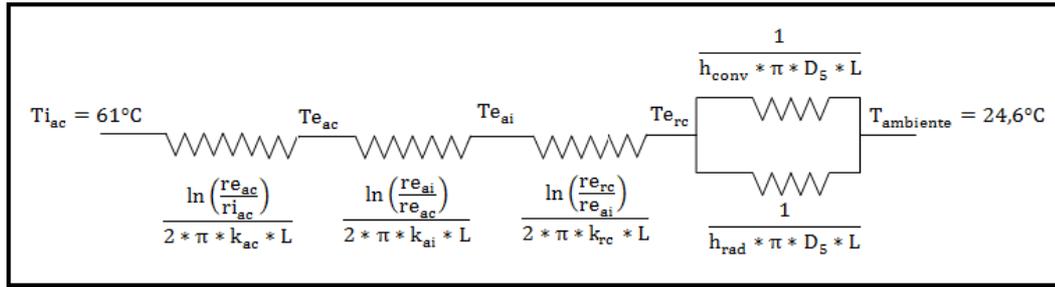


Figura 6-5 Circuito térmico equivalente del termotanque.

Fuente: Por autor

$$R_1 = \frac{\ln\left(\frac{r_{e_{ac}}}{r_{i_{ac}}}\right)}{2 * \pi * K_{ac} * L}$$

$$R_1 = \frac{\ln\left(\frac{0,1855}{0,185}\right)}{2 * 3,1416 * 15 \text{ W/m}^\circ\text{C} * 1,62}$$

$$R_1 = 1,77 * 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C/W}$$

$$R_2 = \frac{\ln\left(\frac{r_{e_{ai}}}{r_{e_{ac}}}\right)}{2 * \pi * K_{ai} * L}$$

$$R_2 = \frac{\ln\left(\frac{0,2355}{0,1855}\right)}{2 * 3,1416 * 0,024 \text{ W/m}^\circ\text{C} * 1,62}$$

$$R_2 = 0,98 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

$$R_3 = \frac{\ln\left(\frac{r_{e_{rc}}}{r_{e_{ai}}}\right)}{2 * \pi * K_{rc} * L}$$

$$R_3 = \frac{\ln\left(\frac{0,236}{0,2355}\right)}{2 * 3,1416 * 53 \text{ W/m}^\circ\text{C} * 1,62}$$

$$R_3 = 3,93 * 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C/W}$$

$$R_4 = \frac{1}{h_{\text{conv}} * \pi * D_5 * L}$$

$$R_4 = \frac{1}{13,68 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C} * 3,1416 * 0,472\text{m} * 1,62\text{m}}$$

$$R_4 = 0,03 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

➤ El coeficiente de radiación se calculó mediante la ecuación (2-19).

$$h_{\text{rad}} = \varepsilon_v * \sigma (T_{\text{rc}} + T_{\text{cielo}})(T_{\text{rc}}^2 + T_{\text{cielo}}^2)$$

$$h_{\text{rad}} = 0,23 * 5,67 * 10^{-8} (298,7 + 283,40)(298,7^2 + 283,40^2)$$

$$h_{\text{rad}} = 1,29 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$R_5 = \frac{1}{h_{\text{rad}} * \pi * D_5 * L}$$

$$R_5 = \frac{1}{1,28 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C} * 3,1416 * 0,472\text{m} * 1,62\text{m}}$$

$$R_5 = 0,32 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

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

$$R_{4-5} = \left(\frac{1}{0,03} + \frac{1}{0,32} \right)^{-1}$$

$$R_{4-5} = 0,03 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

➤ Resistencia térmica total del circuito o resistencia equivalente.

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_{4-5}$$

$$R_T = 1,77 * 10^{-5} + 0,98 + 3,93 * 10^{-6} + 0,03$$

$$R_T = 1,01 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$Q = \frac{T_{i_{ac}} - T_a}{R_T}$$

$$Q = \frac{61 - 24,6}{1,01}$$

$$Q = 36,04 \text{ W}$$

- Temperatura de la pared externa del tubo de vidrio externo.

$$T_{e_{rc}} = T_{i_{ac}} - (Q \times R_{1+2+3})$$

$$T_{e_{rc}} = 61 - (36,04 \times 0,98)$$

$$T_{e_{rc}} = 25,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

6.6.1.3 Calentamiento del agua en el tubo

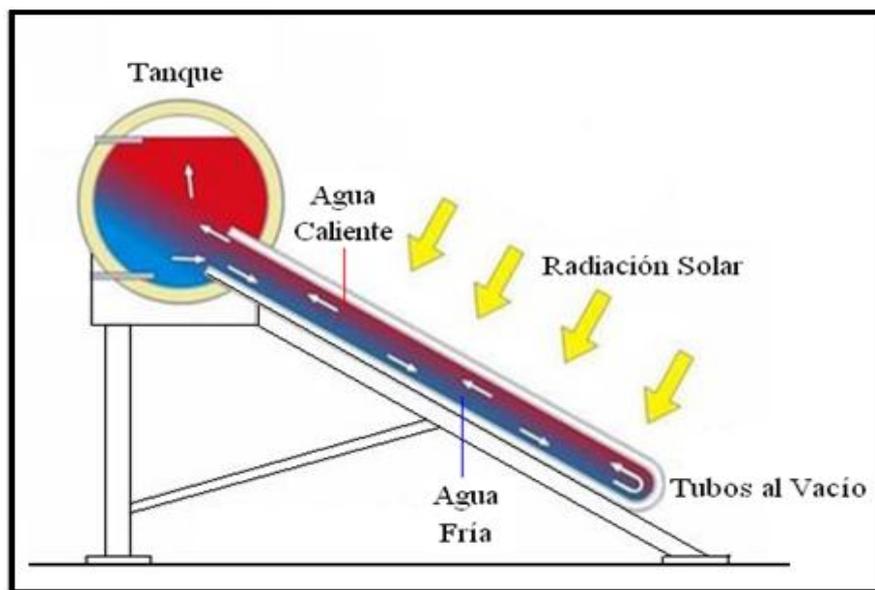


Figura 6-6 Calentamiento del agua mediante la radiación solar.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/28777165/Calentador-Solar-Para-Agua>

A continuación se presentan los valores obtenidos, la temperatura ambiente promedio y la velocidad de viento promedio, las características del tubo al vacío obtenidas de la hoja técnica y la radiación solar media obtenida de varios datos.

Tabla 6-9 Datos para cálculo del calentamiento del agua

Radiación solar promedio	(W/m ²)	506
Temperatura ambiente promedio	(° C)	24,6
Temperatura de entrada del agua	(° C)	17
Temperatura de salida del agua	(° C)	61
Temperatura de la superficie de placa	(° C)	61
Emisividad del vidrio		1
Emisividad de la placa		0,05
Coefficiente de absorción de la placa		0,95
Diámetro exterior del tubo externo	(m)	0,058
Diámetro interior del tubo interno	(m)	0,044
Longitud del tubo - captación de energía	(m)	1,62
Longitud del tubo - contiene agua	(m)	1,75
Temperatura de la superficie del vidrio	(° C)	25,1
Transmitancia del vidrio		0,91

A continuación se halló el área de la superficie del tubo interior en base al diámetro interior y la longitud del tubo para captación de energía solar del mismo mediante la ecuación (2-8).

$$A_{\text{tubo}} = \pi * D_2 * L_t$$

$$A_{\text{tubo}} = \pi * 0,044 * 1,62$$

$$A_{\text{tubo}} = 0,224 \text{ m}^2$$

Se calculó las pérdidas de calor por radiación que se dan en el vacío existente en el tubo en base a la superficie del tubo interno y el tubo externo de acuerdo a la ecuación (2-17).

$$Q_{\text{rad}} = \frac{\sigma * A_s (T_3^4 - T_1^4)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1 - \epsilon_2}{\epsilon_v} \left(\frac{D_3}{D_5}\right)}$$

$$Q_{\text{rad}} = \frac{5,67 * 10^{-8} * 0,224 * (334^4 - 298,1^4)}{\frac{1}{0,05} + \frac{1 - 1}{1} \left(\frac{0,044}{0,058}\right)}$$

$$Q_{\text{rad}} = 2,88 \text{ W}$$

Como en el tanque se tiene pérdidas de calor se le debe sumar a las pérdidas de los tubos, entonces 36,04 W esto se le divide para los 20 tubos lo cual nos da 1,80 W.

Entonces tenemos que las pérdidas totales por cada tubo más parte de las pérdidas del tanque es de 4,68 W.

Obtenida el área de la superficie del tubo interior se procedió a calcular el calor incidente en el colector para lo cual se usa la ecuación (2-22).

$$Q_{\text{inc}} = \alpha * \tau * G_{\text{solar promedio}} * A_{\text{S}_{\text{tubo}}}$$

$$Q_{\text{inc}} = 0,95 * 0,91 * 506 * 0,224$$

$$Q_{\text{inc}} = 97,98 \text{ W}$$

Determinado el valor del calor incidente en el calentador y las pérdidas de calor por radiación se encontró el calor útil.

$$Q_{\text{util}} = G_{\text{inc}} - Q_{\text{Per}}$$

$$Q_{\text{util}} = 97,98 - 4,68$$

$$Q_{\text{util}} = 93,30 \text{ W}$$

Para encontrar el volumen de agua en el tubo se utilizó la ecuación (2-7).

$$V_{\text{agua}} = \frac{\pi * D_3^2}{4} * L_{\text{ta}}$$

$$V_{\text{agua}} = \frac{\pi * 0,044^2}{4} * 1,75$$

$$V_{\text{agua}} = 2,66 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

Con el volumen de agua en el tubo se determinó la masa de agua en el tubo

$$m_{\text{agua}} = V_{\text{agua}} * \rho_{\text{agua}}$$

$$m_{\text{agua}} = 2,6 * 10^{-3} * 992,5$$

$$m_{\text{agua}} = 2,641 \text{ Kg}$$

Para hallar la energía necesaria para calentar una cierta cantidad de agua a una temperatura deseada se empleó la ecuación (2-21).

$$Q_{\text{nec}} = m_{\text{agua}} * C_p * (T_f - T_i)$$

$$Q_{\text{nec}} = 2,641 * 4180 * (61 - 17)$$

$$Q_{\text{nec}} = 485732,72 \text{ J}$$

Entonces se calculó el tiempo necesario para calentamiento del agua del tubo con la ecuación (2-3).

$$t = \frac{Q_{\text{nec}}}{Q_{\text{util}}}$$

$$t = \frac{485732,72}{93,30}$$

$$t = 5206,14 \text{ seg.}$$

Encontrado el tiempo necesario para el calentamiento del agua se procedió a calcular la velocidad de flujo másico en el tubo con la ecuación (2-25)

$$\dot{m}_{\text{agua}} = \frac{m_{\text{agua}}}{t}$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} = \frac{2,641}{5206,14}$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} = 5,08 * 10^{-4} \text{ kg/seg}$$

Luego se determinó la velocidad de flujo de volumen en el tubo con la ecuación (2-26).

$$\dot{V}_{\text{agua}} = \frac{\dot{m}_{\text{agua}}}{\rho_{\text{agua}}}$$

$$\dot{V}_{\text{agua}} = \frac{5,08 * 10^{-4}}{992,5}$$

$$\dot{V}_{\text{agua}} = 5,12 * 10^{-7} \text{ m}^3/\text{seg}$$

El área transversal del tubo interior se halló con la ecuación (2-28).

$$A_{C_{\text{tubo}}} = \frac{\pi * D_3^2}{4}$$

$$A_{C_{\text{tubo}}} = \frac{\pi * 0,044^2}{4}$$

$$A_{C_{\text{tubo}}} = 1,52 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

Se calculó la velocidad media del agua en el tubo con la ecuación (2-27).

$$V_{\text{agua}} = \frac{\dot{V}_{\text{agua}}}{A_c}$$

$$V_{\text{agua}} = \frac{5,12 * 10^{-7}}{1,52 * 10^{-3}}$$

$$v_{\text{agua}} = 3,37 * 10^{-4} \text{ m/seg}$$

$$v_{\text{agua}} = 2,02 \text{ cm/min}$$

Para el diseño del calentador se calculó el área requerida con la ecuación (2-1).

$$A_{\text{col}} = \frac{m_{\text{agua}} * C_p (T_f - T_i)}{G_{\text{solar promedio}} * \eta * t_{Tc}}$$

$$A_{\text{col}} = \frac{220 \text{ Kg} * 4180 \text{ J/Kg.C} (61 - 17) \text{C}}{506 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 0,8 * (6\text{h} * 3600) \text{seg.}}$$

$$A_{\text{col}} = 4,62 \text{ m}^2$$

Una vez calculada el área se determinó el número de tubos necesarios con la ecuación (2-2).

$$N_{\text{tubos}} = \frac{A_{\text{col}}}{\pi * D_3 * L_{ta}}$$

$$N_{\text{tubos}} = \frac{4,62 \text{ m}^2}{\pi * 0,044 * 1,75}$$

$$N_{\text{tubos}} = 19,13 = 20$$

Para la obtención de la velocidad de flujo másico total que se tiene desde los tubos al tanque se multiplica por los 20 tubos.

$$\dot{m}_{Ta} = \dot{m}_{\text{agua}} * N_{\text{tubos}}$$

$$\dot{m}_{Ta} = 5,08 * 10^{-4} * 20$$

$$\dot{m}_{Ta} = 10,16 * 10^{-3} \text{ kg/seg}$$

De igual manera para la obtención de la velocidad de flujo de volumen total que se tiene desde los tubos al tanque se multiplica por los 20 tubos.

$$\dot{V}_{Ta} = \dot{V}_{\text{agua}} * N_{\text{tubos}}$$

$$\dot{V}_{Ta} = 5,12 * 10^{-7} * 20$$

$$\dot{V}_{Ta} = 1,024 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{seg}$$

Tiempo necesario para el calentamiento de los 220 litros de agua.

$$t_{Tc} = \frac{V_{Total}}{\dot{V}_{Total-agua}}$$

$$t_{Tc} = \frac{0,22}{1,024 * 10^{-5}}$$

$$t_{Tc} = 21484,38 \text{ seg} = 5,97 \text{ horas}$$

6.6.1.4 Determinación de la eficiencia del calentador de tubos al vacío

Tabla 6-10 Datos para cálculo del calentador

Radiación solar promedio	(W/m ²)	506
Temperatura ambiente promedio	(° C)	24,6
Cantidad de agua a calentar	(lt)	220
Temperatura de entrada del agua	(° C)	17
Temperatura de salida del agua	(° C)	61
Temperatura de la superficie de placa	(° C)	61
Emisividad del vidrio		1
Emisividad de la placa		0,05
Coefficiente de absorción de la placa		0,95
Tiempo de funcionamiento del calentador	(horas)	6
Diámetro exterior del tubo	(m)	0,058

Diámetro interior del tubo	(m)	0,044
Longitud del tubo - contiene agua	(m)	1,75
Longitud del tubo - captación de energía	(m)	1,62
Temperatura de la superficie del vidrio	(° C)	25,1
Transmitancia del vidrio		0,91

