

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

INGENIERÍA MECÁNICA

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

TEMA:

**“ESTUDIO DEL ESPECTRO DE IRRADIACIÓN SOLAR PARA
DETERMINAR EL POTENCIAL DE ENERGÍA APROVECHABLE
EN LA CIUDAD DE AMBATO.”**

AUTOR:

Byron Miguel Toalombo Rojas

TUTOR:

Ing. Santiago Cabrera A.

Ambato – Ecuador

2011

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del trabajo de investigación, bajo el tema “ESTUDIO DEL ESPECTRO DE IRRADIACIÓN SOLAR PARA DETERMINAR EL POTENCIAL DE ENERGÍA APROVECHABLE EN LA CIUDAD DE AMBATO”, desarrollado por el Sr. Byron Miguel Toalombo Rojas egresado de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe ha sido revisado minuciosamente y reúne los requisitos suficientes para ser sometido a la evaluación del tribunal examinador designado por el Consejo Directivo de esta Facultad.

Ambato, Julio del 2011

Ing. Santiago Paúl Cabrera Anda, Mg.

Tutor

CI: 180248779-1

AUTORÍA

Declaro que el contenido del trabajo investigativo “Estudio del espectro de Irradiación Solar para determinar el Potencial de Energía Aprovechable en la ciudad de Ambato”, así como sus ideas, opiniones, resultados, análisis, conclusiones y propuesta son auténticos y de responsabilidad exclusiva de mi persona en calidad de autor del presente proyecto.

Byron Miguel Toalombo Rojas

180366934-8

DEDICATORIA

A Dios por impulsar mis anhelos y fortalecerme espiritualmente en los momentos de crisis.

A mis padres Prócel y Dolores, a mis hermanos Tannia, Mauro y Andreita (+) por ser el motor que origina mi deseo inconmensurable de alcanzar las metas más difíciles e impensadas.

A mis compañeros y amigos porque de todos he aprendido mucho, es imposible olvidar los momentos agradables que hemos compartido.

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Santiago Cabrera Anda tutor de tesis, por su incomparable ayuda, colaboración y orientación en la realización del presente trabajo investigativo.

A mis padres, hermanos y familia en general por apoyarme en todo momento y confiar en mí, haciéndome sentir capaz de conseguir mis propósitos y anhelos.

A todos mis maestros y a las personas que de una u otra manera contribuyeron en mi formación personal y espiritual, porque me enseñaron que las mayores satisfacciones se alcanzan cuando las cosas se hacen con esfuerzo, dedicación y honestidad.

A la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato por ser el ente que me formó académicamente y por su colaboración en la realización del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

PÁGINAS PRELIMINARES

Certificación.....	II
Autoría.....	III
Dedicatoria.....	IV
Agradecimiento.....	V
Índice General.....	VI
Simbología.....	VII
Resumen Ejecutivo.....	XXV
Executive Summary.....	XXVI

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA

1.1 Tema.....	1
1.2 Planteamiento del Problema.....	1
1.2.1 Contextualización del Problema.....	1
1.2.2 Análisis Crítico.....	3
1.2.3 Prognosis.....	3
1.2.4 Formulación del Problema.....	4
1.2.5 Preguntas Directrices.....	4
1.2.6 Delimitación.....	4
1.3 Justificación de la Investigación.....	5
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo General.....	6
1.4.2 Objetivos Específicos.....	6

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Investigativos.....	7
2.2 Fundamentación Filosófica.....	9
2.3 Red de Categorías Fundamentales.....	9
2.4 Fundamentación Teórica.....	10
2.4.1 Transferencia de Calor.....	10
2.4.2 Radiación Solar.....	13
2.4.3 Aplicaciones de la Radiación Solar.....	20
2.4.4 Colector Solar.....	20
2.4.5 Parámetros Ambientales y Físicos.....	24
2.4.6 Instrumentos de Medición.....	27
2.4.7 Modelos de Estimación de la Radiación Solar.....	28
2.5 Hipótesis.....	29
2.6 Señalamiento de Variables de la Hipótesis.....	29

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 Modalidad Básica de la Investigación.....	30
3.2 Nivel o Tipo de Investigación.....	30
3.3 Población y Muestra	31
3.3.1 Población.....	31
3.3.2 Muestra.....	31
3.4 Operacionalización de Variables.....	37
3.4.1 Variable Independiente.....	37
3.4.2 Variable Dependiente.....	38

3.5 Plan de Recolección de la Información.....	38
3.6 Plan de Procesamiento de la Información.....	41

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis de los Resultados	42
4.1.1 Relación entre Irradiancia, Temperatura Ambiente, Humedad Relativa y Velocidad de Viento.....	45
4.2 Interpretación de Datos en Gráficos y Tablas.....	46
4.2.1 Promedio de cada Parámetro Físico según la Condición Climática.....	46
4.2.2 Valores Promedio de Irradiancia por Día de Medición.....	66
4.2.3 Registro de la Condición Climática en el Medio Día desde el 07 de Septiembre de 2010 al 31 de Marzo de 2011	67
4.3 Verificación de la Hipótesis.....	69
4.3.1 Eficiencia Térmica real del Colector Solar.....	69
4.3.2 Comprobación de la Hipótesis en base a la Eficiencia Térmica obtenida....	80

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.....	83
5.2 Recomendaciones.....	84

CAPÍTULO VI

6. PROPUESTA

6.1 Datos Informativos.....	86
6.2 Antecedentes de la Propuesta	87

6.3	Justificación.....	88
6.4	Objetivos.....	88
6.5	Análisis de Factibilidad.....	88
6.5.1	Factibilidad Técnica.....	88
6.5.2	Factibilidad Económico-Financiera.....	89
6.6	Fundamentación.....	90
6.6.1	Diseño del Calentador Solar para Agua con Colector o Panel Plano.....	91
6.6.2	Cálculo del Ángulo que forman la Dirección de Incidencia de la Irradiación Solar Directa y la Normal a la Superficie del Colector.....	138
6.7	Metodología-Modelo Operativo.....	147
6.8	Administración.....	150
6.8.1	Planificación y Mantenimiento.....	150
6.9	Previsión de la Evaluación.....	151

MATERIALES DE REFERENCIA

1.	Bibliografía	153
2.	Anexos	155

ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS

Fig. 2.1	Relación Longitud de Onda vs Irradiancia para la distribución espectral solar.	15
Fig. 2.2	Colector Solar Térmico de Placa Plana.....	22
Fig. 2.3	Sistema de Calentamiento Solar Directo.....	23
Fig. 2.4	Sistema de Calentamiento Solar Indirecto.....	24
Fig. 2.5	Identificación del acimut y del cenit.....	27
Fig. 3.1	Gráfica representativa de medio día soleado.....	34

Fig. 3.2 Gráfica representativa de medio día parcialmente nublado.....	34
Fig. 3.3 Gráfica representativa de medio día nublado.....	34
Fig. 3.4 Foto-radiómetro Delta OHM modelo HD 2102.2.....	35
Fig. 3.5 Sonda de medida de irradiancia LP 471RAD.....	35
Fig. 3.6 Anemómetro Digital Testo 410-2.....	36
Fig. 3.7 Fotografía que ilustra la Sonda de medida de irradiancia LP 471RAD calibrada.....	39
Fig. 3.8 Medición de la Irradiancia con el Piranómetro en un medio día soleado.....	39
Fig. 3.9 Medición de la Temperatura Ambiente, Velocidad de Viento y Humedad Relativa con el Anemómetro	40
Fig. 4.1 Definición del Método del Trapecio para determinación del Área bajo una curva.....	43
Fig. 4.2 Definición del Método del Trapecio para determinación de la Energía disponible en intervalos de quince minutos	44
Fig. 4.3 Gráfica de Irradiancia promedio vs hora del día para medio día soleado.....	47
Fig. 4.4 Gráfica de Irradiancia promedio vs hora del día para medio día parcial nublado.....	49
Fig. 4.5 Gráfica de Irradiancia promedio vs hora del día para medio día nublado.....	50
Fig. 4.6 Gráfica de Irradiancia promedio vs hora del día para los tres tipos de condición climática.....	51
Fig. 4.7 Comparación de la Energía disponible en los tres tipos de condición climática.....	52
Fig. 4.8 Gráfica de Temperatura promedio vs hora del día para medio día soleado.....	53

Fig. 4.9 Gráfica de Temperatura promedio vs hora del día para medio día parcial nublado.....	54
Fig. 4.10 Gráfica de Temperatura promedio vs hora del día para medio día nublado.....	55
Fig. 4.11 Gráfica de Temperatura promedio vs hora del día para los tres tipos de condición climática	56
Fig. 4.12 Gráfica de Humedad Relativa promedio vs hora del día para medio día soleado.....	57
Fig. 4.13 Gráfica de Humedad Relativa promedio vs hora del día para medio día parcial nublado	59
Fig. 4.14 Gráfica de Humedad Relativa promedio vs hora del día para medio día nublado.....	60
Fig. 4.15 Gráfica de Humedad Relativa promedio vs hora del día para los tres tipos de condición climática	61
Fig. 4.16 Gráfica de Velocidad de Viento promedio vs hora del día para medio día soleado.....	62
Fig. 4.17 Gráfica de Velocidad de Viento promedio vs hora del día para medio día parcial nublado.....	63
Fig. 4.18 Gráfica de Velocidad de Viento promedio vs hora del día para medio día nublado	64
Fig. 4.19 Gráfica de Velocidad de Viento promedio vs hora del día para los tres tipos de condición climática	65
Fig. 4.20 Frecuencia Relativa de las condiciones climáticas: soleado, parcial nublado y nublado en el lapso de estudio.....	69
Fig. 4.21 Gráfica de Irradiancias vs Tiempo, martes 28 de junio de 2011.....	72
Fig. 4.22 Gráfica de Temperaturas a la entrada y salida del colector solar, 28/06/11.....	74

Fig. 4.23 Gráfica de diferencia o gradiente de Temperaturas entre la salida y entrada del colector solar, martes 28 de junio de 2011.....	75
Fig. 4.24 Curva de Eficiencia del colector solar en el medio día.	78
Fig. 6.1 Colector solar plano de circulación natural para calentamiento de agua.....	87
Fig. 6.2 Partes Constitutivas del Panel Solar.....	90
Fig. 6.3 Representación de la altura de presión generada por agua a temperaturas diferentes.....	91
Fig.6.4 Ubicación del depósito de almacenamiento respecto al colector solar.....	92
Fig. 6.5 Representación en columnas de agua de diferentes densidades en el colector solar.....	93
Fig. 6.6 Circuito Térmico para la Transferencia de Calor en la parte inferior del panel.....	100
Fig. 6.7 Circuito Térmico para la Transferencia de Calor en la parte superior del panel.....	101
Fig. 6.8 Principales dimensiones del panel solar.....	104
Fig. 6.9 Balance de energía en la placa de absorción.....	106
Fig. 6.10 Distribución de la temperatura en la placa de absorción.....	108
Fig. 6.11 Variación de la eficiencia geométrica en función del parámetro $c(W-D)/2$	108
Fig. 6.12 Balance de energía en un elemento diferencial de agua dentro del tubo	112
Fig. 6.13 Circuito térmico para determinar las pérdidas en el depósito.....	122
Fig. 6.14 Depósito de almacenamiento.....	123

Fig. 6.15 Esquema ilustrativo de la distribución del peso del panel para cada viga lateral.....	130
Fig. 6.16 Diagrama de cuerpo libre de cada viga lateral.....	130
Fig. 6.17 Diagrama de fuerza cortante y momento flector para el presente caso.....	132
Fig. 6.18 Sección transversal del tubo cuadrado ASTM A 500 de ¾''.....	133
Fig. 6.19 Esquema ilustrativo para la determinación del ángulo θ	138
Fig. 6.20 Fotografía del serpentín con los tubos soldados.....	147
Fig. 6.21 Panel colector ensamblado	148
Fig. 6.22 Estructuras de soporte del tanque de almacenamiento y del panel, respectivamente.....	148
Fig. 6.23 Fotografía del vidrio templado.....	148
Fig. 6.24 Colector solar en el momento de un ensayo.....	152
Fig. 6.25 Salida del agua del panel a altas temperaturas al final del ensayo.....	152

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Esquema ilustrativo de la realización de mediciones de campo de los parámetros asociados a la irradiación solar	32
Tabla 3.2 Esquema ilustrativo de la realización de mediciones de campo en el colector solar	37
Tabla 4.1 Valores de Irradiancia promedio para medio día soleado y Energía teórica disponible.....	46
Tabla 4.2 Valores de Irradiancia promedio para medio día parcial nublado y Energía teórica disponible.....	48
Tabla 4.3 Valores de Irradiancia promedio para medio día <i>nublado</i> y Energía teórica disponible	50

Tabla 4.4 Valores de Temperatura promedio para medio día soleado.....	52
Tabla 4.5 Valores de Temperatura promedio para medio día parcial nublado.....	54
Tabla 4.6 Valores de Temperatura promedio para medio día nublado.....	55
Tabla 4.7 Valores de Humedad Relativa promedio para medio día soleado.....	57
Tabla 4.8 Valores de Humedad Relativa promedio para medio día parcial nublado.....	58
Tabla 4.9 Valores de Humedad Relativa promedio para medio día nublado.....	59
Tabla 4.10 Valores de Velocidad de Viento promedio para medio día soleado	61
Tabla 4.11 Valores de Velocidad de Viento promedio para medio día parcial nublado	62
Tabla 4.12 Valores de Velocidad de Viento promedio para medio día nublado	64
Tabla 4.13 Registro total de datos de Velocidad de Viento en los días de medición.....	66
Tabla 4.14 Valores de Irradiancia promedio para medio día por fecha de medición	67
Tabla 4.15 Frecuencia con la que se presentó cada condición climática en los días de no realización de las mediciones de campo	68
Tabla 4.16 Frecuencia con la que se presentó cada condición climática en los días de realización de las mediciones de campo	68
Tabla 4.17 Frecuencia con la que se presentó cada condición climática durante el período del 09 de Septiembre 2010 – 28 de Marzo 2011.....	68
Tabla 4.18 Calor Específico del agua.....	70
Tabla 4.19 Irradiación solar incidente sobre el colector solar, martes 28/06/2011.....	73

Tabla 4.20 Energía Acumulada en el colector solar, martes 28 de junio de 2011.....	74
Tabla 4.21 Integración de la Variación de Temperaturas del agua entre la salida y entrada del colector, martes 28 de junio de 2011.....	76
Tabla 4.22 Eficiencia Térmica del colector, martes 28 de junio de 2011.....	77
Tabla 4.23 Relación: Diferencia de Temperatura de entrada del agua y Temperatura Ambiente sobre Irradiación incidente sobre la placa de absorción, 28 de junio de 2011.....	78
Tabla 4.24 Determinación de la constante de tiempo del colector solar, 28/06/2011.....	80
Tabla 4.25 Interpretación de la Eficiencia Térmica del colector solar.....	81
Tabla 4.26 Eficiencia Térmica del colector solar por rango de datos.....	81
Tabla 6.1 Datos Generales de la Propuesta	86
Tabla 6.2 Egresos por concepto de Adquisición de Materiales.....	89
Tabla 6.3 Egresos Varios.....	89
Tabla 6.4 Egresos Total.....	90
Tabla 6.5 Temperaturas a alcanzar en el depósito en función del tiempo de exposición.....	127
Tabla 6.6 Tiempo solar verdadero y ángulo horario para el 21 de marzo de 2011.....	142
Tabla 6.7 Tiempo solar verdadero y ángulo horario para el 22 de marzo de 2011.....	142
Tabla 6.8 Tiempo solar verdadero y ángulo horario para el 24 de marzo de 2011.....	143

Tabla 6.9 Tiempo solar verdadero y ángulo horario para el 28 de junio de 2011.....	143
Tabla 6.10 Ángulo cenital y altura angular aparente del sol el 21 de marzo de 2011.....	143
Tabla 6.11 Ángulo cenital y altura angular aparente del sol el 22 de marzo de 2011.....	144
Tabla 6.12 Ángulo cenital y altura angular aparente del sol el 24 de marzo de 2011.....	144
Tabla 6.13 Ángulo cenital y altura angular aparente del sol el 28 de junio de 2011.....	144
Tabla 6.14 Ángulo acimutal el 21 de marzo de 2011.....	144
Tabla 6.15 Ángulo acimutal el 22 de marzo de 2011.....	145
Tabla 6.16 Ángulo acimutal el 24 de marzo de 2011.....	145
Tabla 6.17 Ángulo acimutal el 28 de junio de 2011.....	145
Tabla 6.18 Ángulo θ para el 21 de marzo de 2011.....	146
Tabla 6.19 Ángulo θ para el 22 de marzo de 2011.....	146
Tabla 6.20 Ángulo θ para el 24 de marzo de 2011.....	146
Tabla 6.21 Ángulo θ para el 28 de junio de 2011.....	147
Tabla 6.22 Especificaciones Técnicas del Colector Solar y sus partes.....	149

SIMBOLOGÍA

ALFABÉTICA

A	Área [m^2].
A_{cs}	Área bruta del colector solar [m^2].
A_{cx}	Área externa de las conexiones de tubería [m^2].
A_{da}	Área externa del depósito de almacenamiento m^2 .
A_e	Área efectiva del colector solar [m^2].
b_f	Longitud del patín de la sección estructural [mm].
b_m	Base menor del trapecio.
b_M	Base mayor del trapecio.
B	Ángulo efectivo para determinar la ecuación del tiempo [$^\circ$].
$c = 3 \times 10^8$	Velocidad de la luz [m/s].
C	Parámetro adimensional para la radiación difusa.
c^2	Parámetro de relación del coeficiente total de transferencia de calor global hacia el ambiente entre el coeficiente de conductividad térmica de la placa de absorción para hallar el factor de eficiencia geométrico [$1/\text{m}^2$].
C_p	Capacidad calorífica del agua [J/kg.K].
CAT	Capacidad de almacenamiento térmico [$\text{KJ}/^\circ\text{C}\text{-m}^2$].
D	Diámetro exterior del tubo [m].
D_h	Diámetro hidráulico de los tubos colectores [m].
D_i	Diámetro interior de los tubos de la rejilla colectora [m].
d	Distancia [m].
d_{epth}	Longitud del alma de la sección estructural [mm].
dx	Derivada de la variable x.
dt	Derivada de la variable tiempo t.
dE_d	Derivada de la variable energía disponible Q.
dU/dt	Incremento o almacenamiento de energía interna en el colector [W].
$e = exp = 2.717281\dots$	Base del logaritmo natural.
E	Potencia emisiva superficial [W/m^2].
E_a	Energía almacenada [J/m^2].
E_b	Potencia emisiva superficial de cuerpo negro [W/m^2].
E_d	Energía disponible [J/m^2].

$E_d(t)$	Energía disponible en función del tiempo [J/m^2].
E_{ent}	Energía que entra al sistema [W].
E_{sal}	Energía que sale del sistema [W].
E_f	Energía del fotón [J].
E_{sal}	Energía que sale del sistema [W].
f	Frecuencia [Hz].
f_a	Esfuerzo axial de compresión [MPa].
f_b	Esfuerzo de flexión [MPa].
f_r	Coefficiente de fricción.
F	Eficiencia geométrica de una superficie plana.
F_a	Esfuerzo axial admisible [MPa].
F_b	Esfuerzo de flexión admisible [MPa].
F'	Factor de eficiencia del colector.
F_r	Fuerza de rozamiento [N].
F_R	Factor de remoción de calor.
F_x	Componente de la fuerza en el eje x .
F_y	Componente de la fuerza en el eje y .
F_Y	Límite de fluencia [MPa].
$f(x)$	Función de la variable independiente x .
f_0	Valor inicial o primer valor de la función de x .
f_1	Valor final o segundo valor de la función de x .
$g = 9.81$	Gravedad [m/s^2].
$G = H_T$	Irradiancia o irradiación solar directa incidente un la superficie terrestre por unidad de área [W/m^2].
G_d	Irradiancia solar difusa incidente sobre el colector solar, en [W/m^2].
G_D	Irradiancia solar directa normal a la superficie del colector, en [W/m^2].
G_T	Irradiancia solar total o global incidente sobre el colector, en [W/m^2].
\overline{G}	Irradiancia promedio [W/m^2].
$G_{sc} = 1353$	Constante solar o irradiancia directa normal fuera de la atmósfera [W/m^2].
$G(t)$	Irradiancia recibida en función del tiempo [J/m^2].
h	Coefficiente de transferencia de calor por convección [$\text{W/m}^2\text{K}$].

h_c	Coefficiente de transferencia de calor por convección entre la placa de absorción y el vidrio [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$].
$h_{c\infty}$	Coefficiente de transferencia de calor por convección entre el vidrio y el ambiente [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$].
h_{height}	Altura del colector solar [m].
h_f	Coefficiente de transferencia de calor por convección en la interfase tubo-fluido [$\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$].
h_{fir}	Coefficiente de transferencia de calor por radiación entre el vidrio y el ambiente [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$].
h_{fo}	Coefficiente convectivo de transferencia de calor entre el fondo del colector y el ambiente [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$].
h_p	Pérdidas de carga por fricción en los tubos [m].
h_R	Coefficiente de transferencia de calor por radiación entre la placa de absorción y el vidrio [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$].
h_V	Coefficiente de transferencia de calor por convección entre el aire y el colector [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$].
\bar{H}_r	Humedad relativa promedio [%].
h_1	Distancia vertical de la base del colector a la entrada de agua caliente del depósito [m].
h_2	Distancia vertical de la base del colector a la salida de agua caliente del colector [m].
h_3	Distancia vertical de la salida de agua fría del depósito a la entrada de agua caliente del depósito de almacenamiento [m].
h_4	Distancia vertical de la salida de agua caliente del colector a la salida de agua fría del depósito de almacenamiento [m].
i	Dato individual.
I	Momento de inercia de área [m^4].
j	No. orden del día del año.
k	Coefficiente de conductividad térmica [$\text{W}/\text{m K}$] o [$\text{W}/\text{m }^\circ\text{C}$].
k_{pa}	Coefficiente de conductividad térmica de la placa de absorción [$\text{W}/\text{m K}$].
k_a	Conductividad térmica del aislante [$\text{W}/\text{m K}$].
k_{pa}	Conductividad de la placa de absorción [$\text{W}/\text{m K}$].

l	Longitud [m].
l'	Espesor del aislante por los lados [m].
L	Longitud de los tubos colectores [m].
L_{loc}	Longitud geográfica local.
L_{st}	Longitud del meridiano de referencia correspondiente al huso horario del lugar, en Ecuador es igual a 75° .
L_t	Longitud de tubos equivalentes [m].
M	Distancia horizontal entre la salida de agua fría del depósito de almacenamiento y la salida de agua caliente del colector [m].
M_A	Momento con respecto al punto A.
$M_{f\text{máx}}$	Momento flector máximo [N.m].
m	masa [kg].
\dot{m}	Flujo de masa de agua en el colector [kg/s].
n	Número de tubos de la placa de absorción.
N	Número de datos.
N_c	Número de cubiertas del panel o colector.
Nu	Número adimensional de Nusselt.
P	Perímetro del colector solar [m].
Pr	Número adimensional de Prandtl.
q_{cons}	Pérdidas de calor por consumo doméstico [W].
q_{da}	Calor entregado al agua en el depósito de almacenamiento [W].
$q_{incidente}$	Calor incidente sobre el colector solar [KJ].
q_{lados}	Pérdidas de calor a través de los lados del colector [W].
q_{pcs}	Pérdidas de calor disipado al ambiente en el panel [W].
q_{pcx}	Pérdidas de calor disipado al ambiente en las conexiones [W].
q_{pda}	Pérdidas de calor disipado al ambiente en el depósito [W].
$q_{útil}$	Calor útil o de calentamiento entregado al agua en el panel [W].
$(q_{útil} - q_{pcx})$	Calor de entrada al depósito de almacenamiento desde el panel [W].
q'	Derivada de cada calor respecto a la variable posición o longitud [W/m].
q'_{cond}	Calor de conducción por unidad de longitud transferido al agua [W/m].
q'_{rad}	Calor de radiación por unidad de longitud transferido al agua [W/m].
q''	Derivada de cada calor con respecto a la variable área [W/m ²].

q''_{conv}	Pérdidas de calor por unidad de área asociadas la convección [W/m^2].
q''_{cond}	Pérdidas de calor por unidad de área asociadas la conducción [W/m^2].
q''_{rad}	Pérdidas de calor por unidad de área asociadas la radiación [W/m^2].
Q	Caudal volumétrico [m^3/s].
r	Radio de giro del perfil estructural [m].
R_{PL}	Resistencia Térmica en las placas laterales del depósito [m^2K/ W].
R_A	Reacción en el punto A [N].
R_B	Reacción en el punto B [N].
R_C	Reacción en el punto C [N].
R_C	Resistencia Térmica en el cilindro del depósito [m^2K/ W].
R_D	Reacción en el punto D [N].
R_e	Número adimensional de Reynolds.
R_{eq}	Resistencia Térmica equivalente [m^2K/ W].
R_1	Resistencia térmica conductiva a través del aislante [m^2K/ W].
R_2	Resistencia térmica convectiva hacia el ambiente [m^2K/ W].
R_3	Resistencia térmica entre la placa de absorción y el vidrio [m^2K/ W].
R_4	Resistencia térmica entre el vidrio y el ambiente [m^2K/ W].
S	Irradiación solar incidente sobre la placa de absorción [W/m^2].
t	Tiempo [s].
t_a	Espesor del aislante [m].
t_f	Espesor del patín de la sección estructural [mm].
t_w	Espesor del alma de la sección estructural [mm].
T	Temperatura del elemento (Δx) [K].
\bar{T}	Temperatura promedio [$^{\circ}C$].
T_a	Temperatura ambiente [K] o en [$^{\circ}C$].
T_b	Temperatura de la placa de absorción en la vecindad del tubo [K].
T_{cx}	Temperatura promedio del fluido dentro de las conexiones de tubería [$^{\circ}C$].
T_{da}	Temperatura promedio del fluido dentro del depósito [$^{\circ}C$].
T_{dat}	Temperatura del agua en el depósito al final del intervalo de tiempo [$^{\circ}C$].
T_{dao}	Temperatura inicial del agua en el depósito [$^{\circ}C$].
T_f	Temperatura del fluido en cualquier posición [K] o [$^{\circ}C$].
T_{fe}	Temperatura del fluido a la entrada del colector [K] o [$^{\circ}C$].

T_{fs}	Temperatura del fluido a la salida del colector [K] o [°C].
$T_{fs,T}$	Temperatura del fluido de transferencia a la salida del colector en un momento específico [°C].
$T_{fs,inicial}$	Temperatura del fluido de transferencia a la salida del colector al inicio del período de prueba, para determinar la constante de tiempo [°C].
T_{ofc}	Tiempo oficial u hora local según el huso horario que le corresponda al punto geográfico que se trate [h].
T_p	Temperatura promedio de la placa de absorción [K].
T_s	Temperatura de la superficie [K].
T_v	Temperatura promedio del vidrio templado [K].
T_∞	Temperatura del fluido [K].
TSV	Tiempo solar verdadero [h].
U_{cx}	Coefficiente global de pérdidas de calor en la conexión de tubería [$W/m^2 K$].
U_{da}	Coefficiente global de pérdidas de calor en el depósito [$W/m^2 K$].
U_{fo}	Coefficiente de pérdidas de calor en la parte inferior [$W/m^2 K$].
U_l	Coefficiente de pérdidas de calor en la parte lateral [$W/m^2 K$].
U_L	Coefficiente total de transferencia de calor global hacia el ambiente [$W/m^2 K$].
U_{sup}	Coefficiente de pérdidas de calor en la parte superior [$W/m^2 K$].
ν	Viscosidad Cinemática del agua [m^2/s].
ν_f	Velocidad del agua dentro de los tubos [m/s].
V	Volumen [m^3].
V_f	Fuerza cortante [N].
V_w	Velocidad del viento [m/s].
\bar{V}_w	Velocidad de viento promedio [m/s].
W	Distancia entre tubos de centro a centro [m].
w_p	Peso del panel solar en forma de carga distribuida [N/m^2].
W_p	Peso del panel solar lleno con agua [kg].
$W-D$	Distancia entre diámetros exteriores de los tubos [m].
x_0	Valor inicial o primer valor de la variable x.
x_1	Valor final o segundo valor de la variable x.

GRIEGA

α	Absortividad ($0 < \alpha < 1$).
α_1	Ángulo de elevación relativa del tanque de almacenamiento, respecto de la salida de agua caliente del colector y la entrada de agua caliente del depósito [°].
α_2	Ángulo de elevación relativa del depósito de almacenamiento, respecto de la entrada de agua fría del colector y la entrada de agua caliente del depósito [°].
β	Ángulo de inclinación del colector [°].
Γ	Vector unitario del eje de incidencia de la irradiación solar.
δ	Espesor de la placa de absorción [m].
ϑ	Declinación solar Norte positiva y Sur negativa [°].
Δt	Intervalo de tiempo [s].
ΔP	Presión generada por la diferencia de densidades del agua [m].
ΔP_{CN}	Altura de presión de circulación natural [m].
ΔT_f	Diferencia o gradiente de temperaturas del agua entre la entrada y salida del panel [°C].
Δx	Elemento del ancho de la placa de absorción.
Δy	Elemento del largo de la placa de absorción.
ε	Emisividad ($0 < \varepsilon < 1$).
ε_c	Emisividad de la cubierta de vidrio ($0 < \varepsilon_c < 1$).
ε_p	Emisividad de la placa de absorción ($0 < \varepsilon_p < 1$).
ζ	Ecuación del tiempo, que se refiere al efecto acumulado de la variación del día solar [h].
Z	Ángulo cenital del Sol, ángulo complementario de la altura angular aparente del Sol $0^\circ \leq Z \leq 90^\circ$.
η_c	Eficiencia del calentador solar [%].
η_g	Eficiencia del calentador solar basado en su área bruta [%].
θ	Ángulo que forman la dirección de incidencia de la irradiación solar directa y la normal a la superficie del colector [°].
λ	Longitud de onda [μm] o [ηm].

- Λ Ángulo que forma el colector con el plano horizontal igual al ángulo que forma la normal a la superficie del colector (dada por Π) y la vertical al plano horizontal, corresponde a la inclinación del colector [°].
- μ Viscosidad Dinámica del fluido [N s/m²].
- μ_s Coeficiente de rozamiento estático.
- $\pi = 3.14159\dots$ Constante de relación entre el perímetro de toda circunferencia con su diámetro.
- Π Vector unitario del eje normal a la superficie del colector solar.
- ρ Densidad promedio del fluido en el colector [kg/m³].
- ρ_e Densidad del agua a la entrada del colector [kg/m³].
- ρ_s Densidad del agua a la salida del colector [kg/m³].
- $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ Constante de Stefan Boltzmann [W/m²K⁴].
- Σ Sumatoria de datos.
- τ Transmisividad ($0 < \tau < 1$).
- γ Ángulo acimutal del Sol, $\gamma = 0$ al Sur, al Oriente $\gamma < 0$ y $\gamma > 0$ al Poniente (Occidente) $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$.
- ϕ Latitud geográfica del sitio en donde se realiza el ensayo. Norte positiva y Sur negativa [°].
- Ψ Ángulo acimutal de la proyección de la normal (Π) a la superficie del colector, sobre el plano horizontal [°].
- ω Ángulo horario, + después del medio día solar y – antes del medio día solar [°].

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto consiste en la realización de un estudio de campo de la irradiación solar incidente en la ciudad de Ambato en relación con los parámetros físico-ambientales que se supone inicialmente que están asociados al fenómeno, para conocer el potencial de energía disponible y que puede ser aprovechable en un dispositivo para calentamiento de agua, denominado colector solar plano.

Empleando equipos de laboratorio se hicieron mediciones de campo de los parámetros físicos: irradiancia, temperatura ambiente, humedad relativa y velocidad de viento. Las muestras se tomaron en forma conjunta durante dos meses en intervalos de tiempo de quince minutos entre las 11:00 y las 14:00 horas por ser el lapso de mayor incidencia de la irradiación solar; adicionalmente se registró la condición climática de otros cuatro meses para conocer la frecuencia con la que se presenta cada condición climática o de cielo (soleado, parcial nublado o nublado) y relacionarla con los parámetros estudiados.

Del estudio realizado se concluyó que la irradiancia es el parámetro físico que determina el potencial de energía solar disponible y su valor excede los $400 \text{ [W/m}^2\text{]}$ para las condiciones de medio día soleado y parcial nublado en la ciudad de Ambato. La probabilidad de que se presente un medio día soleado fue del 21%, parcial nublado de un 43.7% y nublado del 35.3%, con lo que se resume manifestando que dos de cada tres días en la hora meridiana fueron potencialmente aprovechables en Ambato. La temperatura ambiente promedio para medio día soleado fue de 25.3°C , la máxima temperatura presentada en el medio día fue de 33°C . La humedad relativa en promedio para el medio día no excedió el 40%. La velocidad de viento promedio para el medio día fue de 3 m/s , la máxima se aproximó a 14 m/s a dos metros de altura sobre el nivel del piso. Se evidenció que en Ambato existe una pequeña variación de los parámetros estudiados en función de los meses del año.

En base a la evaluación de los parámetros se diseñó un *colector solar plano para calentamiento de agua vía circulación natural* con un área bruta de 1.07 m^2 y efectiva de 0.99 m^2 . Se evaluó el aprovechamiento térmico del colector a través de medición de la temperatura del agua tanto a la entrada como a la salida del panel. La eficiencia térmica osciló entre 30 y 76% en función del tiempo de exposición y permitió que el agua alcance temperaturas cercanas a los 75°C a la salida del panel en dos horas de exposición a la irradiación solar, lo cual es elevado considerando que el agua de la red de agua potable en promedio tiene una temperatura de 18°C al medio día.

EXECUTIVE SUMMARY

The present project consists of the accomplishment of a field study of the incident solar irradiation in the city of Ambato in relation to the physical-environmental parameters that assumes initially they are associate to the phenomenon, to know the potential of available energy and that can be usable in a device to heat water, named flat plate solar collector.

Field measurements were done of the physical parameters: irradiance, environment temperature, relative humidity and speed of wind using laboratory equipments. The samples were taken in joint form for two months in time intervals of fifteen minutes between 11 and 14 o'clock for being the greatest lapse of incidence of solar irradiation; additionally the climatic condition of other four months was registered to know the frequency with which each climatic or of the sky condition appears (sunny, partially cloudy or cloudy). The results determined the relation that exists between the studied parameters based on each climatic condition.