Área efectiva del colector

$$A_{ef} = \pi * D_3 * L_t * N_{tubos}$$

$$A_{ef} = \pi * 0,044 * 1,62 * 20$$

$$A_{ef} = 4,48 \text{ m}^2$$

Pérdidas de calor por radiación

$$Q_{rad} = \frac{\sigma * A_{ef} * (T_3^4 - T_1^4)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1 - \epsilon_v}{\epsilon_v} \left(\frac{D_3}{D_5}\right)}$$

$$Q_{rad} = \frac{5,67 * 10^{-8} * 4,48 * (334^4 - 298,1^4)}{\frac{1}{0,05} + \frac{1 - 1}{1} \left(\frac{0,044}{0,058}\right)}$$

$$Q_{rad} = 57,76 \text{ W}$$

Calor incidente en el colector

$$Q_{inc} = \alpha * \tau * G_{solar \text{ promedio}} * A_{ef}$$

$$Q_{inc} = 0,95 * 0,91 * 506 \text{ W/m}^2 * 4,48 \text{ m}^2$$

$$Q_{inc} = 1959,71 \text{ W}$$

Calor útil del colector

$$Q_{\text{util}} = G_{\text{inc}} - Q_{\text{Per}}$$

$$Q_{\text{util}} = 1959,71 - (57,76 + 36,04)$$

$$Q_{\text{util}} = 1865,91 \text{ W}$$

Eficiencia del colector solar se determinó con la ecuación (2-5).

$$\eta_{\text{col}} = \frac{Q_{\text{util}}}{A_{\text{ef}} * G_{\text{solar promedio}}}$$

$$\eta_{\text{col}} = \frac{1865,91}{4,48 * 506}$$

$$\eta_{\text{col}} = 0,823$$

$$\eta_{\text{col}} = 82,3\%$$

6.6.2 Cálculos Mecánicos

6.6.2.1 Cálculo del diámetro del tanque.

La capacidad del tanque será de 170 litros, se tomo este valor promedio entre la capacidad de tanques de colectores construidos. Este valor se asumió para motivos de nuestro estudio.

$$V_o = 170 \text{ lt} = 0,17 \text{ m}^3 \quad \text{Volumen del tanque}$$

$$L_{\text{tanq}} = 1,62 \text{ m} \quad \text{Longitud del tanque}$$

$$Di^2 = \frac{4 * V_{\text{tanque}}}{\pi * L_{\text{tanq}}}$$

$$Di^2 = \frac{4 * 0,17 \text{ m}^3}{\pi * 1,62 \text{ m}}$$

$$Di = 0,37 \text{ m}$$

$$\rho_{H_{\text{agua}}} = \gamma_{\text{agua}} * h$$

$$\rho_{H_{\text{agua}}} = 9810,07\text{N/m}^3 * 0,37\text{m}$$

$$\rho_{H_{\text{agua}}} = 3629,73 \text{ Pa}$$

6.6.2.2 Cálculo del esfuerzo tangencial

Para el cálculo se considera un acero AISI 316 con $S_y = 206 * 10^6 \text{ Pa}$, tomado del anexo (7).

$$\sigma_t = \frac{S_y}{n}$$

$$\sigma_t = \frac{206 * 10^6}{3}$$

$$\sigma_t = 68,67 * 10^6 \text{ Pa}$$

6.6.2.3 Determinación del espesor de cilindro.

Se asume que es un cilindro de pared delgada

$$e_T = \frac{P_T * D_i}{2 * \sigma_t}$$

$$e_T = \frac{23569,73 * 0,37\text{m}}{2 * 68,67 * 10^6}$$

$$e_T = 6,35 * 10^{-5}\text{m} = 0.063\text{mm}$$

Con los cálculos realizados se debe utilizar un acero AISI 316 de espesor 0,063 mm lo cual es muy pequeño, se utilizara un espesor de 0,5 mm.

Como se utilizo la ecuación para cilindro de pared plana se comprueba con la siguiente relación:

$$e_T \leq \frac{r_i}{10}$$

$$0,0005\text{m} \leq \frac{0,185\text{ m}}{10}$$

$$0,0005\text{ m} < 0,0185\text{ m}$$

6.6.2.4 Análisis de la estructura

Para realizar el análisis de la columna se encontrara la longitud del arco.

$$L_{\text{arco}} = \frac{2 * \pi * r * \beta}{360^\circ}$$

$$L_{\text{arco}} = \frac{2 * \pi * 0,235 * 72^\circ}{360^\circ}$$

$$L_{\text{arco}} = 0,295\text{ m}$$

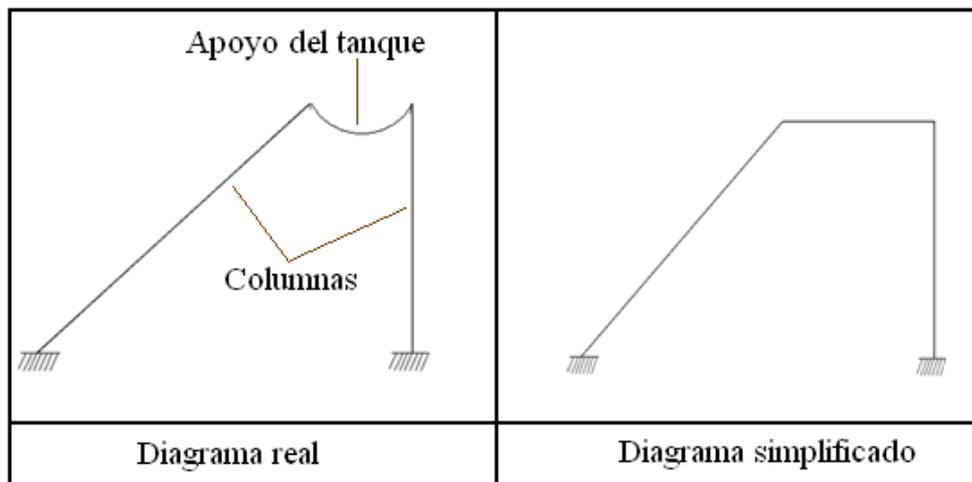


Figura 6-7 Diagrama de estructura del calentador solar.

Fuente: Por autor

En la realización del análisis se procura a calcular la fuerza a la cual va a estar sometida. El tanque y los tubos al vacío tienen una masa de 89,27 kg vacío, a esta masa se adiciona la masa del agua almacenado en el mismo.

Masa total

$$m_{\text{Total}} = P_{\text{Tanque-tubos}} + P_{\text{Agua}}$$

$$m_{\text{Total}} = 89,27 + 220$$

$$m_{\text{Total}} = 309,27 \text{ Kg}$$

Peso total

$$P_{\text{Total}} = m_{\text{Total}} * g$$

$$P_{\text{Total}} = 309,27 * 9,81$$

$$P_{\text{Total}} = 3033,94 \text{ N}$$

6.6.2.5 Cálculo de la columna de la estructura

En la construcción de la estructura se utilizó tubo cuadrado estos tubos son ASTM A 500 grado B, tomado del anexo (4). El esfuerzo de fluencia $F_y = 46 \text{ Kpsi}$ se tomo del anexo (6). El peso total está dividido en los dos lados, la fuerza en cada lado es de 1516,97 N.

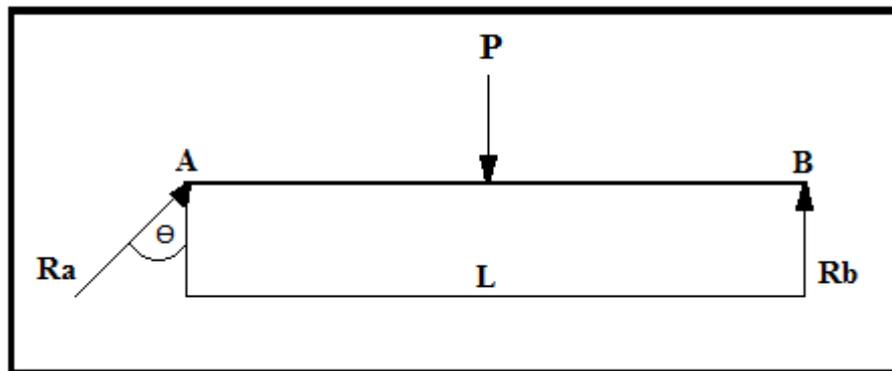


Figura 6-8 Diagrama de cuerpo libre de la estructura.

Fuente: Por autor

$$\Sigma F_y = 0$$

$$(R_a * \cos \theta) - P_{\text{viga}} + R_b = 0$$

$$(R_a * \cos 62^\circ) - 1516,97 + R_b = 0$$

$$R_a = 1615,61 \text{ N}$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-(0,1475 * 1516,97) + (0,295 * R_b) = 0$$

$$R_b = 758,49 \text{ N}$$

Análisis de la columna de 1,8 metros de longitud.

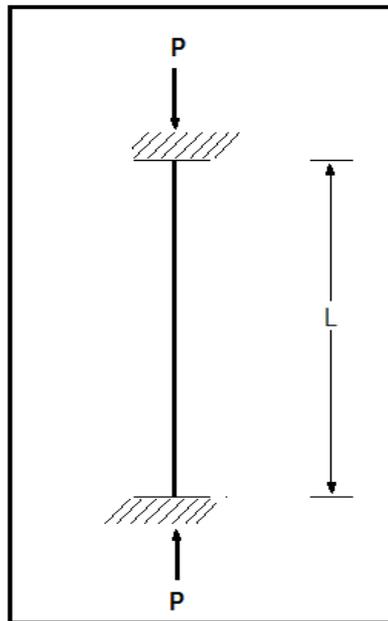


Figura 6-9 Diagrama de cuerpo libre de la columna.

Fuente: Por autor

Los valores de K y de F_a se tomaron de los anexos (9) y (10) respectivamente.

$$\frac{K * L}{r} = \frac{0,5 * 1,8}{(0,0115)} = 78,26$$

Con $\frac{K * L}{r} = 78,26$ tenemos que $F_a = 18,386 \text{ Kpsi} = 126,76 \text{ MPa}$

$$P_{\text{Permisible}} = F_a * A_g$$

$$P_{\text{Permisible}} = 126,76 * (1,65 * 10^{-4})$$

$$P_{\text{Permisible}} = 20,91 \text{ KN}$$

Como la carga que actúa en la columna es menor a la permisible, entonces la columna si resistirá. Este tubo se ocupara para toda la construcción de la estructura.

6.6.3 Visualización de distribución de temperaturas en el tubo al vacío en estado estable.

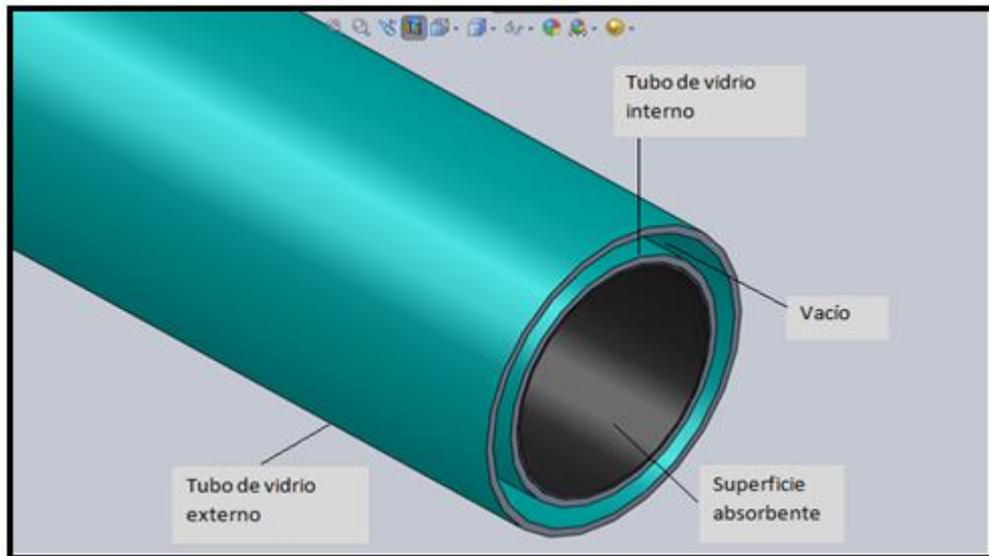


Figura 6-10 Partes principales del tubo al vacío.

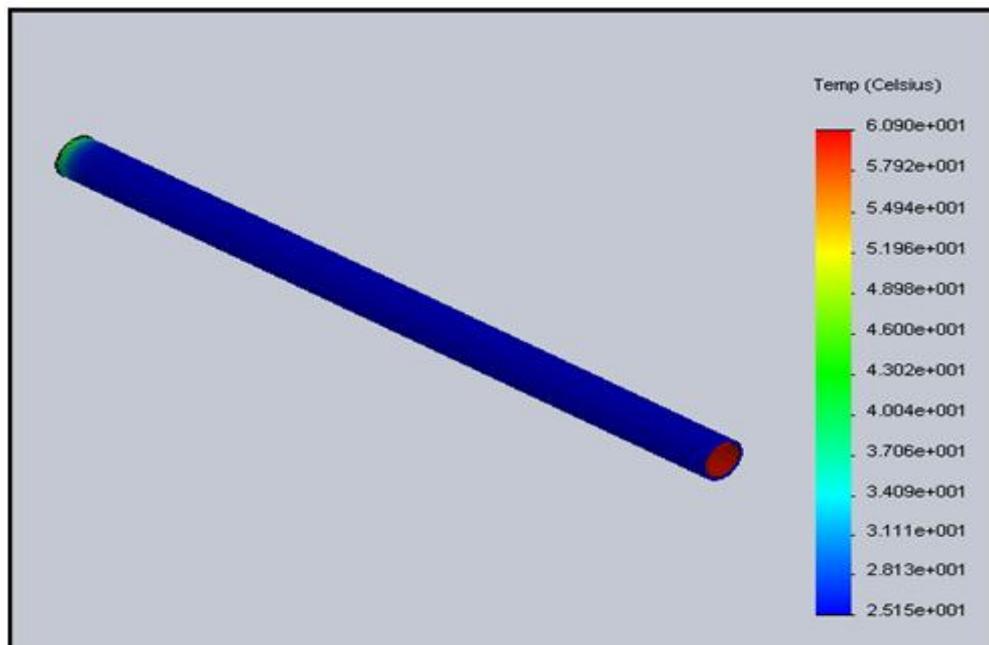


Figura 6-11 Distribución de temperaturas en el tubo al vacío.

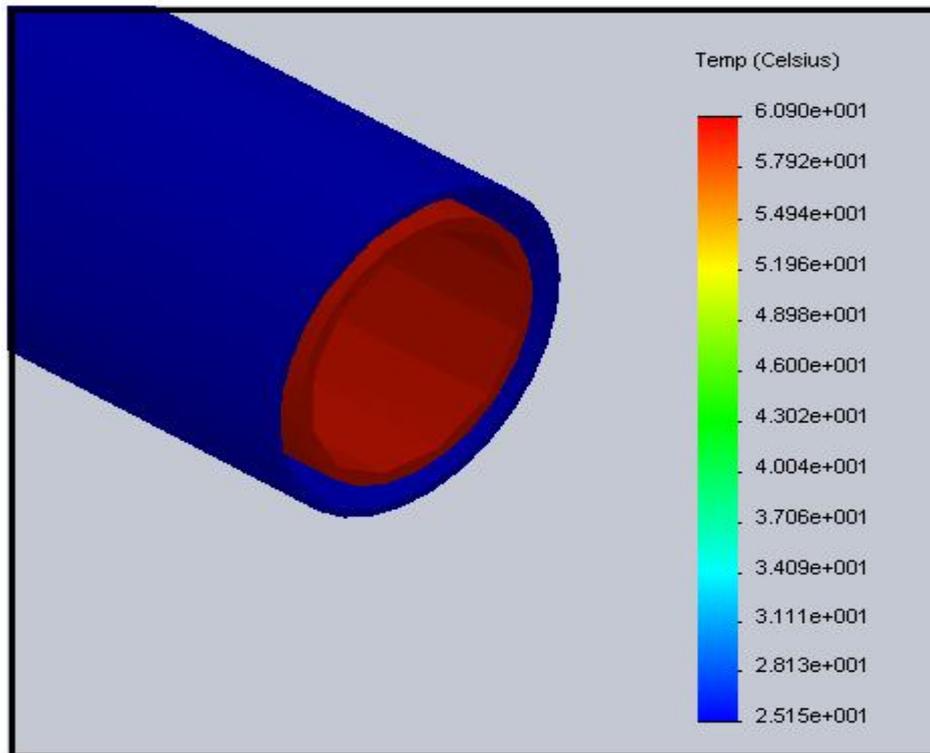


Figura 6-12 Visualización de temperaturas en el tubo al vacío y la superficie absorbente.