Of the finished study one concluded that the irradiance is the physical parameter which determines the potential of available solar energy and its value exceeds at 400 [W/m²] for the conditions of sunny and partially cloudy at noon in the city of Ambato. The probability that a sunny day appears at noon was 21%, partially cloudy was 43,7% and cloudy was 35,3%, so it is transformed showing that two of every three days at noon are potentially usable in Ambato. The average environment temperature for sunny weather at noon was 25.3°C, the highest temperature displayed at noon was 33°C. The average relative humidity for noon did not exceed 40%. The average speed of wind for noon was 3m/s, the approximate maximum speed was 14 m/s over two meters of height from the level of the floor. In Ambato there is a small variation of studied parameters based on the months of the year, it was demonstrated.

According to the examination of parameters, *a flat plate solar collector to heat water with natural circulation of fluid* was designed, it has a gross area of 1,07 m² and an effective of 0,99 m². The profitable thermal energy was evaluated through the measurement of the water temperature to the entrance as when coming out of the panel. The thermal efficiency oscillated between 30 and 76% based on the exposure time and it allowed that the water when coming out of the panel reaches temperatures near 75°C in two hours of exhibition to the solar irradiation, which is high considering that the water of the potable water network has an average temperature of 18°C at noon.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 TEMA

ESTUDIO DEL ESPECTRO DE IRRADIACIÓN SOLAR PARA DETERMINAR EL POTENCIAL DE ENERGÍA APROVECHABLE EN LA CIUDAD DE AMBATO.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

A nivel mundial la contaminación ambiental, el cambio climático y el calentamiento global, son temas prioritarios que no pueden pasarse por alto. Como es de conocimiento estos problemas son ocasionados en cierta medida por el consumo desmedido de fuentes de generación energética contaminante como el petróleo, especialmente en el ámbito industrial. Bajo este panorama es urgente la necesidad de desarrollar con mayor amplitud y cobertura las fuentes de generación de Energía Alternativa como la energía solar (energía del futuro), hidráulica, eólica, geotérmica y otras. En este contexto cabe mencionar que el estudio para la calificación y cuantificación de la Energía Solar, obtenida a partir de la captación de la luz y el calor del sol, está condicionado a la Intensidad de la Irradiación Solar. Este hecho implica necesariamente el requerimiento de investigar a fondo tal fenómeno y sus parámetros asociados, para posteriormente implementar proyectos de aprovechamiento energético.

Actualmente los instrumentos y equipos de alta tecnología, los programas informáticos, los satélites artificiales y otros elementos modernos posibilitan la realización de tablas y mapas de irradiación solar, en donde normalmente se presentan los valores promedio de radiación solar diaria, mensual o anual para determinadas zonas geográficas. Pero dicha información se elabora mediante

mediciones vía satélite o a partir de los datos obtenidos en grandes ciudades y áreas metropolitanas, esto conlleva a que se generalice el nivel de irradiación solar de cierta zona para un área o extensión de territorio mucho mayor sin tener en cuenta que lo más probable es que el nivel de irradiación difiera considerablemente. Por ello, esos datos tienen cierta incertidumbre propia de la tecnología empleada, habiéndose su uso poco práctico y limitado.

El grado de exactitud requerida en los datos a manejar está en función del propósito que se tenga. Es decir, se precisa de la mayor exactitud posible, por ejemplo para conocer la potencia de la irradiación con fines de desarrollar paneles fotovoltaicos o colectores solares, en cambio no se necesita demasiada precisión para conocer cuanto tiempo una persona se puede exponer libremente a la irradiación solar. En el primer caso, la generación de energía mediante los paneles o colectores solares es sumamente costosa y es imprescindible que dichos sistemas tengan la mayor eficiencia posible y esto no se consigue si no se cuenta con datos reales, lo que repercute en que exista un desinterés por gestionar proyectos energéticos alternativos de tipo solar.

En el Ecuador es casi desconocida la gran variedad de usos o aplicaciones que puede tener la energía obtenida a partir del “ astro rey ”, como la utilización para la iluminación directa en las casas y los sistemas de generación térmica, a más de los mencionados en el párrafo anterior. Se han hecho diseños de colectores solares, pero éstos no se implementan por las razones ya expuestas. Cualquier persona común concibe a la irradiación solar como perjudicial, porque representa un peligro para la salud pero no considera que también ofrece beneficios, y específicamente es el potencial de energía que genera.

En el país no existen mayores estudios acerca de los Niveles de Irradiación Solar, prácticamente el único organismo que realiza estudios aproximados es el INAMHI Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, que incluso pone en conocimiento del público en general un mapa de irradiación solar, que sirve de buena referencia para conocer con cierta aproximación los niveles de radiación solar, pero que deben ser confirmados por un estudio más específico y de campo.

1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO

Con los antecedentes expuestos es una necesidad imperiosa plantear un estudio del fenómeno de la irradiación solar, porque es imprescindible fomentar la realización de proyectos de aprovechamiento energético alternativo tendientes a disminuir el requerimiento de energía a partir de los combustibles fósiles.

El presente trabajo de investigación analiza el fenómeno de la irradiación orientado a presentar una evaluación aplicable a la ciudad de Ambato, mediante pruebas de campo para medir el nivel de la radiación empleando para el efecto instrumentos de medición y a su vez confrontando los resultados obtenidos con los valores y criterios referenciales que existen al respecto. Su finalidad es presentar conclusiones que permitan más adelante servir de base para el planeamiento y ejecución de proyectos de aprovechamiento de la energía solar, así como para otros fines diversos, como puede ser la evaluación del cambio climático y el estudio para prevenir el desarrollo de enfermedades de la piel en los seres humanos, entre otros. Es deseable la confrontación de la investigación con la mayor cantidad de estudios previos y fuentes de consulta al respecto.

1.2.3 PROGNOSIS

En caso de no llevarse a efecto el estudio propuesto no se dispondrá del soporte básico para la posterior realización de proyectos de aprovechamiento de la energía solar en el país en general y en la ciudad de Ambato en particular.

Sobre todo se debe tener en cuenta el elevado costo que presenta la operación de los paneles fotovoltaicos y este hecho determina la obligación de alcanzar la máxima eficiencia en los mismos, lo cual forzosamente implica conocer la real capacidad energética solar y que esté respaldada con un estudio técnico que analice la mayor cantidad de elementos posibles que intervienen en la presentación del fenómeno de la irradiación solar.

Además es importante señalar que el estudio pretende servir como fuente de referencia para otro tipo de estudios enfocados a contribuir con el desarrollo de nuevas fuentes de generación energética no contaminante.

1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En síntesis el problema surge por el desconocimiento del Potencial de Energía Solar Aprovechable en Ambato debido a que no se dispone de información cualitativa y cuantitativa del espectro de Irradiación Solar.

Consecuentemente el presente proyecto de investigación tiene como problema a dar solución, el siguiente:

¿Permitirá el estudio cuantitativo y cualitativo del espectro de irradiación solar conocer aproximadamente el Potencial de Energía Aprovechable en la ciudad de Ambato?

1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES

- ¿Existen en el país estudios específicos acerca de la irradiación solar y de qué tipo son aquellos realizados en relación al tema planteado?
- ¿Cómo se debe confrontar la evaluación de campo con el conocimiento teórico?
- ¿Qué consideraciones técnicas se tienen que establecer para la realización del estudio propuesto?
- ¿Se dispone de los instrumentos adecuados y fuentes de consulta suficientes para la realización del proyecto investigativo?
- ¿Cómo se debe analizar cualitativamente el comportamiento de la irradiancia?

1.2.6 DELIMITACIÓN

1.2.6.1 CONTENIDO

La investigación propuesta abarca varias áreas del conocimiento y de la Ingeniería. Entre ellas se menciona las siguientes:

Ciencias Físicas y de la Ingeniería: Energías Alternativas, Transferencia de Calor, Termodinámica, Estadística, Meteorología, entre otras.

Ciencias Exactas como las Matemáticas.

Conocimientos auxiliares: Informática y Gestión de Proyectos.

1.2.6.2 ESPACIAL

El estudio se desarrolló en espacios exteriores de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. El espacio geográfico de alcance es la ciudad de Ambato, ubicada en la provincia de Tungurahua de la cual es también la capital, en la República del Ecuador.

1.2.6.3 TEMPORAL

El presente estudio se realizó en un lapso aproximado de diez meses. Es importante señalar la ventaja que representa el hecho que el Ecuador prácticamente no presente cambio de estaciones del año. Con estas consideraciones se puede delimitar más específicamente la investigación entre Septiembre de 2010 y Junio de 2011.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La importancia fundamental que tiene el presente proyecto de estudio radica en presentar un análisis cualitativo y cuantitativo de la Irradiación Solar en la superficie terrestre de la ciudad de Ambato, para servir de fuente o punto de partida para la posterior planificación de proyectos de generación energética alternativa como colectores, paneles solares y demás formas de aprovechar la energía solar.

Enmarcado en este aspecto se pretende contribuir en el desarrollo de las Energías Alternativas como rama de la Ingeniería Mecánica.

La finalidad específica es presentar datos de campo de la irradiación solar para la ciudad de Ambato, que tiendan a alcanzar la mayor precisión posible, para lo cual se examinó la irradiación solar, los parámetros que influyen directa o indirectamente en su comportamiento y adicionalmente se comprobó su efecto en un dispositivo aprovechador térmico de la energía solar como lo es un colector solar plano para calentamiento de agua.

Cualquier estudio de la irradiación que se realice con el fin que persigue el actual proyecto, no puede por sí solo ser generalizado para grandes zonas territoriales,

sino que debe estar enfocado a sitios más específicos y concentrados en donde se presume con el respaldo debido que se pueden implementar sistemas de generación energética solar. En este contexto, cabe decir, que la ciudad de Ambato por tener una superficie de 44.33 km² (zona urbana), representa un área perfectamente concentrada en relación a los mapas climáticos y de irradiación solar que generalizan para áreas superiores a los 1000 km² (área aproximada del cantón Ambato).

La Universidad Técnica de Ambato es el escenario indicado para realizar esta tarea pues se cuenta con instrumentos como el Piranómetro que permite efectuar mediciones de irradiancia y el Anemómetro que mide la temperatura, velocidad de viento y humedad. Contribuyendo a la puesta en marcha de proyectos investigativos de gran relevancia, que es una de las funciones que debe cumplir un centro de estudios universitarios.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio cualitativo y cuantitativo del espectro de irradiación solar para conocer el potencial de energía aprovechable en la ciudad de Ambato.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar el fenómeno de la irradiancia en las horas de mayor incidencia (11:00 - 14:00 h) con el instrumento denominado Piranómetro, en las regiones de longitud de onda de Radiación Visible (400 - 740 nm) y una fracción de Radiación Infrarroja (740 - 1050 nm).
- Evaluar cuantitativamente niveles de energía potencialmente aprovechable para calentamiento solar de agua.
- Examinar la energía solar absorbida y el efecto que ésta produce en un colector solar plano para calentamiento de agua para describir cualitativamente el comportamiento de la irradiación.
- Determinar los ángulos de incidencia de la irradiación solar según el día y la hora, para conocer su variabilidad.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

En general existen estudios relacionados ligera o íntimamente con el tema propuesto, especialmente en los países desarrollados así como también en países vecinos como Colombia y Perú, pero en el Ecuador prácticamente el estudio de la irradiación solar es casi nulo. Como se manifestó el único organismo encargado de llevar registros aproximados en el país es el INAMHI, pero estos se hacen mediante mediciones vía satélite en los aeropuertos y no tienen como propósito fundamental el cuantificar el potencial de energía solar disponible o aprovechable, sino su objetivo es analizar la climatología.

A nivel mundial los estudios relacionados con el cambio climático abordan también el tema de la irradiación solar, pero su objeto principal no se centra en el aprovechamiento de este fenómeno para la generación de energía renovable.

Para profundizar un poco más en las investigaciones realizadas, mencionaremos por ejemplo, un estudio hecho para validar los modelos de irradiación solar directa para la ciudad de Bogotá a partir de datos investigativos obtenidos por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en el 2005. En el análisis se recurrió a trabajar con los modelos existentes de: Hottel, Orgill & Hollands, Liu-Jordan, Page, Iqbal y ASHRAE. Se determinó a partir de los modelos de Hotel, Page y Orgill & Hollands comportamientos característicos de la radiación directa horaria para Bogotá, además de expresarla en función de coeficientes y valores de relaciones de radiación que llega a la superficie respecto a la radiación solar extraterrestre que muestran el comportamiento de acuerdo a las condiciones establecidas teóricamente por el modelo para las condiciones de cielo.

En Perú el SENAMHI Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología en el año 2003 presentó un “Atlas de Energía Solar del Perú” para cuyo desarrollo fue necesario utilizar un modelo de interpolación climática (modelo digital de elevación) basado en procesos, que fueron realizados en el Departamento de Sistemas de Producción y Manejo de Recursos Naturales del Centro Internacional de la Papa (CIP). Analizaron también modelos como el de Ångström-Prescott y Bristow-Campbell.

En referencia a dispositivos o experimentos efectuados con el propósito de evaluar y aprovechar la irradiación en la superficie terrestre, se puede reseñar lo siguiente:

El primer colector solar fue fabricado por el suizo Nicholas de Saussure (1740-1799), y estaba compuesto por una cubierta de vidrio y una placa metálica negra encerrada en una caja con su correspondiente aislamiento térmico. Este colector solar se utilizó para cocinar alimentos que se introducían en su interior.

Un dispositivo localizador de radiación solar u otra fuente radiante, patentado por Rubén Antonio Gugliotta y Eduardo Ioli en Argentina en el 2006, que es un aparato electromecánico automático que permite que una plataforma sobre la que se pueden fijar diferentes elementos siga la trayectoria del sol u otra fuente radiante incidiendo sobre la misma en todo momento el máximo flujo.

Otro importante es uno patentado por Franz Kraemling en México en 2006, un encristalado de vidrio en hojas o laminado transparente que reflejan las radiaciones del sol y las radiaciones térmicas, el encristalado de vidrio en hojas se caracteriza porque es aplicado sobre la superficie volteada hacia la cabina, de una capa transparente que refleja esencialmente las radiaciones térmicas del tipo de baja emisividad. Esta posee una función de protección solar y de aislante.

Finalmente se pueden reseñar dos patentes registradas en Estados Unidos que se refieren a dispositivos que miden eléctricamente la radiación solar. El primero que fue patentado por John Yellott en Julio de 1968 (Patente No.3,390,576), es un dispositivo autónomo impermeabilizador basado en el principio de que la

corriente de cortocircuito de una célula fotovoltaica de silicio es substancialmente una función lineal de la intensidad de radiación solar recibida siempre que la temperatura de la célula solar sea constante. Un segundo patentado por Arie Braunstein, Ezra Sohar y Theodore Levite de Israel en Noviembre de 1984 (Patente No.4,485,306), dispositivo o aparato para indicación del nivel de radiación solar en la región ultravioleta, cuyo objetivo es dar a conocer el grado de peligrosidad para la piel que representa el exponerse a la radiación.

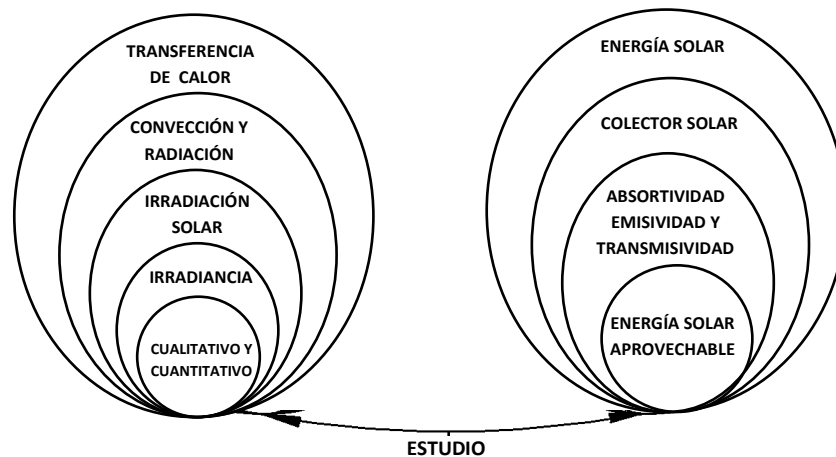
2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

La principal razón que motiva la presente propuesta es el afán de impulsar la creación de colectores solares para generar energía no contaminante a partir del aprovechamiento de la irradiación.

Lo ideal es tener conciencia que se requiere desterrar la idea errónea y arraigada de hacer las cosas empíricamente. Se acostumbra tener como criterio de diseño las apreciaciones visuales o tangibles de cierto momento, sin recurrir con estricto apego a los criterios técnicos y datos obtenidos. Esta idiosincrasia hace que se desperdicien recursos económicos y materiales, impidiendo el progreso del país.

La investigación por parte de los entes académicos debe ser más amplia y orientada a dar solución a los problemas de la sociedad y merece más respaldo por parte del estado e instituciones públicas y privadas.

2.3 RED DE CATEGORÍAS FUNDAMENTALES



La temática que comprende el estudio de la irradiación solar es muy amplia y variada, abarcando diferentes ámbitos, temas o aspectos que se relacionan entre sí directa o indirectamente en función de las variables de estudio.

2.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.4.1 TRANSFERENCIA DE CALOR

Es la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas que se presenta cuando un sistema interactúa con su alrededor o con otro sistema.

2.4.1.1 Calor

Calor es la forma de energía que se puede transferir de un sistema a otro como consecuencia de la diferencia de temperaturas.

2.4.1.2 Convección

Es el modo de transferencia de calor que ocurre entre una superficie y un fluido (líquido o gas) en movimiento cuando están a diferentes temperaturas. La convección se compone de dos mecanismos: transferencia de energía debida al *movimiento molecular aleatorio (difusión)* y transferencia por el *movimiento global, o macroscópico* del fluido. Se acostumbra utilizar el término *convección* para referirse a la transferencia por el movimiento aleatorio de las moléculas y *advección* al movimiento global o volumétrico del fluido.

La transferencia de calor por convección se clasifica de acuerdo con la naturaleza del flujo. Hablamos de *convección forzada* cuando el flujo es causado por medios externos, como un ventilador, una bomba o vientos atmosféricos. En cambio, en la *convección libre (o natural)* el flujo es inducido por fuerzas de empuje que surgen a partir de diferencias de densidad ocasionadas por variaciones de temperatura en el fluido.

Por lo general, la energía que se transfiere es la *energía sensible* o energía térmica interna del fluido. Sin embargo, hay procesos de convección en los que existe, además, intercambio de calor *latente*. Éste generalmente se asocia con un cambio

de fase entre los estados líquido y vapor del fluido. Dos casos especiales de interés son la *ebullición* y la *condensación*.

Independiente de la naturaleza del flujo por convección, la ecuación a emplear para el fenómeno de la transferencia de calor por convección es:

$$q'' = h (T_s - T_\infty) \quad (2.1)$$

Donde:

q'' , es el *flujo de calor* por convección [W/m^2], que es proporcional a la diferencia entre las temperaturas de la superficie y del fluido, T_s y T_∞ , respectivamente. Esta expresión se conoce como la *ley de enfriamiento de Newton* si la temperatura de la superficie es mayor que la del fluido y como *ley de calentamiento de Newton* si la temperatura de la superficie es menor que la del fluido. La constante de proporcionalidad h [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$] se denomina *coeficiente de transferencia de calor por convección* (depende de las condiciones en la capa límite, en las que influyen la geometría de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido y una variedad de propiedades termodinámicas del fluido y de transporte).

En síntesis cualquier estudio de la convección se reduce a un estudio de los medios por los que es posible determinar h . Sin embargo, si el problema a resolver no requiere demasiada exactitud se puede considerar el valor del coeficiente de convección tomando los valores típicos presentados en tablas según el modo en que ocurre el fenómeno.

2.4.1.3 Radiación Térmica

La radiación térmica es la energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura finita, es decir, es la forma de transferencia de calor que se presenta entre dos medios separados (sólidos, líquidos y/o gases). Independiente de la forma de la materia, la radiación se puede atribuir a cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivos. La energía del campo de radiación es transportada por ondas electromagnéticas (o alternativamente, fotones).

La transferencia de energía por radiación no requiere la presencia de un medio material, a diferencia de la conducción y la convección. De hecho, la transferencia de radiación ocurre de manera más eficiente en el vacío.

La radiación que emite una superficie se origina a partir de la energía térmica de la materia limitada por la superficie, y la velocidad a la que libera energía por unidad de área [W/m^2] se denomina la *potencia emisiva* superficial E . Hay un límite superior para la potencia emisiva, que es establecida por la *ley de Stefan-Boltzmann*:

$$E_b = \sigma T_s^4 \quad (2.2)$$

Donde:

T_s es la *temperatura absoluta* [K] de la superficie y σ es la *constante de Stefan Boltzmann* ($\sigma = 5.67 \times 10^{-8} [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4]$). Dicha superficie se llama radiador ideal o *cuerpo negro*. El *flujo de calor emitido por una superficie real* es menor que el de un cuerpo negro a la misma temperatura y está dado por:

$$E = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (2.3)$$

Donde ε es una propiedad radiativa de la superficie denominada *emisividad*.

Un *cuerpo negro* b es un objeto teórico o ideal que absorbe toda la luz y energía radiante que incide sobre él y es capaz de emitir toda la energía absorbida. A pesar de su nombre, el cuerpo negro emite luz y constituye un *modelo ideal* para el estudio de la emisión de radiación electromagnética. El sol al comportarse como tal tiene un gran poder emisor de energía.

2.4.1.4 Emisividad

Es la relación entre la radiación emitida por una superficie y la radiación emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura. Con valores en el rango $0 \leq \varepsilon \leq 1$, esta propiedad proporciona una medida de la eficiencia con que una superficie emite energía en relación con un cuerpo negro. Cuanto más se acerque al valor de uno quiere decir que emite una mayor radiación, en el caso de un cuerpo negro la emisividad es uno. En general el valor esta en función del material de la superficie y del acabado.

La radiación también puede incidir sobre una superficie desde sus alrededores.

La radiación se origina desde una fuente especial, como el *sol*, o de otras superficies a las que se expone la superficie de interés. Independientemente de la fuente, la velocidad a la que toda esa radiación incide sobre un área unitaria de la superficie se denomina *irradiación G*. Una parte o toda la irradiación pueden ser absorbidas por la superficie incrementando la energía térmica del material. La velocidad a la que la energía radiante es absorbida por área superficial unitaria se evalúa a partir del conocimiento de una propiedad radiativa de la superficie denominada *absortividad α* .

2.4.1.5 Absortividad

Es la fracción de la radiación incidente *absorbida* por la materia, puede ser *direccional, hemisférica, espectral o total*. Con valores en el rango $0 \leq \alpha \leq 1$, el valor de la absortividad depende de la naturaleza de la irradiación así como de la superficie, por ejemplo, no es el mismo valor para radiación solar que para radiación por las paredes de un horno. Se establece una comparación entre la irradiación absorbida real G_{abs} y la irradiación que sería absorbida en caso de tratarse de un cuerpo negro ($\alpha = 1$) mediante la relación con la absortividad real y es la siguiente:

$$G_{abs} = \alpha G \quad (2.4)$$

2.4.1.6 Transmisividad

Es la fracción de la radiación incidente que es *transmitida* por la materia. Se simboliza con la letra τ . Su valor comprendido entre cero y uno, dependerá esencialmente del material del cuerpo o superficie a considerar.

2.4.2 RADIACIÓN SOLAR

Radiación solar es la energía electromagnética emitida por el sol en forma de luz y calor, que se transfiere en el espacio y se recibe en los cuerpos celestes que se encuentran a una cierta distancia de dicho astro.

El *sol* es una esfera de unos 700.000 Km. de radio, que se halla a una distancia media de la tierra de $1,495 \times 10^{11}$ Km. Está constituido por una mezcla de gases (70% de Hidrógeno y 27% de Helio). En el núcleo se producen reacciones de fusión que son su fuente de energía y que mantienen su núcleo a una temperatura de entre 8×10^6 y 40×10^6 K. Esta energía fluye hacia las capas externas y al espacio por mecanismos de convección y radiación. Para su aprovechamiento energético se puede considerar como una esfera que emite una radiación transmisible a través del espacio a la velocidad de la luz. El sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro que emite energía siguiendo la *ley de Planck* a una temperatura de unos 6000 K.

La energía radiante emitida por un cuerpo a temperatura ambiente es escasa y corresponde a longitudes de onda superiores a las de la luz visible (es decir, de menor frecuencia). Al elevar la temperatura aumenta la energía emitida y las longitudes de onda se acortan; fenómeno que se manifiesta por el cambio de color de un cuerpo cuando se calienta. Los cuerpos no emiten con igual intensidad a todas las frecuencias o longitudes de onda, sino que siguen la *ley de Planck (Modelo cuántico)*.¹

La longitud de onda en la que se produce el máximo de emisión viene dada por la *ley de Wien*¹; por lo tanto, a medida que la temperatura aumenta, el brillo de un cuerpo va sumando longitudes de onda, cada vez más pequeñas, y pasa del rojo al blanco según va sumando las radiaciones desde el amarillo hasta el violeta.

La longitud de onda λ es inversamente proporcional a la frecuencia f , siendo ésta la frecuencia del movimiento armónico simple de cada una de las partículas del medio, c es la velocidad de onda de luz.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.5)$$

1. No se citan las leyes de *Planck* y *Wien* así como sus fórmulas asociadas porque salen del contexto específico de la presente investigación.

2.4.2.1 Distribución espectral de la radiación solar

La aplicación de la *Ley de Planck* al sol con una temperatura superficial de unos 6000 K determina que el 99% de la radiación emitida está entre las longitudes de onda de 150 nm (nanómetros) y 4000 nm por lo que puede ionizar un átomo, excitar electrones, disociar una molécula o hacerla vibrar.

La distribución espectral de la intensidad de radiación extraterrestre solar cubre la siguiente banda de frecuencias: *Radiación ultravioleta* (UV) u ondas cortas desde 150 nm a 400 nm, *radiación visible* comprende el rango de 400 nm (luz violeta) a 740 nm (luz roja) y *radiación infrarroja* (IR) u ondas largas desde 740 nm a 4000 nm. La energía térmica de la Tierra (radiación infrarroja) se extiende de 3000 a 80000 nm por lo que puede hacer vibrar moléculas pero no átomos.

La atmósfera de la Tierra constituye un importante filtro que no permite que toda la radiación solar alcance la superficie terrestre, ya que absorbe radiaciones de longitud de onda inferiores a 290 nm (UVC) por medio del ozono y el oxígeno. Ello nos libra de la *ultravioleta* más peligrosa para la salud. La atmósfera es opaca a toda radiación infrarroja de longitud de onda superior a las 24000 nm, ello no afecta a la radiación solar pero sí a la energía emitida por la Tierra que llega hasta las 40000 nm y que es absorbida. Este es el efecto invernadero.

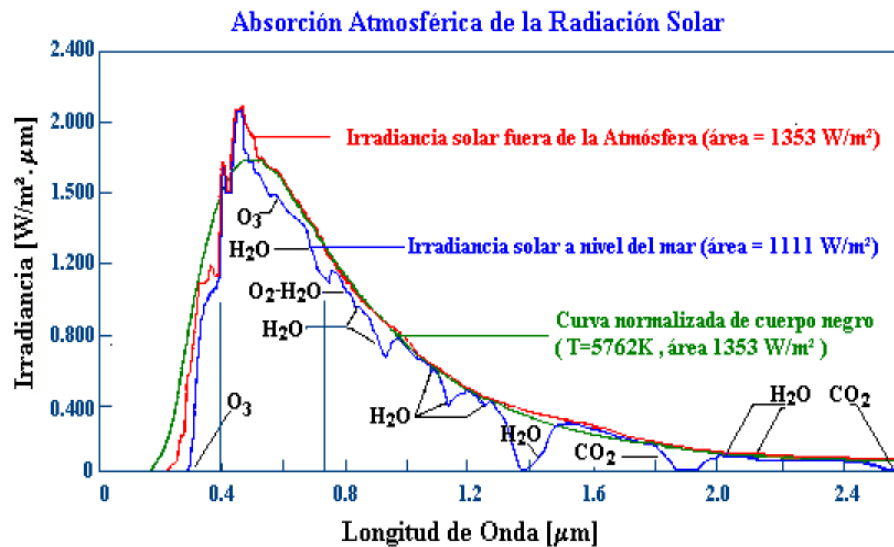


Figura 2.1 Relación Longitud de Onda vs Irradiancia para la distribución espectral solar.

Fuente: INAMHI. Pdf *Instrumentos Meteorológicos*. <http://www.inahmi.ec>

2.4.2.2 Radiación Ultravioleta

El contenido de radiación ultravioleta dentro del espectro de la radiación solar, es aproximadamente el 7% y se clasifica en tres regiones espectrales de acuerdo a su longitud de onda, así:

UVC, región comprendida entre longitudes de onda de 200 a 290 nm

UVB, región comprendida entre longitudes de onda de 290 a 320 nm

UVA, región comprendida entre longitudes de onda de 320 a 400 nm.

La división de la radiación ultravioleta en A, B y C se ha realizado convencionalmente considerando los efectos en los organismos.

La UV-A representa el 6.3% de la energía total emitida por el sol, causa el envejecimiento de la piel, arrugas y cataratas.

La UV-B representa aproximadamente el 1.5% de la energía total emitida por el sol, es parcialmente absorbida por la capa de ozono, por eso, su destrucción es notoriamente perjudicial. Produce el cáncer de la piel en los humanos, afecta al desarrollo de las plantas y produce efectos negativos en la salud de los animales salvajes y domésticos, altera la vida acuática, deteriora los plásticos y las pinturas.

La UV-C no llega a la superficie de la tierra porque es absorbida por el oxígeno y el ozono de la atmósfera, la cual se comporta como un filtro gigantesco.

En Mecánica cuántica la radiación se describe como haces de paquetes aislados de energía, conocidos como cuantos o fotones.

La emisión solar difiere de la de un cuerpo negro, sobre todo en el ultravioleta. En el infrarrojo se corresponde mejor con la temperatura de un cuerpo negro de 5779°C y en el visible con 6090 K. Ello nos habla de que la radiación solar no se produce en las mismas capas y estamos observando la temperatura de cada una de ellas donde se produce la energía.

Es decir que, la Tierra es un cuerpo opaco, pues solamente capta una parte de la radiación solar. No obstante, a partir de consideraciones termodinámicas es posible estimar la radiación solar instantánea sobre una región determinada. De

otra parte, *la energía aprovechable de la radiación solar proviene de la región del espectro visible e infrarrojo cercano*, que son las ondas electromagnéticas que producen el incremento de la energía interna del cuerpo.

En las consideraciones termodinámicas se tienen en cuenta las pérdidas de energía por reflexión de los materiales del medidor y por transmisión del calor de estos mismos materiales.

La atmósfera es diatérmica, es decir que no es calentada directamente por la radiación solar, sino de manera indirecta a través de la reflexión de dicha radiación en el suelo y en la superficie de mares y océanos.

2.4.2.3 Radiación e Irradiación

El término *radiación* se aplica al cuerpo que radia (por ejemplo el sol), mientras que el término *irradiación* al objeto expuesto a la radiación. Estrictamente, la superficie terrestre es *irradiada* y los mapas y tablas son de *irradiación solar*.

2.4.2.4 Irradiancia

Es la magnitud que mide o cuantifica la *irradiación solar* en la superficie terrestre, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la Tierra. Se puede decir que es la misma *irradiación G* pero en este caso la fuente que emite radiación es específicamente el sol. Su unidad en el SI es el $[W/m^2]$ (vatio por metro cuadrado). Se puede cuantificar su valor empleando varios instrumentos de medición, tales como los *Piranómetros*, los *Solarímetros*, los *Pirheliómetros* y otros.

2.4.2.5 Dirección de incidencia de la irradiación solar

El estudio de la dirección con la cual incide la irradiación solar sobre los cuerpos situados en la superficie terrestre, es de importancia si se desea conocer su comportamiento al ser reflejada. La dirección en que el rayo salga reflejado dependerá de la incidente. A partir de allí se distinguen dos tipos o componentes de la irradiación solar incidente sobre un punto:

2.4.2.6 Irradiación Solar Directa

Es la radiación que llega al cuerpo (en este caso a la superficie de la Tierra) en forma de rayos provenientes del Sol sin cambios de dirección, sin reflexiones o refracciones intermedias. Tiene la ventaja de que puede reflejarse y concentrarse para su utilización.

2.4.2.7 Irradiación Solar Difusa

Es la radiación que proviene de otras direcciones (distintas a las del disco solar) debido a la reflexión, refracción y dispersión de la radiación solar al atravesar la atmósfera y las nubes. Es decir, es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres.

Su dirección ha sido modificada por diversas circunstancias (densidad atmosférica, partículas u objetos con los que choca, remisiones de cuerpos, etc.). Por sus características esta luz se considera venida de todas direcciones, por ello no es posible concentrarla.

2.4.2.8 Irradiación Solar Total Incidente o Irradiación Global

Es la suma de las irradiaciones directa y difusa. La tasa de irradiación depende en cada instante del ángulo que forman la normal a la superficie en el punto considerado y la dirección de incidencia de los rayos solares. Por supuesto, dada la lejanía del Sol respecto de nuestro planeta, podemos suponer, con muy buena aproximación, que los rayos del Sol inciden esencialmente paralelos sobre el planeta. No obstante, en cada punto del mismo, localmente considerado, la inclinación de la superficie respecto a dichos rayos depende de la latitud y de la hora del día para una cierta localización en longitud. Dicha inclinación puede definirse a través del ángulo que forman el vector normal a la superficie en dicho punto y el vector paralelo a la dirección de incidencia de la radiación solar.

2.4.2.9 Energía Solar

La energía solar es la energía obtenida mediante la captación de la luz y el calor emitidos por el sol, es decir mediante la absorción de la irradiación, por ejemplo en dispositivos ópticos o de otro tipo. Es una de las llamadas energías renovables, del grupo no contaminante, conocido como energía limpia o energía verde. Si bien, al final de su vida útil, los paneles fotovoltaicos pueden suponer un residuo contaminante difícilmente reciclable al día de hoy.

La potencia de la irradiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de irradiación el valor puede alcanzar aproximadamente 1000 [W/m²] en la superficie terrestre.

2.4.2.10 Constante Solar

La irradiancia directa normal fuera de la atmósfera, recibe el nombre de constante solar G_{sc} y tiene un valor medio de 1353 [W/m²] (que corresponde a un valor máximo en el perihelio de 1395 [W/m²] y un valor mínimo en el afelio de 1308 [W/m²]), que se define como la energía instantánea proveniente del sol, por unidad de tiempo, recibida sobre una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación, a una distancia de 1 UA (1,495x10¹¹ Km) del sol y fuera de la atmosfera terrestre. Esta cantidad es muy utilizada en la energía solar. Su valor es estimado con un error de ±1,5%:

$$G_{sc} = 1353 \frac{w}{m^2} = 4872 \frac{KJ}{h.m^2}$$

Los rendimientos típicos de una célula fotovoltaica (aislada) de silicio policristalina oscilan alrededor del 10%. Para células de silicio monocristalino, los valores oscilan en el 15%. Los más altos se consiguen con los colectores solares térmicos a baja temperatura (que puede alcanzar el 70% de rendimiento en transferencia de energía solar a térmica).