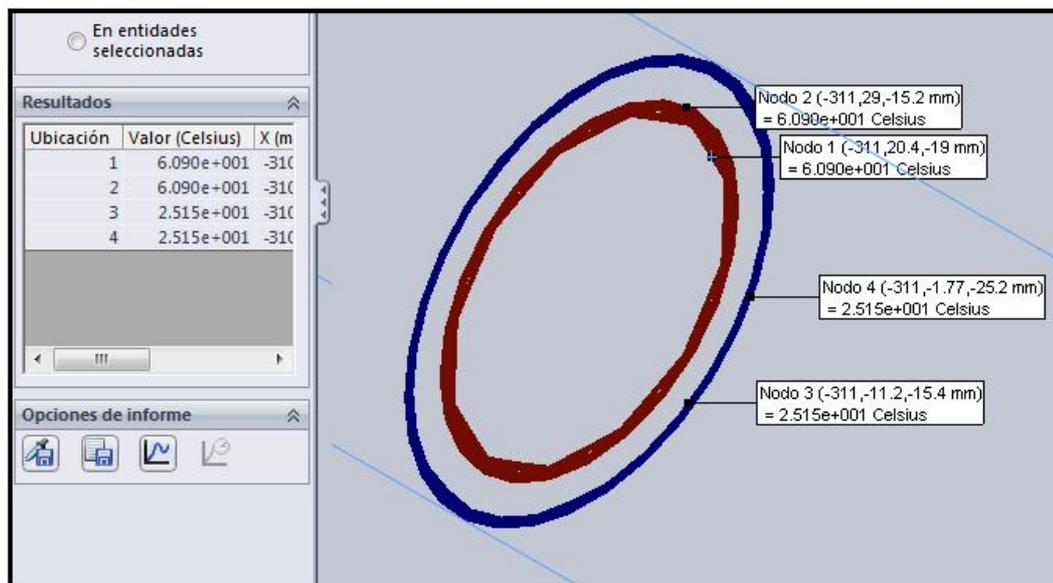


Figura 6-13 Identificación de temperaturas en el tubo externo, tubo interno y superficie absorbente.

Como se puede observar en las figuras (6-12) y (6-13) la temperatura de la superficie absorbente es de $60,9^{\circ}\text{C}$ y la temperatura en el tubo interno es de $60,9^{\circ}\text{C}$, es decir la variación de temperaturas es insignificante, mientras que la temperatura del tubo exterior es de $25,1^{\circ}\text{C}$, es decir la variación de temperatura de la superficie absorbente y el tubo exterior es considerable por efecto del vacío existente entre el tubo interno y externo.

6.7 Metodología

En base a los cálculos realizados se procedió a construir el calentador solar y aquí se describe los elementos principales que conforman el mismo.



Figura 6-14 Calentador solar de tubos al vacío.

Fuente: Por autor

La propuesta de este estudio es el diseño y la construcción de un calentador de tubos al vacío para el calentamiento de agua mediante la utilización de la energía solar.

Este equipo térmico está constituido principalmente de cuatro partes:

6.7.1 Tubos al vacío

El tubo consiste de 2 tubos, uno exterior y uno interior en donde se encuentra el vacío. El exterior está hecho de vidrio de borosilicato transparente de alta resistencia, el tubo interior tiene una excelente absorción de la energía solar. Está también hecho de vidrio de borosilicato y recubierto de nitrato de aluminio, con mínimas propiedades de reflexión.

6.7.2 Construcción

6.7.2.1 Termotanque

Aquí se acumulará el agua, el termotanque fue construido con diferentes tipos de materiales: el tanque interior está construido de acero inoxidable AISI 316 de espesor de 0,5 mm, para evitar efectos corrosivos. El mismo está cubierto con poliuretano para reducir las pérdidas de calor en un gran porcentaje porque su coeficiente de conductividad térmica es bajo y posteriormente se lo recubrió con acero galvanizado ASTM A 653 CS.

Tabla 6-11 Datos del termotanque

TERMOTANQUE	
Diámetro externo	472 mm
Diámetro interno	37 mm
Capacidad	170 lt
Materiales	Acero inoxidable AISI 316, Poliuretano, Acero galvanizado ASTM 653 CS



Figura 6-15 Termotanque del calentador

Fuente: Por autor

El tanque tiene 20 perforaciones las cuales sirven para el acople de los tubos al vacío, las perforaciones se las hicieron a una distancia basada en calentadores solares construidos. También cuenta con tres niples para la toma de agua fría, descargue de agua caliente y la fuga de agua en exceso.



Figura 6-16 Tomas del agua.

Fuente: Por autor

En la tapa lateral del tanque se colocó un sensor de nivel de agua y un sensor de temperatura para facilitar la lectura de la temperatura del agua al interior del tanque.



Figura 6-17 Colocación del sensor de temperatura

Fuente: Por autor

6.7.2.2 Estructura

La estructura está construida de tubo cuadrado de ancho de 30 * 1,5 mm de espesor y platina de 38 mm * 4 mm de espesor, la cual soporta el tanque que almacena el agua del calentador y sirve como guía de los tubos al vacío.

Tabla 6-12 Datos de la estructura del calentador

ESTRUCTURA	
Altura	0,71 m
Ancho	1,63 m
Longitud	1,68 m
Materiales	Tubo Cuadrado ASTM A 500 GRADO B, Platina ASTM A 36



Figura 6-18 Estructura del calentador

Fuente: Por autor

6.7.2.3 Placa Reflectora

La placa reflectora ayuda a aprovechar los rayos del sol que pasan entre los tubos y de esta manera tener una buena captación de la energía solar, para la construcción de placa reflectora se utilizó una estructura de soporte, la cual fue construida con una platina de 24,5 mm * 4 mm y una plancha de acero inoxidable de 0,4 mm de espesor.

Tabla 6-13 Datos de la placa reflectora

PLACA REFLECTORA	
Ancho	1,22 m
Longitud	1,63 m
Materiales	Acero inoxidable AISI 316, Acero ASTM A 36

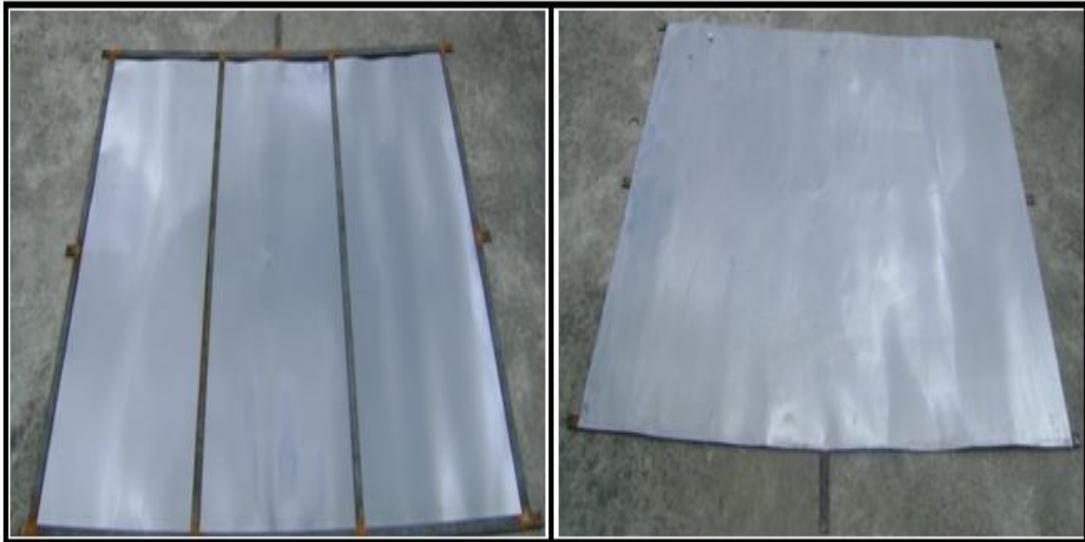


Figura 6-19 Placa Reflectora

Fuente: Por autor

6.7.3 Instrumentos utilizados

6.7.3.1 Controlador digital y sensores

En el tanque se colocó el sensor de temperatura y de nivel de agua los cuales van conectados al controlador, esto se lo hizo para facilitar la lectura de la temperatura del agua que se va a calentar.

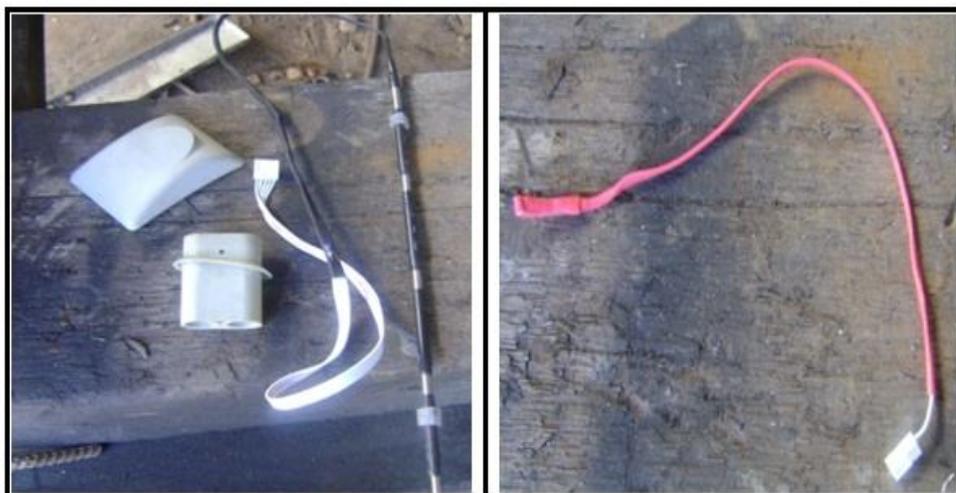


Figura 6-20 Sensor de nivel de agua y de temperatura

Fuente: Por autor

6.7.3.1 Piranómetro

Se utilizó para la toma de los valores de radiación solar, ya que es la que mayor influencia tiene en el calentamiento del agua del calentador.



Figura 6-21 Piranómetro

Fuente: Por autor

6.7.3.2 Anemómetro

Este instrumento fue utilizado para la toma de valores de la temperatura ambiente, humedad relativa y velocidad del viento.



Figura 6-22 Anemómetro

Fuente: Por autor

6.8 Administración

6.8.1 Montaje del calentador solar de tubos al vacío

- Ubicar y fijar la estructura del calentador en el lugar seleccionado con la orientación adecuada.
- Colocar sobre la estructura el termotanque y asentarlos para posteriormente ajustar los pernos.
- Colocar y fijar la placa reflectora en la estructura.
- Preparar una solución de agua con detergente en un recipiente grande.
- Mojar los agujeros del termotanque con la solución preparada, luego sumergir el tubo en el recipiente y rápidamente insertar en el agujero.

6.8.2 Pasos a realizar en las pruebas de calentamiento de agua

A continuación se describen los pasos que se seguirán para la realización del ensayo.

1. Observar que las condiciones atmosféricas sean favorables para poder empezar con el ensayo, es decir que las pruebas se realizarán en días con rayos solares directos y en días poco nublados.
2. Llenar el termotanque y los tubos completamente.
3. Exponer el calentador a la radiación para que absorba la energía solar.
4. Esperar un tiempo de 15 minutos para tomar el valor de la temperatura del agua almacenada y más parámetros como es la velocidad del viento, la radiación solar, la humedad relativa y la temperatura ambiente.
5. Realizar este proceso cada 15 minutos para registrar los valores de temperatura que se pueden alcanzar al utilizar los tubos de vacío.

6.9 Previsión de la evaluación

6.9.1 Plan de mantenimiento

Para tener un correcto funcionamiento del equipo es adecuado dar un correcto mantenimiento, a continuación se describe el siguiente plan de mantenimiento.

Estos equipos por lo general no necesitan de mantenimiento y si lo necesitan es de un mínimo mantenimiento que es el siguiente:

- Para que el funcionamiento del equipo se mantenga en perfectas condiciones, se recomienda limpiar el exterior del equipo cada tres meses con una solución de agua con vinagre blanco. En caso que hubiera excesiva presencia de polvo, es necesario limpiar los tubos de vacío para tener una buena captación de energía solar; se pueden limpiar con una franela húmeda en la mañana o 2 horas después de ocultarse el sol.
- Revisar el sistema de conexiones para evitar obstrucciones o goteos.
- El tanque requiere limpieza normal en el exterior e internamente se recomienda drenarlo 1 vez cada 2 años y de paso limpiar los tubos internamente.

MATERIALES DE REFERENCIA

Bibliografía:

- INCROPERA, F. – DEWITT, P. (1999). Fundamentos de Transferencia de Calor. 4ª Edición, Edit. Prentice Hall Hispanoamericana, México.
- YUNNUS, C. (2004). Transferencia de Calor. 2ª Edición, Edit. Mc. Graw-Hill, México D.F.
- BERRIZ, L. – ALVAREZ, M. (2008). Manual para el Cálculo y Diseño de Calentadores Solares. Edit. Cubasolar, Cuba.
- LEMVIGH-MÜLLER, R. (2003). Energía Solar Térmica. 2ª Edición, Edit. Neografis, S.L. Impresores, España.
- MANRIQUE J. (1984). Energía Solar - Fundamentos y Aplicaciones Fototérmicas. México.
- SHIGLEY, J. – MITCHELL, L. (1985). Diseño en Ingeniería Mecánica. 4ª Edición, Edit. Mc. Graw- Hill, México D.F.
- MC CORMAC, J. (2006). Diseño de Estructuras Metálicas. 4ª Edición, 4ª Reimpresión, Colombia.
- YUNNUS, C. – CIMBALA, J. (2006). Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones. Edit. Mc. Graw- Hill, México D.F.
- INEN. (1981). Código de Dibujo Técnico – Mecánico, Quito.
- HERRERA, L. – MEDINA, A. - NARANJO, G. (2008). Tutoría de la Investigación Científica, Ambato.
- JIMENEZ, H. – PORTALANZA, N. (2009). Estandarización de Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar en la Ciudad de Riobamba, Tesis de Grado. ESPOCH, Escuela de Ingeniería Mecánica, Riobamba.

Páginas Web

- <http://www.frioycalor.cl/101/tema6.html>
- <http://www.smartienda.cl/smart2007/default.asp?contenido=producto.asp&php=1689&producto=22774&titulo=Como%20funciona%20un%20calentador%20solar%20->
- <http://www.greenpeace.org/raw/content/mexico/prensa/reports/calentadores-solares-energ-a.pdf>
- <http://www.cf-1.com/instalacion-de-calentadores-solares-de-agua-obtener-la-orientacion-y-la-inclinacion-de-angulo-recto>
- <http://www.articuloz.com/ciencia-articulos/calentadores-solares-de-tubos-evacuados-preguntas-frecuentes-i-569955.html>
- <http://www.calentador.com.mx/tubvacio-special.html>
- <http://www.solargreen.com.ar/calefonos2.html>
- [http://fc.uni.edu.pe/mhorn/IF%20442%202011/evaluacion%20de%20termina%20solar%20\(articulo%20Polo%20y%20Torres\).pdf](http://fc.uni.edu.pe/mhorn/IF%20442%202011/evaluacion%20de%20termina%20solar%20(articulo%20Polo%20y%20Torres).pdf)
- <http://www.recal.cl/UniClima%20paneles%20circ.%20natural%20pres.pdf>
- <http://mesasolar.org/cursos/manualweb.pdf>
- <http://www.enverdemexico.com/archivos/MANUAL-INDUCCION-ENVER.pdf>
- <http://www.textoscientificos.com/energia/calentador-solar/aplicaciones/colectores-solares-agua>
- <http://www.solarws.com/images/fichas/WS-HP.pdf>
- <http://www.aquaysol.com/funcionamiento.html>
- <http://enecogalaica.com/energiasolartermica.htm>

ANEXOS

Anexos 1

Tubos al Vacío

Tubo de Vacío

Descripción
Estructura
Datos Técnicos
Características
Tabla de datos

CARACTERÍSTICAS

- Tubo de vidrio de alto borosilicon, para dos capas
- El tubo de vidrio de dos capas, con el mismo eje de vacío entre ellos, el grado de vacío puede llegar a 5×10^{-3} PA.
- Materia de revestimiento selectivo, recubiertos con AL/N/AL
- Alta eficiencia de absorción: el vacío de control de pulverización magnética selectiva de recubrimientos de absorción de calor en la recogida de las placas tiene un alto coeficiente de absorción de más del 93%, y el coeficiente de emisión de alrededor del 6%.
- Larga vida: la vida útil puede alcanzar 15 años.
- Alta viabilidad: capaz de soportar el impacto de granizo inferior a 25 mm de diámetro con el calor de alta eficiencia en todo el año.



Tubo de Vacío

Descripción
Estructura
Datos Técnicos
Características
Tabla de datos

DATOS TÉCNICOS

- Conversión termo-solar alta y baja pérdida de calor
- Recubrimiento avanzado estable hasta los 380 grados centígrados
- Alto nivel de vacío para garantizar la operación aun en climas fríos.

Modelos	47×150	58×180
Peso	1.35±0.12kg	2.29±0.18kg
Estructura	tubos de vidrio y doble recubrimiento	tubos de vidrio y doble recubrimiento
Diámetro tubo externo	47±0.7mm	58±0.7mm
Diámetro tubo interno	37±0.7mm	47±0.7mm
Espesor tubo externo	1.6±0.15mm	1.8±0.15mm
Espesor tubo interno	1.6±0.15mm	1.8±0.15mm
longitud de tubo	1,542±4mm	1,812±4mm
Material de recubrimiento	Al N/Al N-SS/Cu	Al N/Al N-SS/Cu
Absorción	0.94~0.96	0.94~0.96
Emitancia	0.04~0.06	0.04~0.06
Vacío	$P < 5 \times 10^{-3}$ pa	$P < 5 \times 10^{-3}$ pa
Transmitancia del tubo exterior	0.91	0.91
Temperatura (altura)	270~300	270~300
Coficiente de pérdida de calor	≤ 0.6 w/ m ²	≤ 0.6 w/ m ²
Abilidad de granizo	diámetro de granizo 25mm	diámetro de granizo 25mm
Capacidad para soportar la presión	1MPa	1MPa

Anexos 2

Propiedades del agua saturada

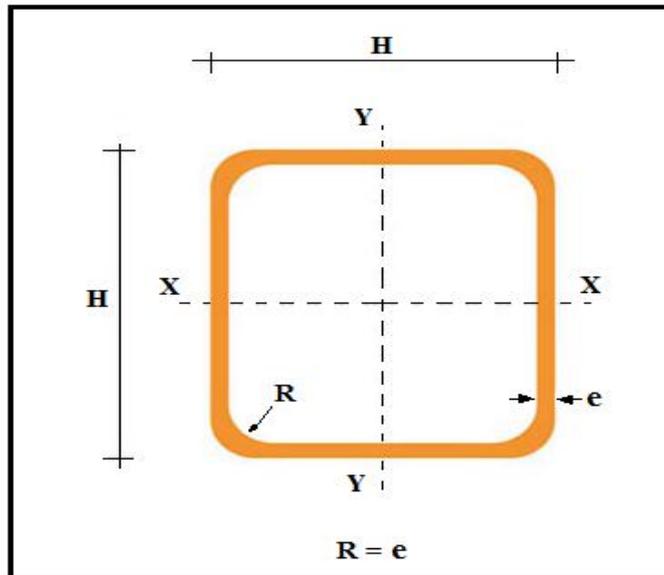
Propiedades del agua saturada

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
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2501	4217	1854	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	2490	4205	1857	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	2478	4194	1862	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	2466	4186	1863	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	2454	4182	1867	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	2442	4180	1870	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	2431	4178	1875	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	2419	4178	1880	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	2407	4179	1885	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	2395	4180	1892	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	2383	4181	1900	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	2371	4183	1908	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	2359	4185	1916	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	2346	4187	1926	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	2334	4190	1936	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	2321	4193	1948	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	2309	4197	1962	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	2296	4201	1977	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	2283	4206	1993	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	2270	4212	2010	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	2257	4217	2029	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	2230	4229	2071	0.682	0.0262	0.255×10^{-3}	1.261×10^{-5}	1.58	1.00	0.798×10^{-3}
120	198.53	943.4	1.121	2203	4244	2120	0.683	0.0275	0.232×10^{-3}	1.296×10^{-5}	1.44	1.00	0.858×10^{-3}
130	270.1	934.6	1.496	2174	4263	2177	0.684	0.0288	0.213×10^{-3}	1.330×10^{-5}	1.33	1.01	0.913×10^{-3}
140	361.3	921.7	1.965	2145	4286	2244	0.683	0.0301	0.197×10^{-3}	1.365×10^{-5}	1.24	1.02	0.970×10^{-3}
150	475.8	916.6	2.546	2114	4311	2314	0.682	0.0316	0.183×10^{-3}	1.399×10^{-5}	1.16	1.02	1.025×10^{-3}
160	617.8	907.4	3.256	2083	4340	2420	0.680	0.0331	0.170×10^{-3}	1.434×10^{-5}	1.09	1.05	1.145×10^{-3}
170	791.7	897.7	4.119	2050	4370	2490	0.677	0.0347	0.160×10^{-3}	1.468×10^{-5}	1.03	1.05	1.178×10^{-3}
180	1,002.1	887.3	5.153	2015	4410	2590	0.673	0.0364	0.150×10^{-3}	1.502×10^{-5}	0.983	1.07	1.210×10^{-3}
190	1,254.4	876.4	6.388	1979	4460	2710	0.669	0.0382	0.142×10^{-3}	1.537×10^{-5}	0.947	1.09	1.280×10^{-3}
200	1,553.8	864.3	7.852	1941	4500	2840	0.663	0.0401	0.134×10^{-3}	1.571×10^{-5}	0.910	1.11	1.350×10^{-3}
220	2,318	840.3	11.60	1859	4610	3110	0.650	0.0442	0.122×10^{-3}	1.641×10^{-5}	0.865	1.15	1.520×10^{-3}
240	3,344	813.7	16.73	1767	4760	3520	0.632	0.0487	0.111×10^{-3}	1.712×10^{-5}	0.836	1.24	1.720×10^{-3}
260	4,688	783.7	23.69	1663	4970	4070	0.609	0.0540	0.102×10^{-3}	1.788×10^{-5}	0.832	1.35	2.000×10^{-3}
280	6,412	750.8	33.15	1544	5280	4835	0.581	0.0605	0.094×10^{-3}	1.870×10^{-5}	0.854	1.49	2.380×10^{-3}

Anexo 3

Características del tubo estructural cuadrado

Largo Normal	6 metros
Recubrimiento	Negro o Norma de Galvanizado
Norma de Fabricación	ASTM A500 Gr. A, B ó C. NTE INEN 2415
Norma de galvanizado	ASTM A123
Espesores	Desde 1,5 a 4,0 mm



Nomenclatura

A= Área de la sección transversal de tubo, cm^2

I= Momento de inercia de la sección, cm^4

W= Modulo resistente de la sección, cm^3

i= Radio de giro de la sección, cm

Anexo 4

Propiedades del tubo cuadrado



ESPECIFICACIONES GENERALES

Largo Normal: 6 m
 Recubrimiento: Negro o Galvanizado
 Dimensiones: Desde 3/4 a 4 plg
 (20 x 20) a (100 x 100) mm
 Espesores: Desde 1.5 a 4 mm
 Calidad del Acero: JIS G3132 SPHT-1
 ASTM A 500
 Observaciones: Otros largos previa consulta



NORMA INTERNA

Tolerancia Dimensional:
 3/4" (20 x 20) - 4" (100 x 100) ±0.30 mm
 Variación Longitud: -0
 +10
 Rectitud: 0.4% de longitud (máximo)
 Radio máximo: 3 veces el espesor

APLICACIONES

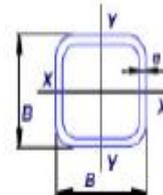
Usos Estructurales

- Columnas de estructuras
- Estructuras para techos de vidrio
- Cerramientos
- Portones
- Postes de señalización

Otros usos

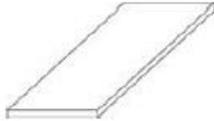
- Carrocerías
- Muebles metálicos
- Máquinas para gimnasio
- Casetas de guardiania
- Estructuras para letreros
- Estructuras metálicas
- Maquinaria industrial
- Remolques

DIMENSIONES	PESO	AREA	PROPIEDADES				
			EJES X-X e Y-Y				
Designación	B	e	P	A	I	W	i
Plg	mm	mm	Kg/6m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm
3/4	20	1.5	4.98	1.05	0.58	0.58	0.74
		2.0	6.30	1.34	0.69	0.69	0.72
1	25	1.5	6.36	1.35	1.21	0.97	0.95
		2.0	8.16	1.74	1.48	1.18	0.92
1 1/4	30	1.5	7.80	1.65	2.19	1.47	1.15
		2.0	10.08	2.14	2.71	1.81	1.12
1 1/2	40	1.5	10.62	2.25	5.48	2.74	1.56
		2.0	13.86	2.94	6.92	3.46	1.53
		3.0	19.80	4.21	9.28	4.64	1.48
2	50	1.5	13.44	2.85	11.06	4.42	1.97
		2.0	17.58	3.74	14.13	5.65	1.94
		3.0	25.50	5.41	19.40	7.76	1.89
2 3/8	60	1.5	16.26	3.74	18.68	6.22	2.23
		2.0	22.44	4.54	25.12	8.37	2.35
		3.0	33.30	6.61	35.06	11.69	2.30



Anexo 5

Propiedades de la plancha de acero galvanizado.



ESPECIFICACIONES GENERALES

Acero Galvanizado: ASTM A 653 CS
 Observaciones: Otras dimensiones previa consulta



NORMA INTERNA

Espesor: 0.35 mm - 2.00 mm
 Longitud: - 0 mm
 + 3 mm
 Descuadres: $\frac{1.50}{1000} \times \text{diagonal nominal} > \text{diagonal mayor} - \text{diagonal menor}$
 Ondulamiento: 10 mm de amplitud máxima

APLICACIONES

- Ductos para aire acondicionado
- Puertas metálicas
- Perifería de tumbado
- Cámaras frigoríficas
- Partes y piezas para línea blanca

TABLA DE PESOS APROXIMADOS

ESPEJOR	PESO APROX. POR PLANCHA (Kg)
mm	1,220 x 2,440
0.35	8.18
0.40	9.35
0.45	10.52
0.50	11.68
0.55	12.85
0.70	16.36
0.90	21.03
1.00	23.36

Anexo 6

Propiedades Mecánicas

Norma ASTM A 500 Grado del Acero	Propiedades Mecánicas (mínimas)					
	Límite de Fluencia Mpa (Kg/cm ²)	Límite de Fluencia psi	Resistencia a la Tracción Mpa (Kg/cm ²)	Resistencia a la Tracción psi	% Elong	
Circular	A	228 (2.320)	33,000	310 (3.170)	45,000	25
	B	290 (2.955)	42,000	400 (4.080)	58,000	23
	C	317 (3.230)	46,000	427 (4.360)	62,000	21(*)
Cuadrado y rectangular	A	269 (2.740)	39,000	310 (3.170)	45,000	25
	B	317 (3.230)	46,000	400 (4.080)	58,000	23
	C	345 (3.515)	50,000	427 (4.360)	62,000	21(*)

Anexo 7

Limite de Fluencia del Acero inoxidable AISI 316

	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN			LÍMITE DE FLUENCIA			ALARGAMIENTO EN 2" %	REDUCCIÓN DE ÁREA %	RELACIÓN DE MAQUINABILIDAD 1212 EF = 100%
	MPa	(kgf/mm ²)	[Ksi]	MPa	(kgf/mm ²)	[Ksi]			
316	510	(52)	[74]	208	(21)	[30]	40	50	45
316L	481	(49)	[70]	178	(18)	[26]			

Anexo 8

Características del aluminio 2011

COMPOSICIÓN QUÍMICA													
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Bi	Pb	Otros	Al			
0,40%	0,70%	5,00-6,00%				0,30%	0,60%	0,60%	0,15%	Resto			
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS					APLICACIONES								
Estado		T-3			Se utiliza para la fabricación de todo tipo de piezas en decoletage, racores, manguitos, bridas, arandelas, tornillos, poleas, pistones, cilindros neumáticos, etc.								
Peso específico		gr/cm ³									2,83		
Carga de rotura Rm		N/mm ²									320		
Limite elástico Rp 0,2		N/mm ²									270		

Anexo 9

Longitudes efectivas de columnas

Las longitudes efectivas se analizan con mayor detalle en la sección 7-1. Los nomogramas presentados ahí dan supuestamente factores K más precisos que los de la tabla 5-1.

Tabla 5-1 LONGITUDES EFECTIVAS DE COLUMNAS

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Las líneas punteadas muestran la forma pandeada de la columna						
Valor K teórico	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valores recomendados de diseño cuando las condiciones reales son parecidas a las ideales	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Símbolos para las condiciones de extremo						
	Rotación y traslación impedidas Rotación libre y traslación impedida Rotación impedida y traslación libre Rotación y traslación libres					

Fuente: *Manual of Steel Construction Allowable Stress Design*, del American Institute of Steel Construction, novena edición (Chicago: AISC, 1989), tabla C-C2.1, "Commentary on the Specification for Structural Steel Buildings Allowable Stress Design and Plastic Design", pág. 5-135. Reimpreso con autorización del AISC.