Según un estudio publicado en 2007 por el World Energy Council, para el año 2100 el 70% de la energía consumida será de origen solar.

2.4.3 APLICACIONES DE LA RADIACIÓN SOLAR

Existen numerosas aplicaciones de la energía solar entre las cuales podemos citar las siguientes:

Aprovechamiento *directo* para iluminación (luz del día) o para secado de ropa, cuero, pintura, etc.

Aplicación *térmica* para el calentamiento de sistemas que posteriormente permiten la climatización de viviendas, calefacción, refrigeración, secado y otras aplicaciones. Los sistemas de aprovechamiento térmico permiten que el calor recogido en los colectores pueda destinarse y satisfacer numerosas necesidades. Por ejemplo, se puede obtener agua caliente para consumo doméstico o industrial, o bien generar calefacción a casas, hoteles, colegios, fábricas, etc. Incluso se pueden climatizar piscinas para permitir su uso durante gran parte del año.

Utilización *Fotovoltaica*, que es el aprovechamiento de la energía por medio de celdas fotoeléctricas (celda solar, auto solar) capaces de convertir la luz en un potencial eléctrico, sin pasar necesariamente por un efecto térmico. La energía es convenientemente recogida, el *calor* se logra mediante los *colectores térmicos*, y la *electricidad* se obtiene a través de los llamados módulos *fotovoltaicos*.

Aplicaciones *agrícolas* como los invernaderos solares, secaderos agrícolas, y plantas de purificación y desalinización de aguas.

Hornos solares, ideales para investigaciones, por ejemplo, en la investigación de materiales, que requieren temperaturas altas en entornos libres de contaminantes.

Enfriamiento solar: Se puede producir frío con el uso de energía solar como fuente de calor en un ciclo de enfriamiento por absorción. Uno de los componentes de los sistemas estándar de enfriamiento por absorción, llamado generador, necesita una fuente de calor.

2.4.4 COLECTOR SOLAR

También conocidos como *captador solar*, es cualquier dispositivo diseñado para recoger la energía irradiada por el sol y convertirla en energía térmica.

➤ Los colectores de acuerdo a la temperatura que alcanza el fluido de trabajo se dividen en dos grandes grupos: los captadores de baja temperatura, utilizados fundamentalmente en sistemas domésticos de calefacción y ACS, y los colectores de alta temperatura, conformados mediante espejos, y utilizados generalmente para producir energía eléctrica.

2.4.4.1 Colectores de baja temperatura

a) Colector Solar Plano

También llamado *panel solar térmico*, consiste en una caja plana metálica por la que circula un fluido, que se calienta a su paso por el panel. Puede ser a su vez:

- Colector plano protegido: con un vidrio que limita las pérdidas de calor.
- Colector plano no protegido: sistema más económico y de bajo rendimiento, utilizado esencialmente para climatización de piscinas.

Los colectores solares planos funcionan aprovechando el *efecto invernadero*, el mismo principio que se puede experimentar al entrar en un coche aparcado al sol en verano. El vidrio actúa como filtro para ciertas longitudes de onda de la luz solar, así deja pasar fundamentalmente la luz visible, y es menos transparente con las ondas infrarrojas de menor energía.

El sol incide sobre la cubierta de vidrio del colector, que siendo muy transparente a la longitud de onda de la radiación visible, deja pasar la mayor parte de la energía. Ésta calienta entonces la placa colectora que, a su vez, se convierte en emisora de radiación en onda larga o (infrarrojos), menos energética. Pero como el vidrio es muy opaco para esas longitudes de onda, a pesar de las pérdidas por transmisión, (el vidrio es un mal aislante térmico), el recinto de la caja se calienta por encima de la temperatura exterior. Al paso por la caja, el fluido que circula por los conductos se calienta, y transporta esa energía térmica a donde se desee.

El rendimiento de los colectores mejora cuanto menor sea la temperatura de trabajo, puesto que a mayor temperatura dentro de la caja (en relación con la exterior), mayores serán las pérdidas por transmisión en el vidrio. También, a

mayor temperatura de la placa captadora, más energética será su radiación, y más transparencia tendrá el vidrio a ella, disminuyendo por tanto la eficiencia del colector. Los colectores solares planos no son tecnológicamente complejos, por lo que su margen de evolución es muy limitado. No obstante, actualmente consiguen captar hasta cerca del 80% de la energía recibida del sol.

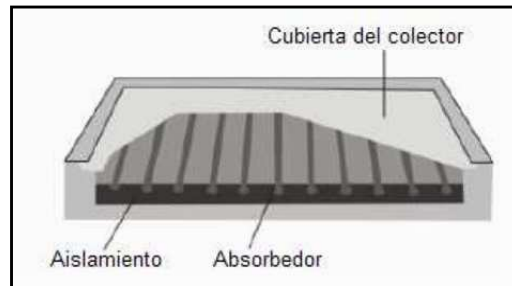


Figura 2.2 Colector Solar Térmico de Placa Plana.

Fuente: INEN NTE 2507. *Rendimiento Térmico de Colectores Solares en....*

Las aplicaciones más comunes de colectores solares planos son: preparación de agua caliente para uso sanitario, calefacción y climatización en piscinas.

b) Panel de Tubos de Vacío

Donde la superficie captadora está aislada del exterior por un doble tubo de vidrio que crea una cámara al vacío, para reducir las pérdidas por convección, son más eficientes que los colectores de placa plana. Existen dos sistemas:

- Flujo directo: el fluido circula por los tubos, como en los colectores planos.
- Flujo indirecto o *Heat pipe*: el calor evapora un fluido en el tubo, y éste transmite su energía al condensarse en el extremo.

2.4.4.2 Colectores de alta temperatura

a) Concentrador Solar

En estos sistemas el fluido se calienta a alta temperatura mediante espejos parabólicos. Concentran la radiación solar en un área más pequeña, similar al principio de una lupa. Pueden ser:

- Sistemas lineales (disposición cilíndrica): el fluido se calienta al recorrer la línea situada en el foco de la parábola.
- Sistemas puntuales (disposición esférica): con forma de plato, utilizado para concentrar más los rayos y obtener así temperaturas más altas cuando la infraestructura es de dimensiones limitadas.

➤ Los colectores solares por la forma de circulación del fluido se clasifican en:

2.4.4.3 Sistema de Circulación Forzada

Es un sistema que utiliza una bomba hidráulica para hacer circular el fluido de transferencia en el dispositivo. La bomba es accionada por un comando diferencial que lee la diferencia de temperaturas entre la salida de los colectores y la parte más baja del depósito de almacenamiento.

2.4.4.4 Sistema de Circulación Natural o Termosifón

Sistema que utiliza solo los cambios de densidad del fluido de transferencia, para conseguir la circulación entre el colector y el dispositivo de almacenamiento.

➤ De acuerdo a la forma en que se realiza la transferencia de calor entre el sistema de captación y el sistema de almacenamiento se clasifica en:

2.4.4.5 Sistema Directo

En este sistema el agua de la red es calentada para consumo final directamente a través del colector.

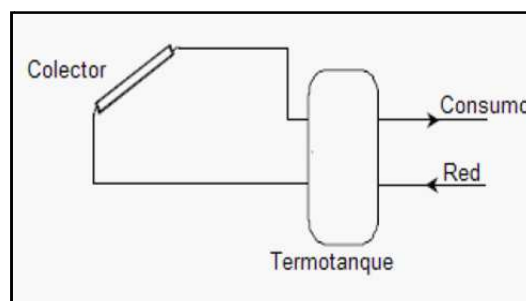


Figura 2.3 Sistema de Calentamiento Solar Directo.

Fuente: INEN NTE 2507. *Rendimiento Térmico de Colectores Solares en...*

2.4.4.6 Sistema Indirecto

Es aquel sistema de calentamiento solar en el que se utiliza un intercambiador que separa el agua que se calienta en el colector de aquella que proviene de la red. Esta alternativa es recomendable cuando hay riesgo de congelamiento de agua en los colectores, el agua sea excesivamente dura y las deposiciones calcáreas obstruyan el paso del agua o si existe riesgo de corrosión de las tuberías por contacto con el agua.

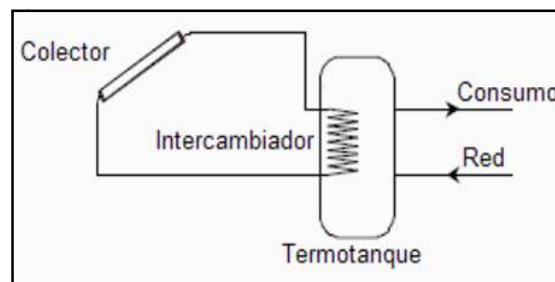


Figura 2.4 Sistema de Calentamiento Solar Indirecto.

Fuente: INEN NTE 2507. *Rendimiento Térmico de Colectores Solares en...*

2.4.5 PARÁMETROS AMBIENTALES Y FÍSICOS

2.4.5.1 Longitud de Onda

La longitud de una onda es una longitud λ . La distancia que recorre la onda en el intervalo de tiempo transcurrido entre dos máximos consecutivos de una de sus propiedades. La longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia de la onda. Una longitud de onda larga corresponde a una frecuencia baja, mientras que una longitud de onda corta corresponde a una frecuencia alta. Generalmente se mide en micras, nanómetros o angstrom.

2.4.5.2 Temperatura

Es la magnitud física que mide el calor de los cuerpos, del ambiente y de la materia en general, se mide con los *Termómetros*, aunque también puede ser determinado con otros instrumentos como los *Anemómetros* y los *Termógrafos*, cuya función principal no es precisamente medir temperatura. Generalmente para efectos de cálculo se trabaja en grados absolutos (Kelvin K y Rankine Rk).

2.4.5.3 Velocidad del viento

El viento es una corriente de aire que se origina en la atmósfera por las diferencias de temperatura y presión entre diversos puntos. Este movimiento de aire puede ocurrir a diferentes velocidades. La velocidad del viento puede ser aprovechable para generar una forma de energía renovable, conocida como eólica. A mayor velocidad del viento mayor será la cantidad de energía disponible. La velocidad del viento se mide con el *Anemómetro* y su dirección con las *Veletas*, *Mangas* y *Catavientos* tomándose como dirección del viento aquella de donde procede.

La intensidad el viento es una cantidad vectorial que tiene dirección y magnitud, esta es considerada en términos de tres componentes, ubicándose dos de ellas en un plano paralelo a la superficie de la Tierra, y la tercera perpendicular a ese plano. Con fines meteorológicos la componente vertical es despreciada, considerándose por lo tanto el viento en superficie como una cantidad vectorial en dos dimensiones.

Las variaciones del viento están sujetas a variaciones tanto en período como en amplitud. Esto se debe a que el flujo del aire conocido como viento no es laminar. El viento sobre la superficie de la tierra es *turbulento*. La orografía de la Tierra es el principal factor que determina la estructura turbulenta del viento.

2.4.5.4 Tiempo

Es una magnitud variable que interviene en la descripción de los medidos en el mundo de la experiencia física. Determina el transcurrir de uno o varios acontecimientos físicos. Es una de las magnitudes físicas más importantes puesto que influye directamente en el comportamiento de otras magnitudes y en la presencia de los fenómenos naturales. Es generalmente la variable independiente alrededor de la cual se comportan las otras variables, elementos o fenómenos. El patrón de medida del tiempo es el *día solar medio*, promedio de los días solares (lapso que transcurre entre dos pasos del Sol por el meridiano terrestre) durante el período de un año. El día solar medio se divide en 24 horas, la hora en 60 minutos y esta en 60 *segundos*, ésta última el la unidad de medida del tiempo.

2.4.5.5 Humedad

La humedad está determinada por el porcentaje de vapor de agua retenida en el ambiente o en los cuerpos. Puede ser humedad absoluta (específica) o relativa.

2.4.5.6 Latitud

La latitud es la distancia angular entre la línea Equinoccial y un punto determinado del planeta medida a lo largo del meridiano que pasa por ese punto.

La latitud se mide en grados ($^{\circ}$), entre 0 y 90; y puede representarse de dos formas: Indicando a qué hemisferio pertenece la coordenada, o bien sin indicar si está al norte o al sur pero añadiendo valores positivos para indicar el primero y negativos para el segundo. La latitud de la ciudad de Ambato es $S1^{\circ}14'30''$.

2.4.5.7 Declinación

La declinación es el ángulo que forma el astro con el ecuador celeste. Es una de las dos coordenadas del sistema de coordenadas ecuatoriales, la otra coordenada es la Ascensión recta. La declinación es comparable a la latitud geográfica, la diferencia es que ésta se mide sobre el ecuador terrestre. Se mide en grados y es positiva si está al norte del ecuador celeste y negativa si está al sur.

2.4.5.8 Cénit

Es la intersección entre la vertical del observador y la esfera celeste. Es decir: si se imagina una recta que pasa por el centro de la Tierra y por nuestra ubicación en su superficie, el cenit se encuentra sobre esa recta, por encima de nuestras cabezas. Es el punto más alto del cielo.

2.4.5.9 Acimut

Es el ángulo de una dirección contado a partir del norte geográfico. Cuando se empieza a contar a partir del norte magnético se suele denominar rumbo o acimut magnético. En geodesia o topografía geodésica el acimut sirve para determinar la orientación de un sistema de triangulación.

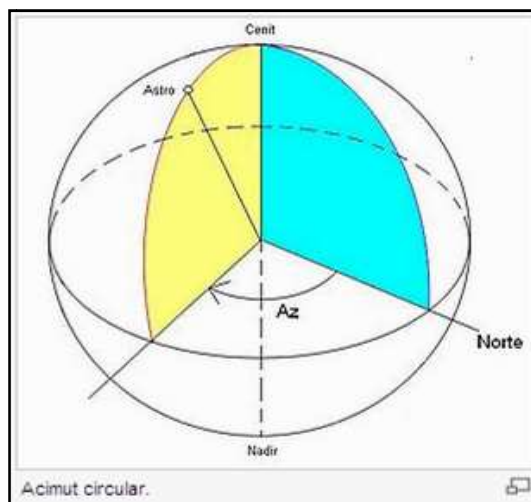


Figura 2.5 Identificación del acimut Az (en la figura) y del cenit.

Fuente: Wikipedia/acimut.

2.4.6 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

2.4.6.1 Anemómetro

Es un instrumento diseñado para *medir la velocidad* o fuerza *del viento* y lo hace tomando valores de velocidad a ciertos intervalos de tiempo, está diseñado para trabajar a determinadas frecuencias. Puede ser digital o análogo e incluir o no sensores. El tipo más común es el de *cazoletas*, que consta de tres o cuatro cazoletas hemisféricas montadas como si estuvieran en los extremos de los radios de una rueda horizontal (éstas se desplazan con una velocidad proporcional a la del viento).

En la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica FICM de la UTA se dispone de un anemómetro digital Testo 410-2, que mide la velocidad de viento, temperatura ambiente y humedad relativa.

2.4.6.2 Piranómetro

Es un instrumento diseñado para *medir la irradiación solar* que emana de todo un hemisferio. Se trata de un sensor diseñado para medir la densidad del flujo de irradiación solar [W/m^2] en un campo de 180 grados.

Generalmente se utilizan tres medidas de radiación: semiesférica total, difusa y directa. El principio físico utilizado generalmente en la medida es un termopar sobre el que incide la radiación a través de dos cúpulas semiesféricas de vidrio. Para medir la radiación difusa es necesario tapar el sensor de radiación directa mediante una pantalla parasol o una banda metálica, midiendo entonces la irradiancia solar difusa (piranómetro de difusa).

Los piranómetros miden la irradiación solar global (directa y difusa) en un plano horizontal. El elemento receptor debe estar horizontal y libremente expuesto al hemisferio celeste, pero protegido de la irradiación que regresa del suelo.

Al encontrarse expuesto a todo tipo de condiciones ambientales, el piranómetro debe ser robusto en su estructura y resistir la corrosión del aire húmedo, además, su elemento receptor debe encontrarse debidamente aislado (herméticamente cerrado) por un domo de vidrio y ser de fácil desmonte para su desecación, por ello se recomienda la revisión diaria del instrumento.

Los piranómetros normalmente usan sensores termoelectrónicos, fotoeléctricos, piroeléctricos o elementos bimetálicos; sus propiedades en relación a su grado de precisión y confiabilidad son: sensibilidad, estabilidad, tiempo de respuesta, respuesta cosenoidal, respuesta azimutal, linealidad, respuesta de temperatura y respuesta espectral.

En la FICM de la UTA se cuenta con un Foto-radiómetro Delta OHM modelo HD 2102.2 que cumple la función de Piranómetro datalogger con sonda de irradiación de 0.1 a 2000 W/m², cubre las regiones de longitud de onda de 400 nm a 1050 nm a través de la sonda de medida de irradiancia LP 471RAD.

2.4.7 MODELOS DE ESTIMACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR

Existen algunos modelos que se pueden catalogar como matemáticos, físicos e informáticos, o combinación de ellos, que permiten predecir o estimar con cierta exactitud el nivel de irradiación solar de día claro. Las principales diferencias entre los modelos están en la cantidad de datos de entrada y el grado de ajuste a datos reales que utilizan. Algunos de los modelos son semiempíricos o empíricos.

Entre los modelos existentes se pueden mencionar los siguientes: Modelo de Hottel (1976), Modelo de Orgill & Hollands (1977), Modelo de Page, Modelo de Lui-Jordan, Modelo de Bird, Modelo de Ångström-Prescott(1940) (es el modelo más frecuentemente usado para estimar la irradiación solar relativa, basado en las horas de sol relativas), Modelo de Bristow-Campbell (1984).

2.4.7.1 Determinación del Modelo Adecuado

No se puede generalizar cual o cuales son los modelos más adecuados de estimación teórica de la irradiación solar para un lugar específico, esto está en función de los datos iniciales que se conozcan y del grado de complejidad que involucren los modelos a seguir. Debido a que la aplicación de un modelo no permite obtener una verdad absoluta, se puede seguir cualquier modelo o inclusive no aplicar ninguno, sino simplemente efectuar mediciones de campo que permitan contar con datos reales del sitio donde se desee conocer el comportamiento de la irradiación solar. Por esta razón no se citan en detalle los modelos mencionados.

2.5 HIPÓTESIS

Un colector solar plano para calentamiento de agua puede absorber entre el 50 y 80% de la *irradiación solar* en función de la absortividad y eficiencia del dispositivo, este porcentaje determina la *energía potencialmente aprovechable* en Ambato para un colector solar plano.

2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.6.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Espectro de irradiación solar.

2.6.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Potencial de energía solar aprovechable en la ciudad de Ambato.

2.6.3 TÉRMINOS DE RELACIÓN

Permite determinación.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

Las modalidades de investigación que se ajustan al presente proyecto de estudio son las siguientes:

- De Campo, porque se realizó un estudio de la situación natural sobre el terreno, sin manipulación de las variables, permitiendo generalizar los resultados obtenidos a situaciones afines. Esta modalidad se manifiesta con la medición de de la irradiación solar y de los parámetros ambientales asociados.
- Documental Bibliográfica, en esta investigación se tuvo como finalidad ampliar y profundizar las teorías y enfoques acerca del tema del proyecto basándose en los documentos, estudios y publicaciones existentes al respecto.
- Descriptiva, en este estudio no se manipulan las variables, se pretende encontrar una explicación del fenómeno basado en mediciones, diagnóstico, comparaciones, correlaciones y evaluaciones.
- Experimental, se estudia las relaciones de casualidad utilizando la metodología experimental con el fin de entender el fenómeno y poder predecirlo. Además se orienta al futuro con una finalidad de aportar con bases para posteriores investigaciones.

3.2 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

El estudio realizado abarcó varios tipos de investigación, entre los cuales se encuentran los siguientes:

- Descriptiva, el objetivo fundamental es la descripción del fenómeno, mediante la observación, estudios correlacionales y el desarrollo. Se sitúa en un primer nivel del conocimiento científico.

- Explicativa, se abordó la relación entre los fenómenos para conocer su estructura y los aspectos que intervienen en su dinámica.
- Aplicada, tiene la finalidad de proporcionar datos y conclusiones que puedan servir para la realización de posteriores proyectos de generación de energía.
- Orientada a la Comprobación, utilizó técnicas de análisis cuantitativas y enfatiza el contexto de justificación y/o verificación de la propuesta. Su objetivo básico es contrastar teorías, empleando la metodología empírico-analítica cuasi-experimental.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 POBLACIÓN

El universo de estudio del presente proyecto está constituido por las mediciones de irradiancia y de los parámetros físicos y/o ambientales relacionados directa o indirectamente con el fenómeno de la irradiación solar. El cual es muy variable según las distintas épocas del año y de acuerdo a la hora del día.

Las magnitudes medidas y cuantificadas fueron las siguientes: irradiancia, temperatura, tiempo, velocidad de viento, humedad relativa y condición climática.

La evaluación de los datos obtenidos permitió generalizar o promediar valores, que a su vez mediante la aplicación de fórmulas que involucran ciertas constantes posibilita conocer valores de otras magnitudes que no se pueden medir, como por ejemplo: emisividad, energía almacenada, coeficiente de transferencia de calor, calor, entre otras. Además con los registros obtenidos a partir de ahí se diseñó un colector solar plano para calentamiento de agua.

La población en referencia al número de mediciones de campo que se pueden hacer en un intervalo de tiempo determinado es *infinita*.

3.3.2 MUESTRA

La muestra es la parte representativa de la población o universo, que permite generalizar los resultados obtenidos a partir de ella a todo el conjunto. El tipo de muestra que se ajusta al estudio propuesto es Muestreo de Campo.

Debido a que el número de datos a tomar puede ser *infinito*, se estableció la muestra en base a ciertos criterios señalados por el contexto, del modo siguiente:

3.3.2.1 ESTUDIO ESPECTRAL DE LA IRRADIACIÓN SOLAR

La toma de los datos de los *parámetros físicos asociados al fenómeno de la irradiación* se efectuó mediante mediciones de campo durante un lapso de dos meses distintos, gracias a que en el Ecuador se tiene la ventaja de que el comportamiento de la irradiancia es muy cercano a ser constante a lo largo del año (estudios hechos por la NASA y el INAMHI), con variaciones que no exceden o bajan de +/- 8%, respectivamente, con relación a los valores intermedios, esto por estar ubicado en o muy cercano a latitud cero (latitud de Ambato S1°14'30). De no ser así, sería necesario realizar un estudio de campo a lo largo de todo un año.

La toma de muestras conjuntas de *irradiancia, velocidad de viento, temperatura y humedad relativa* se realizó de la siguiente manera: una medición cada quince minutos a partir de las 11:00 hasta las 14:00 horas, basado en el criterio de una duración del *día solar* de cinco horas (número de horas de mayor incidencia de la irradiación solar, estimado entre las 10:00 y 15:00 horas). Con un total de 13 datos de cada parámetro por día; se midió 3 días por semana; correspondiendo 156 datos por mes y en los 2 meses (lapso dedicado a esta labor) 312 datos.

Tabla 3.1 Esquema ilustrativo de la realización de mediciones de campo de los parámetros asociados a la irradiación solar.

Fuente: Autor.

MES	SEMANA	DÍA	No. PRUEBAS
1	1	1	13
		2	13
		3	13
	2	1	13
		2	13
		3	13
	3	1	13
		2	13
		3	13

	4	1	13
		2	13
		3	13
2	1	1	13
		2	13
		3	13
	2	1	13
		2	13
		3	13
	3	1	13
		2	13
		3	13
	4	1	13
		2	13
		3	13
TOTAL	8	24	312

Pero por diferentes razones que van desde condiciones climáticas adversas como lluvia, imposibilidad de contar con los instrumentos en días festivos y otras causas el número exacto de datos tomados fue de 267 datos, que representa el 86% de lo previsto inicialmente, cifra que se considera aceptable.

El período de tiempo de medición estuvo comprendido entre el jueves 23 de septiembre de 2010 y terminó el martes 30 de noviembre de 2010, comprendiendo 9 semanas, en 22 días.

a) Clasificación de la Condición Climática del Medio Día

Para la toma de datos se estableció un criterio especial de catalogación del día en el intervalo de medición señalado, de la siguiente manera: medio día *soleado*, *parcialmente nublado* o *nublado*, en base a ello se procedió al análisis de la información obtenida (datos tomados de los parámetros irradiancia, temperatura, velocidad de viento y humedad relativa). A continuación se define cada tipo de condición climática o de cielo para el medio día.

Soleado

El cielo permanece despejado o con muy escasa nubosidad. Se observa el sol en pleno esplendor.

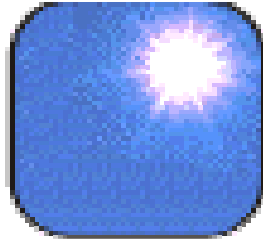


Figura 3.1 Gráfica representativa de medio día *soleado*.

Fuente: Autor.

Parcial Nublado

La fracción de cielo cubierto es más o menos equivalente a la de cielo despejado. El sol es visible aunque con menos claridad que en el caso anterior.



Figura 3.2 Gráfica representativa de medio día *parcialmente nublado*.

Fuente: Autor.

Nublado

El cielo permanece totalmente cubierto o con una fracción muy pequeña de cielo despejado. El sol prácticamente se encuentra oculto.

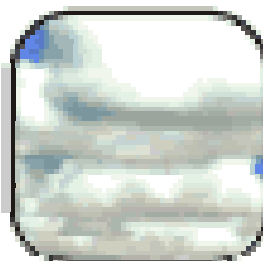


Figura 3.3 Gráfica representativa de medio día *nublado*.

Fuente: Autor.

b) Medición de la Irradiancia

Para la medición de la irradiancia se empleó el equipo Foto-radiómetro Delta OHM modelo HD 2102.2 que cumple con la función de Piranómetro datalogger (adquisición y almacenamiento de datos) con una sonda de irradiación de 0.1 a 2000 W/m², cubre las regiones de longitud de onda de 400 nm a 1050 nm a través de la sonda de medida de irradiancia LP 471RAD.



Figura 3.4 Foto-radiómetro Delta OHM modelo HD 2102.2

Fuente: Catálogo DELTA OHM.



Figura 3.5 Sonda de medida de irradiancia LP 471RAD

Fuente: Catálogo DELTA OHM.

c) Medición de la Temperatura, Humedad Relativa y Velocidad de Viento

Para la medición de la temperatura, velocidad de viento y humedad relativa se utilizó un Anemómetro digital Testo 410-2 que permite cuantificar dichos parámetros en unidades del Sistema Internacional de Unidades y en unidades del Sistema Británico.



Figura 3.6 Anemómetro Digital Testo 410-2

Fuente: Autor.

3.3.2.2 ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO TÉRMICO DEL COLECTOR SOLAR

En referencia a la segunda parte de la investigación, que se refiere a efectuar *pruebas en el colector solar plano para calentamiento de agua* se realizó en cuatro días: pruebas o ensayos previos el lunes 21, martes 22 y jueves 24 de marzo de 2011, y el día de la prueba final fue el martes 28 de junio de 2011, El siguiente esquema ilustra la forma en la que se procedió:

Tabla 3.2 Esquema ilustrativo de la realización de mediciones de campo en el colector.

Fuente: Autor.

DÍA	PERÍODO DE TIEMPO	No. PRUEBAS (Mediciones) COLECTOR	No. PRUEBAS (Mediciones) PARÁMETROS AMBIENTALES
1	11:00 – 13:30	5	7
2	11:00 – 13:30	5	11
3	11:00 – 13:30	7	11
4	10:15 – 13:45	15	15
TOTAL	-	32	44

En resumen las magnitudes medidas fueron: irradiancia, temperatura ambiente, velocidad de viento y humedad relativa; y la temperatura del agua en la entrada inicial, a la entrada al panel, a la salida del panel y en el tanque de almacenamiento, todas efectuadas cada quince minutos como ilustra el esquema.

a) Medición de las Temperaturas del Agua en el Colector Solar

Para la medición de la temperatura del agua a través del colector solar se empleó un Termómetro de Mercurio y un Termómetro de espiga, ambos B&C Germany.

3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.4.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

V.I.: Espectro de irradiación solar.

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Es la energía electromagnética emitida por el sol en forma de luz y calor que es recibida en la superficie terrestre.	Parámetros Físicos	- Óptimos - Inadecuados	- Irradiancia Total: $G > 400 \text{ W/m}^2$ - Temperatura Ambiente: $T > 20 \text{ }^\circ\text{C}$ - Irradiancia Total: $G < 400 \text{ W/m}^2$ - Temperatura Ambiente: $T < 20 \text{ }^\circ\text{C}$	OBSERVACIÓN: De Campo: Fichas y Formatos OBSERVACIÓN: De Campo: Fichas y Formatos

3.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE

V.D.: Potencial de energía solar aprovechable en la ciudad de Ambato.

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Es la cantidad de energía proveniente del sol que puede ser utilizada teóricamente como fuente de generación energética alternativa a través de dispositivos como colectores solares, paneles fotovoltaicos, paneles tubos de vacío o concentradores solares en Ambato.	Potencial aprovechable	- Alto	- Irradiancia Absorbida: $G_{abs} > 300 \text{ W/m}^2$ - Calor absorbido: $Q_{abs} > 250 \text{ W}$ - Temperatura agua caliente: $T > 50 \text{ }^\circ\text{C}$	OBSERVACIÓN: De Campo y Laboratorio: Fichas y Formatos
		- Bajo	- Irradiancia Absorbida: $G_{abs} < 300 \text{ W/m}^2$ - Calor absorbido: $Q_{abs} < 250 \text{ W}$ - Temperatura agua caliente: $T < 50 \text{ }^\circ\text{C}$	OBSERVACIÓN: De Campo y Laboratorio: Fichas y Formatos

3.5 PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Prácticamente no se recurrió a encuestas ni entrevistas dadas las características de la propuesta. La técnica de recolección de la información empleada es la *Observación*, que en este caso predomina en las modalidades de Observación de Campo, de Laboratorio, Participante, Estructurada, Directa, Indirecta e Individual, por tratarse de una investigación de carácter técnica. Los instrumentos de apoyo utilizados fueron registros, fichas de campo, textos, páginas web y material bibliográfico referente al tema.

Los datos se obtuvieron a partir de mediciones de campo. Para medir la irradiancia se empleó un *piranómetro*, para conocer la velocidad de viento, la

temperatura ambiente y humedad relativa un *anemómetro*, las mediciones de temperatura en el colector se hicieron con un *termómetro de mercurio* y uno de *espiga*. En este sentido cabe manifestar que la temperatura juega un papel muy importante, especialmente en el *colector solar*, puesto que es el parámetro fundamental que permite evaluar el potencial de energía que se aprovecha en dicho dispositivo para el calentamiento de agua.



Figura 3.7 Fotografía que ilustra la Sonda de medida de irradiancia LP 471RAD calibrada.

Fuente: Autor.



Figura 3.8 Medición de la Irradiancia con el Piranómetro en un medio día soleado.

Fuente: Autor.



Figura 3.9 Medición de la Temperatura Ambiente, Velocidad de Viento y Humedad Relativa con el Anemómetro.

Fuente: Autor.

Se registraron los datos recolectados en *fichas o formatos de campo*.

Nota:- Únicamente la identificación del *tipo de condición climática* predominante en el ambiente en los registros de las fichas está basado en la apreciación visual del autor de la investigación, mientras que el registro de los otros parámetros se obtuvo de las mediciones con los instrumentos y equipos mencionados anteriormente. Las mediciones de *temperatura ambiente, humedad relativa y velocidad de viento* se realizaron a una altura aproximada de dos metros sobre el nivel del piso, la *irradiancia* en cambio fue al nivel del piso.

Cabe mencionar que además se registró la condición climática del medio día de todos los días a partir del mes de septiembre de 2010 hasta marzo de 2011 con el fin de estudiar de un modo aproximado el comportamiento del clima e irradiación en la ciudad de Ambato para todo el período de estudio y no solo para los dos meses de medición.

En el caso del análisis en el colector solar se registraron en fichas de campo los siguientes parámetros: temperaturas ambiente y de entrada y salida del agua en el colector, velocidad de viento, humedad relativa e irradiancia.

3.6 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Para el procesamiento adecuado de la información se siguieron varios lineamientos entre los cuales podemos mencionar los siguientes:

- a) A partir de los datos del estudio espectral de la irradiación que constan en 22 fichas de campo se procedió a obtener gráficas que relacionan la irradiancia en función de la hora del día (Irradiancia vs Tiempo), asumiendo un comportamiento lineal de la primera en función del tiempo entre intervalos de medición que fueron de quince minutos (tiempo suficientemente concentrado en relación al número de datos tomados en total). De esta forma también se determinó la energía disponible mediante la aplicación del método del trapecio para aproximar áreas bajo una curva. Finalmente se marcó la línea de tendencia de cada gráfica.
- b) En base a la diferenciación de la condición climática en los tres tipos: soleado, parcial nublado y nublado, se procedió a clasificar los registros de irradiancia para cada tipo y según la hora de medición, para establecer mediante la aplicación de una media aritmética una gráfica promedio de Irradiancia vs Tiempo para cada tipo de condición climática.
- c) Se repitió el inciso anterior para las relaciones Temperatura vs Tiempo, Velocidad de Viento vs Tiempo y Humedad Relativa vs Tiempo para conocer el comportamiento de cada uno de dichos parámetros en relación a la condición climática (soleado, parcial nublado o nublado).
- d) Se estableció un estudio estadístico de la frecuencia con la que se presenta cada tipo de condición climática durante seis meses, para predecir el potencial de irradiancia y energía que se puede disponer en un tiempo determinado; así como para establecer la relación existente entre cada parámetro físico y la irradiancia.
- e) Con el conocimiento previo del potencial de energía disponible se evaluaron las fichas de campo de medición del colector solar, para mediante la aplicación de fórmulas que relacionan otras magnitudes (que dependen del diseño del colector) determinar la energía aprovechable para calentamiento de agua en el colector solar. Para facilidad se utilizó una hoja de cálculo general para la aplicación de las fórmulas.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El análisis de los resultados está basado en la información recopilada y registrada en las fichas de campo, en las gráficas posteriormente obtenidas, en la determinación de la frecuencia con la que ocurren los fenómenos y el cotejamiento de los valores obtenidos con los presentados en textos y demás materiales de referencia.

Este análisis permite conocer el potencial de energía solar disponible en la ciudad de Ambato en el medio día en función de la condición climática. De igual forma la evaluación de los resultados del calentamiento del agua en el colector solar establece el potencial de energía solar aprovechable en la ciudad de Ambato.

Las fórmulas empleadas para el análisis e interpretación de los datos obtenidos son la *media aritmética o promedio* y el *método del trapecio* para aproximación de áreas bajo una curva.

– La Media Aritmética se empleó para la determinación de los valores promedio de cada parámetro físico según la hora de medición (intervalos de quince minutos) y para cada tipo de condición climática. A continuación se denota su fórmula para cada parámetro de estudio:

Para la Irradiancia promedio según la hora del día se aplica la siguiente fórmula:

$$\overline{G} = \frac{\sum_{i=1}^N G_i}{N} \quad (4.1)$$

Para la Temperatura promedio según la hora del día se aplica la siguiente fórmula:

$$\overline{T} = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N} \quad (4.2)$$

La Humedad Relativa promedio por hora del día se determinó con la fórmula:

$$\bar{H}_r = \frac{\sum_{i=1}^N Hr_i}{N} \quad (4.3)$$

La Velocidad de Viento promedio por hora del día se determinó con la fórmula:

$$\bar{V}_w = \frac{\sum_{i=1}^N V_{wi}}{N} \quad (4.4)$$

– La aplicación del Método del Trapecio permite la determinación de la Energía Teórica disponible si se asume un comportamiento lineal de la irradiancia promedio en un intervalo de quince minutos en función del tiempo. El método consiste en trazar un trapecio a partir de dos puntos sobre la curva y determinar su área, la misma que si el intervalo es pequeño se aproxima al área existente bajo la curva limitada por dichos puntos. La fórmula es la siguiente:

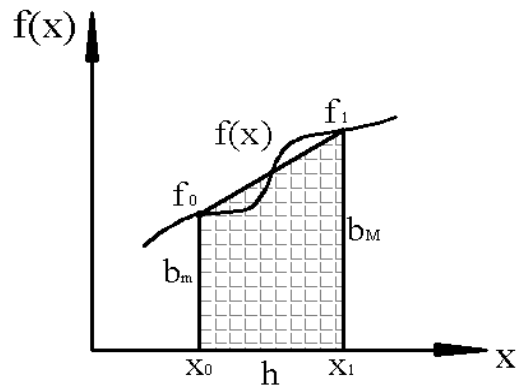


Figura 4.1 Definición del Método del Trapecio para determinación del área bajo una curva.

Fuente: Autor.

$$A = \frac{h(b_m + b_M)}{2} \quad (4.5)$$

$$A = \int_{x_0}^{x_1} f(x) dx \approx \frac{(x_1 - x_0)(f_0 + f_1)}{2} \quad (4.6)$$

Para el cálculo de la Energía disponible E_d se consideran: la variable independiente Tiempo t y las variables dependientes Irradiancia G y Energía. La relación entre las variables es la siguiente:

$$G = \frac{dE_d}{dt}$$

$$E_d = \int G dt \quad (4.7)$$

A partir de allí se establece la fórmula del método del trapecio aplicable para este caso (4.9) mediante relación de las fórmulas (4.6), (4.7) y (4.8), como sigue:

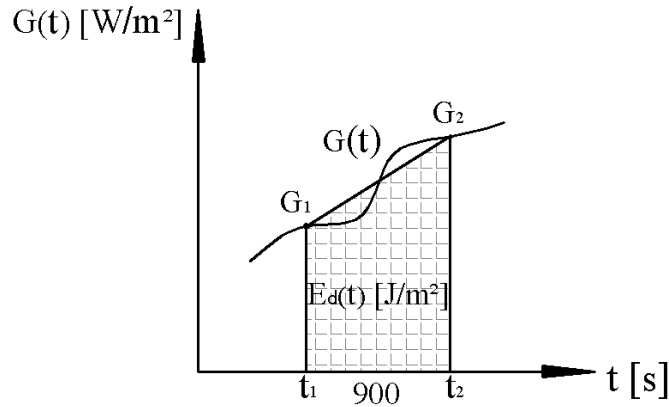


Fig. 4.2 Definición del Método del Trapecio para determinación de la Energía disponible en intervalos de quince minutos.

Fuente: Autor.

$$A = E_d = \int_{t_1}^{t_2} G(t) dt \approx \frac{(t_2 - t_1)(G_1 + G_2)}{2} \quad (4.8)$$

$$t_2 - t_1 = 15 \text{ min} = 900 \text{ seg}$$

$$E_d = \int_{t_1}^{t_2} G(t) dt \approx \frac{(900 \text{ s})(G_1 + G_2) \left[\frac{J}{\text{s} \cdot \text{m}^2} \right]}{2}$$

$$E_d \left[\frac{J}{\text{m}^2} \right] \approx 450 (G_1 + G_2) \quad (4.9)$$

Posteriormente para conocer la Energía disponible en intervalos de una hora y en tres horas se procede a sumar los parciales obtenidos en 15 minutos. Es decir:

$$E_d \left[\frac{J}{\text{m}^2} \right] \approx \sum_{i=1}^{N-1} 450 (G_i + G_{i+1}) \quad (4.10)$$

– Para verificar los valores obtenidos mediante la aplicación del método del trapecio para aproximación de áreas bajo una curva, se procedió a integrar la

curva o línea de tendencia de la irradiancia con respecto al tiempo (en caso de existir tendencia) y se determinó la energía teórica disponible como se indica:

$$E_d = \int_{t_1}^{t_2} G(t) dt \quad (4.11)$$

Para el intervalo de las tres horas de estudio se tiene:

$$t_2 - t_1 = 180 \text{ min} = 10800 \text{ seg}$$

Si la gráfica de dispersión tiene una tendencia de función cuadrática y considerando el intervalo mencionado la integral tiene la siguiente forma:

$$E_d = \int_0^{10800} (at^2 + bt + c) dt$$

4.1.1 RELACIÓN ENTRE IRRADIANCIA, TEMPERATURA AMBIENTE, HUMEDAD RELATIVA Y VELOCIDAD DE VIENTO

A partir del análisis de las gráficas y cuadros citados posteriormente es posible llegar a la determinación de ciertas conclusiones de carácter general para relacionar los parámetros físicos que influyen en el estudio de la irradiación solar, entre las cuales destacamos las siguientes:

- La irradiación solar manifestada a través de los tres tipos principales de condición climática (soleado, parcial nublado y nublado) presenta una relación directamente proporcional a la irradiancia y a la temperatura ambiente. En cambio es inversamente proporcional a la humedad y a la velocidad de viento.
- El aspecto señalado en el numeral anterior se evidencia porque en un medio día *soleado* se consiguen los mayores valores de irradiancia y temperatura de todo el día, y se presentan los menores valores de humedad y velocidad de viento.
- Diferenciando aún más, se observa que la irradiancia es un parámetro que físicamente se aprecia que depende en poca medida de la temperatura, humedad relativa y de las corrientes de viento.
- La temperatura es influenciada no solamente por la irradiación solar (que hace que aumente en magnitud), sino que también depende en gran medida de las corrientes de viento que atenúan su valor (permiten que decrezca en magnitud).

- La humedad relativa y velocidad de viento son parámetros que van de la mano, puesto que son directamente proporcionales. Aunque cabe manifestar que la intensidad de las corrientes de viento no depende de la condición de cielo.

4.2 INTERPRETACIÓN DE DATOS EN GRÁFICOS Y TABLAS

4.2.1 PROMEDIO DE CADA PARÁMETRO FÍSICO SEGÚN LA CONDICIÓN CLIMÁTICA

Los siguientes análisis se efectuaron a partir de la obtención de valores promedio de Irradiancia, Temperatura, Humedad Relativa y Velocidad de Viento según el tipo de condición climática o de cielo: *soleado*, *parcial nublado* o *nublado* mediante la aplicación de las fórmulas (4.1), (4.2), (4.3) y (4.4), respectivamente. A través de los registros tabulados y gráficas se establecen las conclusiones.

4.2.1.1 IRRADIANCIA PROMEDIO PARA MEDIO DÍA *SOLEADO*.

Tabla 4.1 Valores de Irradiancia promedio para medio día *soleado* y Energía teórica disponible.

Fuente: Autor.

No.	HORA	IRRADIANCIA G [W/m ²]	ENERGÍA TEÓRICA DISPONIBLE cada 15 Min E _d [kJ/m ²]	ENERGÍA TEÓRICA: DISPONIBLE por Hora E _d [kJ/m ²]	ENERGÍA TEÓRICA DISPONIBLE Acumulada E _d [kJ/m ²]	ENERGÍA TEÓRICA DISPONIBLE Acumulada Met.Integración E _d [kJ/m ²]
1	11:00	675.81	-	-	-	-
2	11:15	657.54	600.00	-	600.00	-
3	11:30	729.71	624.26	-	1224.26	-
4	11:45	730.82	657.23	-	1881.50	-
5	12:00	742.47	662.98	2544.48	2544.48	2540.39
6	12:15	744.12	668.96	-	3213.45	-
7	12:30	711.30	654.93	-	3868.38	-
8	12:45	673.54	623.18	-	4491.56	-
9	13:00	647.40	594.42	2541.49	5085.99	5047.6
10	13:15	630.33	574.98	-	5660.97	-
11	13:30	597.95	552.72	-	6213.70	-
12	13:45	532.74	508.81	-	6722.51	-
13	14:00	502.18	465.71	2102.22	7188.22	7073.74
	Promedio	659.69	-	-	-	-

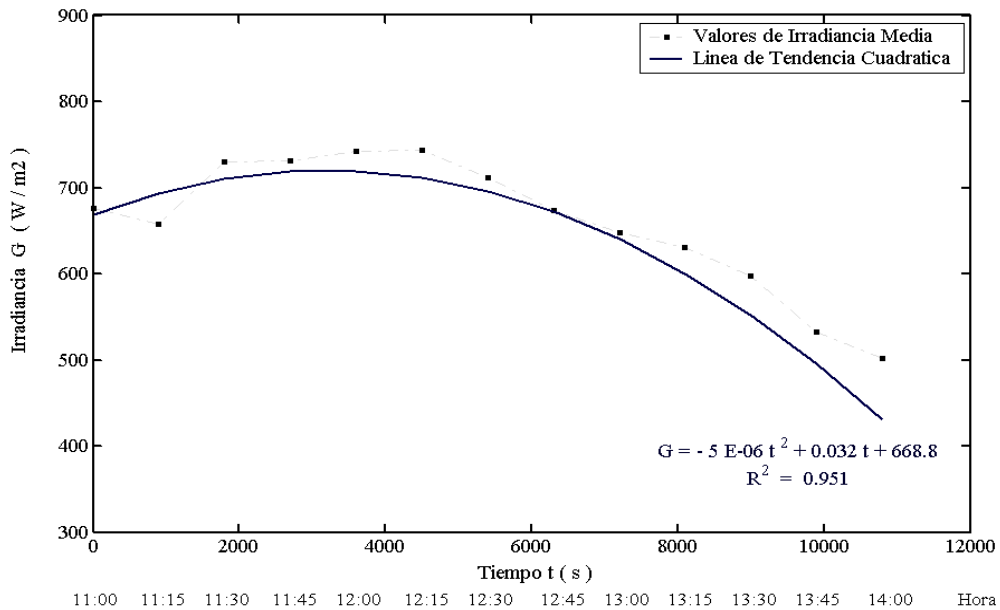


Figura 4.3 Gráfica de Irradiancia promedio vs hora del día para medio día *soleado*.

Fuente: Autor.

En un medio día *soleado* regular y uniforme el comportamiento de la Irradiancia es estable, los datos dispersos se ajustan o tienden a una curva de *distribución cuadrática o parabólica*. El máximo valor de irradiancia se alcanza entre las 12:00 y las 12:15 cuyo valor esperado bordea los 745 [W/m²]. En el lapso comprendido entre las 11:00 y las 13:00 el promedio de Irradiancia supera los 650 [W/m²]. En general entre las 10:00 y las 14:00 la Irradiancia presenta valores que exceden los 500 [W/m²].

La Energía teórica disponible en las tres horas suponiendo un comportamiento lineal de la Irradiancia en intervalos de 15 minutos a partir de las 11:00 hasta las 14:00 es de 7188.22 [KJ/m²], de los cuales el 35.4% se genera entre las 11:00 y 12:00, el 35.36% entre las 12:00 y 13:00, y el 29.25% de 13:00 a 14:00.

Para verificar integramos la línea de tendencia cuadrática para intervalos de 1, 2 y 3 horas aplicando la ecuación (4.11):

$$E_d = \int_{t_1}^{t_2} (-5 \times 10^{-6} t^2 + 0.032 t + 668.8) dt$$

$$E_d = [-1.66 \times 10^{-6} t^3 + 0.016 t^2 + 668.8 t]_{t_1}^{t_2}$$

$$E_d = [-1.66 \times 10^{-6} t^3 + 0.016 t^2 + 668.8 t]_0^{3600} \rightarrow 1 \text{ hora}$$

$$E_d = [-1.66 \times 10^{-6} t^3 + 0.016 t^2 + 668.8 t]_0^{10800} \rightarrow 3 \text{ horas}$$

Los resultados se citan en la tabla 4.1. El margen de error o de diferencia entre la integral por línea de tendencia y la aplicación del método del trapecio es inferior al 2%, esto quiere decir que el intervalo de quince minutos es satisfactorio y que cuando no existe una tendencia definida no hace falta aplicar la integración.

4.2.1.2 IRRADIANCIA PROMEDIO PARA MEDIO DÍA *PARCIAL NUBLADO*.

Tabla 4.2 Valores de Irradiancia promedio para medio día *parcial nublado* y Energía teórica disponible.

Fuente: Autor.

No.	HORA	IRRADIANCIA G [W/m ²]	ENERGÍA TEÓRICA DISPONIBLE cada 15 Min E _d [kJ/m ²]	ENERGÍA TEÓRICA: DISPONIBLE por Hora E _d [kJ/m ²]	ENERGÍA TEÓRICA DISPONIBLE Acumulada E _d [kJ/m ²]
1	11:00	461.14	-	-	-
2	11:15	574.53	466.05	-	466.05
3	11:30	614.87	535.23	-	1001.28
4	11:45	432.06	471.12	-	1472.40
5	12:00	590.52	460.16	1932.56	1932.56
6	12:15	511.92	496.10	-	2428.66
7	12:30	561.64	483.10	-	2911.76
8	12:45	472.67	465.44	-	3377.20
9	13:00	504.44	439.70	1884.34	3816.90
10	13:15	481.73	443.78	-	4260.68
11	13:30	504.49	443.80	-	4704.48
12	13:45	422.20	417.01	-	5121.49
13	14:00	428.60	382.86	1687.45	5504.35
	Promedio	504.68	-	-	-

En un medio día *parcial nublado* regular y uniforme el comportamiento de la Irradiancia es inestable sin presentar ninguna tendencia. El máximo valor de irradiancia se alcanza entre las 11:15 y las 12:30 cuyo valor esperado es superior a los 500 [W/m²] y no excede los 615 [W/m²], pero es difícil cuantificarlo con más

exactitud. En general entre las 10:00 y las 14:00 la Irradiancia presenta valores que exceden los 400 [W/m²] en un día parcial nublado normal.

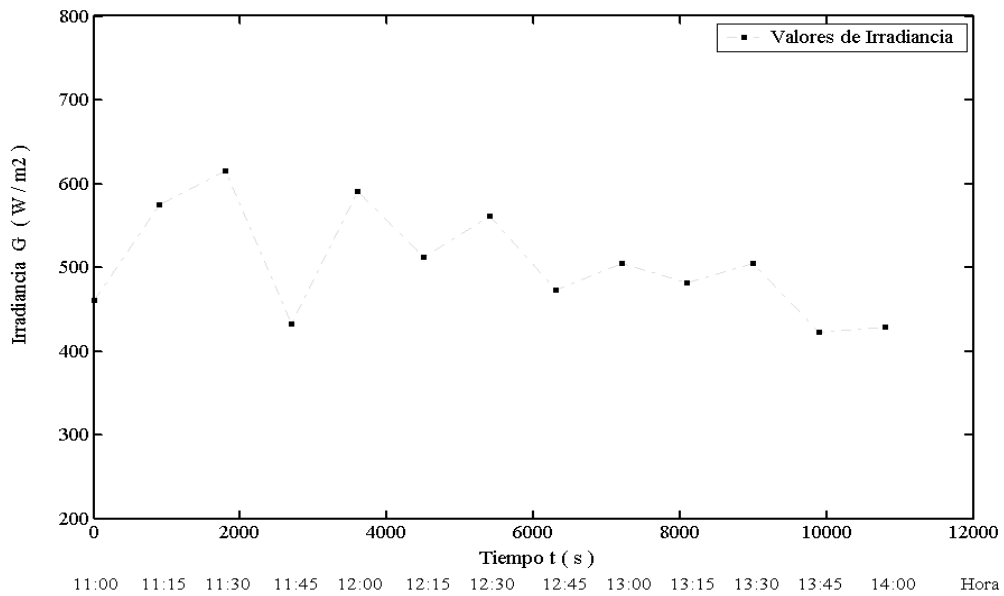


Figura 4.4 Gráfica de Irradiancia media vs hora del día para medio día *parcial nublado*.

Fuente: Autor.

La Energía disponible que se podría almacenar suponiendo un comportamiento lineal de la Irradiancia en intervalos de 15 minutos empezando a partir de las 11:00 hasta las 14:00 es de 5504.35 [KJ/m²], de los cuales el 35.11% se genera entre las 11:00 y 12:00, el 34.23% de 12:0 a 13:00, y el 30.66% de 13:00 a 14:00.

En este caso no se aplica una integración para comprobar los resultados obtenidos con el método del trapecio porque no existe una tendencia definida.

4.2.1.3 IRRADIANCIA PROMEDIO PARA MEDIO DÍA *NUBLADO*.

En un medio día *nublado* regular y uniforme el comportamiento de la Irradiancia es inestable sin presentar ninguna tendencia. La máxima irradiancia se alcanza entre las 11:00 y las 11:45 cuyo valor esperado es superior a los 260 [W/m²] y no excede los 325 [W/m²], pero es difícil cuantificarlo con más exactitud. En general entre las 10:00 y las 14:00 la Irradiancia presenta valores inferiores a 350 [W/m²] en un día regular con este tipo de condición climática o de cielo, pudiendo inclusive ser inferior a 200 [W/m²].

Tabla 4.3 Valores de Irradiancia promedio para medio día *nublado* y Energía disponible.

Fuente: Autor.

No.	HORA	IRRADIANCIA G [W/m ²]	ENERGÍA TEÓRICA DISPONIBLE cada 15 Min E _d [kJ/m ²]	ENERGÍA TEÓRICA: DISPONIBLE por Hora E _d [kJ/m ²]	ENERGÍA TEÓRICA DISPONIBLE Acumulada E _d [kJ/m ²]
1	11:00	302.72	-	-	-
2	11:15	325.44	282.67	-	282.67
3	11:30	263.05	264.82	-	547.49
4	11:45	316.03	260.59	-	808.08
5	12:00	185.12	225.52	1033.59	1033.59
6	12:15	222.47	183.41	-	1217.01
7	12:30	246.98	211.25	-	1428.26
8	12:45	251.87	224.48	-	1652.74
9	13:00	245.66	223.88	843.02	1876.62
10	13:15	189.85	195.98	-	2072.60
11	13:30	183.04	167.80	-	2240.40
12	13:45	194.34	169.82	-	2410.22
13	14:00	188.86	172.44	706.04	2582.66
	Promedio	239.65	-	-	-

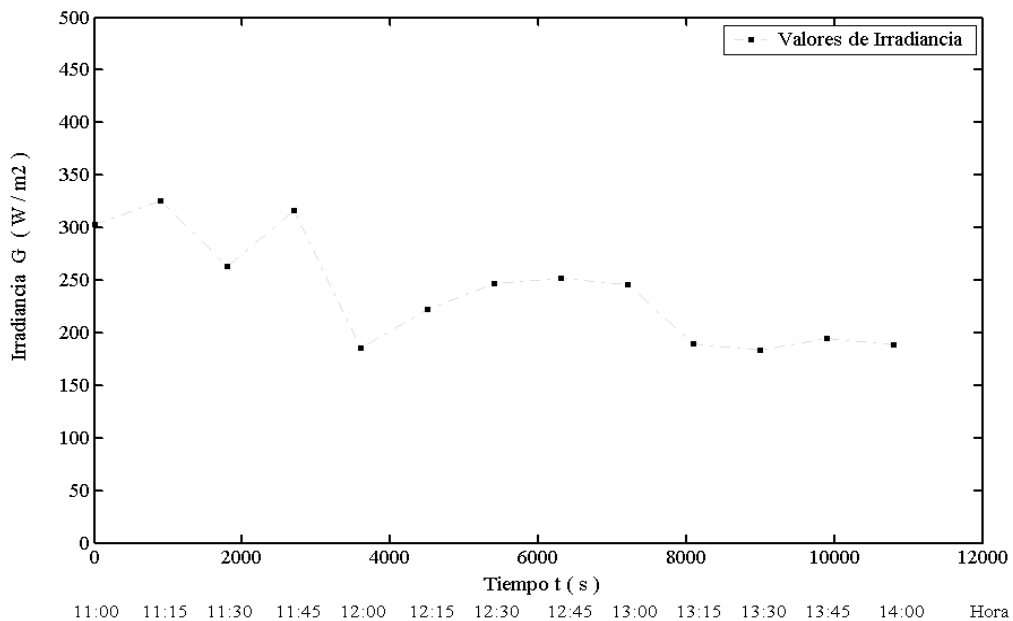


Figura 4.5 Gráfica de Irradiancia promedio vs hora del día para medio día *nublado*.

Fuente: Autor.

La Energía disponible total suponiendo un comportamiento lineal de la Irradiancia en intervalos de 15 minutos empezando a partir de las 11:00 hasta las 14:00 es de 2582.66 [KJ/m²], de los cuales el 40.02% se genera entre las 11:00 y 12:00, el 32.64% entre las 12:0 y 13:00, y el 27.34% de 13:00 a 14:00.

4.2.1.4 COMPARACIÓN DE LA IRRADIANCIA PROMEDIO PARA LOS 3 TIPOS DE CONDICION CLIMÁTICA EN EL MEDIO DÍA

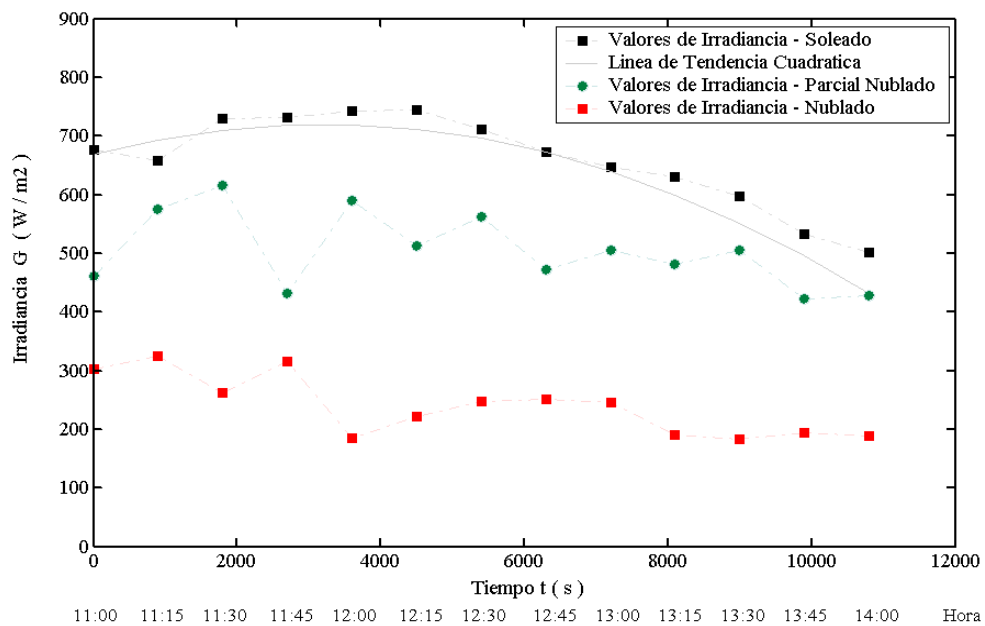


Figura 4.6 Gráfica de Irradiancia media vs hora para los tres tipos de condición climática.

Fuente: Autor.

Comparando los tres tipos de condición climática se concluye que únicamente un día *soleado* presenta una tendencia estable que permite pronosticar o generalizar valores de irradiancia con mucha aproximación a la realidad. En el lapso de estudio los valores para condición *soleado* son superiores a los 500 [W/m²] con una media de 659.7 [W/m²] pudiendo bordear los 750 [W/m²]. Para condición *parcial nublado* superan los 400 [W/m²] con una media de 504.7 [W/m²] acercándose hasta los 620 [W/m²]. Finalmente si se presenta un medio día *nublado* la Irradiancia presenta una media de 239.7 [W/m²] y no excederá el valor de 330 [W/m²]. Entre las 11:00 y 13:00 horas ocurren los picos mas elevados de Irradiancia para los tres tipos. El record de irradiancia registrado es 888 [W/m²].

La Energía teórica disponible en las tres horas de estudio, para día *soleado* es 7188.22 [KJ/m²], en *parcial nublado* 5504.35 [KJ/m²] y en día *nublado* 2582.66 [KJ/m²]. Es decir en condición *parcial nublado* se dispone del 76.6% de la energía que en *soleado* y en *nublado* el 35.9% de la energía disponible en *soleado*.



Figura 4.7 Comparación de la Energía disponible en los tres tipos de condición climática.

Fuente: Autor.

4.2.1.5 TEMPERATURA AMBIENTE PROMEDIO PARA MEDIO DÍA *SOLEADO*.

Tabla 4.4 Valores de Temperatura promedio para medio día *soleado*.

Fuente: Autor.

No.	HORA	TEMPERATURA T _a [°C]
1	11:00	25.56
2	11:15	25.84
3	11:30	27.65
4	11:45	26.97
5	12:00	26.91
6	12:15	27.95
7	12:30	25.77
8	12:45	24.39
9	13:00	24.58
10	13:15	24.85
11	13:30	24.25
12	13:45	22.28
13	14:00	21.70
	Promedio	25.28

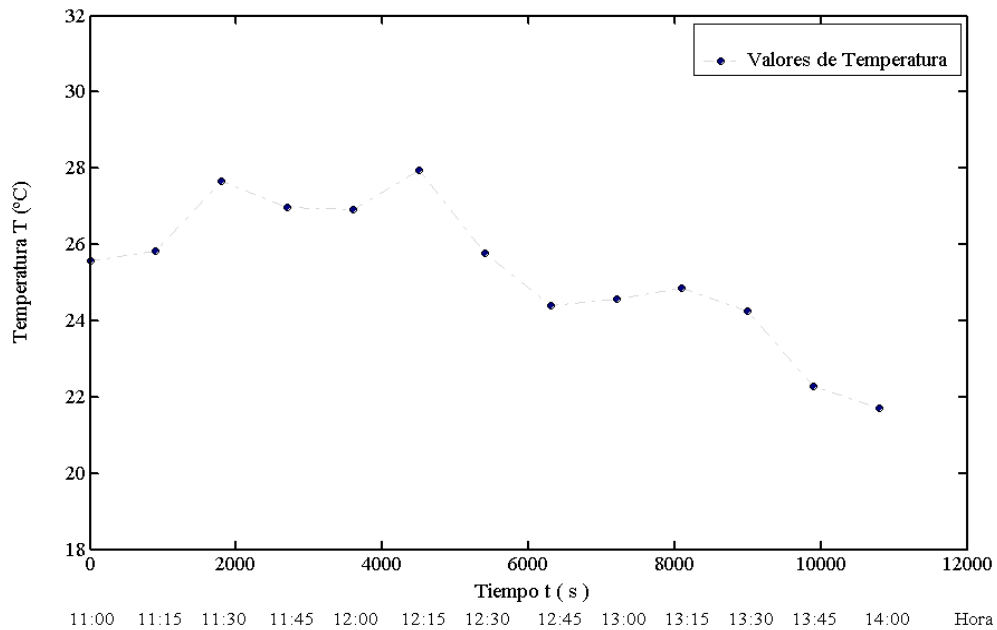


Figura 4.8 Gráfica de Temperatura promedio vs hora del día para medio día *soleado*.

Fuente: Autor.

En un medio día *soleado* regular y uniforme el comportamiento de la Temperatura es inestable sin presentar ninguna tendencia. El máximo valor es de 28°C y el mínimo de 21°C con un promedio de 25°C. Para este tipo de condición la temperatura supera los 24°C entre las 11:00 y las 13:30.

4.2.1.6 TEMPERATURA AMBIENTE PROMEDIO PARA MEDIO DÍA PARCIAL NUBLADO.

En un medio día *parcial nublado* regular y uniforme el comportamiento de la Temperatura es inestable sin presentar ninguna tendencia. El máximo valor se aproxima a 27°C mientras el mínimo oscila los 23°C y el promedio es de 25°C. Sin embargo de que la temperatura es variable el rango fluctuante es de 23 a 27°C. Esto se evidencia en la tabla y figura siguientes:

Tabla 4.5 Valores de Temperatura promedio para medio día *parcial nublado*.

Fuente: Autor.

No.	HORA	TEMPERATURA T _a [°C]
1	11:00	25.28
2	11:15	26.80
3	11:30	26.60
4	11:45	24.67
5	12:00	24.13
6	12:15	25.48
7	12:30	25.50
8	12:45	24.20
9	13:00	24.54
10	13:15	24.35
11	13:30	24.67
12	13:45	24.75
13	14:00	23.44
	Promedio	24.95

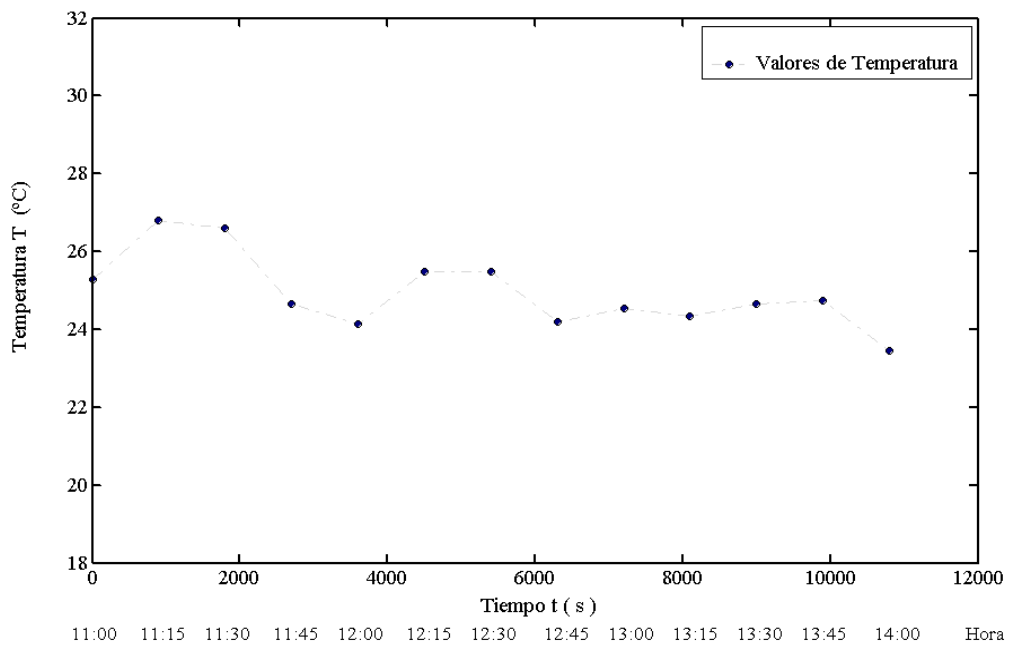


Figura 4.9 Gráfica de Temperatura promedio vs hora del día para medio día *parcial nublado*.

Fuente: Autor.

4.2.1.7 TEMPERATURA AMBIENTE PROMEDIO PARA MEDIO DÍA NUBLADO.

Tabla 4.6 Valores de Temperatura promedio para medio día *nublado*.

Fuente: Autor.

No.	HORA	TEMPERATURA T _a [°C]
1	11:00	22.88
2	11:15	23.38
3	11:30	21.08
4	11:45	24.67
5	12:00	21.60
6	12:15	22.02
7	12:30	21.02
8	12:45	22.87
9	13:00	22.50
10	13:15	22.99
11	13:30	21.54
12	13:45	21.00
13	14:00	21.63
	Promedio	22.24

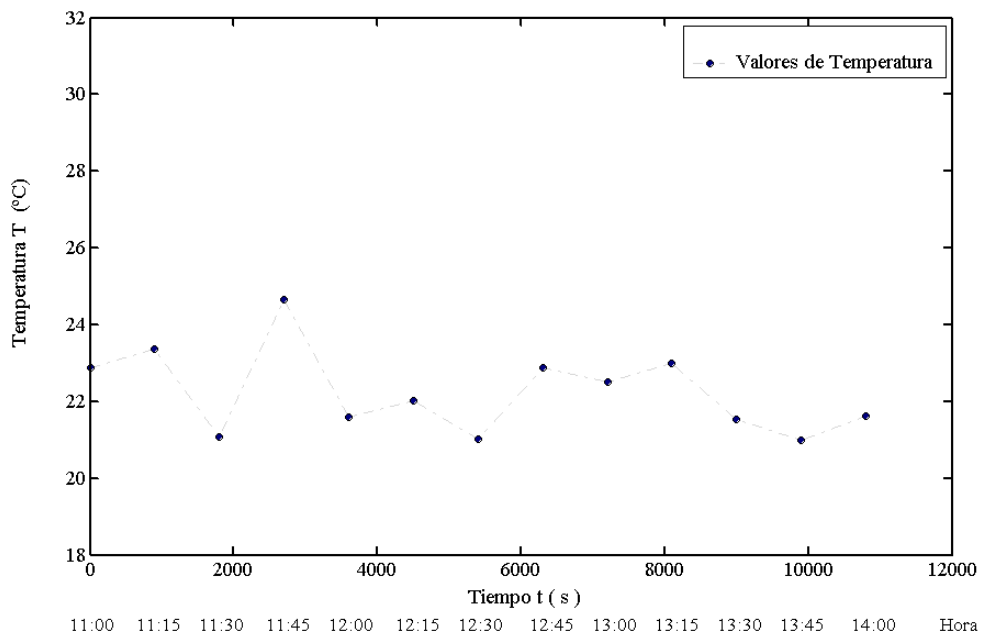


Figura 4.10 Gráfica de Temperatura promedio vs hora del día para medio día *nublado*.

Fuente: Autor.