Anexo 10

Presión permisible (F_a)

TABLE 10—46,000 psi yield steel

$\frac{KL}{r}$ ratio									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	27,540	27,480	27,420	27,360	27,300	27,230	27,160	27,090	27,020
10	26,950	26,870	26,790	26,720	26,630	26,550	26,470	26,380	26,210
20	26,110	26,020	25,930	25,830	25,730	25,640	25,540	25,430	25,230
30	25,120	25,010	24,900	24,790	24,680	24,560	24,450	24,330	24,100
40	23,970	23,850	23,730	23,600	23,480	23,350	23,220	23,090	22,830
50	22,690	22,560	22,420	22,280	22,140	22,000	21,860	21,720	21,430
60	21,280	21,130	20,980	20,830	20,680	20,530	20,370	20,220	19,900
70	19,740	19,580	19,420	19,260	19,100	18,930	18,760	18,600	18,260
80	18,080	17,910	17,740	17,560	17,390	17,210	17,030	16,850	16,480
90	16,300	16,120	15,930	15,740	15,550	15,360	15,170	14,970	14,580
100	14,390	14,190	13,990	13,790	13,580	13,380	13,170	12,960	12,540
110	12,330	12,120	11,900	11,690	11,490	11,290	11,100	10,910	10,550
120	10,370	10,200	10,030	9,870	9,710	9,560	9,410	9,260	8,970

Analysis of Compression / 3.1-13

Anexo 11

Toma de datos

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA				
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA				
Fecha: Miércoles 04 de mayo del 2011				Hora: 10:00 am
Condiciones atmosférica: Cielo despejado con presencia de sol.				
Tiempo	Radiación	Temperatura	Velocidad de	Humedad
(horas)	solar (W/m²)	Ambiente (° C)	viento(m/s)	Relativa (%)
10:00	455,5	23,2	1,2	40
10:15	489,6	23,3	1	38,2
10:30	525,2	23,6	1,5	36,7
10:45	548,8	24	1,3	41,3
11:00	564,7	24,1	1,5	37,6
11:15	595,6	24,2	1,2	36,1
11:30	607	24,5	2,2	34
11:45	623,6	24,8	1,3	28
12:00	635,9	25,3	3,5	36,5
12:15	633	25,7	3,8	42,4
12:30	621,4	26,4	2,7	39
12:45	601,6	26,8	4,1	36
13:00	585,7	26,5	4,2	35,8
13:15	566,1	26,3	4,8	38
13:30	547,8	25,8	5,3	37,6
13:45	518,5	25,5	5,5	36,6
14:00	494,1	25,1	0,8	39
14:15	467,7	24,7	4,3	38,8
14:30	435,1	24,2	2,3	39,9
14:45	406,5	23,5	4,5	40,7
15:00	375,5	23,1	3,8	41,2
15:15	352,1	22,8	4,2	38,3
15:30	345,2	22,4	3,8	37,5
15:45	322,4	22,1	2,4	36,8
16:00	307,8	21,7	3,1	37,3

Anexo 12

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA CARRERA DE INGENIERIA MECANICA				
Fecha: Jueves 05 de mayo del 2011				Hora: 10:00 am
Condiciones atmosférica: Cielo despejado con presencia de sol.				
Tiempo	Radiación	Temperatura	Velocidad de	Humedad
(horas)	solar (W/m²)	Ambiente (° C)	viento(m/s)	Relativa (%)
10:00	459,8	23,3	1,9	42,3
10:15	489,1	23,6	2,1	40
10:30	528,2	24,1	2,5	38,5
10:45	548,9	24,6	1,7	42
11:00	569,8	25	0,8	38,3
11:15	597,4	25,2	1,7	39,9
11:30	608,2	25,5	0,7	39,2
11:45	627,1	26,1	1	39,5
12:00	636,9	26,5	0,9	43,3
12:15	637,4	26,8	1,6	38,7
12:30	627,2	27,4	1,3	40
12:45	608	27,6	1,9	41,4
13:00	583,9	27,4	2,5	39,2
13:15	564,6	26,9	2,3	40
13:30	542,5	26,5	2	37,1
13:45	517,7	25,9	2,8	37,9
14:00	495,2	25,4	2,2	39,1
14:15	466,8	24,7	3,3	41,1
14:30	435,3	24,3	2	42
14:45	407,8	24	2,8	44,1
15:00	379,6	23,8	4,3	41,4
15:15	359,2	23,5	2,8	38,4
15:30	338,4	23	4,3	41,5
15:45	318,5	22,6	3,7	39,6
16:00	307,9	22,1	3,1	38,7

Anexo 13

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA CARRERA DE INGENIERIA MECANICA				
Fecha: Viernes 06 de mayo del 2011				Hora: 10:00 am
Condiciones atmosférica: Cielo despejado con presencia de sol.				
Tiempo	Radiación	Temperatura	Velocidad de	Humedad
(horas)	solar (W/m²)	Ambiente (° C)	viento(m/s)	Relativa (%)
10:00	453,8	22,9	0,4	34,7
10:15	495,2	23,1	1,7	32
10:30	529,1	23,5	0,5	24,9
10:45	563,1	23,8	0,7	20,1
11:00	577,4	24,2	1,9	22,4
11:15	596,3	24,6	0,9	17,7
11:30	621,5	24,8	1,4	21,5
11:45	625,7	25,1	1,3	19,4
12:00	638,9	25,5	1,8	17,3
12:15	624,5	25,9	1,5	21,4
12:30	595,8	26,7	1,5	25,5
12:45	599	27,2	1,7	28,5
13:00	579	26,8	1,1	26,6
13:15	558,8	26,3	2,2	34,1
13:30	541,1	25,8	2,5	31,7
13:45	515,2	25,4	2,2	32
14:00	488,5	25,1	2,7	31,7
14:15	452,7	24,7	1,9	34,2
14:30	425,5	24,2	1,6	32,7
14:45	408,1	23,4	1,5	36,5
15:00	389,5	22,9	2,5	36,2
15:15	366,4	22,7	2,8	38,1
15:30	347,2	22,4	3,2	40,1
15:45	328,4	21,9	2,5	37,5
16:00	307,1	21,4	2	35,7

Anexo 14

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA CARRERA DE INGENIERIA MECANICA				
Fecha: Miércoles 11 de mayo del 2011				Hora: 10:00 am
Condiciones atmosférica: Cielo despejado con presencia de sol.				
Tiempo	Radiación	Temperatura	Velocidad de	Humedad
(horas)	solar (W/m²)	Ambiente (° C)	viento(m/s)	Relativa (%)
10:00	462	22,8	3,5	34,6
10:15	490,3	23,2	0,7	33,2
10:30	525,8	23,5	1,2	29,5
10:45	547,8	24,2	0,7	22,2
11:00	568,5	24,6	0,9	23
11:15	598,1	24,9	1,9	18,5
11:30	608	25,4	0,9	20,5
11:45	623,9	26,1	1,7	18,3
12:00	635,8	26,3	1,3	21
12:15	636	26,7	1,8	22,8
12:30	625,7	26,9	1,2	24,6
12:45	607,5	27,2	1,3	23,1
13:00	579,6	26,7	0,8	28,2
13:15	566,1	26,1	3,4	32,2
13:30	546	25,8	3,7	31,7
13:45	519,1	25,6	2,7	33
14:00	489,8	25,4	2,3	31,2
14:15	468,4	24,7	3,2	32,1
14:30	436,9	24,3	2	33,4
14:45	408,2	23,6	3,3	35,6
15:00	377,6	23,1	2	29,7
15:15	359,7	22,8	2,8	37,6
15:30	337,8	22,5	2,4	36,1
15:45	323	22,2	2,1	31,3
16:00	309,1	21,6	2,8	38,1

Anexo 15

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA CARRERA DE INGENIERIA MECANICA				
Fecha: Martes 17 de mayo del 2011				Hora: 10:00 am
Condiciones atmosférica: Cielo despejado con presencia de sol.				
Tiempo	Radiación	Temperatura	Velocidad de	Humedad
(horas)	solar (W/m²)	Ambiente (° C)	viento(m/s)	Relativa (%)
10:00	452,9	22,3	2,5	35,8
10:15	489,6	22,7	2,7	31,6
10:30	525,2	23,1	0,8	31,3
10:45	549,8	23,5	0,8	23,3
11:00	566,7	23,9	0,5	24,5
11:15	595	24,4	2,3	19,2
11:30	607	25	0,5	21
11:45	626,6	25,6	0,4	19,6
12:00	634,9	26,2	1,6	23
12:15	634	26,6	0,4	18
12:30	625,4	27,1	1	22
12:45	604,6	27,4	1,1	24,7
13:00	586,7	27,2	0,8	26,6
13:15	567,1	26,7	3,2	31
13:30	546,8	26,1	2,1	32,7
13:45	517,5	25,7	3	27,6
14:00	495,1	25,1	2,5	33,5
14:15	467,7	24,3	3,1	30,5
14:30	438,1	23,8	2,1	32,9
14:45	406,4	23,4	1,9	33,8
15:00	379,5	23,1	3	36,2
15:15	349,5	22,7	2,4	35,9
15:30	334,7	22,3	2	29,7
15:45	318,9	21,8	2,5	36,8
16:00	308,5	21,4	3	36,2

Anexo 16

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA				
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA				
Fecha: Viernes 20 de mayo del 2011				Hora: 10:00 am
Condiciones atmosférica: Cielo despejado con presencia de sol.				
Tiempo	Radiación	Temperatura	Velocidad de	Humedad
(horas)	solar (W/m²)	Ambiente (° C)	viento(m/s)	Relativa (%)
10:00	463,7	22,6	0,5	38,3
10:15	487,8	23	0,4	39,6
10:30	527,5	23,2	1,2	44,2
10:45	549,1	23,8	0,4	39,9
11:00	571,3	24,3	0,5	39,2
11:15	595,3	24,5	0,9	39,5
11:30	607,2	25,1	1,1	43,3
11:45	623,6	25,5	0,6	38,7
12:00	635,5	26,1	1,9	40
12:15	634,4	26,8	2,1	41,1
12:30	625,1	27,2	0,8	39,2
12:45	605,9	27,6	0,9	40
13:00	583,5	27,1	1,2	37,1
13:15	567,9	26,7	2,3	37,9
13:30	548,2	26,2	3,2	32,1
13:45	516,8	25,6	1,9	34,2
14:00	492,1	25,1	2,1	32,9
14:15	467,1	24,3	2	33,4
14:30	439,4	23,5	1,6	32,7
14:45	409,2	23,1	1,9	33,8
15:00	377,4	22,7	3,3	35,6
15:15	356,9	22,5	1,5	36,5
15:30	346,5	22,1	3	36,2
15:45	325,9	21,8	2	35,9
16:00	311,1	21,5	2,5	37,6

Anexo 17

Pruebas realizadas con el calentador

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA			
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA			
Fecha: Miércoles 04 de mayo del 2011		Hora de inicio: 10:00	
Temperatura del agua de entrada (° C): 17		Hora de finalización: 16:00	
Humedad Relativa: 37,73		Velocidad del Viento (m/s): 2,97	
Condiciones atmosférica: Cielo despejado con presencia de sol.			
CALENTADOR SOLAR CON TUBOS AL VACIO			
Tiempo (horas)	Radiación solar (W/m²)	Temperatura Ambiente (° C)	Temperatura agua de salida (° C)
10:00	455,5	23,2	17
10:15	489,6	23,3	18
10:30	525,2	23,6	21
10:45	548,8	24	23
11:00	564,7	24,1	25
11:15	595,6	24,2	27
11:30	607	24,5	30
11:45	623,6	24,8	32
12:00	635,9	25,3	33
12:15	633	25,7	35
12:30	621,4	26,4	37
12:45	601,6	26,8	40
13:00	585,7	26,5	41
13:15	566,1	26,3	43
13:30	547,8	25,8	45
13:45	518,5	25,5	46
14:00	494,1	25,1	48
14:15	467,7	24,7	50
14:30	435,1	24,2	52
14:45	406,5	23,5	53
15:00	375,5	23,1	56
15:15	352,1	22,8	57
15:30	345,2	22,4	58
15:45	322,4	22,1	60
16:00	307,8	21,7	61

Anexo 18

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA			
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA			
Fecha: Jueves 05 de mayo del 2011		Hora de inicio: 10:00	
Temperatura del agua de entrada (° C): 18		Hora de finalización: 16:00	
Humedad Relativa: 40,13		Velocidad del Viento (m/s): 2,25	
Condiciones atmosférica: Cielo despejado con presencia de sol.			
CALENTADOR SOLAR CON TUBOS AL VACIO			
Tiempo	Radiación	Temperatura	Temperatura agua
(horas)	solar (W/m²)	Ambiente (° C)	de salida (° C)
10:00	459,8	23,3	18
10:15	489,1	23,6	20
10:30	528,2	24,1	23
10:45	548,9	24,6	25
11:00	569,8	25	27
11:15	597,4	25,2	28
11:30	608,2	25,5	31
11:45	627,1	26,1	33
12:00	636,9	26,5	35
12:15	637,4	26,8	37
12:30	627,2	27,4	38
12:45	608	27,6	41
13:00	583,9	27,4	42
13:15	564,6	26,9	45
13:30	542,5	26,5	46
13:45	517,7	25,9	48
14:00	495,2	25,4	50
14:15	466,8	24,7	51
14:30	435,3	24,3	52
14:45	407,8	24	55
15:00	379,6	23,8	56
15:15	359,2	23,5	57
15:30	338,4	23	58
15:45	318,5	22,6	61
16:00	307,9	22,1	62

Anexo 19

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA			
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA			
Fecha: Viernes 06 de mayo del 2011		Hora de inicio: 10:00	
Temperatura del agua de entrada (° C): 17		Hora de finalización: 16:00	
Humedad Relativa: 29,6		Velocidad del Viento (m/s): 1,76	
Condiciones atmosférica: Cielo despejado con presencia de sol.			
CALENTADOR SOLAR CON TUBOS AL VACIO			
Tiempo	Radiación	Temperatura	Temperatura agua
(horas)	solar (W/m²)	Ambiente (° C)	de salida (° C)
10:00	453,8	22,9	17
10:15	495,2	23,1	18
10:30	529,1	23,5	21
10:45	563,1	23,8	23
11:00	577,4	24,2	25
11:15	596,3	24,6	27
11:30	621,5	24,8	30
11:45	625,7	25,1	32
12:00	638,9	25,5	33
12:15	624,5	25,9	35
12:30	595,8	26,7	37
12:45	599	27,2	40
13:00	579	26,8	41
13:15	558,8	26,3	43
13:30	541,1	25,8	45
13:45	515,2	25,4	46
14:00	488,5	25,1	48
14:15	452,7	24,7	50
14:30	425,5	24,2	52
14:45	408,1	23,4	53
15:00	389,5	22,9	56
15:15	366,4	22,7	57
15:30	347,2	22,4	58
15:45	328,4	21,9	60
16:00	307,1	21,4	61