En un medio día *nublado* regular y uniforme el comportamiento de la Temperatura es inestable sin presentar ninguna tendencia. El máximo valor oscila los 24°C mientras el mínimo bordea 21°C y el promedio es de 22°C. Sin embargo de que la temperatura es variable el rango fluctúa entre 21 a 24°C.

4.2.1.8 COMPARACIÓN DE LA TEMPERATURA AMBIENTE PROMEDIO PARA LOS 3 TIPOS DE CONDICION CLIMÁTICA EN EL MEDIO DÍA

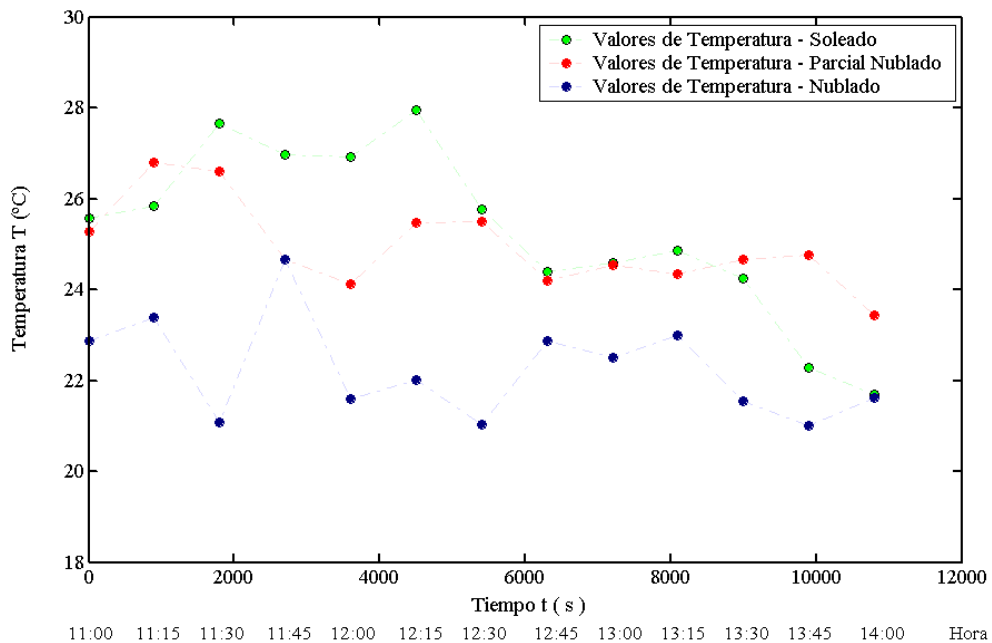


Figura 4.11 Gráfica de Temperatura promedio vs hora del día para los tres tipos de condición climática.

Fuente: Autor.

Estableciendo una comparación entre los 3 tipos de condiciones climáticas se concluye que todas son inestables para la temperatura ambiental, es decir los datos son muy dispersos y no se ajustan a ninguna curva de tendencia. Únicamente se pueden citar ciertos aspectos como los siguientes: para medio día *soleado* el pico máximo es de 28°C y el mínimo de 21°C con una media de 25°C, para *parcial nublado* los picos máximo y mínimo son de 27 y 23°C, respectivamente, con una media de 25°C y para *nublado* de 24 y 21°C con una media de 22°C. En general las mayores temperaturas se alcanzan en el intervalo comprendido entre las 11:00 y las 12:30. El record de temperatura en el medio día es de 33°C.

4.2.1.9 HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO PARA MEDIO DÍA SOLEADO.

Tabla 4.7 Valores de Humedad Relativa promedio para medio día *soleado*.

Fuente: Autor.

No.	HORA	HUMEDAD REL. Hr [%]
1	11:00	30.23
2	11:15	28.67
3	11:30	25.97
4	11:45	27.11
5	12:00	25.84
6	12:15	25.62
7	12:30	27.81
8	12:45	30.56
9	13:00	31.72
10	13:15	32.18
11	13:30	32.13
12	13:45	38.12
13	14:00	39.15
Promedio		30.39

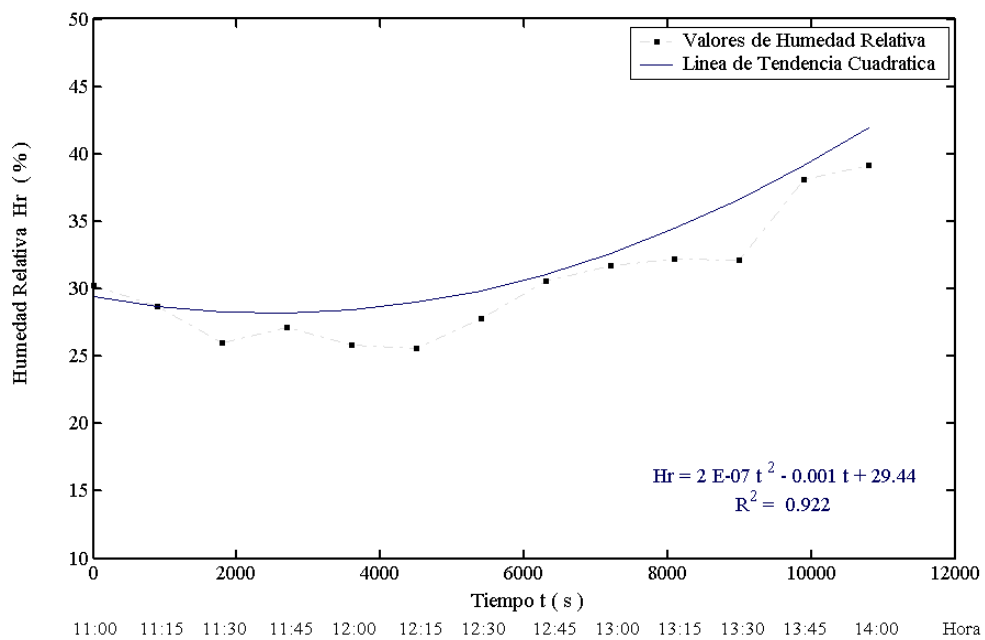


Figura 4.12 Gráfica de Humedad Relativa promedio vs hora del día para medio día *soleado*.

Fuente: Autor.

En un medio día *soleado* regular el comportamiento de la Humedad Relativa es más o menos estable, los datos dispersos tienden a una curva *cuadrática*. El pico más elevado se acerca a 40% y el mínimo es de 25% con un promedio de 30%. Entre las 11:00 y 13:30 la humedad tiende a ser baja oscilando entre 25 y 32%.

4.2.1.10 HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO PARA MEDIO DÍA PARCIAL NUBLADO.

Tabla 4.8 Valores de Humedad Relativa promedio para medio día *parcial nublado*.

Fuente: Autor.

No.	HORA	HUMEDAD REL. H_r [%]
1	11:00	35.03
2	11:15	28.80
3	11:30	31.17
4	11:45	32.94
5	12:00	32.63
6	12:15	31.39
7	12:30	31.97
8	12:45	34.33
9	13:00	32.85
10	13:15	31.88
11	13:30	33.34
12	13:45	31.72
13	14:00	36.31
	Promedio	32.64

En un medio día *parcial nublado* regular y uniforme el comportamiento de la Humedad Relativa es inestable sin presentar ninguna tendencia. El valor más alto es de 36% de humedad y el mínimo es de 28% con un promedio de 32%. En el lapso de entre las 11:15 y las 13:45 la humedad fluctúa de 28 a 34%.

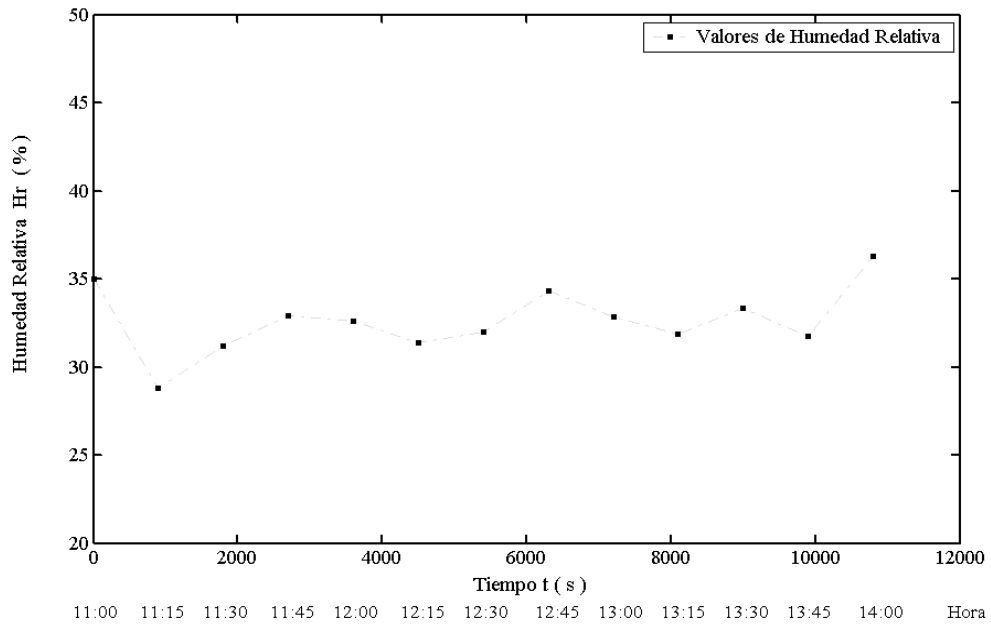


Figura 4.13 Gráfica de Humedad Relativa promedio vs hora del día para medio día *parcial nublado*.

Fuente: Autor.

4.2.1.11 HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO PARA MEDIO DÍA *NUBLADO*.

Tabla 4.9 Valores de Humedad Relativa promedio para medio día *nublado*.

Fuente: Autor.

No.	HORA	HUMEDAD REL. Hr [%]
1	11:00	44.12
2	11:15	40.93
3	11:30	44.60
4	11:45	39.30
5	12:00	41.35
6	12:15	39.94
7	12:30	42.04
8	12:45	38.70
9	13:00	39.68
10	13:15	37.34
11	13:30	40.13
12	13:45	40.28
13	14:00	39.24
	Promedio	40.59

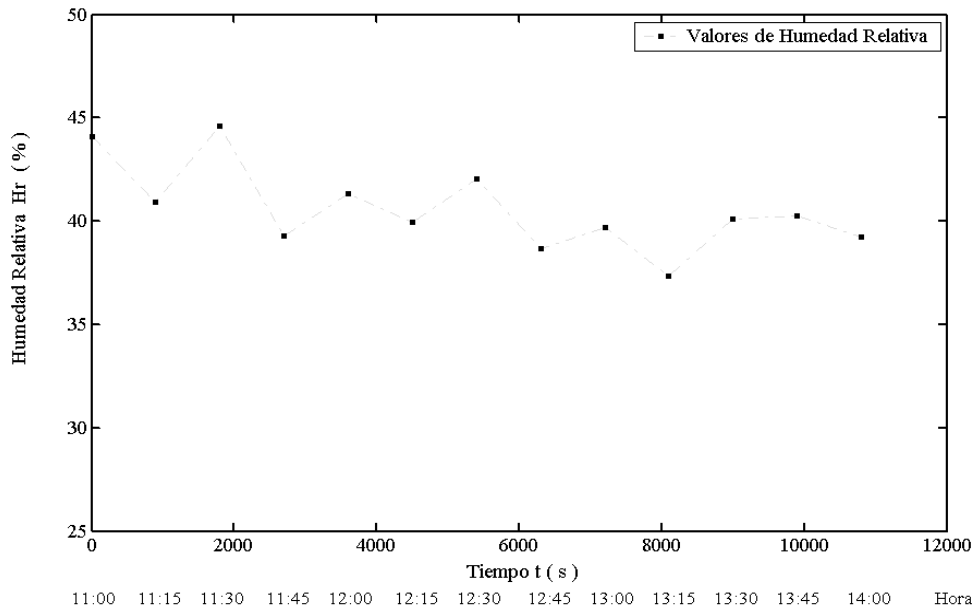


Figura 4.14 Gráfica de Humedad Relativa media vs hora del día para medio día *nublado*.
Fuente: Autor.

En un medio día *nublado* regular el comportamiento de la Humedad Relativa es inestable sin presentar ninguna tendencia. El valor más alto bordea el 45% de humedad y el mínimo es de 37% con un promedio de 40%.

4.2.1.12 COMPARACIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO PARA LOS 3 TIPOS DE CONDICION CLIMÁTICA EN EL MEDIO DÍA

Al comparar entre los tres tipos de condiciones climáticas se concluye que únicamente un día *soleado* presenta una tendencia estable que permite pronosticar o generalizar valores de humedad relativa con mucha aproximación a la realidad. En presencia de un medio día *soleado* el porcentaje de humedad relativa es bajo con un pico máximo de 40% y un valor mínimo de 25%, la media es de 30% de humedad. Para la condición *parcial nublado* el máximo es de 36% el mínimo de 28% y la media de 32% y finalmente en día *nublado* los valores máximo, mínimo y promedio son de 45, 37 y 40%, respectivamente. En general la humedad tiende a alcanzar los porcentajes más altos a partir de las 13:45, pero si el medio día es *nublado* la humedad es alta (superior a 36%) en todo el intervalo de estudio. El record de humedad relativa registrado en el medio día es de 61% en un medio día *lluvioso*.

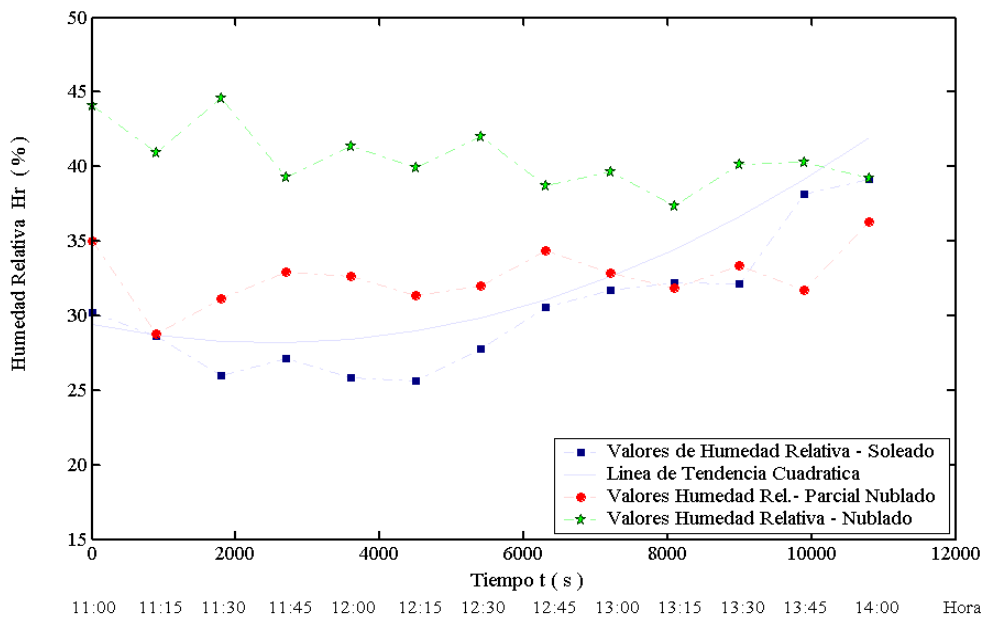


Figura 4.15 Gráfica de Humedad Relativa promedio vs hora del día para los tres tipos de condición climática.

Fuente: Autor.

4.2.1.13 VELOCIDAD DE VIENTO PROMEDIO PARA MEDIO DÍA *SOLEADO*.

Tabla 4.10 Valores de Velocidad de Viento promedio para medio día *soleado*.

Fuente: Autor.

No.	HORA	VELOC. VIENTO. V_w (m/s)
1	11:00	1.2
2	11:15	1.8
3	11:30	1.8
4	11:45	2.0
5	12:00	2.3
6	12:15	2.1
7	12:30	2.6
8	12:45	3.7
9	13:00	2.9
10	13:15	3.5
11	13:30	4.0
12	13:45	5.1
13	14:00	5.8
	Promedio	3.0

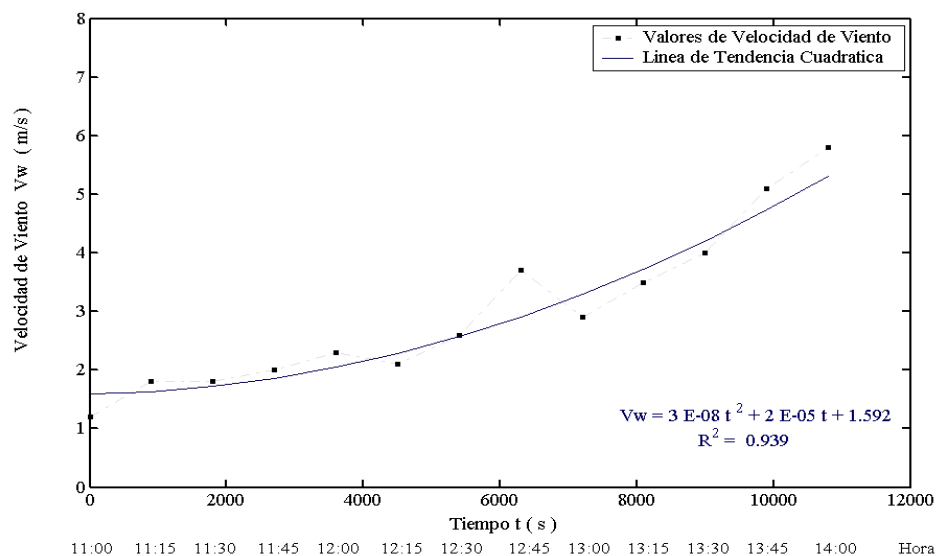


Fig. 4.16 Gráfica de Velocidad de Viento media vs hora del día para medio día *soleado*.

Fuente: Autor.

En un medio día *soleado* regular el comportamiento de la Velocidad de Viento es estable, los datos dispersos se ajustan a una curva *cuadrática creciente*. El mayor valor es de 5.8 m/s y el menor de 1.2 m/s con un promedio de 3 m/s.

4.2.1.14 VELOCIDAD DE VIENTO PROMEDIO PARA MEDIO DÍA PARCIAL NUBLADO.

Tabla 4.11 Valores de Velocidad de Viento promedio para medio día *parcial nublado*.

Fuente: Autor.

No.	HORA	VELOC. VIENTO. V_w (m/s)
1	11:00	2.0
2	11:15	1.9
3	11:30	2.8
4	11:45	3.1
5	12:00	3.1
6	12:15	4.4
7	12:30	3.8
8	12:45	5.9
9	13:00	6.2
10	13:15	5.7
11	13:30	4.9
12	13:45	5.3
13	14:00	6.0
	Promedio	4.2

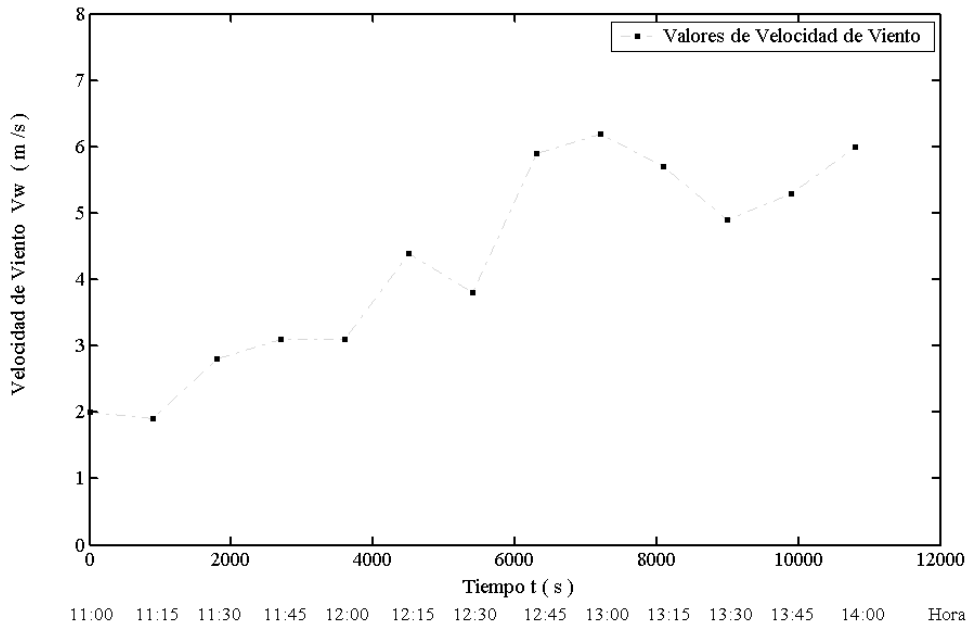


Figura 4.17 Gráfica de Velocidad de Viento promedio vs hora del día para medio día *parcial nublado*.

Fuente: Autor.

En un medio día *parcial nublado* regular la Velocidad de Viento es inestable sin presentar ninguna tendencia. Los picos máximo y mínimo son de 6.2 m/s y 1.9 m/s, respectivamente con una media de 4.2 m/s. A partir de las 11:45 empiezan a manifestarse las corrientes de viento originando que la velocidad de viento sea superior a 3 m/s y desde las 12:45 supera los 5 m/s.

4.2.1.15 VELOCIDAD DE VIENTO PROMEDIO PARA MEDIO DÍA NUBLADO.

En base al análisis de la tabla y figura de la siguiente página, se concluye que en un medio día *nublado* regular y uniforme el comportamiento de la Velocidad de Viento es inestable sin tendencia. Los valores extremos son de 3.7 m/s y 1.3 m/s, respectivamente con una media de 2.4 m/s. Desde las 13:45 son perceptibles las corrientes de viento originando que la velocidad de viento supere los 3 m/s.

Tabla 4.12 Valores de Velocidad de Viento promedio para medio día *nublado*.

Fuente: Autor.

No.	HORA	VELOC. VIENTO. V_w (m/s)
1	11:00	1.7
2	11:15	1.3
3	11:30	2.4
4	11:45	1.4
5	12:00	3.7
6	12:15	2.0
7	12:30	2.6
8	12:45	2.1
9	13:00	2.8
10	13:15	2.6
11	13:30	2.4
12	13:45	3.4
13	14:00	2.9
	Promedio	2.4

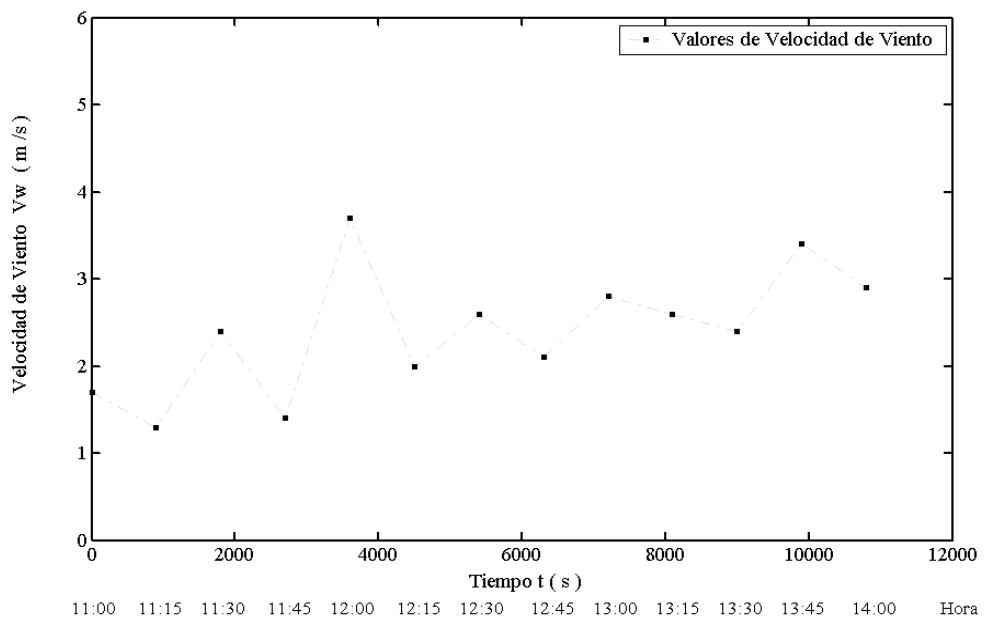


Figura 4.18 Gráfica de Velocidad de Viento media vs hora del día para medio día *nublado*.

Fuente: Autor.

4.2.1.16 COMPARACIÓN DE LA VELOCIDAD DE VIENTO PROMEDIO PARA LOS 3 TIPOS DE CONDICION CLIMÁTICA EN EL MEDIO DÍA

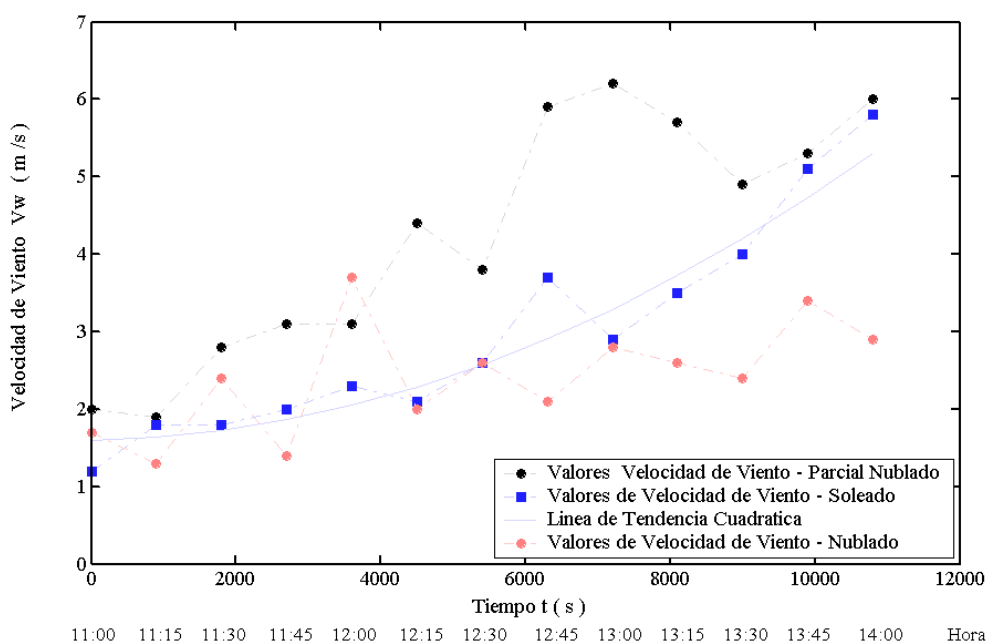


Figura 4.19 Gráfica de Velocidad de Viento promedio vs hora del día para los tres tipos de condición climática.

Fuente: Autor.

Relacionando los tres tipos de condiciones climáticas se concluye que únicamente un día *soleado* presenta una tendencia estable que permite pronosticar o generalizar valores de velocidad de viento con mucha aproximación a la realidad. Observando la gráfica se evidencia que la velocidad de viento tiene un comportamiento un poco inusual e inesperado, pues, por un lado resulta que las corrientes de viento siempre se van incrementando conforme avanzan las horas del medio día y lo más impensado es el hecho de que las mayores corrientes de viento ocurren bajo la condición de cielo *parcial nublado*, mientras que para cielo *nublado* prácticamente las corrientes de viento son nulas hasta las 13:30.

Físicamente cuando las corrientes de viento son perceptibles la velocidad de viento excede los 3 m/s. El record de velocidad de viento registrado en las mediciones efectuadas al medio día es de 14 m/s.

4.2.1.17 VELOCIDAD DE VIENTO EN BASE A DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS ABSOLUTAS Y RELATIVAS.

El análisis de la gráfica 4.19 permite establecer que la *velocidad de viento no depende en forma directa de la condición climática*, sino de la hora del día. Por esta razón se puede evaluar su comportamiento examinando la frecuencia con la que se presentan sus rangos de valores en base al registro total de datos.

Tabla 4.13 Registro total de datos de Velocidad de Viento en los días de medición.

Fuente: Autor.

INTERVALO DE CLASE Vw [m/s]	CENTRO DE CLASE Vw [m/s]	FRECUENCIA DE CLASE (Mediciones)	FRECUENC. RELATIVA f_i / N	FRECUENCIA RELAT.ACUM. Menor que	FRECUENCIA RELAT.ACUM. Mayor que	CENT.CLASE x FRECUENCIA Vw [m/s]
0 - 0.9	0.5	62	0.2020	0.2020	0.7980	31.0
1 - 1.9	1.5	72	0.2345	0.4365	0.5635	108.0
2 - 2.9	2.5	46	0.1498	0.5863	0.4137	115.0
3 - 3.9	3.5	46	0.1498	0.7362	0.2638	161.0
4 - 4.9	4.5	37	0.1205	0.8567	0.1433	166.5
5 - 5.9	5.5	17	0.0554	0.9121	0.0879	93.5
6 - 6.9	6.5	12	0.0391	0.9511	0.0489	78.0
7 - 7.9	7.5	5	0.0163	0.9674	0.0326	37.5
8 - 8.9	8.5	8	0.0261	0.9935	0.0065	68.0
9 - 9.9	9.5	2	0.0065	1.00	0.00	19.0
TOTAL	N	307	1	-	Promedio	2.86

Del cuadro se puede establecer que la velocidad media fue de 2.9 m/s, que prácticamente concuerda con el dato de velocidad de viento promedio para día soleado de 3.0 m/s. La probabilidad de que se presente un valor menor a 3.0 m/s es de 58.6% y de se presente un valor mayor del 41.37%. Esto refleja que en el medio día la velocidad de viento es baja a dos metros de altura sobre el piso.

4.2.2 VALORES PROMEDIO DE IRRADIANCIA POR DÍA DE MEDICIÓN

En base a los datos registrados se concluye que en 24 de los 25 días de medición se superó el promedio de irradiancia para medio día *nublado*, en 13 días se

excedió el promedio de irradiancia para día *parcial nublado* y tan solo en 4 días se superó el promedio para medio día *soleado*. Los datos se citan a continuación:

Tabla 4.14 Valores de Irradiancia promedio para medio día por fecha de medición.

Fuente: Autor.

No.	DÍA / FECHA	IRRADIANCIA PROMEDIO MEDIO DÍA [W/m ²]
1	23/09/2010	392.34
2	24/09/2010	469.86
3	28/09/2010	377.84
4	30/09/2010	355.88
5	05/10/2010	687.08
6	07/10/2010	661.59
7	08/10/2010	216.63
8	12/10/2010	298.83
9	14/10/2010	275.52
10	15/10/2010	458.37
11	21/10/2010	698.58
12	22/10/2010	627.62
13	26/10/2010	516.70
14	28/10/2010	528.60
15	29/10/2010	528.71
16	04/11/2010	631.60
17	05/11/2010	630.47
18	09/11/2010	553.71
19	16/11/2010	306.23
20	23/11/2010	541.51
21	26/11/2010	620.31
22	30/11/2010	334.28
23	21/03/2011	325.67
24	22/03/2011	468.36
25	24/03/2011	688.60

4.2.3 REGISTRO DE LA CONDICIÓN CLIMÁTICA EN EL MEDIO DÍA DESDE EL 07 DE SEPTIEMBRE DE 2010 AL 31 DE MARZO DE 2011

Para los días en los cuales no se realizaron las mediciones de campo se registró el tipo de condición (*soleado, parcial nublado o nublado*) y se sumó la frecuencia con la cual se manifestó cada condición, asignando un valor de 1 cuando todo el

medio día presentó una condición preponderante, un valor de 0.5 cuando se presentaron dos condiciones y 0.33 si se presentaron las tres, como se ilustra:

Tabla 4.15 Frecuencia con la que se presentó cada condición climática en los días de no realización de las mediciones de campo.

Fuente: Autor.

	FRECUENCIA ABSOLUTA (No. Días)	FRECUENCIA RELATIVA	PORCENTAJE (%)
Soleado	31.3	0.1874	18.8
Parcial Nublado	74.3	0.445	44.5
Nublado	61.3	0.3671	36.7
Total de días	167	1	100.0

Adicionalmente se consideran los 25 días en los cuales se efectuaron las pruebas de campo y se procede a efectuar el mismo análisis con los resultados siguientes:

Tabla 4.16 Frecuencia con la que se presentó cada condición climática en los días de realización de las mediciones de campo.

Fuente: Autor.

	FRECUENCIA ABSOLUTA (No. Días)	FRECUENCIA RELATIVA	PORCENTAJE (%)
Soleado	9.0	0.36	36.0
Parcial Nublado	9.5	0.38	38.0
Nublado	6.5	0.26	26.0
Total de días	25	1	100.0

Para disponer de datos globales para todo el período (7 meses) sumamos los valores de las dos tablas y determinamos la frecuencia con la que se presentó cada una de las condiciones climáticas, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4.17 Frecuencia con la que se presentó cada condición climática durante el período del 09 de Septiembre 2010 – 28 de Marzo 2011.

Fuente: Autor.

	FRECUENCIA ABSOLUTA (No. Días)	FRECUENCIA RELATIVA	PORCENTAJE (%)
Soleado	40.3	0.2099	21.0
Parcial Nublado	83.8	0.4365	43.7
Nublado	67.8	0.3531	35.3
Total de días	192	1	100.0

En un lapso de 192 días, que representa el 52.6% de un año, se presentó un medio día soleado el 21%, parcial nublado un 43.7% y nublado un 35.3% de los días.

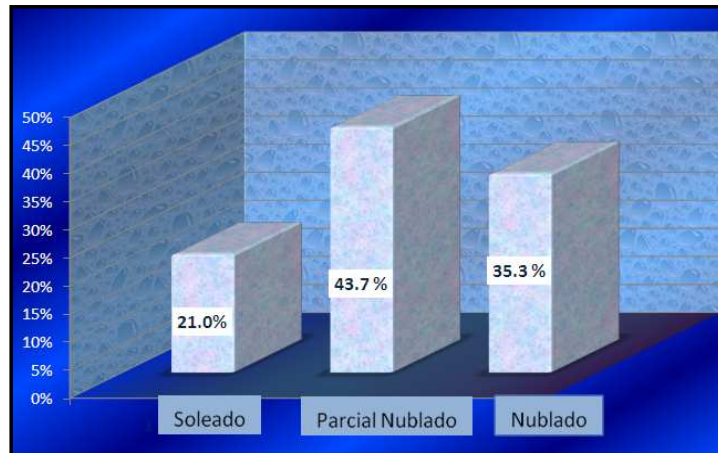


Figura 4.20 Frecuencia Relativa de las condiciones climáticas: *soleado*, *parcial nublado* y *nublado* en el lapso de estudio.

Fuente: Autor.

Como la irradiancia presenta valores superiores a 400 [W/m²] para las condiciones de medio día *soleado* y *parcial nublado* se puede concluir que un 64.7% de los días, o sea, aproximadamente 2 de cada 3 días se contó con un valor de irradiancia superior a 400 [W/m²] en el medio día en la ciudad de Ambato.

4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

4.3.1 EFICIENCIA TÉRMICA REAL DEL COLECTOR SOLAR

Para el intervalo de prueba y para cada punto de eficiencia, el valor de la eficiencia es calculado usando la ecuación: ²

$$\eta_g = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \dot{m} C_p (T_{fs} - T_{fe}) dt}{A_{cs} \int_{t_1}^{t_2} G_T dt} \quad (4.12)$$

Donde:

\dot{m} flujo másico del fluido de transferencia de calor (agua), en [kg/s].

2. La ecuación y los procedimientos y recomendaciones asociados se describen en las normas INEN NTE 2507, NORMEX-NMX-ES-001 y ANSI/ASHRAE 93-1986.

C_p calor específico del fluido de transferencia de calor, en [J/kg.°C].

T_{fs} temperatura del fluido de transferencia a la salida del colector en [°C].

T_{fe} temperatura del fluido de transferencia que ingresa al colector en [°C].

A_{cs} área bruta del colector solar en [m²].

G_T irradiación solar total o global incidente sobre el colector solar, en [W/m²].

t_1 tiempo al inicio de un período de ensayo en [h].

t_2 tiempo al final de un período de ensayo en [h].

dt derivada de la variable con respecto al tiempo t .

Examinando la ecuación (4.12) es necesario hacer las siguientes consideraciones:

Flujo Másico: El sistema inicialmente es transitorio y después alcanza un estado cuasi-estable, entonces el flujo másico es constante o su variación es insignificante con respecto al tiempo, en el diseño del colector se determinó su valor en 0.0148 kg/s, que es similar al recomendado en la norma NORMEX de 0.02 kg/s-m² (en el presente caso corresponde a 0.0214 kg/s).

Calor Específico: El calor específico del agua se puede considerar constante con respecto al tiempo con un valor de 4180 J/kg.°C, porque dicho valor es fijo entre los rangos de 25 a 50°C (más común) y la variación para otros valores es despreciable.

Tabla 4.18 Calor Específico del agua.

Fuente: *Transferencia de Calor* Yunus Cengel. (Anexo).

T [°C]	Cp [J/kg°C]
15	4196
25	4180
50	4180
75	4190
Valor establecido	4180
Máximo margen error	0.381 %

El *área bruta del colector solar* es la siguiente:

$$A_{cs} = l \times a = 1.07 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 1.07 \text{ m}^2$$

De esta forma la ecuación (4.12) se expresa de la siguiente manera:

$$\eta_g = \frac{\dot{m} C_p \int_{t_1}^{t_2} (T_{fs} - T_{fe}) dt}{A_{cs} \int_{t_1}^{t_2} G_T dt} \quad (4.13)$$

$$\eta_g = \frac{0.0148 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \int_{t_1}^{t_2} (T_{fs} - T_{fe}) dt}{1.07 \text{m}^2 \int_{t_1}^{t_2} G_T dt} = \frac{57.8168 \int_{t_1}^{t_2} (T_{fs} - T_{fe}) dt}{\int_{t_1}^{t_2} G_T dt} \quad (4.14)$$

Las dos integrales de la ecuación (4.14) convienen desarrollarlas por separado y tomando en cuenta que involucran una acumulación con respecto al tiempo.

a) La integral del denominador corresponde a la energía acumulada en el colector en el intervalo de análisis.

$$E_a = \int_{t_1}^{t_2} G_T(t) dt \quad (4.15)$$

La prueba se desarrolló el día martes 28 de junio de 2011 de 10:15 a 13:45 horas. Los datos de irradiancia G y temperaturas, obtenidos se muestran en la ficha No. 4 del Estudio del aprovechamiento térmico del colector solar, citado en el anexo.

La medición de la irradiancia realizada con el piranómetro corresponde a la irradiación directa sobre la superficie horizontal G , por consiguiente se requiere encontrar los valores de *irradiancia solar total o global incidente sobre el colector solar* G_T . Según la ASHRAE Handbook: *Energy Related Applications Solar Energy Use* Capítulo 33, la irradiancia global en el colector es:

$$G_T = G_D + G_d \quad (4.16)$$

$$G_T = G \cos\theta + G_d \quad (4.17)$$

$$G_d = C G \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) \quad (4.18)$$

Donde:

G_T irradiación solar total o global incidente sobre el colector solar, en $[\text{W}/\text{m}^2]$.

G irradiación directa sobre la superficie horizontal $[\text{W}/\text{m}^2]$.

G_D irradiación solar directa normal a la superficie del colector solar, en $[\text{W}/\text{m}^2]$.

G_d irradiación solar difusa incidente sobre el colector solar, en $[\text{W}/\text{m}^2]$.

C parámetro adimensional para la radiación difusa.

β ángulo de inclinación del colector [°].

θ ángulo que forman la dirección de incidencia de la irradiación solar directa y la normal a la superficie del colector [°].

G_D sigue la dirección del vector unitario Π y G la dirección de Γ . Ver figura 6.19

Datos:

$C = 0.134$ → obtenido de la tabla 1 ASHRAE Handbook. Capítulo 33 (ver anexo).

$\beta = 18^\circ$ → inclinación del panel.

La ecuación (4.18), entonces, es de la siguiente manera:

$$G_d = 0.134 G \left(\frac{1 + \cos 18^\circ}{2} \right) = 0.1307 G \quad (4.19)$$

Los datos de G y de θ se detallan en ficha No.4 del Estudio del aprovechamiento térmico del colector solar y en la tabla 6.21, respectivamente. Aplicando las ecuaciones (4.16), (4.17) y (4.19) se obtienen los resultados mostrados en la figura y tabla siguientes:

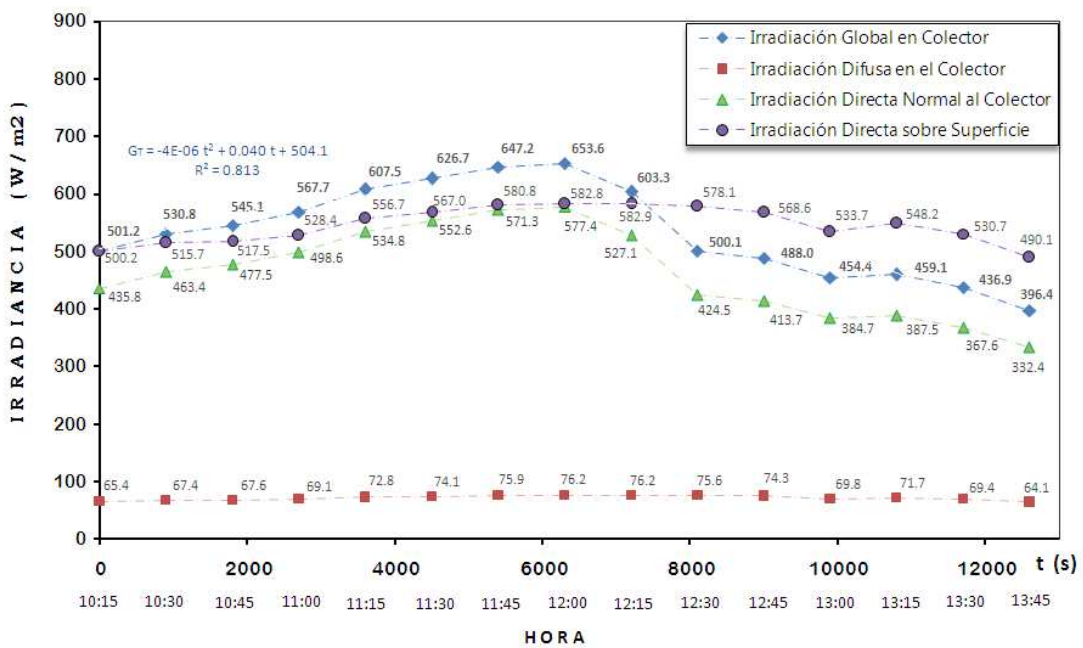


Figura 4.21 Gráfica de Irradiancias vs Tiempo, martes 28 de junio de 2011.

Fuente: Autor.

Tabla 4.19 Irradiación solar incidente sobre el colector solar, martes 28/06/2011.

Fuente: Autor.

No.	HORA	IRRADIANCIA DIRECTA G [W/m^2]	IRRADIANCIA DIRECTA EN COLECTOR G_D [W/m^2]	IRRADIANCIA DIFUSA EN COLECTOR G_d [W/m^2]	IRRADIANCIA GLOBAL EN COLECTOR G_T [W/m^2]	ÁNGULO DE INCIDENCIA θ [$^\circ$]
1	10:15	500.2	435.78	65.39	501.17	29.40
2	10:30	515.7	463.37	67.41	530.78	26.04
3	10:45	517.5	477.47	67.65	545.12	22.68
4	11:00	528.4	498.62	69.07	567.69	19.33
5	11:15	556.7	534.76	72.77	607.53	16.14
6	11:30	567.0	552.57	74.12	626.69	12.95
7	11:45	580.8	571.31	75.92	647.23	10.37
8	12:00	582.8	577.42	76.18	653.60	7.79
9	12:15	582.9	527.12	76.20	603.32	25.27
10	12:30	578.1	424.54	75.57	500.11	42.75
11	12:45	568.6	413.72	74.33	488.04	43.31
12	13:00	533.7	384.67	69.77	454.44	43.88
13	13:15	548.2	387.48	71.66	459.14	45.02
14	13:30	530.7	367.56	69.37	436.93	46.16
15	13:45	490.1	332.37	64.07	396.43	47.30
	Promedio	545.43	-	-	534.55	-

La ecuación (4.15) permite determinar la energía en intervalos y acumulada, empleando el método de aproximación del trapecio cada 15 minutos y sumando los parciales para el total:

$$E_a \left[\frac{\text{J}}{\text{m}^2} \right] \approx \sum_{i=1}^{N-1} 450 (G_i + G_{i+1}) \quad (4.20) \rightarrow \text{Método del trapecio}$$

Para comprobar, se podría *integrar* la *curva de tendencia* de G_T vs t, pero como se observa en la figura 4.21 no existe una tendencia definida, por consiguiente únicamente se aplica el método del trapecio para aproximación de áreas.

Los resultados obtenidos se citan en la tabla siguiente:

Tabla 4.20 Energía Acumulada en el colector solar, martes 28 de junio de 2011.

Fuente: Autor.

No.	HORA	IRRADIANCIA G_T [W/m ²]	ENERGÍA cada 15 Min E_a [kJ/m ²]	ENERGÍA ACUMULADA E_a [kJ/m ²]
1	10:15	501.17	-	-
2	10:30	530.78	464.38	464.38
3	10:45	545.12	484.16	948.53
4	11:00	567.69	500.76	1449.30
5	11:15	607.53	528.85	1978.14
6	11:30	626.69	555.40	2533.54
7	11:45	647.23	573.26	3106.81
8	12:00	653.60	585.37	3692.18
9	12:15	603.32	565.61	4257.80
10	12:30	500.11	496.54	4754.34
11	12:45	488.04	444.67	5199.01
12	13:00	454.44	424.12	5623.13
13	13:15	459.14	411.11	6034.24
14	13:30	436.93	403.23	6437.47
15	13:45	396.43	375.01	6812.48
	Promedio	534.55	-	-

b) La integral del numerador de la ecuación (4.14) se refiere a la variación respecto al tiempo de temperaturas entre la salida y entrada del colector. Los datos de temperatura del fluido en la salida y entrada del colector se ven en la fig. 4.22:

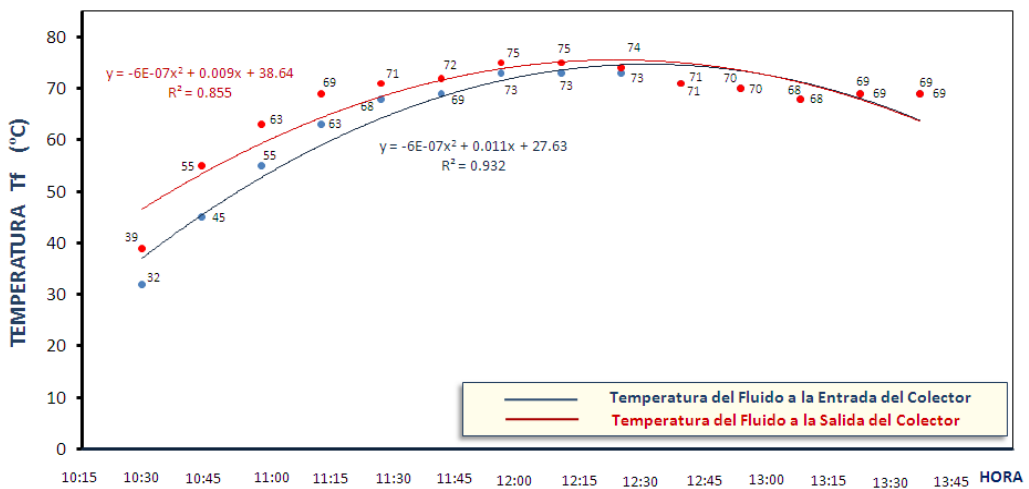


Figura 4.22 Gráfica de Temperaturas a la entrada y salida del colector solar, 28/06/11.

Fuente: Autor.

Es posible determinar la variación de temperaturas entre la salida y entrada del panel con respecto al tiempo en intervalos de quince minutos empleando el método del trapecio para la resolución de la ecuación (4.21) y sumar los parciales.

$$\int_{t_1}^{t_2} \Delta T_f dt = \int_{t_1}^{t_2} (T_{fs} - T_{fe}) dt \quad (4.21)$$

$$\int_{t_1}^{t_2} \Delta T_f dt \approx \sum_{i=1}^{N-1} 450 \left(\Delta T_{f_i} + \Delta T_{f_{i+1}} \right) \quad (4.22) \rightarrow \text{Método del trapecio}$$

En este caso tampoco es conveniente emplear una integración de la curva de tendencia porque no existe una línea de tendencia definida, como lo indica la figura 4.23:

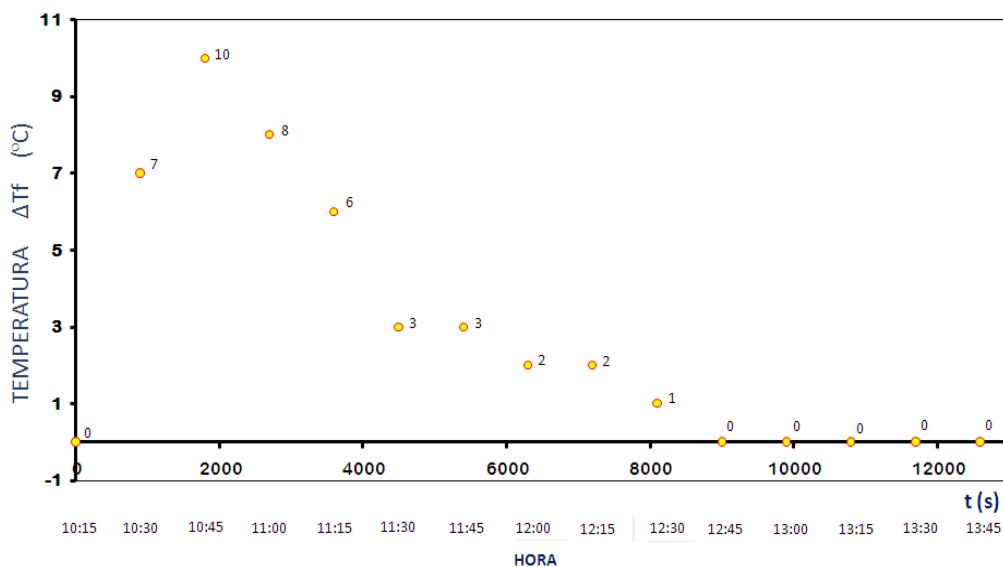


Figura 4.23 Gráfica de diferencia o gradiente de Temperaturas entre la salida y entrada del colector solar, martes 28 de junio de 2011.

Fuente: Autor.

Los resultados obtenidos se citan en la tabla 4.21:

Tabla 4.21 Integración de la Variación de Temperaturas del agua entre la salida y entrada del colector, martes 28 de junio de 2011.

Fuente: Autor.

No.	HORA	TIEMPO t [s]	TEMPERATURA DEL AGUA ENTRADA AL PANEL T_{fe} [°C]	TEMPERATURA DEL AGUA SALIDA DEL PANEL T_{fs} [°C]	DIFERENCIA TEMPERATURA SALIDA - ENTRADA AL PANEL $\Delta T_f = T_{fs} - T_{fe}$ [°C]	$\int_{t_1}^{t_2} \Delta T_f dt$ [s °C]
1	10:15	0	18	-	-	-
2	10:30	900	32	39	7	3150
3	10:45	1800	45	55	10	10800
4	11:00	2700	55	63	8	18900
5	11:15	3600	63	69	6	25200
6	11:30	4500	68	71	3	29250
7	11:45	5400	69	72	3	31950
8	12:00	6300	73	75	2	34200
9	12:15	7200	73	75	2	36000
10	12:30	8100	73	74	1	37350
11	12:45	9000	71	71	0	37800
12	13:00	9900	70	70	0	37800
13	13:15	10800	68	68	0	37800
14	13:30	10700	69	69	0	37800
15	13:45	12600	69	69	0	37800
		PROMEDIO	61.1	63.9	-	-

En el diseño del colector se consideró una temperatura promedio de 56.2°C que es inferior a la promedio presentada en la prueba que se aproxima a 62.5°C. El incremento representa el 11.2% del valor asumido, pero la densidad solo varía de 985.5 a 982.5 kg/m³ (disminución del 0.3%) y como este parámetro es el más importante porque es el que origina la circulación natural del fluido, los valores de diseño no se afectan en forma significativa.

Ahora ya es posible determinar la *eficiencia térmica del colector solar* para intervalos de quince minutos aplicando la ecuación (4.14) con los valores registrados en las tablas 4.20 y 4.21 y multiplicando el valor final por cien para mostrar los resultados en porcentaje.

Tabla 4.22 Eficiencia Térmica del colector, martes 28 de junio de 2011.

Fuente: Autor.

No.	HORA	EFICIENCIA TÉRMICA η_g [%]
1	10:15	-
2	10:30	39.29
3	10:45	65.95
4	11:00	75.53
5	11:15	73.78
6	11:30	66.87
7	11:45	59.56
8	12:00	53.65
9	12:15	48.97
10	12:30	45.50
11	12:45	42.11
12	13:00	38.93
13	13:15	36.28
14	13:30	34.01
15	13:45	32.14

Posteriormente para obtener la *curva de eficiencia del colector* se grafica la relación entre la eficiencia térmica del colector versus la relación temperatura de entrada del agua al colector T_{fe} menos temperatura ambiente T_a sobre la irradiancia incidente sobre la placa de absorción S . El valor de S se encuentra aplicando la ecuación (6.27):

$$S = H_T(\tau\alpha) = G(\tau\alpha)$$

Como se conoce previamente los valores de la transmisividad τ y de la absorptividad α son los siguientes:

$\tau = 0.79 \rightarrow$ vidrio templado (Ver Anexo).

$\alpha = 0.95 \rightarrow$ vidrio templado Low-E.

$$S = G (0.79 \times 0.95) = 0.7505 G$$

Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 4.23 Relación: Diferencia de Temperatura de entrada del agua y Temperatura Ambiente sobre Irradiación incidente sobre la placa de absorción, 28 de junio de 2011.

Fuente: Autor.

No.	HORA	TEMPERATURA AMBIENTE T_a [°C]	DIFERENCIA DE TEMPERATURA ENTRADA AGUA AL PANEL Y AMBIENTE $T_{fe}-T_a$ [°C]	IRRADIANCIA INCIDENTE SOBRE COLECTOR S [W/m ²]	$\frac{T_{fe}-T_a}{S}$ [m ² °C/W]
1	10:15	27.2	-9.2	376.1	-0.0245
2	10:30	30.0	2.0	398.4	0.0050
3	10:45	23.7	21.3	409.1	0.0521
4	11:00	26.9	28.1	426.0	0.0660
5	11:15	31.5	31.5	455.9	0.0691
6	11:30	30.9	37.1	470.3	0.0789
7	11:45	26.7	42.3	485.7	0.0871
8	12:00	29.9	43.1	490.5	0.0879
9	12:15	29.6	43.4	452.8	0.0958
10	12:30	26.3	46.7	375.3	0.1244
11	12:45	27.3	43.7	366.3	0.1193
12	13:00	28.8	41.2	341.1	0.1208
13	13:15	28.6	39.4	344.6	0.1143
14	13:30	30.3	38.7	327.9	0.1180
15	13:45	28.6	40.4	297.5	0.1358

Para graficar la curva de eficiencia empleamos los datos de las tablas 4.22 y 4.23:

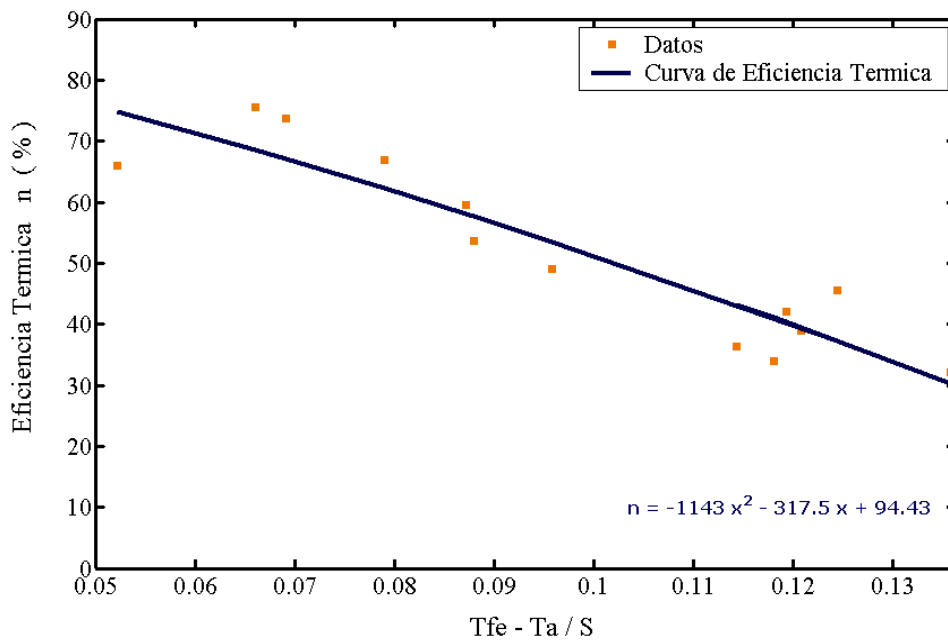


Figura 4.24 Curva de Eficiencia del colector solar en el medio día. Fuente: Autor.

Finalmente se determina la *constante de tiempo del colector solar* para conocer el tiempo necesario para que el colector cambie de estado transitorio a estado cuasi-estable. La ecuación a utilizar es la siguiente:

$$\frac{T_{fs,T} - T_{fe}}{T_{fs,inicial} - T_{fe}} = 0.368 \quad (4.23)$$

Donde:

$T_{fs,T}$ temperatura del fluido de transferencia a la salida del colector en un momento específico [°C].

$T_{fs,inicial}$ temperatura del fluido de transferencia a la salida del colector al inicio del período de prueba, para determinar la constante de tiempo [°C].

T_{fe} temperatura del fluido de transferencia que ingresa al colector en [°C].

El tiempo es aquel transcurrido para que el primer miembro de la ecuación se iguale a 0.368. Cabe señalar que se considera como el inicio del período de prueba para el cálculo de la constante solar el momento cuando la temperatura ambiente es similar a la temperatura de entrada del fluido al colector.

La temperatura de salida del agua del colector al inicio del período de prueba es de 39°C a las 10:30 horas del 28 de junio de 2011, ya que en ese momento la temperatura ambiente fue de 30°C y la de entrada del agua al colector de 32°C.

La aplicación de la ecuación (4.23) determina que la constante de tiempo del colector solar es de aproximadamente una hora con treinta minutos. Ya que en el intervalo de tiempo entre las 11:45 y 12:00 horas el valor del primer miembro de la ecuación pasa de 0.4286 a 0.2857 y el 0.368 está en ese rango de tiempo, Los resultados se encuentran tabulados y se muestran a continuación:

Tabla 4.24 Determinación de la constante de tiempo del colector solar, 28/06/2011.

Fuente: Autor.

No.	HORA	TEMPERATURA DEL AGUA ENTRADA AL PANEL T_{fe} [°C]	TEMPERATURA DEL AGUA SALIDA DEL PANEL $T_{fs,T}$ [°C]	$\frac{T_{fs,T} - T_{fe}}{T_{fs,inicial} - T_{fe}}$
1	10:15	-	-	-
2	10:30	32	39	1
3	10:45	45	55	1.4286
4	11:00	55	63	1.1429
5	11:15	63	69	0.8571
6	11:30	68	71	0.4286
7	11:45	69	72	0.4286
8	12:00	73	75	0.2857
9	12:15	73	75	0.2857
10	12:30	73	74	0.1429
11	12:45	71	71	0
12	13:00	70	70	0
13	13:15	68	68	0
14	13:30	69	69	0
15	13:45	69	69	0

4.3.2 COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS EN BASE A LA EFICIENCIA TÉRMICA OBTENIDA

En base a la eficiencia térmica del colector solar, se evalúa la hipótesis planteada en el numeral 5 del capítulo 2. Para examinar el aprovechamiento energético conviene expresar la ecuación (4.12) así:

$$\eta_g = \frac{q_{\text{útil}}}{q_{\text{incid.}}} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} q_{\text{út.}} dt}{\int_{t_1}^{t_2} q_{\text{inc.}} dt} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \dot{m} C_p (T_{fs} - T_{fe}) dt}{A_{cs} \int_{t_1}^{t_2} G_T dt} = \frac{\dot{m} C_p \int_{t_1}^{t_2} (T_{fs} - T_{fe}) dt}{A_{cs} \times E_a}$$

Los siguientes datos son constantes:

$$\dot{m} = 0.0148 \text{ [kg /s]}, C_p = 4180 \text{ [J /kg °C]} \text{ y } A_{cs} = 1.07 \text{ m}^2$$

Tabla 4.25 Interpretación de la Eficiencia Térmica del colector solar.

Fuente: Autor.

No.	HORA	IRRADIANCIA G_T [W/m ²]	ENERGIA DISPONIBLE ACUMULATIVA E_a [kJ/m ²]	CALOR INCIDENTE $q_{\text{incidente}}$ [kJ]	EFICIENCIA TÉRMICA η_g [%]	CALOR ÚTIL $q_{\text{útil}}$ [kJ]
1	10:15	501.17	-	-	-	-
2	10:30	530.78	464.38	496.88	39.29	195.21
3	10:45	545.12	948.53	1014.93	65.95	669.30
4	11:00	567.69	1449.30	1550.75	75.53	1171.27
5	11:15	607.53	1978.14	2116.61	73.78	1561.69
6	11:30	626.69	2533.54	2710.89	66.87	1812.68
7	11:45	647.23	3106.81	3324.28	59.56	1980.00
8	12:00	653.60	3692.18	3950.63	53.65	2119.44
9	12:15	603.32	4257.80	4555.84	48.97	2230.99
10	12:30	500.11	4754.34	5087.14	45.50	2314.65
11	12:45	488.04	5199.01	5562.94	42.11	2342.54
12	13:00	454.44	5623.13	6016.75	38.93	2342.54
13	13:15	459.14	6034.24	6456.64	36.28	2342.54
14	13:30	436.93	6437.47	6888.09	34.01	2342.54
15	13:45	396.43	6812.48	7289.36	32.14	2342.54

Los calores en realidad se pueden interpretar como energía puesto que están en unidades de energía, que en el SI corresponde a Joules J.

La hipótesis plantea que se puede absorber entre un 50 y 80% de la energía disponible de la irradiación solar. En el ensayo si se pudo alcanzar este rango de eficiencia entre las 10:45 y 12:00. Para comprobar la hipótesis conviene encontrar la frecuencia con la que los datos de eficiencia están dentro de dicho rango, la siguiente tabla muestra los resultados:

Tabla 4.26 Eficiencia Térmica del colector solar por rango de datos.

Fuente: Autor.

INTERVALO DE CLASE η_g [%]	FRECUENCIA ABSOLUTA	FRECUENCIA RELATIVA
30-50	8	0.57
50-80	6	0.43
TOTAL	14	1

La probabilidad de que el aprovechamiento energético esté en el rango de 50 a 80% es de 43%., lo que *verifica la hipótesis*, aunque no es el rango más frecuente.

Se puede limitar más específicamente este rango, manifestando que el aprovechamiento térmico de un colector plano para calentamiento de agua aprovecha entre un 30 y 76% de la irradiación global incidente en dos horas y media de exposición en un medio día soleado.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La condición climática de mayor disponibilidad energética y la más apropiada para ser aprovechada es la de cielo despejado (día soleado), con una media de 659.7 [W/m²] al medio día y con un potencial de energía disponible de 7188.2 [kJ/m²] en tres horas. Aunque cabe manifestar que bajo la condición parcial nublado también existe una importante energía disponible, con una media de 504.7 [W/m²] y una energía disponible en tres horas de 5504.3 [kJ/m²].
- La probabilidad de que se presente un medio día soleado fue del 21%, parcial nublado de un 43.7% y nublado del 35.3% en el período de estudio y como para las primeras dos condiciones la irradiancia supera los 400[W/m²] se puede establecer que dos de cada tres días en la hora meridiana fueron potencialmente aprovechables en Ambato.
- La irradiancia es el parámetro físico que está asociado directamente con la energía solar y su valor determina directamente el potencial de energía disponible.
- En un medio día *soleado* se recibe en la superficie de la ciudad de Ambato en promedio un 48.8% de la irradiancia existente fuera de la atmósfera terrestre (1353 [W/m²]), en *parcial nublado* un 37.3% y en *nublado* tan solo el 17.7% de la misma.
- La irradiancia y la temperatura ambiente tienen aproximadamente una relación directamente proporcional entre ambas e inversamente proporcional con la humedad relativa y la velocidad de viento. Aunque cabe señalar que de entre todas la irradiancia tiende a ser independiente de las demás y está en función directa de la condición climática o de cielo. La temperatura depende en gran medida de las corrientes de viento y de la humedad relativa, puesto que si estas se incrementan la primera descende considerablemente.

- Únicamente en día soleado se presenta una tendencia, en este caso de distribución cuadrática, que define la variación de los parámetros físicos en relación a la hora del día. Es decir que la variación es estable para la irradiancia, humedad relativa y velocidad de viento si el medio día es soleado. La temperatura es la única que no tiene tendencia definida.
- En un medio día plenamente soleado en el colector solar plano se pueden alcanzar temperaturas que bordean los 75°C a la salida panel con tan solo dos horas de exposición a la irradiación solar. Si la condición es parcial nublado se aproxima a los 50°C y si es nublado no superará los 30 °C.
- Para conseguir que el agua que sale del depósito de almacenamiento se caliente se requiere de una prolongada exposición a los rayos solares, no es suficiente con dos o tres horas, puesto que en ese tiempo la temperatura máxima a obtener será de 26°C.
- La irradiancia en un día soleado en el mes de junio del 2011 en Ambato no presentó los valores registrados en el período de estudio, sino que su promedio bordeó los 545.43 [W/m²] que es inferior al valor promedio de 659.7 [W/m²] para medio día soleado obtenido en el lapso de estudio.
- De igual manera en meses como junio la irradiación incide de manera menos directa, lo cual se aprecia en el elevado ángulo que forman entre la dirección de incidencia de la irradiación solar directa y la normal a la superficie del colector en pleno medio día en comparación con otros meses como marzo.
- La eficiencia térmica de un colector solar plano para calentamiento de agua oscila entre 30 y 76% y el rango más común está comprendido entre 30 y 50% al medio día en un día perfectamente soleado.
- El tiempo necesario para que el presente colector solar pase de un estado transitorio a un cuasi-estable es de aproximadamente una hora y treinta minutos.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se aconseja medir la irradiancia en la ciudad de Ambato entre las 10:00 y 14:00 puesto que es ese el intervalo de mayor incidencia de la irradiación solar.

- Para contar con datos más precisos es conveniente disminuir el intervalo de tiempo entre cada medición de los parámetros físico-ambientales, que fue de quince minutos, a unos cinco minutos que es un lapso mucho más concentrado.
- Para estudios complementarios se sugiere medir la irradiancia incidente con sondas que cubran las longitudes de onda de radiación ultravioleta, especialmente la UV-A y la UV-B, que están fuera del alcance de este proyecto por no disponer de la sonda adecuada para el estudio correspondiente.
- Cualquier prueba a realizar en el colector solar es adecuado hacerla en día eminentemente soleado y manteniendo el circuito cerrado para evitar pérdidas de calor al ambiente.
- El colector solar plano para calentamiento de agua sería mucho más eficiente si se dispondría de dos paneles en lugar de uno solo o bien si se incrementaran sus dimensiones, puesto que la capacidad del tanque diseñado requiere de mayor área efectiva de incidencia de la irradiación solar.
- La inclinación del panel no debe exceder los 20°, puesto que nuestro país se ubica en la línea Equinoccial y por ello los rayos solares tienden a incidir perpendicularmente a la superficie. La orientación del panel más conveniente es hacia el Sur.
- El aprovechamiento térmico de la energía solar únicamente es factible cuando las condiciones climáticas son favorables, es decir en época de verano, como en el período de estudio del presente proyecto; puesto que en invierno no es conveniente porque los días soleados e incluso los parcialmente nublados son escasos, pese a que nuestro país no tiene estaciones claramente diferenciadas. Este hecho se evidenció especialmente en los meses de mayo, junio y julio del 2011 marcadamente nublados.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 DATOS INFORMATIVOS

La propuesta consiste en el diseño y construcción de un *colector solar plano* para calentamiento de agua vía circulación natural. El mismo que tiene como antecedente y punto de partida el estudio espectral realizado de la irradiación solar en la ciudad de Ambato efectuado por el autor del presente proyecto. En base a los resultados obtenidos y pretendiendo obtener una eficiencia adecuada, se diseñó y construyó dicho sistema o dispositivo, el cual tiene como destino la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Tabla 6.1 Datos Generales de la Propuesta.

Fuente: Autor.

Ejecutor	Byron Miguel Toalombo Rojas
Descripción	Colector Solar Plano con Serpentín tipo Rejilla para Calentamiento de Agua
Construcción	Taller Particular
Lugar Ensayos	FICM - UTA
Beneficiarios	Estudiantes Ingeniería Mecánica FICM - UTA
Tiempo de Ejecución	Enero 2010 - Marzo 2011
Partes Constitutivas	<ul style="list-style-type: none">✓ Colector Plano o Panel tipo Rejilla✓ Tanque o Depósito de Almacenamiento✓ Conexiones de Agua Caliente y Agua Fría
Costo	\$ 985



Figura 6.1 Colector solar plano de circulación natural para calentamiento de agua.