Anexo 20

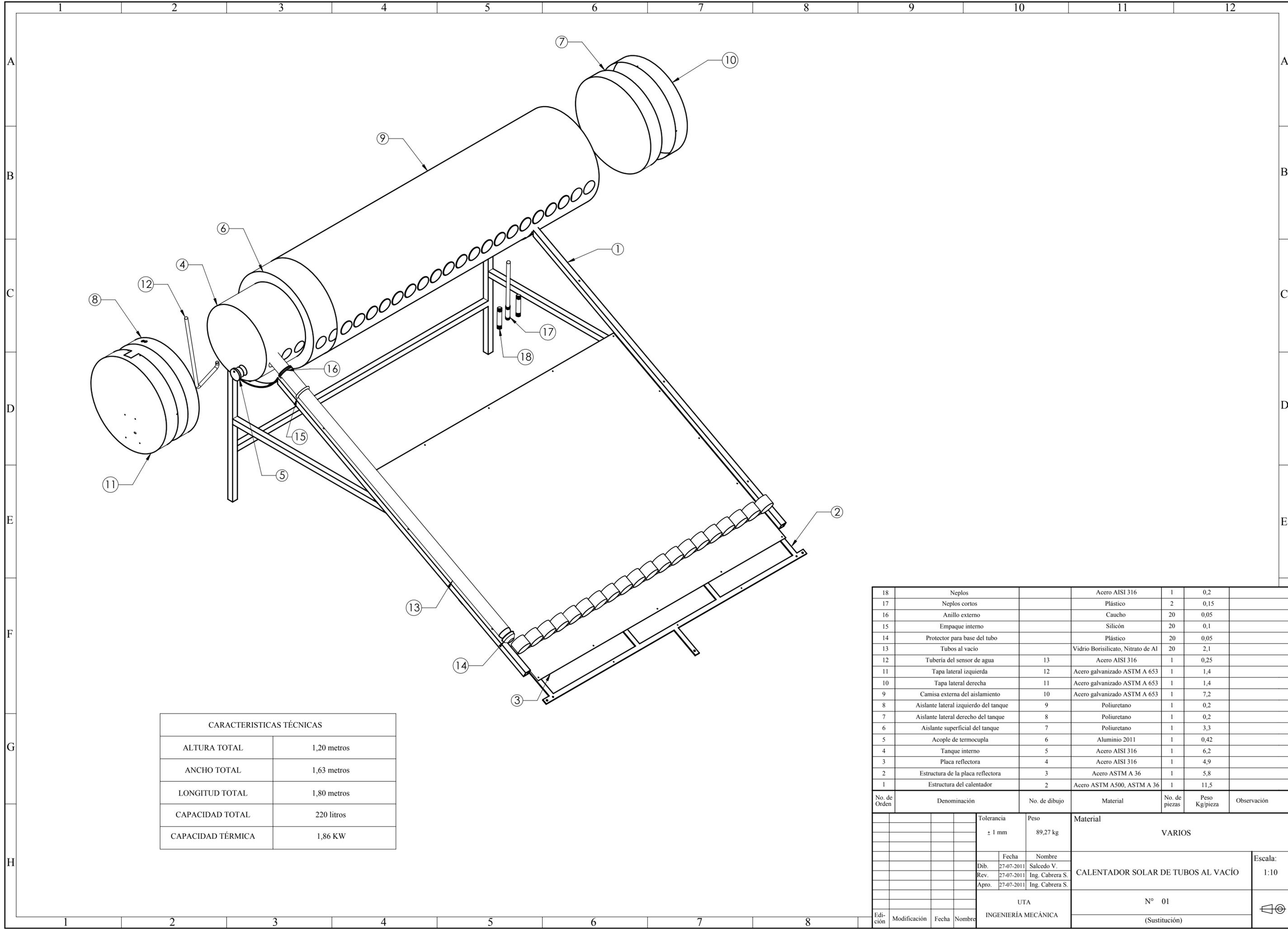
UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA			
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA			
Fecha: Miércoles 11 de mayo del 2011		Hora de inicio: 10:00	
Temperatura del agua de entrada (° C): 18		Hora de finalización: 16:00	
Humedad Relativa: 28,86		Velocidad del Viento (m/s): 2,02	
Condiciones atmosférica: Cielo despejado con presencia de sol.			
CALENTADOR SOLAR CON TUBOS AL VACIO			
Tiempo	Radiación	Temperatura	Temperatura agua
(horas)	solar (W/m²)	Ambiente (° C)	de salida (° C)
10:00	462	22,8	18
10:15	490,3	23,2	20
10:30	525,8	23,5	23
10:45	547,8	24,2	25
11:00	568,5	24,6	27
11:15	598,1	24,9	28
11:30	608	25,4	31
11:45	623,9	26,1	33
12:00	635,8	26,3	35
12:15	636	26,7	37
12:30	625,7	26,9	38
12:45	607,5	27,2	41
13:00	579,6	26,7	42
13:15	566,1	26,1	45
13:30	546	25,8	46
13:45	519,1	25,6	48
14:00	489,8	25,4	50
14:15	468,4	24,7	51
14:30	436,9	24,3	52
14:45	408,2	23,6	55
15:00	377,6	23,1	56
15:15	359,7	22,8	57
15:30	337,8	22,5	58
15:45	323	22,2	61
16:00	309,1	21,6	62

Anexo 21

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA			
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA			
Fecha: Martes 17 de mayo del 2011		Hora de inicio: 10:00	
Temperatura del agua de entrada (° C): 17		Hora de finalización: 16:00	
Humedad Relativa: 28,7		Velocidad del Viento (m/s): 1,85	
Condiciones atmosférica: Cielo despejado con presencia de sol.			
CALENTADOR SOLAR CON TUBOS AL VACIO			
Tiempo	Radiación	Temperatura	Temperatura agua
(horas)	solar (W/m²)	Ambiente (° C)	de salida (° C)
10:00	452,9	22,3	17
10:15	489,6	22,7	18
10:30	525,2	23,1	21
10:45	549,8	23,5	23
11:00	566,7	23,9	25
11:15	595	24,4	27
11:30	607	25	30
11:45	626,6	25,6	32
12:00	634,9	26,2	33
12:15	634	26,6	35
12:30	625,4	27,1	37
12:45	604,6	27,4	40
13:00	586,7	27,2	41
13:15	567,1	26,7	43
13:30	546,8	26,1	45
13:45	517,5	25,7	46
14:00	495,1	25,1	48
14:15	467,7	24,3	50
14:30	438,1	23,8	52
14:45	406,4	23,4	53
15:00	379,5	23,1	56
15:15	349,5	22,7	57
15:30	334,7	22,3	58
15:45	318,9	21,8	60
16:00	308,5	21,4	61

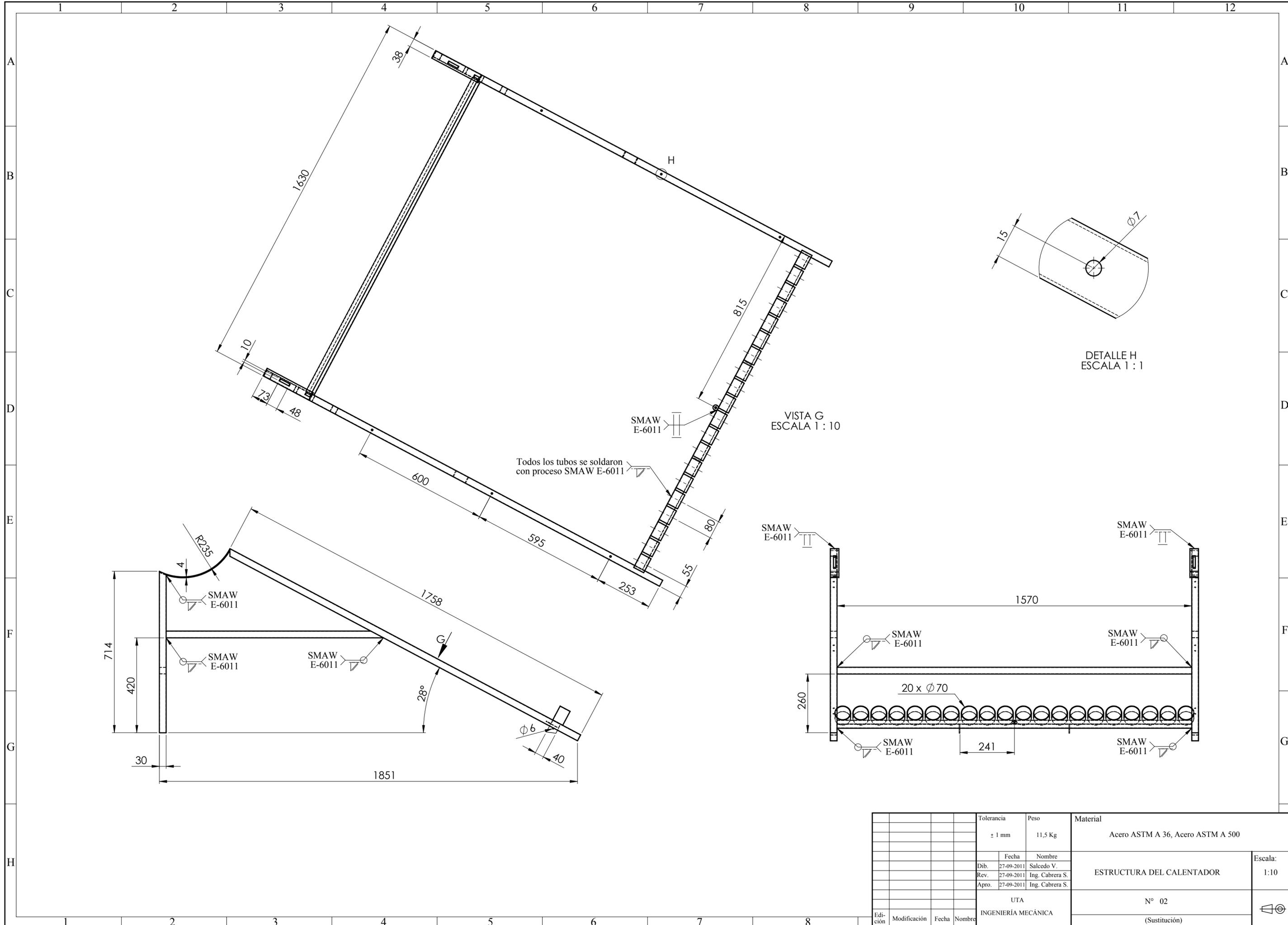
Anexo 22

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA			
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA			
Fecha: Viernes 20 de mayo del 2011		Hora de inicio: 10:00	
Temperatura del agua de entrada (° C): 18		Hora de finalización: 16:00	
Humedad Relativa: 37,6		Velocidad del Viento (m/s): 1,6	
Condiciones atmosférica: Cielo despejado con presencia de sol.			
CALENTADOR SOLAR CON TUBOS AL VACIO			
Tiempo	Radiación	Temperatura	Temperatura agua
(horas)	solar (W/m²)	Ambiente (° C)	de salida (° C)
10:00	463,7	22,6	18
10:15	487,8	23	20
10:30	527,5	23,2	23
10:45	549,1	23,8	25
11:00	571,3	24,3	27
11:15	595,3	24,5	28
11:30	607,2	25,1	31
11:45	623,6	25,5	33
12:00	635,5	26,1	35
12:15	634,4	26,8	37
12:30	625,1	27,2	38
12:45	605,9	27,6	41
13:00	583,5	27,1	42
13:15	567,9	26,7	45
13:30	548,2	26,2	46
13:45	516,8	25,6	48
14:00	492,1	25,1	50
14:15	467,1	24,3	51
14:30	439,4	23,5	52
14:45	409,2	23,1	55
15:00	377,4	22,7	56
15:15	356,9	22,5	57
15:30	346,5	22,1	58
15:45	325,9	21,8	61
16:00	311,1	21,5	62

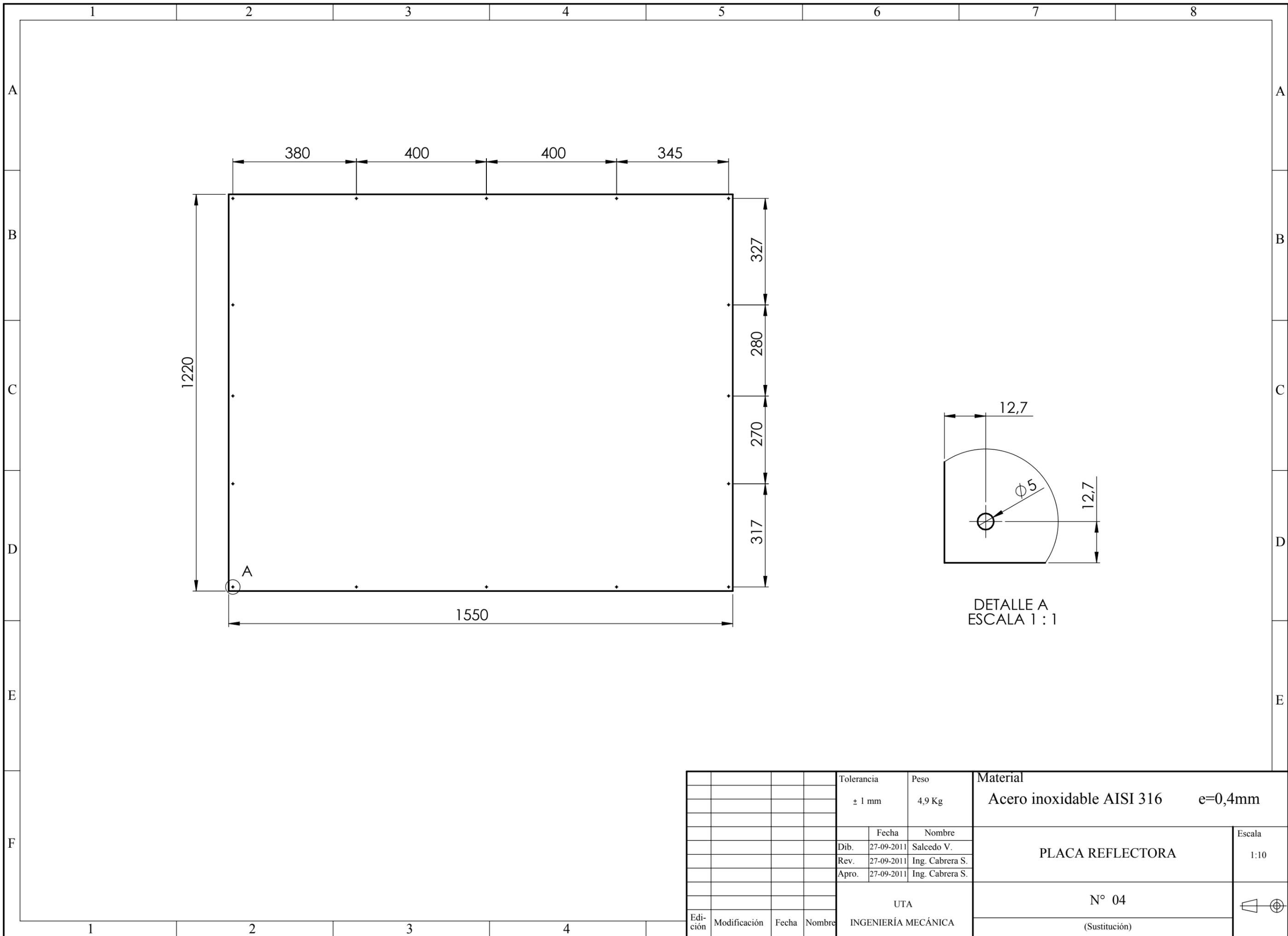


CARACTERISTICAS TÉCNICAS	
ALTURA TOTAL	1,20 metros
ANCHO TOTAL	1,63 metros
LONGITUD TOTAL	1,80 metros
CAPACIDAD TOTAL	220 litros
CAPACIDAD TÉRMICA	1,86 KW

18	Neplos		Acero AISI 316	1	0,2	
17	Neplos cortos		Plástico	2	0,15	
16	Anillo externo		Caucho	20	0,05	
15	Empaque interno		Silicón	20	0,1	
14	Protector para base del tubo		Plástico	20	0,05	
13	Tubos al vacío		Vidrio Borosilicato, Nitrato de Al	20	2,1	
12	Tubería del sensor de agua	13	Acero AISI 316	1	0,25	
11	Tapa lateral izquierda	12	Acero galvanizado ASTM A 653	1	1,4	
10	Tapa lateral derecha	11	Acero galvanizado ASTM A 653	1	1,4	
9	Camisa externa del aislamiento	10	Acero galvanizado ASTM A 653	1	7,2	
8	Aislante lateral izquierdo del tanque	9	Poliuretano	1	0,2	
7	Aislante lateral derecho del tanque	8	Poliuretano	1	0,2	
6	Aislante superficial del tanque	7	Poliuretano	1	3,3	
5	Acople de termocupla	6	Aluminio 2011	1	0,42	
4	Tanque interno	5	Acero AISI 316	1	6,2	
3	Placa reflectora	4	Acero AISI 316	1	4,9	
2	Estructura de la placa reflectora	3	Acero ASTM A 36	1	5,8	
1	Estructura del calentador	2	Acero ASTM A500, ASTM A 36	1	11,5	
No. de Orden	Denominación	No. de dibujo	Material	No. de piezas	Peso Kg/pieza	Observación
			Tolerancia ± 1 mm		Peso 89,27 kg	Material VARIOS
			Fecha	Nombre		CALENTADOR SOLAR DE TUBOS AL VACÍO
			Dib. 27-07-2011	Salcedo V.		
			Rev. 27-07-2011	Ing. Cabrera S.		
			Apro. 27-07-2011	Ing. Cabrera S.		
			UTA			N° 01 (Sustitución)
			INGENIERÍA MECÁNICA			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Escala: 1:10