Fuente: Autor

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

El sistema tiene como función captar y almacenar la irradiación solar global, la cual se convierte en calor al tocar la placa térmica colectora. El calentamiento del agua comienza cuando los rayos solares inciden sobre la superficie del colector y elevan la temperatura del agua que circula por el interior del serpentín formado por tubos. Como el circuito es natural, mientras el agua se va calentando pierde densidad y tiende a ascender pasando a través de tuberías al tanque de almacenamiento situado encima. El espacio que deja libre el agua que ha ascendido es reemplazado por agua aún no calentada proveniente de la parte inferior del tanque, esta agua se calienta a su vez por el mismo procedimiento.

La principal fuente de consulta para el diseño fue un documento peruano publicado en internet en el 2003 cuya autoría pertenece a Sixto Guevara Vásquez, denominado “*Teoría para el Diseño de Calentadores Solares de Agua*”. Este documento detalla como diseñar un colector solar plano de circulación natural.

Además, en nuestro existe la norma NTE INEN 2507 titulada “*Rendimiento Térmico de Colectores Solares en Sistemas de Calentamiento de Agua para Uso Sanitario. Requisitos*”. Esta norma tiene carácter de *aplicación voluntaria*, su *alcance* es para colectores solares de placa plana y de vacío. Se centra en establecer los elementos constitutivos del sistema, los parámetros de

dimensionamiento y su *objeto* es el de establecer el rendimiento térmico de colectores solares en sistemas de calentamiento de agua para uso sanitario. En esencia se basa en las normas ASHRAE 93 y NORMEX-NMX-ES-001.

6.3 JUSTIFICACIÓN

Es necesario evaluar el aprovechamiento térmico que se puede dar a la energía solar disponible para verificar las conclusiones inferidas a partir del estudio de campo realizado. En ese sentido, el más sencillo sistema térmico es un colector solar plano para calentar agua puesto que la circulación del fluido es natural (termosifón), posee una larga vida útil, requiere un mínimo mantenimiento, no es contaminante, la instalación es simple, el costo de construcción es bajo en relación a sistemas solares más avanzados.

La carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato requiere contar con mayor implementación de equipos, y sistemas que permitan a los estudiantes relacionar los conocimientos teóricos con la práctica.

6.4 OBJETIVOS

- Diseñar y construir un colector solar plano para calentar agua tomando en consideración los estudios de campo realizados, las bases teóricas de diseño y la disponibilidad de los materiales en el mercado.
- Medir las temperaturas alcanzadas por el agua en la entrada inicial, en la entrada al panel, en la salida del panel y a la salida del tanque de depósito.
- Evaluar el aprovechamiento de la energía solar en las horas de mayor incidencia de la irradiación solar en un día soleado.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

La factibilidad tiene que ver con la posibilidad de que la propuesta sea viable.

6.5.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA

La propuesta se puede llevar a efecto porque se dispone de los elementos necesarios para el diseño y construcción del colector solar plano. Se realizó un estudio previo de la energía disponible, se puede dimensionar el dispositivo

basándose en información referida al respecto y en la normativa afín al tema. Existe disponibilidad de los materiales necesarios para la construcción del colector tomando en consideración ciertos márgenes de seguridad en el diseño.

6.5.2 FACTIBILIDAD ECONÓMICO-FINANCIERA

La parte económica se asocia al egreso de dinero necesario para la construcción del colector solar y el financiamiento de los gastos pertinentes. A continuación se reseña el costo de los elementos y partes que constituyen el dispositivo.

Tabla 6.2 Egresos por concepto de Adquisición de Materiales.

Fuente: Autor.

DETALLE	CANTIDAD	PRECIO (USD)
Tubería de Cobre Rígido D= ½"	1 ½ (6m c/u)	63.00
Tubería de Cobre Rígido, Reciclado D= 1 ¼" L=2m	-	28.00
Vidrio Templado Low-E e=4mm	1	57.00
Tubo Cuadrado HG D= ¾"	1 (6m c/u)	11.30
Tubo Poste HG D= 1 ¼"	1 (6m c/u)	15.47
Tubo PP línea dorada D= ½" Amanco	1 (6m c/u)	9.07
Lámina de Acero ASTM A653 Galv., e=1mm, A=3m ²	1	25.00
Lámina de Acero ASTM A653 Galv., e=3mm, A=1m ²	1	22.00
Válvula Check D= ½" red-white Japan	1	14.45
Válvula de Alivio de Presión D= ½"	1	15.36
Válvulas de Bola D= ½" 652.0.E.13 CR	2	8.24
Planchas de Lana de Vidrio	4	15.60
Electrodos Soldadura de Plata Harris 5%	6	16.13
Accesorios para tubería	-	50.20
Termómetros de mercurio y de espiga	3	29.50
TOTAL	-	380.32

Tabla 6.3 Egresos Varios.

Fuente: Autor.

DETALLE	COSTO (USD)
Mano de Obra	550.00
Transporte	30.75
Norma NTE-INEN 2507	3.52
Otros	18.80
TOTAL	603.07

Tabla 6.4 Egreso Total.

Fuente: Autor.

DETALLE	COSTO (USD)
Adquisición de Materiales	380.32
Egresos Varios	603.07
TOTAL	983.39

El financiamiento corre en su totalidad a cargo del autor del proyecto.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

El calentador solar plano consta de varias partes entre las cuales se mencionan las siguientes:

– *Colector plano o panel solar tipo rejilla*, es en donde ocurren los principales fenómenos físicos de aprovechamiento de la energía solar. Es el mecanismo a través del cual el agua experimenta el calentamiento mediante la circulación por varios tubos de cobre rígido dispuestos en forma de rejilla. La siguiente figura muestra las partes del panel:

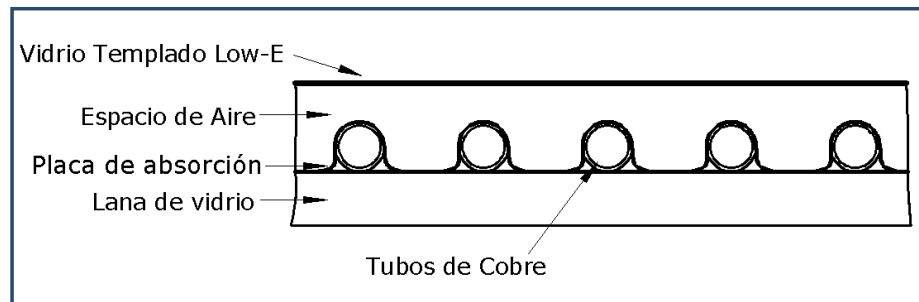


Figura 6.2 Partes Constitutivas del Panel Solar.

Fuente: Autor.

– *Tanque o depósito de almacenamiento*, donde se deposita el agua caliente y el agua fría. La función principal del tanque es la de permitir la *recirculación del agua* por la diferencia de sus densidades. El depósito cuenta con aislante térmico para evitar que el calor del agua fluya hacia el exterior permitiendo mantener el agua caliente por un tiempo considerable para hacer frente al carácter discontinuo de la energía solar.

- *Conexiones de agua caliente y agua fría*, son las tuberías y accesorios que permiten la conducción, regulación y evacuación del agua entre el tanque y panel.
- *Estructuras de soporte del tanque de almacenamiento y del panel*, destinados a mantener en posición rígida al depósito y colector, respectivamente, a la vez que el segundo sirve para darle la inclinación al panel.

6.6.1 DISEÑO DEL CALENTADOR SOLAR PARA AGUA CON COLECTOR O PANEL PLANO

El diseño del calentador solar se basa en los dos siguientes ejes principales:

- ~ Circulación natural del agua en el calentador solar.
- ~ Balance de energía en el colector solar plano.

6.6.1.1 CIRCULACIÓN NATURAL DEL AGUA EN EL CALENTADOR SOLAR

La circulación natural (termosifón) es un fenómeno que se fundamenta en la variación de densidad del agua, que es inversamente proporcional al incremento de la temperatura. Si se colocan en un tubo en U dos volúmenes iguales de agua a diferentes temperaturas, el nivel de la columna de agua más caliente es mayor respecto a la de agua más fría (ver fig. 6.3), esto se explica porque la columna de agua a menor temperatura tiene mayor masa que la de agua a mayor temperatura. Debido a que este tipo de calentadores solares aprovechan la circulación natural de agua, no necesitan de una bomba para el funcionamiento.

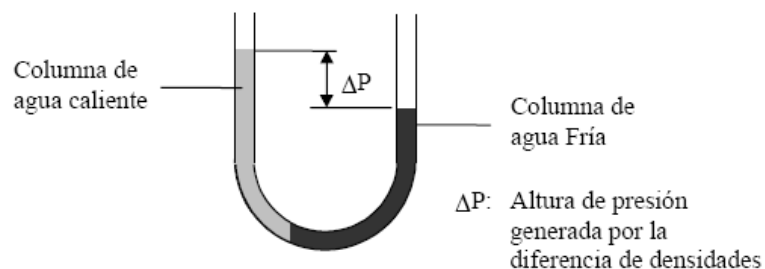


Figura 6.3 Representación de la altura de presión generada por agua a temperaturas diferentes.

Fuente: pdf *Teoría para el Diseño de Calentadores Solares de Agua*. Sixto Guevara.

a) Ubicación del Depósito de Almacenamiento respecto al Colector Solar

En la figura 6.12 se muestra la disposición de las entradas y salidas de agua tanto en el colector como en el depósito de almacenamiento, así como las alturas o niveles en que se encuentran ubicadas dichas entradas y salidas. A partir de dicha figura se definen los ángulos α_1 y α_2 de la siguiente forma:

$$h_2 = L \sin \beta \quad (6.1)$$

$$h_1 = h_2 + h_3 + h_4 \quad (6.2)$$

$$\alpha_1 = \arctang \left(\frac{h_3 + h_4}{M} \right) \quad (6.3)$$

$$\alpha_2 = \arctang \left(\frac{h_1}{L \cos \beta + M} \right) \quad (6.4)$$

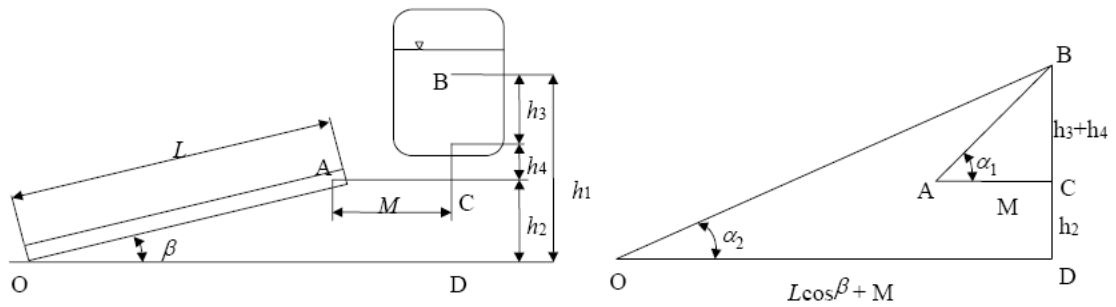


Figura 6.4 Ubicación del depósito de almacenamiento respecto al colector solar.

Fuente: pdf *Teoría para el Diseño de Calentadores Solares de Agua*. Sixto Guevara.

Solución:

Datos:

Los siguientes datos son parámetros de diseño:

$$M = 0.545 \text{ m}$$

$\beta = 18^\circ \rightarrow$ Inclinación del panel. Se recomienda inclinar el panel un ángulo igual a la latitud del lugar más 15° . Siendo la latitud de Ambato $S1^\circ 14' 30''$ es adecuado inclinar al panel de 16° a 18° .

$$L = 1.07 \text{ m}$$

$$h_3 = 0.2 \text{ m}$$

$$h_4 = 0.18 \text{ m}$$

Aplicando las ecuaciones de la (6.1) a la (6.4) se hallan los valores de la distancia vertical de la base del colector a la entrada de agua caliente del depósito h_1 , la distancia vertical de la base del colector a la salida de agua caliente del panel h_2 .

$$h_2 = 1.07 \text{sen}18^\circ = 0.331\text{m}$$

$$h_1 = 0.331 + 0.2 + 0.18 = 0.711\text{m}$$

$$\alpha_1 = \text{arctang} \left(\frac{0.2 + 0.18}{0.545} \right) = 34.89^\circ$$

$$\alpha_2 = \text{arctang} \left(\frac{0.711}{1.07 \times \text{cos}18^\circ + 0.545} \right) = 24.45^\circ$$

b) Altura de Presión de la Circulación Natural.

La altura de presión de circulación natural ΔP_{CN} es la altura resultante de la diferencia de la presión generada por la diferencia de densidades del agua ΔP y la pérdida de carga por fricción en los tubos h_p .

$$\Delta P_{CN} = \Delta P - h_p \quad (6.5)$$

Donde:

ΔP_{CN} altura de presión de circulación natural [m].

ΔP presión generada por la diferencia de densidades del agua [m].

h_p pérdidas de carga por fricción en los tubos [m].

Altura de presión debido al cambio de densidad del agua en el colector ΔP

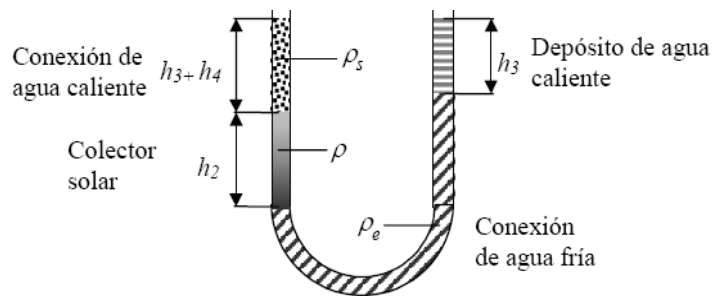


Figura 6.5 Representación en columnas de agua de diferentes densidades en el colector.

Fuente: pdf *Teoría para el Diseño de Calentadores Solares de Agua*. Sixto Guevara.

Para calcular la presión generada por el cambio de densidad del agua, el calentador solar se representa como se indica en la figura 6.5.

A la entrada del colector el agua tiene una densidad, ρ_e . mientras que a la salida el agua tiene una densidad ρ_s , además se asume una densidad promedio ρ . Aplicando la ecuación de Bernoulli se obtiene:

$$\Delta P x \rho_s = \rho(h_3) + \rho_e(h_4 + h_2) - \rho(h_2) - \rho_s(h_4 + h_3) \quad (6.6)$$

$$\rho = \frac{\rho_s + \rho_e}{2} \quad (6.7)$$

Sustituyendo (6.7) en (6.6), se tiene:

$$\Delta P = \frac{(\rho_e - \rho_s) \left(\frac{h_2 + h_3}{2} + h_4 \right)}{\rho_s} \quad (6.8)$$

Donde:

ρ_e densidad del fluido a la entrada del colector.

ρ_s densidad del fluido a la salida del colector.

Solución:

Datos:

La mayor diferencia de presión por cambio de densidad se presenta cuando la densidad a la entrada y a la salida del panel, es máxima y mínima, respectivamente.

La temperatura del agua potable de la red generalmente oscila entre 18 y 20°C en el día en Ambato. Por esta razón tomando un margen de seguridad se puede considerar que no será menor a los 15°C (temperatura de entrada del agua al colector).

La temperatura máxima a esperar en un colector solar plano teóricamente bordea los 70°C, tomando cierto margen de seguridad se puede diseñar para 80°C. Entonces se tiene:

$$\rho_e = 1000 \text{ kg/m}^3 \rightarrow T_{fe} = 15^\circ\text{C}$$

$$\rho_s = 971 \text{ kg/m}^3 \rightarrow T_{fs} = 80^\circ\text{C}$$

$$h_2 = 0.331 \text{ m}$$

$$h_3 = 0.2 \text{ m}$$

$$h_4 = 0.18 \text{ m}$$

Con las ecuaciones (6.7) y (6.8) se encuentran la densidad media y la diferencia de presión generada por el cambio de densidad del agua.

$$\rho = \frac{(971+1000)}{2} = 985.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \rightarrow 56.2^\circ\text{C} \text{ (interpolación lineal Ver Anexo)}$$

$$\Delta P = \frac{(1000 - 971) \left(\frac{0.331 + 0.2}{2} + 0.18 \right)}{971} = 0.0133 \text{ m}$$

Pérdidas de Carga h_p

Para determinar las pérdidas de carga se determinan el régimen del flujo de agua, la longitud de tubos equivalente L_t y el coeficiente de fricción del flujo.

El régimen del flujo se determina con el número de Reynolds:

$$Re = \frac{v_f \cdot D_h}{\nu} \quad (6.9)$$

Donde:

v_f velocidad del agua dentro de los tubos [m/s].

D_h diámetro hidráulico [m].

ν viscosidad cinemática del agua [m²/s].

Por lo general, el régimen del flujo de agua es laminar ($Re \leq 2000$), por lo que el coeficiente de fricción f_r se determina de la siguiente manera:

$$f_r = 64/Re \quad (6.10)$$

Con la velocidad del agua dentro de los tubos se puede determinar el caudal volumétrico de flujo con la siguiente fórmula:

$$Q = v_f \cdot \frac{\pi D_i^2}{4} \quad (6.11)$$

Donde:

Q caudal volumétrico [m³/s]

v_f velocidad del agua dentro de los tubos [m/s].

D_i diámetro interior de los tubos [m].

Y el flujo másico se puede conocer de la siguiente manera:

$$\dot{m} = Q \cdot \rho \quad (6.12)$$

Donde:

\dot{m} flujo másico de circulación del agua [kg/s]

Q caudal volumétrico [m³/s]

ρ densidad media [kg/m³]

La longitud de tubos equivalentes L_t se determina mediante la siguiente ecuación:

$$L_t = L + \frac{h_1}{\text{sen}\alpha_2} + \frac{h_3+h_4}{\text{sen}\alpha_1} \quad (6.13)$$

Finalmente, las pérdidas de carga h_p se determinan por:

$$h_p = \frac{L_t \cdot f_r \cdot v_f^2}{2 \cdot D_h \cdot g} \quad (6.14)$$

Solución:

Datos:

Se asume una velocidad de circulación del agua dentro del panel basado en los siguientes criterios: la velocidad del flujo de líquidos dentro de tuberías no sobrepasa los 3m/s según el Manual del Ingeniero de Planta de Robert Rosaler, la circulación del fluido es natural por ello la velocidad debe ser baja y el régimen de flujo debe ser laminar y para ello la velocidad se asume de 0.1 m/s.

$$v_f = 0.1 \text{ m/s} = 10 \text{ cm/s} \rightarrow \rho = 985.5 \text{ kg/m}^3$$

$$D_h = D_i = 0.01384 \text{ m} \rightarrow \text{Tubería de cobre tipo L diámetro nominal } \frac{1}{2}''$$

$$\nu = 4.96 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (interpolación lineal Ver Anexo)} \rightarrow \rho = 985.5 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho = 985.5 \text{ kg/m}^3$$

$$L = 1.07 \text{ m}$$

$$h_1 = 0.711 \text{ m}$$

$$h_3 = 0.2 \text{ m}$$

$$h_4 = 0.18 \text{ m}$$

$$\alpha_1 = 34.89^\circ$$

$$\alpha_2 = 24.45^\circ$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta P = 0.0114 \text{ m}$$

A través de la ecuación (6.9) hallamos el número de Reynolds:

$$Re = \frac{0.1 * 0.01384}{4.96 * 10^{-7}} = 2790.3$$

Aunque el límite de régimen laminar es cuando el número de Reynolds es menor o igual que 2000, el valor de 2790.3 está en la zona de transición y es más cercano a ser laminar que turbulento (más próximo a 2000 que a 4000).

Con la ecuación (6.10) obtenemos el factor de fricción:

$$f_r = \frac{64}{2790.3} = 0.0229$$

El caudal volumétrico se halla con la ecuación (6.11) y el flujo másico con la (6.12):

$$Q = 0.1 \frac{\pi(0.01384)^2}{4} = 1.5 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0.9 \text{ lt/min} \approx 1 \text{ lt/min}$$

$$\dot{m} = 1.5 \times 10^{-5} \times 985.5 = 0.0148 \text{ kg/s}$$

La longitud de tubos equivalentes y las pérdidas de carga se encuentran con las ecuaciones (6.13) y (6.14), respectivamente:

$$L_t = 1.07 + \frac{0.711}{\text{sen}24.45^\circ} + \frac{0.2 + 0.18}{\text{sen}34.89^\circ} = 3.451 \text{ m}$$

$$h_p = \frac{3.451 \times 0.0229 \times 0.1^2}{2 \times 0.01384 \times 9.8} = 0.0029 \text{ m}$$

Con la ecuación (6.5) se halla la altura de presión de circulación natural:

$$\Delta P_{CN} = \Delta P - h_p = 0.0133 - 0.0029 = 0.0104 \text{ m}$$

La altura de presión de circulación natural es muy pequeña esto se debe a que la densidad del agua varía en un 3% (de 1000 a 971 kg/m³).

6.6.1.2 BALANCE DE ENERGÍA EN EL COLECTOR SOLAR

El balance de energía permite determinar el calor útil transmitido al agua para establecer la eficiencia del colector solar. La energía solar recibida se denomina irradiación global (irradiación directa más irradiación difusa). La radiación global que incide sobre el colector solar $H_T A_e$, disminuye su valor como resultado de las características propias de reflexión y absorción de la cubierta del colector; por ello, solo parte de esta radiación, $H_T A_e(\tau\alpha)$, es empleada como calor para calentar el agua $q_{\text{útil}}$; la parte restante constituye el almacenamiento de energía interna en el colector mismo dU/dt , que usualmente es despreciable; así como, las pérdidas de calor hacia el ambiente por conducción, convección y re-radiación en el panel q_{pcx} .

Este balance de energía se expresa analíticamente de la siguiente manera:

$$E_{ent} - E_{sal} = 0$$

En el panel, el balance es de la siguiente manera:

$$H_T A_e = q_{\text{útil}} + q_{pcx} + \frac{dU}{dt} \quad (6.15)$$

$$\frac{dU}{dt} \approx 0$$

$$H_T A_e = q_{\text{útil}} + q_{pcx} \quad (6.16)$$

Para todo el sistema (panel, depósito de almacenamiento y conexiones) se debe considerar que el calor de calentamiento del agua en el panel $q_{\text{útil}}$ experimenta una pérdida en magnitud al dirigirse hacia el tanque o depósito, tanto en las conexiones q_{pcx} como en el propio tanque q_{pda} . Este hecho se expresa en la siguiente igualdad:

$$q_{\text{útil}} = q_{da} + q_{pda} + q_{pcx} \quad (6.17)$$

Donde:

q_{da} calor entregado al agua en el depósito de almacenamiento.

q_{pda} pérdidas (calor disipado al ambiente) en el depósito.

q_{pcx} pérdidas (calor disipado al ambiente) en las conexiones.

Consiguiendo la ecuación (6.16) para todo el sistema se expresa así:

$$H_T A_e = q_{da} + q_{pda} + q_{pcx} + q_{pcs} \quad (6.18)$$

Cabe señalar que el factor transmisividad-absortividad ($\tau\alpha$) se considera en la determinación del calor útil o de calentamiento del agua $q_{\text{útil}}$ y por esta razón no aparece en la fórmula del balance general de energía.

Para hallar el calor útil o de calentamiento del agua en estado estable en el colector solar $q_{\text{útil}}$ se requiere considerar un gran número de variables, de entre ellas, conviene primero conocer el *coeficiente total de transferencia de calor* U_L , el cual se determina a partir de la temperatura promedio de la placa de absorción, la cual a su vez, requiere la determinación de la temperatura del tubo y del agua a lo largo de todo el tubo y del factor de remoción de calor.

a) Coeficiente Total de Transferencia de Calor U_L

Coeficiente de Transferencia de Calor en la Parte Inferior U_{fo}

El coeficiente de transferencia de calor en la parte inferior se evalúa conociendo la resistencia térmica conductiva R_1 y la resistencia térmica convectiva R_2 .

$$U_{fo} = \frac{1}{R_1 + R_2}$$

$$R_1 = \frac{t}{k_a}$$

$$R_2 = \frac{1}{h_{fo}}$$

Donde:

U_{fo} coeficiente de pérdidas de calor en la parte inferior [$\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}$].

t_a espesor del aislante [m].

k_a conductividad térmica del aislante [$\text{W}/\text{m K}$].

h_{fo} coeficiente convectivo de transferencia de calor entre el fondo del colector y el ambiente, que se puede considerar despreciable en el caso de colectores bien aislados [$\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}$].

Como $R_2 \ll R_1$

$$R_2 \approx 0$$

$$U_{fo} = \frac{1}{R_1} = \frac{k_a}{t_a} \quad (6.19)$$

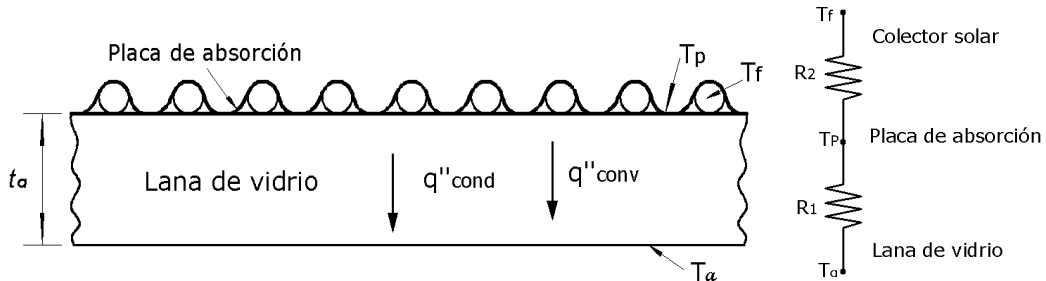


Figura 6.6 Circuito Térmico para la Transferencia de Calor en la parte inferior del panel.

Fuente: Autor.

Solución:

Datos:

$t_a = 0.0254$ m (1 plg) → espesor de una capa de lana de vidrio.

$k_a = 0.038$ [W/m K] → lana de vidrio.

Aplicando la ecuación (6.19) se conoce el valor del coeficiente de pérdidas de calor en la parte inferior, como sigue:

$$U_{fo} = \frac{0.038}{0.0254} = 1.496 \frac{W}{m^2 K}$$

Coeficiente de Transferencia de Calor en la Parte Superior U_{sup}

Se evalúa determinando las resistencias térmicas R_3 y R_4 . El calor se transfiere entre la placa de absorción y la cubierta de vidrio por convección y radiación en forma paralela. Los mismos mecanismos de transferencia son también importantes en la disipación de calor por la cubierta de vidrio hacia el ambiente.

$$U_{sup} = \frac{1}{R_3 + R_4} \quad (6.20)$$

Resistencia térmica entre la placa de absorción y el vidrio R_3 :

$$R_3 = \frac{T_p - T_V}{(h_C + h_R)(T_p - T_V)} \quad (6.21)$$

$$h_{R_2} = \frac{\sigma(T_p + T_V)(T_p^2 + T_V^2)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_V} - 1}$$

Resistencia térmica entre el vidrio y el ambiente R_4 :

$$R_4 = \frac{T_V - T_a}{(h_{c\infty} + h_{fir})(T_V - T_a)} \quad (6.22)$$

$$h_{fir} = \sigma\epsilon_V(T_V + T_a)(T_V^2 + T_a^2)$$

Donde:

h_R coeficiente de transferencia de calor por radiación entre la placa de absorción y el vidrio.

h_{fir} coeficiente de transferencia de calor por radiación entre el vidrio y el ambiente.

σ constante de Boltzmann.

T_p temperatura promedio de la placa de absorción.

T_V temperatura promedio del vidrio templado.

h_c coeficiente de transferencia de calor por convección entre la placa de absorción y el vidrio.

$h_{c\infty}$ coeficiente de transferencia de calor por convección entre el vidrio y el ambiente.

El proceso de cálculo de R_3 y R_4 es iterativo, además requiere de datos como la temperatura de la cubierta y los coeficientes convectivos de transferencia de calor, que por lo general son difíciles de evaluar; esto hace que el cálculo de estas resistencias térmicas sea complicado.

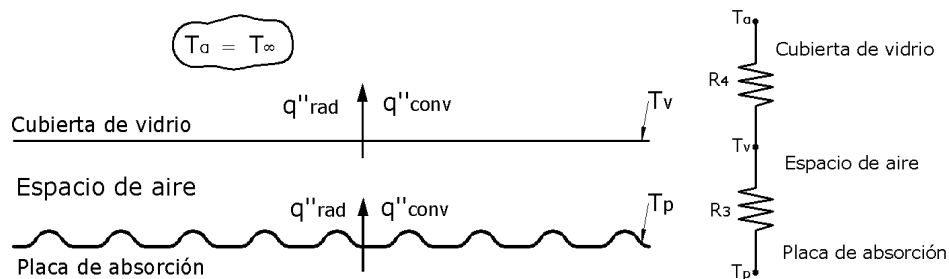


Figura 6.7 Circuito Térmico para la Transferencia de Calor en la parte superior del panel.

Fuente: Autor.

La ecuación propuesta por Hottel y Wertz para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor en la parte superior, simplifica el procedimiento indicado anteriormente. Esta ecuación se utiliza para temperaturas de la placa de absorción entre 25 y 225°C, con un margen de error de $\pm 0,3$ [W/m²].

$$U_{sup} = \left[\frac{N_c}{\left(\frac{C}{T_p}\right) \left(\frac{T_p - T_a}{N_c + f}\right)^e} + \frac{1}{h_V} \right]^{-1} + \frac{\sigma(T_p + T_a)(T_p^2 + T_a^2)}{[\varepsilon_p + 0.00591N_c h_V]^{-1} + \frac{(2N_c + f - 1)}{\varepsilon_c} - N_c} \quad (6.23)$$

Donde:

$$h_V = 5.7 + 3.8 V_w$$

$$f = (1 - 0.04h_V + 0.0005h_V^2)(1 + 0.058N_c)$$

$$C = 520(1 - 0.000051\beta^2) \text{ para } 0^\circ < \beta < 70^\circ; \text{ para } 70^\circ < \beta < 90^\circ \text{ usar un valor de } \beta = 70^\circ$$

$$e = 0.43 \left[1 - \frac{100}{T_p} \right]$$

V_w velocidad del viento [m/s].

β ángulo de inclinación del colector.

N_c número de cubiertas.

h_V coefic. de transfer. de calor por convección entre el aire y colector [W/m² K].

T_p temperatura promedio de la placa de absorción [K].

T_a temperatura ambiente [K].

σ constante de Stefan Boltzmann $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ [W/m².K⁴]

ε_c Emisividad de la cubierta de vidrio.

ε_p emisividad de la placa de absorción.

U_{sup} coeficiente de pérdidas de calor en la parte superior [W/m² K].

Solución:

Datos:

$V_w = 3$ m/s \rightarrow Día soleado (velocidad de viento media. Ver Tabla 4.10 y 4.13).

$N_c = 1 \rightarrow$ Cubierta de vidrio.

$\beta = 18^\circ$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ [W/m}^2\text{.K}^4\text{]}$$

$$\varepsilon_c = 0.1 \rightarrow \text{vidrio templado Low-E}$$

$$\varepsilon_p = 0.03 \rightarrow \text{aluminio (Ver Anexo)}$$

$T_p = 70^\circ\text{C} = 343\text{K} \rightarrow$ Asumida, considerando que su valor debe exceder al valor de temperatura promedio del agua en el panel que es de 56.2°C .

$$T_a = 25.3^\circ\text{C} = 298.3\text{K} \rightarrow \text{Día soleado (temperatura media. Ver Tabla 4.4).}$$

Utilizando las ecuaciones complementarias a la (6.23) se obtienen los resultados:

$$h_V = 5.7 + 3.8(3) = 17.1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$f = [1 - 0.04(17.1) + 0.0005(17.1^2)][1 + 0.058(1)] = 0.471$$

$$C = 520 \left[1 - 0.000051 \left(\frac{18^\circ \times \pi}{180^\circ} \right)^2 \right] = 520.00$$

$$e = 0.43 \left[1 - \frac{100}{343} \right] = 0.3046$$

Mediante resolución de la ecuación (6.23) se halla el valor del coeficiente de transferencia de calor en la parte superior, el cual es el siguiente:

$$U_{sup} = 3.781 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Coefficiente de Transferencia de Calor en la Parte Lateral U_l

Las pérdidas de calor a través de los lados del colector se evalúan de manera similar, aplicando la siguiente ecuación:

$$q_{lados} = U_l A_{cs} (T_p - T_a) = \frac{k_a \cdot height \cdot P}{l'} (T_p - T_a) \quad (6.24)$$

$$U_l = \frac{k_a \cdot height \cdot P}{l' \cdot A_{cs}} \quad (6.25)$$

Donde:

P perímetro del colector solar [m].

$height$ altura del colector solar [m].

l' espesor del aislante por los lados [m].

k_a conductividad del aislante lateral [W/m K].

A_{cs} Área del colector solar [m²].

U_l coeficiente de pérdidas de calor en la parte lateral [W/m² K].

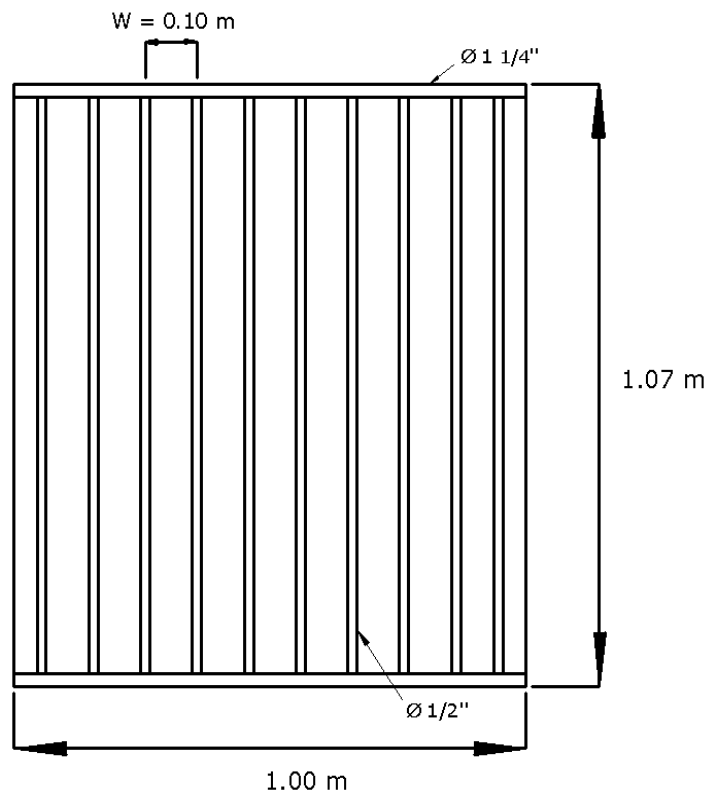


Figura 6.8 Principales dimensiones del panel solar.