				Tolerancia	Peso	Material	
				± 1 mm	11,5 Kg	Acero ASTM A 36, Acero ASTM A 500	
				Fecha	Nombre	ESTRUCTURA DEL CALENTADOR	Escala: 1:10
				Dib. 27-09-2011	Salcedo V.		
				Rev. 27-09-2011	Ing. Cabrera S.		
				Apro. 27-09-2011	Ing. Cabrera S.		
				UTA		N° 02	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERÍA MECÁNICA		(Sustitución)	



DETALLE A
ESCALA 1 : 1

				Tolerancia	Peso	Material	
				± 1 mm	4,9 Kg	Acero inoxidable AISI 316 e=0,4mm	
					Fecha	Nombre	PLACA REFLECTORA
				Dib.	27-09-2011	Salcedo V.	
				Rev.	27-09-2011	Ing. Cabrera S.	
				Apro.	27-09-2011	Ing. Cabrera S.	Escala
							1:10
				UTA		N° 04	
				INGENIERÍA MECÁNICA		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

A

B

C

D

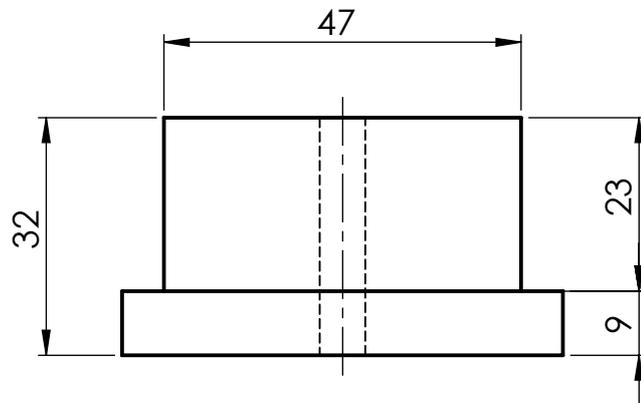
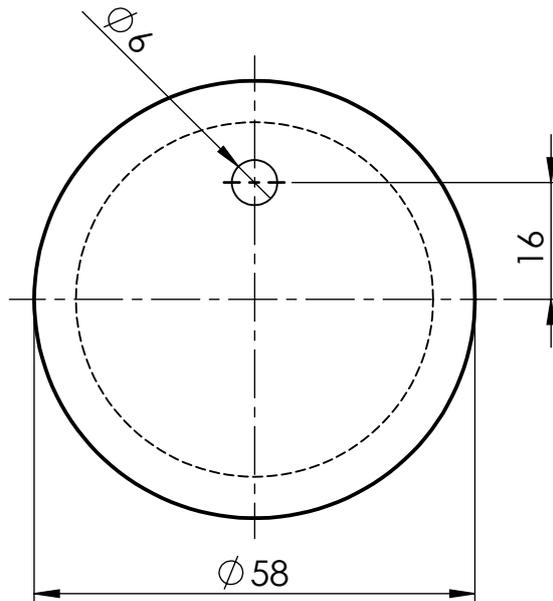
1

2

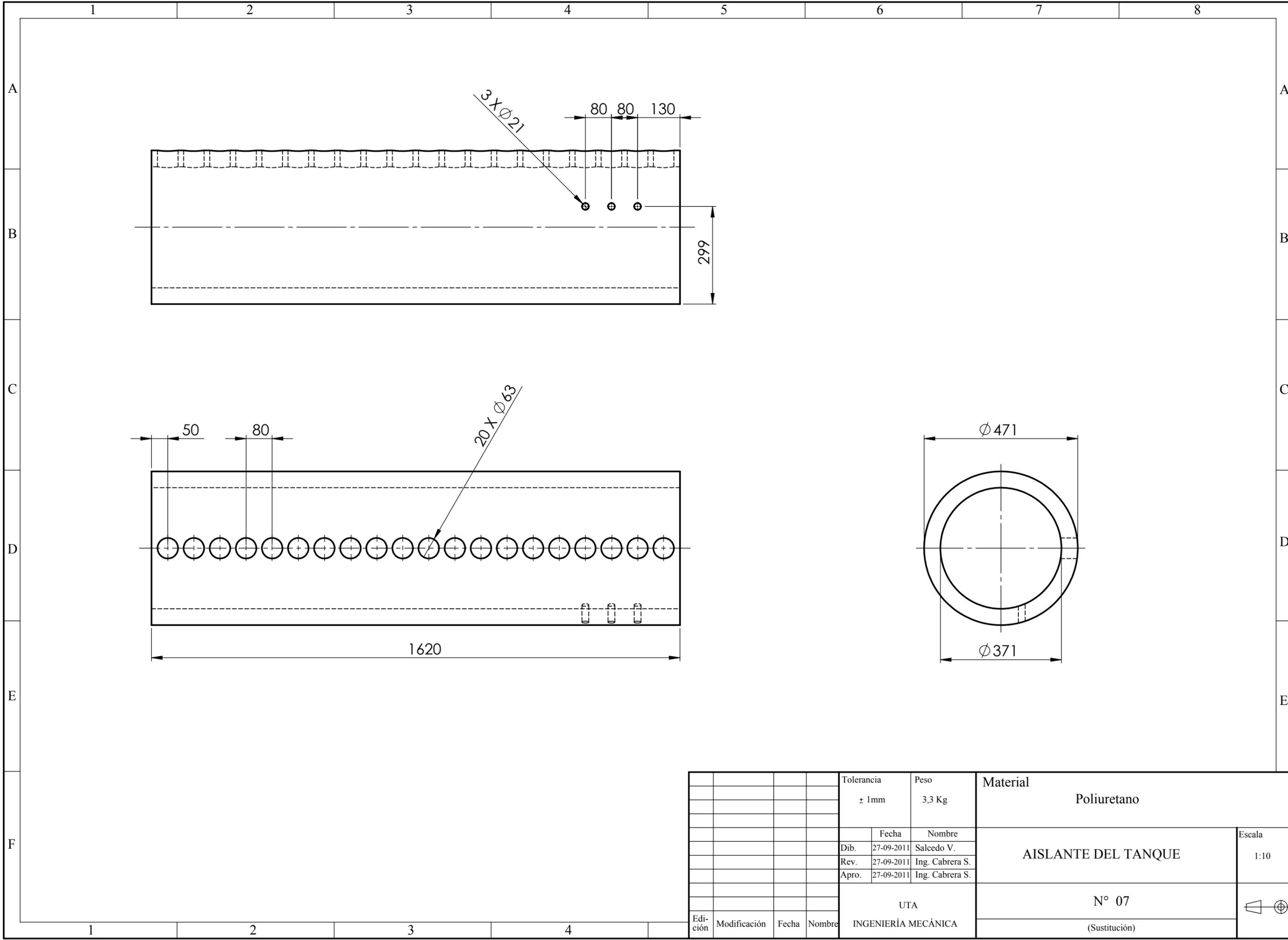
3

4

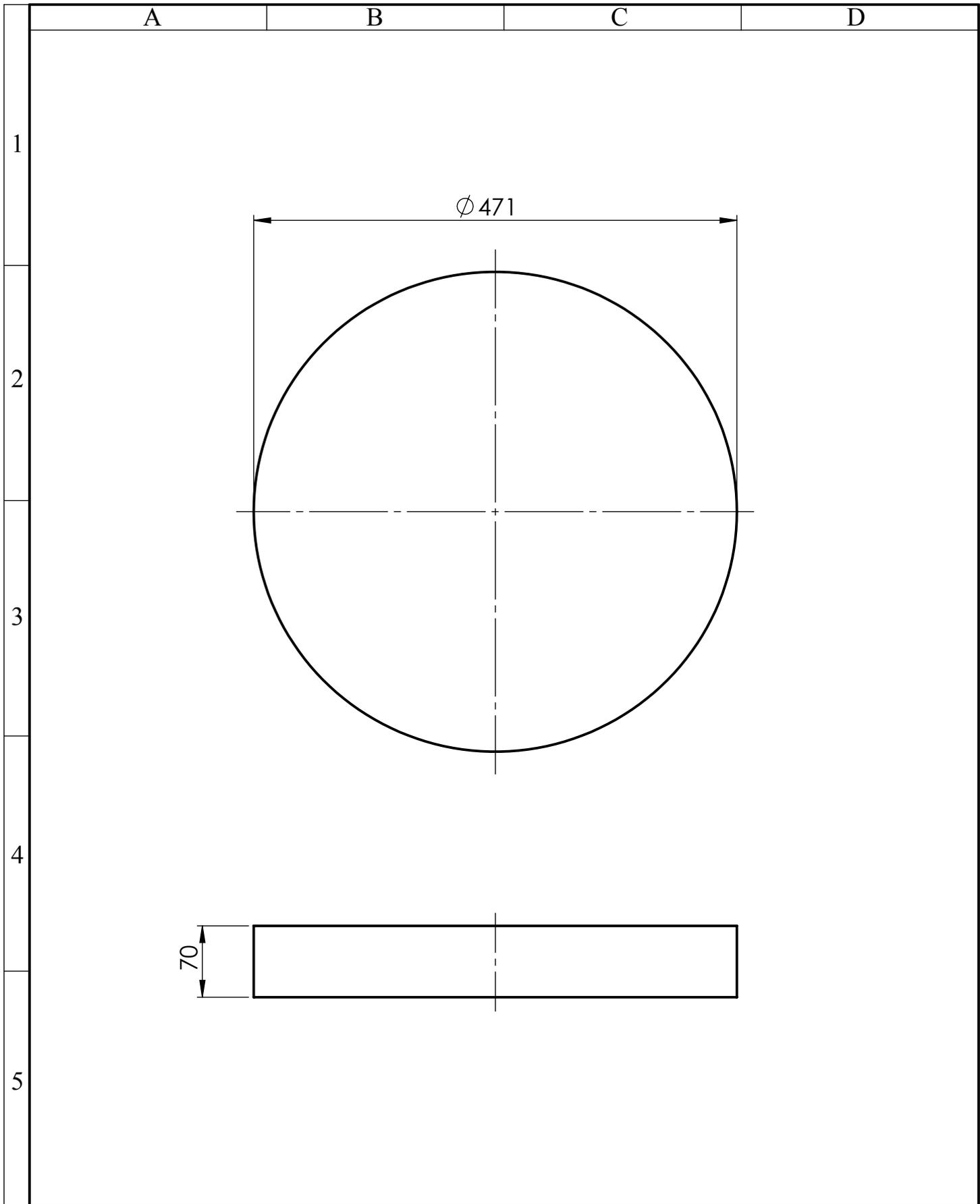
5



				Tolerancia	Peso	Materiales:	
				± 1 mm	0,42 Kg	Aluminio 2011	
					Fecha	Nombre	ACOPLE DE TERMOCUPLA
				Dib.	27-09-2011	Salcedo V.	
				Rev.	27-09-2011	Ing. Cabrera S.	
				Apro.	27-09-2011	Ing. Cabrera S.	
				UTA		N° 06	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERÍA MECÁNICA		(Sustitución)	
						Escala: 1:1	
							

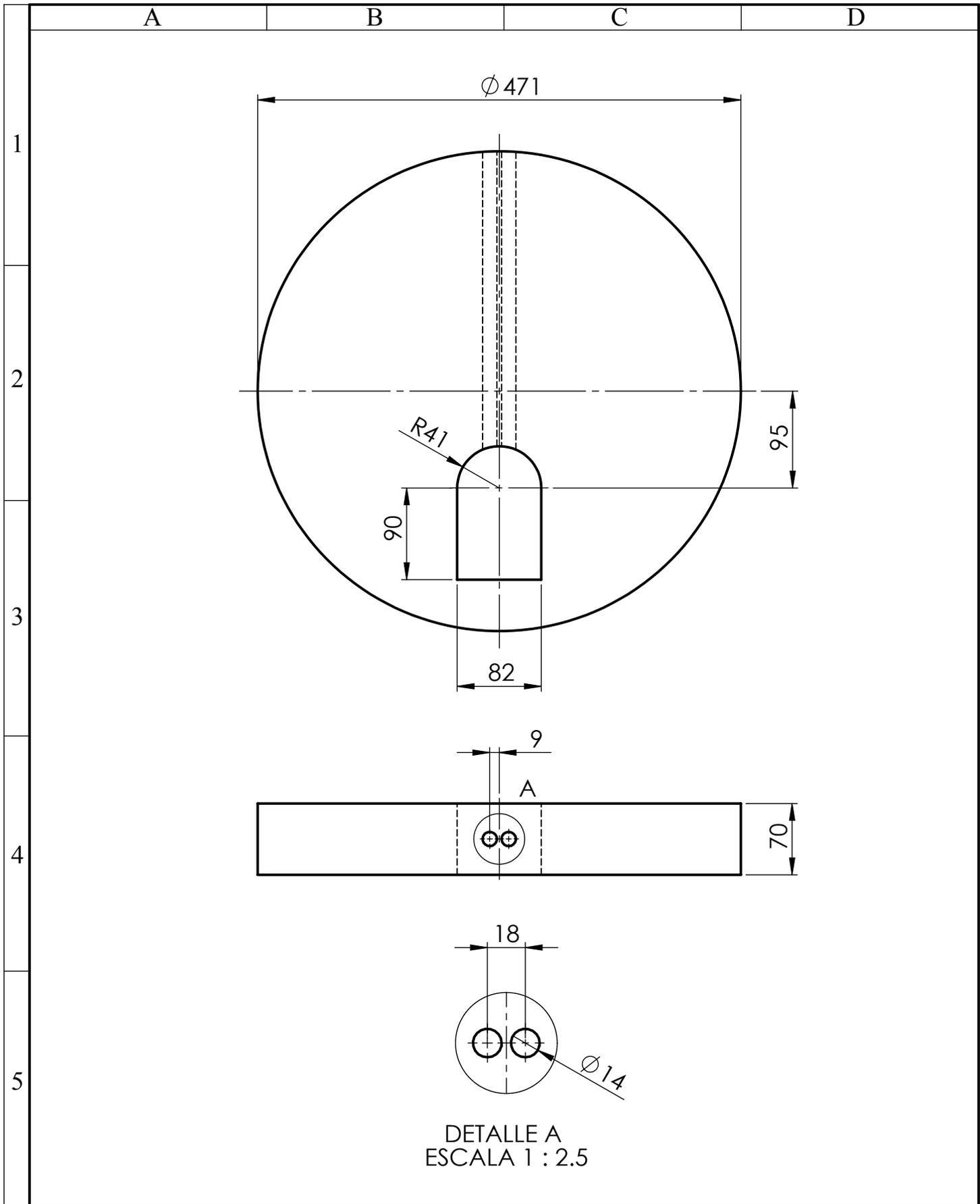


				Tolerancia	Peso	Material	
				± 1mm	3,3 Kg	Poliuretano	
					Fecha	Nombre	AISLANTE DEL TANQUE
				Dib.	27-09-2011	Salcedo V.	
				Rev.	27-09-2011	Ing. Cabrera S.	
				Apro.	27-09-2011	Ing. Cabrera S.	
				UTA		N° 07	
				INGENIERÍA MECÁNICA		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Escala	
						1:10	



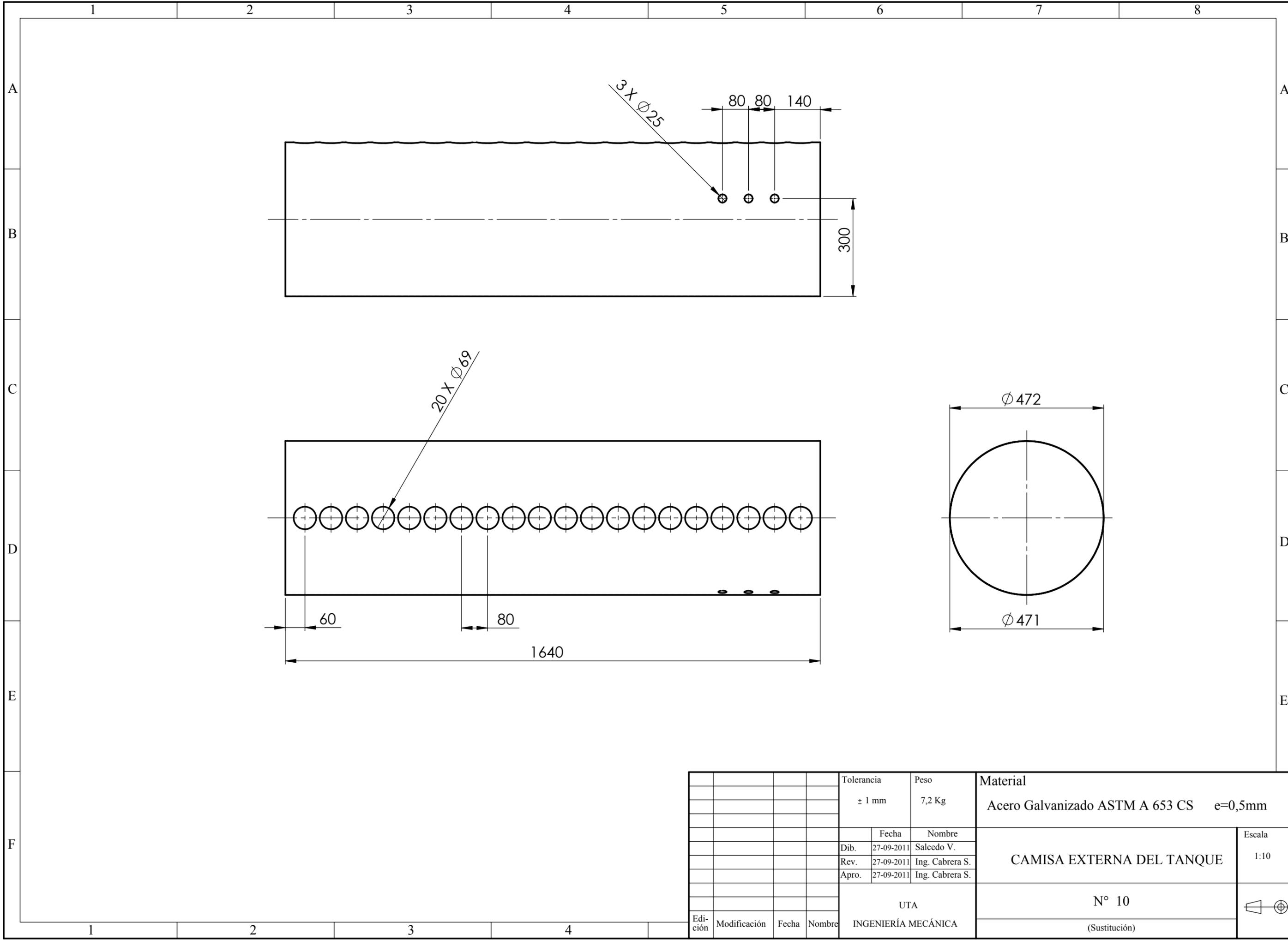
				Tolerancia	Peso	Materiales:	
				± 1mm	0,2 Kg	Poliuretano	
					Fecha	Nombre	AISLANTE LATERAL DERECHO
				Dib.	27-09-2011	Salcedo V.	
				Rev.	27-09-2011	Ing. Cabrera S.	
				Apro.	27-09-2011	Ing. Cabrera S.	Escala: 1:5
				UTA		N° 08	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERÍA MECÁNICA		(Sustitución)	



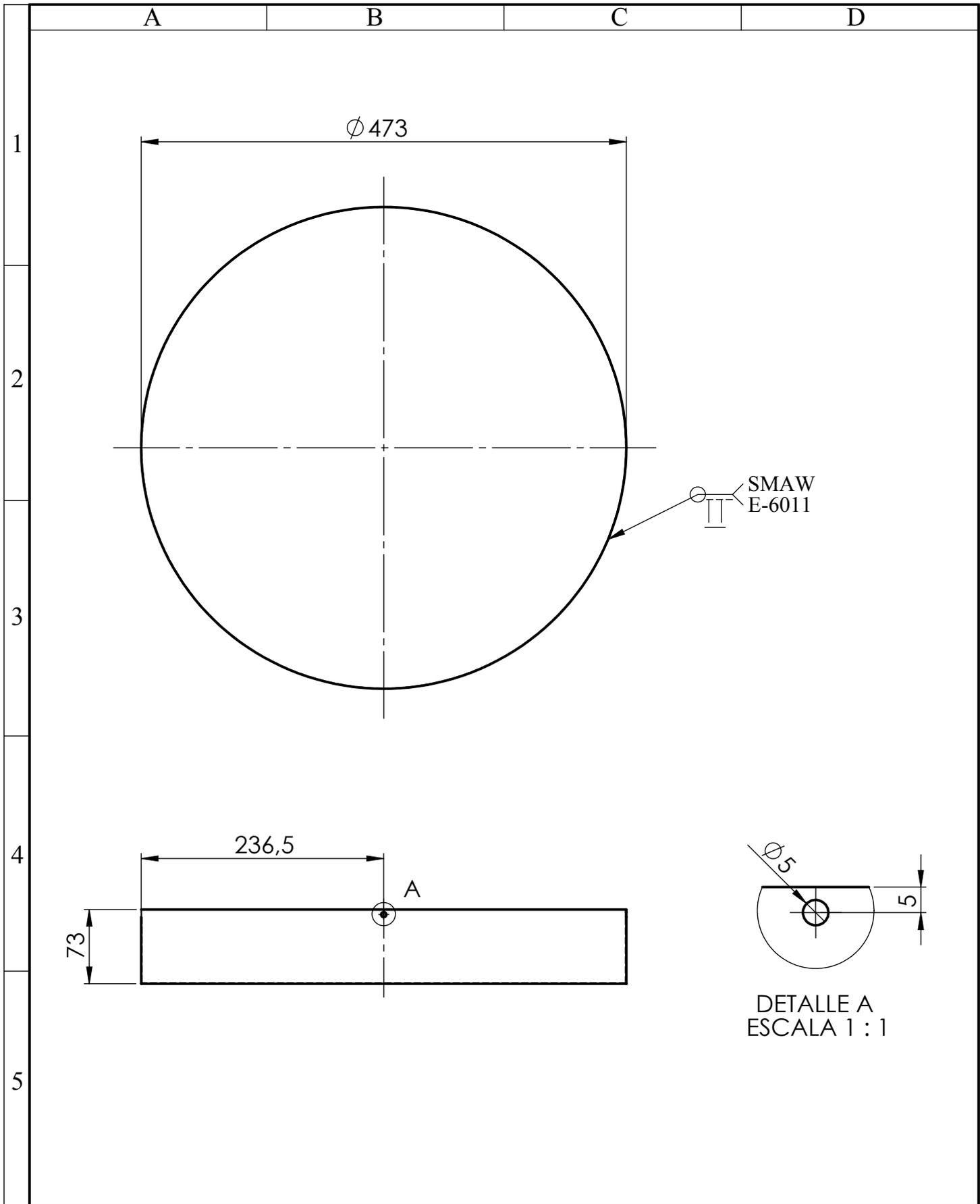


DETALLE A
ESCALA 1 : 2.5

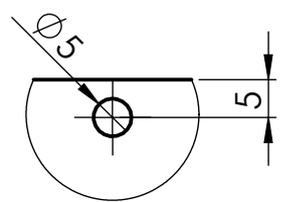
				Tolerancia $\pm 1 \text{ mm}$	Peso 0,2 Kg	Materiales: Poliuretano		
						AISLANTE LATERAL IZQUIERDO	Escala: 1:5	
				Dib.	Fecha		Nombre	
				Rev.	27-09-2011		Ing. Cabrera S.	
				Apro.	27-09-2011		Ing. Cabrera S.	
				UTA		N° 09		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERÍA MECÁNICA		(Sustitución)		



				Tolerancia	Peso	Material	
				± 1 mm	7,2 Kg	Acero Galvanizado ASTM A 653 CS e=0,5mm	
					Fecha	Nombre	CAMISA EXTERNA DEL TANQUE
				Dib.	27-09-2011	Salcedo V.	
				Rev.	27-09-2011	Ing. Cabrera S.	
				Apro.	27-09-2011	Ing. Cabrera S.	
				UTA		N° 10	
				INGENIERÍA MECÁNICA		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Escala 1:10	

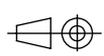


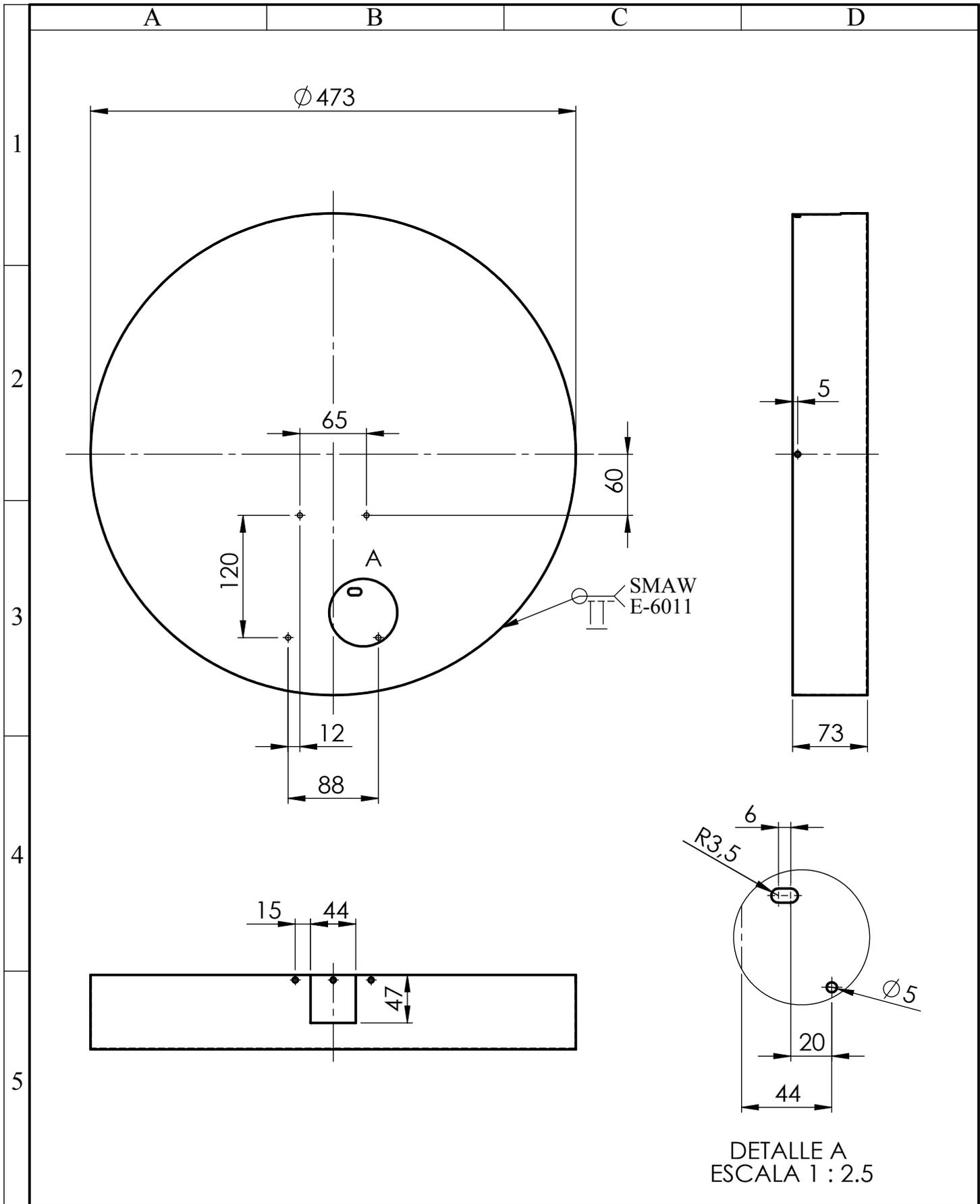
SMAW
E-6011



DETALLE A
ESCALA 1 : 1

				Tolerancia	Peso	Materiales:	
				± 1 mm	1,4 Kg	Acero Galvanizado ASTM A 653 CS	
					Fecha	Nombre	TAPA LATERAL DERECHA
				Dib.	27-09-2011	Salcedo V.	
				Rev.	27-09-2011	Ing. Cabrera S.	
				Apro.	27-09-2011	Ing. Cabrera S.	Escala: 1:5
				UTA		N° 11	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERÍA MECÁNICA		(Sustitución)	





DETALLE A
ESCALA 1 : 2.5

				Tolerancia	Peso	Materiales:	
				± 1 mm	1,4 Kg	Acero Galvanizado ASTM A 653 CS	
					Fecha	Nombre	TAPA LATERAL IZQUIERDA
				Dib.	27-07-2011	Salcedo V.	
				Rev.	27-07-2011	Ing. Cabrera S.	
				Apro.	27-07-2011	Ing. Cabrera S.	Escala: 1:5
				UTA		N° 12	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERÍA MECÁNICA		(Sustitución)	



A

B

C

D

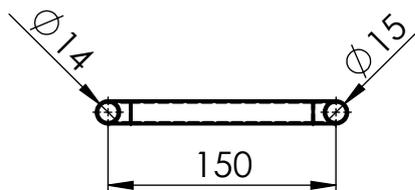
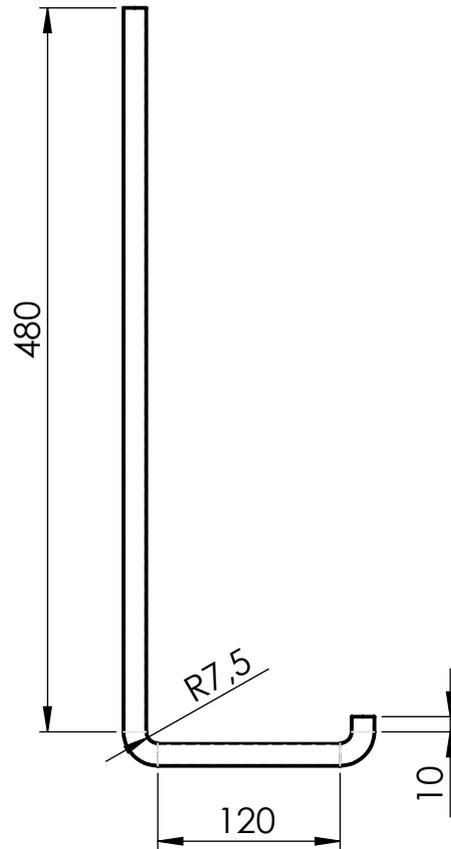
1

2

3

4

5



				Tolerancia	Peso	Materiales:	
				± 1 mm	0,25 Kg	Acero inoxidable AISI 316	
					Fecha	Nombre	TUBERÍA DE SENSOR DEL AGUA
				Dib.	27-09-2011	Salcedo V.	
				Rev.	27-09-2011	Ing. Cabrera S.	
				Apro.	27-09-2011	Ing. Cabrera S.	Escala: 1:5
				UTA		N° 13	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERÍA MECÁNICA		(Sustitución)	