Fuente: Autor.

Solución:

Los siguientes datos son parámetros de diseño.

Datos:

$$A_{cs} = 1.07 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 1.07 \text{ m}^2$$

$$P = 2 \times 1.07 \text{ m} + 2 \times 1 \text{ m} = 4.14 \text{ m}$$

$h_{\text{height}} = 0.10 \text{ m} \rightarrow$ profundidad o espesor del panel.

$k_a = 0.038 \text{ W/m K} \rightarrow$ lana de vidrio.

$l' = 0.0254 \text{ m (1 plg)} \rightarrow$ espesor de una capa de lana de vidrio.

En la fórmula (6.25) se reemplazan los valores numéricos y se encuentra el coeficiente de pérdidas de calor en la parte lateral:

$$U_l = \frac{0.038 \times 0.1 \times 4.14}{0.0254 \times 1.07} = 0.579 \frac{W}{m^2 K}$$

Finalmente, la evaluación del *coeficiente total de transferencia de calor* U_L para todo el colector está representada por la sumatoria de los tres coeficientes indicados anteriormente; es decir, inferior, superior y lateral.

$$U_L = U_{fo} + U_{sup} + U_l \quad (6.26)$$

Datos:

$$U_{fo} = 1.496 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

$$U_{sup} = 3.781 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

$$U_l = 0.579 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

De la formula (6.26):

$$U_L = 1.496 + 3.781 + 0.579 = 5.856 \frac{W}{m^2 K}$$

El coeficiente total de transferencia de calor tiene un valor poco significativo con lo que se concluye que si se construye con los datos de diseño el colector estará bien aislado y no permitirá que el calor se libere hacia el exterior con facilidad.

b) Temperatura a lo largo del tubo y Factor de Eficiencia del Colector

$$S = H_T(\tau\alpha) \quad (6.27)$$

Un balance de energía en la placa de absorción muestra que, para un plano perpendicular al flujo, se cumple la siguiente ecuación:

$$E_{ent} - E_{sal} = 0$$

$$(q''\delta) |_{x} - (q''\delta) |_{x+\Delta x} + S\Delta x - U_L(T - T_a)\Delta x = 0 \quad (6.28)$$

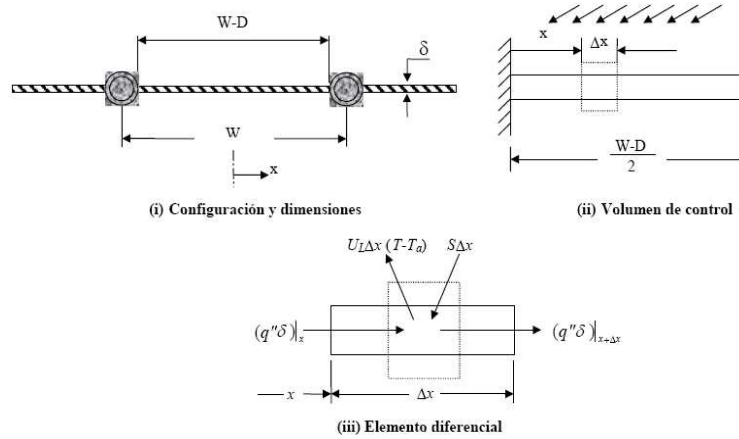


Figura 6.9 Balance de energía en la placa de absorción.

Fuente: pdf *Teoría para el Diseño de Calentadores Solares de Agua*. Sixto Guevara.

Donde:

S irradiación solar incidente sobre la placa de absorción [W/m^2].

Δx elemento del ancho de la placa de absorción.

δ espesor de la placa de absorción [m].

T temperatura del elemento (Δx) [K].

H_T irradiación solar global [W/m^2].

τ Transmisividad de la cubierta de vidrio.

α Absortividad de la cubierta de vidrio.

Dividiendo la ecuación (6.28) entre Δx y haciendo que $\Delta x \rightarrow 0$, se tiene:

$$-\delta \frac{dq''}{dx} + S \frac{dx}{dx} - U_L(T - T_a) \frac{dx}{dx} = 0$$

$$-\delta \frac{dq''}{dx} + S - U_L(T - T_a) = 0 \quad (6.29)$$

Entre la placa de absorción y el tubo se da el fenómeno de transferencia de calor por conducción:

$$q'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (6.30)$$

Donde:

k coeficiente de conductividad térmica de la placa de absorción [$\text{W}/\text{m K}$].

q'' calor por unidad de área que fluye en este caso por conducción de la placa de absorción hacia el tubo [W/m^2].

Derivando la ecuación (6.30) y reemplazando en (6.29)

$$dq'' = d\left(-k \frac{dT}{dx}\right)$$

$$dq'' = -k \frac{d^2T}{dx^2}$$

$$\delta k \frac{d^2T}{dx^2} + S - U_L(T - T_a) = 0$$

$$\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{U_L}{\delta k} (T - T_a) - \frac{S}{\delta k}$$

$$\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{1}{\delta k} [U_L(T - T_a) - S]$$

$$\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{U_L}{\delta k} \left(T - T_a - \frac{S}{U_L}\right) \quad (6.31)$$

Esta ecuación diferencial requiere de dos condiciones de frontera:

a)

$$\frac{dT}{dx} = 0 \quad |_{x=0} \quad (6.32)$$

b) Si la temperatura de la placa en la vecindad del tubo es T_b :

$$T = T_b \quad |_{x=\frac{W-D}{2}} \quad (6.33)$$

Resolviendo la ecuación (6.31) con las condiciones de frontera establecidas se tiene:

$$\frac{T - T_a - S/U_L}{T_b - T_a - S/U_L} = \frac{\cosh(cx)}{\cosh[c(W-D)/2]} \quad (6.34)$$

Definiéndose el parámetro c de la manera siguiente:

$$c^2 = \frac{U_L}{\delta k} \quad (6.35)$$

Donde:

W distancia entre tubos de centro a centro [m].

D diámetro exterior del tubo [m].

$W-D$ distancia entre diámetros exteriores de los tubos [m].

La ecuación (6.34) permite conocer la temperatura T en la placa de absorción a lo largo de x para cualquier posición y a lo largo del flujo. El máximo de temperatura en la placa ocurre entre los dos tubos, para $x = 0$:



Figura 6.10 Distribución de la temperatura en la placa de absorción.

Fuente: pdf *Teoría para el Diseño de Calentadores Solares de Agua*. Sixto Guevara.

Derivando la ecuación (6.34) se halla el dT/dx , con lo cual se obtiene:

$$q'_{cond} = (W - D)[S - U_L(T_b - T_a)] \frac{\tanh c(W-D)/2}{c(W-D)/2} \quad (6.36)$$

De la ecuación (6.29) se deduce el calor por unidad de longitud que fluye por conducción de la placa de absorción hacia uno de los tubos:

$$q'_{cond} = q'' \delta \frac{W-D}{2} - (-q'' \delta) \frac{W-D}{2} = -2k \frac{dT}{dx} \frac{W-D}{2} \quad (6.37)$$

Se define F como la eficiencia geométrica de una superficie plana. Así:

$$F = \frac{\tanh [c(W-D)/2]}{c(W-D)/2} \quad (6.38)$$

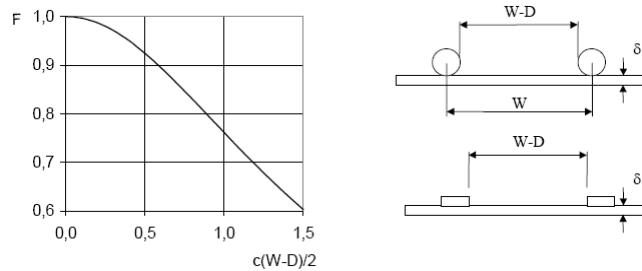


Figura 6.11 Variación de la eficiencia geométrica en función del parámetro $c(W-D)/2$

Fuente: pdf *Teoría para el Diseño de Calentadores Solares de Agua*. Sixto Guevara.

Haciendo uso de la definición para la eficiencia de una superficie plana, la ecuación (6.36) se convierte en:

$$q'_{cond} = (W - D)F[S - U_L(T_b - T_a)] \quad (6.39)$$

Debido a que el tubo recibe radiación solar por la parte superior:

$$q'_{rad} = D[S - U_L(T_b - T_a)] \quad (6.40)$$

Sumando las ecuaciones (6.39) y (6.40) se obtiene:

$$q'_{\acute{u}til} = q'_{cond} + q'_{rad} = [(W - D)F + D][S - U_L(T_b - T_a)] \quad (6.41)$$

Donde:

q'_{cond} calor de conducción por unidad de longitud transferido al agua [W/m].

q'_{rad} calor de radiación por unidad de longitud transferido al agua [W/m].

Este calor de calentamiento por unidad de longitud $q'_{\acute{u}til}$, es transferido al agua. Así, este calor de calentamiento se presenta en términos de la resistencia térmica de convección que presenta la interfase tubo-agua, mediante la siguiente ecuación:

$$q'_{\acute{u}til} = \pi D_i h_f (T_b - T_f) \quad (6.42)$$

$$T_b = \frac{q'_{\acute{u}til}}{\pi D_i h_f} + T_f \quad (6.43)$$

Donde:

T_f temperatura del fluido en cualquier posición [K].

D_i diámetro interior del tubo [m].

h_f coeficiente de transferencia de calor por convección en la interfase tubo-fluido [W/m² K] .

Las ecuaciones (6.41) y (6.42) se combinan para determinar el calor de calentamiento del agua en términos de la temperatura ambiente y de la temperatura del agua. Sustituyendo (6.43) en (6.41) tenemos:

$$q'_{\acute{u}til} = WF'[S - U_L(T_f - T_a)] \quad (6.44)$$

F' se conoce como el factor de eficiencia del colector y esta dado por la relación:

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{W \left\{ \frac{1}{U_L [D + (W-D)F]} + \frac{1}{\pi D_i h_f} \right\}} \quad (6.45)$$

El numerador es la resistencia térmica entre la superficie del colector y el aire ambiente, mientras que el denominador es la resistencia térmica entre el fluido y el ambiente. F' es una función de F , h_f y U_L , además ligeramente de T .

Solución:

Datos:

$k_{pa} = 237$ [W/m K] → aluminio puro.

$U_L = 5.856$ [W/m² K] → previamente resuelto.

$T_a = 25.3^\circ\text{C} = 298.3\text{K}$ → Día soleado (temperatura media. Ver Tabla 4.4).

$H_T = G = 659.7$ [W/m²] → Día soleado (irradiancia media. Ver Tabla 4.1).

$\tau = 0.79$ → vidrio templado (Ver Anexo).

$\alpha = 0.95$ → vidrio templado Low-E.

$W = 0.10$ m → distancia de centro a centro entre tubos.

$D = 0.01588$ m → Diámetro exterior tubería de cobre tipo L diámetro nominal 1/2''

$D_i = 0.01384$ m → Diámetro interior tubería de cobre tipo L diámetro nominal 1/2''

$T_b = 70^\circ\text{C} = 343\text{K}$ → Asumida, considerando que su valor debe exceder al valor de temperatura promedio del agua en el panel que es de 56.2°C .

$T_f = 56.2^\circ\text{C} = 329.2\text{K}$ → determinada anteriormente en función de la densidad promedio.

$\delta = 1\text{mm} = 0.001\text{m}$ → espesor de la placa de aluminio.

De la ecuación (6.27) se tiene:

$$S = 659.7 (0.79 \times 0.95) = 495.1 \frac{W}{m^2}$$

De la (6.35) se halla que:

$$c^2 = \frac{5.8564}{237(0.001)} = 24.71 \frac{1}{m^2}$$

$$c = 4.97 \frac{1}{m}$$

De la (6.38):

$$F = \frac{\tanh [4.97(0.1 - 0.01588)/2]}{4.97(0.1 - 0.01588)/2} = 0.986$$

De la (6.39):

$$q'_{cond} = (0.1 - 0.01588)0.986[495.1 - 5.8564(343 - 298.3)] = 19.35 \frac{W}{m}$$

De la (6.40):

$$q'_{rad} = 0.01588[495.1 - 5.856(343 - 298.3)] = 3.71 \frac{W}{m}$$

De la ecuación (6.42) podemos despejar h_f el coeficiente de transferencia de calor por convección en la interfase tubo-fluido, de la siguiente manera:

$$h_f = \frac{q'_{cal}}{\pi D_i (T_b - T_f)} \quad (6.42.a)$$

$$h_f = \frac{23.06}{\pi \times 0.01384 (343 - 329.2)} = 38.42 \frac{W}{m^2 K}$$

De la ecuación (6.45) la resistencia térmica entre la superficie del colector y el aire ambiente es la siguiente:

$$\frac{1}{U_L} = \frac{1}{5.8564} = 0.1708 \frac{m^2 K}{W}$$

Y la resistencia térmica entre el fluido y el ambiente:

$$\begin{aligned} & W \left\{ \frac{1}{U_L [D + (W - D)F]} + \frac{1}{\pi D_i h_f} \right\} \\ &= 0.1 \left\{ \frac{1}{5.8564 [0.01588 + (0.1 - 0.01588)0.986]} \right. \\ & \left. + \frac{1}{\pi \times 0.01384 \times 38.88} \right\} = 0.2327 \frac{m^2 K}{W} \end{aligned}$$

Finalmente el factor de eficiencia del colector y esta dado por la relación:

$$F' = \frac{0.1708}{0.2299} = 0.734$$

d) Distribución de la Temperatura del Agua a lo largo del Tubo

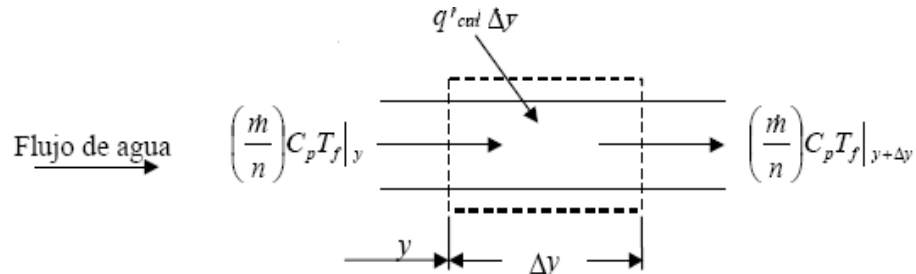


Figura 6.12 Balance de energía en un elemento diferencial de agua dentro del tubo.

Fuente: pdf *Teoría para el Diseño de Calentadores Solares de Agua*. Sixto Guevara.

Un balance de energía en un elemento diferencial de agua dentro del tubo, tal como se muestra en la figura, indica que:

$$\left[\frac{\dot{m}}{n} \right] C_p T_f |_y - \left[\frac{\dot{m}}{n} \right] C_p T_f |_{y+\Delta x} + q'_{cal} \Delta y = 0 \quad (6.46)$$

\dot{m}/n es el flujo de masa de agua por cada tubo, haciendo $\Delta y \rightarrow 0$ se tiene:

$$\dot{m} C_p \frac{dT_f}{dy} - n W F' [S - U_L (T_f - T_a)] = 0 \quad (6.47)$$

Para la ecuación se tiene la siguiente condición de frontera:

$$T_f |_{y=0} = T_{fe}$$

Donde:

\dot{m} flujo de masa de agua en el colector [kg/s].

n número de tubos de la placa de absorción.

C_p capacidad calórica del agua [J/kg].

T_f temperatura del fluido en cualquier posición [K].

T_{fe} temperatura del fluido a la entrada del colector [K].

Resolviendo la ecuación (6.47) con la condición de frontera mencionada:

$$\frac{T_f - T_a - S/U_L}{T_{fe} - T_a - S/U_L} = \exp(-U_L n W F' y / \dot{m} C_p) \quad (6.48)$$

Esta ecuación permite calcular la temperatura del fluido en cualquier posición “y”.

Si los tubos del colector tienen una longitud L, la ecuación (6.48) se convierte en:

$$\frac{T_{fs}-T_a-S/U_L}{T_{fe}-T_a-S/U_L} = \exp(-U_L n W F' L / \dot{m} C_p) \quad (6.49)$$

Siendo T_{fs} la temperatura del fluido a la salida del colector.

$$T_{fs} = [(T_{fe} - T_a - S/U_L) \exp(-U_L n W F' L / \dot{m} C_p)] + T_a + S/U_L \quad (6.50)$$

En la ecuación anterior una importante condición límite es cuando $L \rightarrow \infty$ o bien, $\dot{m} \rightarrow 0$. En estas condiciones:

$$T_{fs,m\acute{a}x} = T_a + S/U_L \quad (6.51)$$

Mediante esta ecuación se determina la temperatura máxima que puede alcanzar un colector plano. Este valor es importante en la selección de los materiales que constituyen un colector. Si bien la eficiencia térmica del colector es igual a cero a esta temperatura, su importancia radica en que en condiciones de estancamiento (o flujo igual a cero), la temperatura que puede alcanzarse en el interior del colector sobrepasaría el límite de operación del aislante, empaques, etc.

Solución:

Datos:

$$T_a = 25.3^\circ\text{C} = 298.3\text{K} \rightarrow \text{Día soleado (temperatura media. Ver Tabla 4.4).}$$

$$U_L = 5.8564 [\text{W}/\text{m}^2 \text{K}] \rightarrow \text{previamente resuelto.}$$

$$S = 495.1 [\text{W}/\text{m}^2] \rightarrow \text{previamente resuelto.}$$

$$T_{fe} = 15^\circ\text{C} = 288 \text{K}$$

$$\dot{m} = 0.0148 \text{ kg/s}$$

$$C_p = 4.18 \text{ kJ}/\text{kg}\cdot\text{K} = 4182 \text{ J}/\text{kg}\cdot\text{K} \rightarrow \rho = 985.5 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$n = 10$$

$$W = 0.1\text{m}$$

$$L = 0.99\text{m}$$

$F' = 0.734 \rightarrow$ previamente resuelto.

La ecuación (6.50) permite conocer cual será la temperatura de salida del agua cuando la temperatura de entrada sea 15°C :

$$\frac{S}{U_L} = \frac{495.1}{5.8564} = 84.54 \text{ K}$$

$$T_{fs} = \left[(288 - 298.3 - 84.54) \exp\left(\frac{-5.8564 \times 10 \times 0.1 \times 0.734 \times 0.99}{0.0148 \times 4182}\right) \right] + 298.3 + 84.54$$

$$T_{fs} = 294.29 \text{ K} = 21.3^\circ\text{C}$$

La temperatura de salida inicial del fluido será de 21.4°C cuando la temperatura de entrada sea de 15°C . Posteriormente el fluido a la entrada aumenta su temperatura y a la salida también se tendrá un importante incremento.

Ahora se puede determinar que pasará cuando la temperatura de entrada sea, por ejemplo, la temperatura media determinada anteriormente de 56.2°C y los demás parámetros no cambien (en realidad únicamente varían ligeramente el C_p y el F'), pero se puede despreciar su variación; empleando la misma ecuación se tiene:

$$T_{fs} = \left[(329.2 - 298.3 - 84.54) \exp\left(\frac{-5.856 \times 10 \times 0.1 \times 0.734 \times 0.99}{0.0148 \times 4182}\right) \right] + 298.3 + 84.54$$

$$T_{fs} = 332.76 \text{ K} = 59.8^\circ\text{C}$$

El resultado indica que *conforme se eleve la temperatura de entrada del agua al panel se reducirá el gradiente o diferencia de temperatura del fluido entre la salida y entrada del mismo*. Así, ocurre que en un momento el gradiente será cero.

La ecuación (6.51) permite conocer la temperatura máxima que puede alcanzar el colector plano, para las presentes condiciones se tiene:

$$T_{fs,m\acute{a}x} = 298.3 + 84.54 = 382.84 \text{ K} = 109.8^\circ\text{C}$$

e) Factor de Remoción del Calor

Conociendo la distribución de la temperatura en el fluido, se define el factor

de remoción de calor F_R como el parámetro que relaciona el calor de calentamiento que se obtiene efectivamente en el colector, con el que se obtendría si toda la superficie del colector se encontrara a la temperatura del fluido a la entrada T_{fe} .

$$F_R = \frac{\dot{m}C_p(T_{fs}-T_{fe})}{A_e[S-U_L(T_{fe}-T_a)]} \quad (6.52)$$

El área efectiva del colector A_e se define como el área de la placa de absorción expuesta a la radiación solar, por lo tanto tiene la siguiente ecuación:

$$A_e = W n L \quad (6.53)$$

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p}{A_e U_L} \left[1 - \frac{S/U_L - (T_{fs} - T_a)}{S/U_L - (T_{fe} - T_a)} \right] \quad (6.54)$$

Sustituyendo la ecuación (6.49) en la (6.54) se obtiene:

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p}{A_e U_L} \left[1 - \exp \left(-U_L F' A_e / \dot{m} C_p \right) \right] \quad (6.55)$$

En consecuencia, el calor útil transferido al agua en términos del factor de remoción de calor es como sigue:

$$q_{\text{útil}} = A_e F_R [S - U_L(T_{fe} - T_a)] \quad (6.56)$$

Solución:

Datos:

Para hallar el área efectiva consideramos la ecuación (6.53), para el factor de remoción del calor la ecuación (6.55) y para el calor útil la (6.56), los datos siguientes:

$$\dot{m} = 0.0148 \text{ kg/s}$$

$$C_p = 4.18 \text{ kJ/kg.K} = 4182 \text{ J/kg.K} \rightarrow \rho = 985.5 \text{ kg/m}^3$$

$$n = 10$$

$$W = 0.1\text{m}$$

$$L = 0.99\text{m}$$

$U_L = 5.856 \text{ [W/m}^2 \text{ K]} \rightarrow$ previamente resuelto.

$F' = 0.734 \rightarrow$ previamente resuelto.

$S = 495.1 \text{ [W/m}^2 \text{]} \rightarrow$ previamente resuelto.

$T_a = 25.3^\circ\text{C} = 298.3\text{K} \rightarrow$ Día soleado (temperatura media. Ver Tabla 4.4).

$T_{fe} = 15^\circ\text{C} = 288 \text{ K}$

$$A_e = 0.1 \times 10 \times 0.99 = 0.99\text{m}^2$$

$$F_R = \frac{0.0148 \times 4182}{0.99 \times 5.8564} \left[1 - \exp\left(-\frac{5.8564 \times 0.734 \times 0.99}{0.0148 \times 4182}\right) \right] = 0.709$$

$$q_{\text{útil}} = 0.99 \times 0.709 [495.1 - 5.8564(288 - 298.3)] = 389.9 \text{ W}$$

De la ecuación (6.16) se puede hallar el calor disipado desde el colector hacia el ambiente q_{pcs} :

$$q_{pcs} = H_T A_e - q_{\text{útil}} \quad (6.57)$$

Datos:

$H_T = G = 659.7 \text{ [W/m}^2 \text{]} \rightarrow$ Día soleado (irradiancia media. Ver Pág.46).

$A_e = 0.99 \text{ m}^2$

$q_{\text{útil}} = 389.9 \text{ W}$

$$q_{pcs} = (659.7)(0.99) - 389.9 = 263.2\text{W}$$

La eficiencia del calentador η_c es el porcentaje de la irradiación solar global incidente sobre la superficie efectiva del colector y que es aprovechado como calor útil:

$$\eta_C = \frac{q_{\text{útil}}}{H_T A_e} = \frac{q''_{\text{útil}}}{H_T} \quad (6.58)$$

La eficiencia se puede determinar en un intervalo finito de tiempo; para diseño el período de evaluación t puede ser de un día o más. Así, los valores puntuales obtenidos durante el periodo de evaluación son integrados mediante la ecuación:

$$\eta_C = \frac{\int_0^t q_{\text{útil}} dt}{\int_0^t H_T A_e dt} \quad (6.59)$$

Solución:

Datos:

$H_T = G = 659.7 \text{ [W/m}^2\text{]} \rightarrow$ Día soleado (irradiancia media. Ver Tabla 4.1).

$A_e = 0.99 \text{ m}^2$

$q_{\text{útil}} = 228.3 \text{ W}$

Aplicando la ecuación (6.58) se puede determinar la eficiencia del colector:

$$\eta_c = \frac{q_{\text{útil}}}{H_T A_e} = \frac{389.9}{659.7 * 0.99} = 0.597 = 59.7\%$$

$$\eta_g = \frac{q_{\text{útil}}}{H_T A_{cs}} = \frac{389.9}{659.7 * 1.07} = 0.552 = 55.2\%$$

El primer valor está determinado a partir del área efectiva del colector y el segundo con el área bruta, los resultados son normales para colectores solares planos.

Nota: Para el *diseño* no se consideró la posición de incidencia de la irradiación solar y su variación porque su determinación es muy compleja, se estima que su influencia no es demasiado determinante para cuestiones de *diseño*. Sin embargo en la determinación de la eficiencia real si se tomó en consideración este aspecto.

6.6.1.3 ALMACENAMIENTO DE LA ENERGÍA

Se debe partir considerando dos aspectos fundamentales que condicionan el diseño, a saber:

- Recurso energético disponible (cantidad de radiación solar incidente).
- Necesidad o demanda energética (necesidad de agua caliente).

Del análisis efectuado se concluyó que en la ciudad de Ambato se dispone de una irradiación solar superior a $400 \text{ [W/m}^2\text{]}$ dos de cada tres días a la hora de mayor incidencia (entre las 10:00 y las 14:00). Así mismo que el promedio de Irradiancia en un medio día *soleado* fue de $659.7 \text{ [W/m}^2\text{]}$ y de $505 \text{ [W/m}^2\text{]}$ en *parcial nublado* y que el record alcanzado fue de $880 \text{ [W/m}^2\text{]}$.

En referencia a la aplicación que tendrá el sistema propuesto se requiere tomar en consideración lo siguiente:

Consumo y temperatura de agua caliente, el volumen de agua caliente que el sistema debe suministrar diariamente para el consumo, puede tomarse como regla que en promedio *por persona se requieren de 40 a 50 litros de agua a una temperatura entre 40 y 50°C por día* para uso doméstico y de 22 a 30°C para climatización de piscinas (norma INEN confrontado con otras fuentes).

El colector diseñado tiene la finalidad de servir como una herramienta de ensayo de laboratorio y no está destinado a satisfacer las necesidades sanitarias de una familia específica, por esta razón se puede estimar el *volumen del tanque de almacenamiento* (carga diaria promedio) basándose en el siguiente criterio:

La *capacidad de almacenamiento térmico* CAT depende específicamente de las capacidades caloríficas del material utilizado y de los cambios de temperatura que suceden en el mismo. El agua es un medio ideal de almacenamiento porque tiene una gran capacidad calorífica y por lo tanto una muy buena CAT.

Considerando que la CAT del agua puede ser de 300 KJ/°C-m² de área de colección, se puede conocer cual debe ser el volumen del tanque de almacenamiento por m² de área del colector con la siguiente relación:

$$R. Vol. = \frac{CAT}{\rho \cdot C_p} \quad (6.60)$$

Donde:

CAT Capacidad de almacenamiento térmico [KJ/°C-m²].

ρ densidad del fluido en el depósito [kg/m³].

C_p calor específico del fluido [J/kg.°C].

Solución:

Datos:

Se considera la mayor temperatura del agua a esperar en el depósito, puesto que para esa condición la densidad y calor específico serán menores y la relación de volumen mayor. Entonces se tiene:

$T = 45^\circ\text{C} \rightarrow$ Temperatura máxima deseable en el depósito.

$$\rho = 990 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 4.18 \text{ [kJ/kg}\cdot\text{°C]}$$

$$CAT = 300 \text{ [kJ/°C}\cdot\text{m}^2]$$

De la ecuación (6.60) se obtiene la relación de volumen del tanque por área del colector:

$$R. Vol. = \frac{CAT}{990 \times 4.18} = \frac{300 \frac{\text{kJ}}{\text{°C}\cdot\text{m}^2}}{4138.2 \frac{\text{kJ}}{\text{°C}\cdot\text{m}^3}} = 0.0725 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} = 72.5 \frac{\text{lt}}{\text{m}^2}$$

El colector diseñado tiene un área bruta de 1.07 m^2 y a partir de ese dato se establece el requerimiento volumétrico del depósito:

$$V_{req} = 72.5 \frac{\text{lt}}{\text{m}^2} \times 1.07 \text{ m}^2 = 77.6 \text{ lt}$$

El volumen de diseño puede ser un poco mayor tomando en consideración que los 78 lt no podrían satisfacer las necesidades de consumo ni siquiera de dos personas, si se tiene en cuenta que el consumo oscila entre 40 y 50 lt/día por persona. Bajo este criterio se requieren mínimo 100 lt/día para dos personas, además es adecuado incrementar ligeramente este valor para no trabajar con el depósito completamente lleno. Evidentemente que todo esto implica que la temperatura a alcanzar decrezca, pero no se debe olvidar que el rango idóneo tiene como límite inferior de temperatura los 40°C .

Es así que el tanque diseñado tiene un *volumen de 118 lt*.

La energía solar es dependiente del tiempo y en muchas ocasiones no coincide la necesidad con la disponibilidad. Generalmente la energía es más requerida cuando no existe irradiación solar (de noche). Este hecho hace que sea imperioso el tener que almacenar la energía captada. Una manera de conocer los cambios de temperatura dentro del depósito de almacenamiento se hace mediante un balance de energía del mismo, de la ecuación (6.17) se puede despejar q_{da} que es el calor entregado al agua en el depósito de almacenamiento (calor sensible a almacenarse en el depósito):

$$q_{da} = q_{\acute{u}til} - q_{pda} - q_{pcx} \quad (6.61)$$

Además se debe añadir las pérdidas por consumo (carga o demanda de energía) q_{cons} con lo que la ecuación (6.61) se expresa de la siguiente forma:

$$q_{da} = q_{\acute{u}til} - q_{cons} - q_{pda} - q_{pcx} \quad (6.62)$$

En la ecuación (6.62) se puede expresar separadamente los cambios energéticos que suceden previo al ingreso del fluido al depósito de almacenamiento de aquellos que ocurren en él. Es decir se presenta una igualdad de la forma:

$$q_{da} = (q_{\acute{u}til} - q_{pcx}) - q_{cons} - q_{pda} \quad (6.63)$$

Donde:

q_{da} calor neto entregado al agua en el depósito de almacenamiento [W].

$q_{\acute{u}til}$ calor de calentamiento del agua en el colector o panel [W].

q_{pcx} pérdidas de calor en la conexión de tubería [W].

$(q_{\acute{u}til} - q_{pcx})$ calor de entrada al depósito de almacenamiento desde el panel [W].

q_{pda} pérdidas de calor en el depósito de almacenamiento [W].

Desarrollando la expresión de las pérdidas de calor en la conexión q_{pcx} se tiene:

$$q_{pcx} = U_{cx} A_{cx} (T_{cx} - T_a) \quad (6.64)$$

Donde:

U_{cx} coeficiente global de pérdidas de calor en la conexión de tubería [W/m² K].

A_{cx} área externa de las conexiones de tubería [m²].

T_{cx} temperatura promedio del fluido dentro de las conexiones de tubería [°C].

T_a temperatura ambiente [°C].

La energía almacenada es igual al cambio de energía interna ΔU que sufre el material (agua) al cambiar su temperatura y viene a ser igual al calor sensible, es decir, al calor entregado al agua en el depósito de almacenamiento q_{da} , que se define como se indica:

$$\Delta U = q_{da} = \dot{m} C_p \Delta T \quad (6.65)$$

Para conocer el cambio de temperatura con respecto al tiempo la ecuación anterior se puede expresar también como:

$$q_{da} = m C_p \frac{dT}{dt} = (q_{\text{útil}} - q_{pcx}) - q_{cons} - q_{pda} \quad (6.66)$$

Como la ecuación anterior es función del tiempo se puede calcular por diferencias finitas después de transcurrido un intervalo de tiempo Δt . Así conociendo la temperatura inicial hallamos la temperatura final en el depósito para dicho lapso:

$$T_{da_f} = T_{da_o} + \frac{\Delta t}{m C_p} [(q_{\text{útil}} - q_{pcx}) - q_{cons} - q_{pda}] \quad (6.67)$$

Donde:

T_{da_f} temperatura del agua en el depósito al final del intervalo de tiempo [°C].

T_{da_o} temperatura inicial del agua en el depósito [°C].

Δt intervalo de tiempo [s].

m masa de agua contenida en el depósito [kg].

C_p calor específico del agua [J/kg.°C].

Desarrollando la expresión de las pérdidas en el depósito q_{pda} la igualdad es así:

$$T_{da_f} = T_{da_o} + \frac{\Delta t}{m C_p} [(q_{\text{útil}} - q_{pcx}) - q_{cons} - U_{da} A_{da} (T_{da} - T_a)] \quad (6.68)$$

Donde:

U_{da} coeficiente global de pérdidas de calor en el depósito [W/m² K].

A_{da} área externa del depósito de almacenamiento m².

T_{da} temperatura promedio del fluido dentro del depósito [°C].

T_a temperatura ambiente [°C].

Solución:

Los datos para calcular las áreas son parámetros de diseño.

Datos:

$T_a = 25.3^\circ\text{C} = 298.3\text{K} \rightarrow$ Día soleado (temperatura media. Ver Tabla 4.4).

$T_{cx} = 59.8^{\circ}\text{C} \rightarrow$ temperatura media de salida del fluido desde el panel (pag.113).

$$A_{cx} = \text{largo} \times \text{ancho} = L \times \pi D = (0.81\text{m}) \pi (0.0215\text{ m}) = 0.0547\text{m}^2$$

$T_{da} = 30^{\circ}\text{C} \rightarrow$ temperatura media en el depósito.

$$A_{da} = \text{largo} \times \text{ancho} = L \times \pi D = (1.011\text{m}) \pi (0.459\text{ m}) = 1.4578\text{ m}^2$$

$q_{\text{útil}} = 389.9\text{ W} \rightarrow$ (pag.115)

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

$$m = \rho V = (996\text{ kg/m}^3)(0.118\text{m}^3) = 117.5\text{ kg}$$

$T_{da0} = 15^{\circ}\text{C} \rightarrow$ temperatura mínima a esperar en el depósito (igual a la T inicial).

La ecuación (6.64) permite conocer las pérdidas de calor en la conexión, reemplazando los datos se tiene:

$$q_{pcx} = U_{cx} (0.0547)(332.8 - 298.3) = U_{cx} (1.89\text{ m}^2\text{K}) \quad (6.69)$$

Considerando que el área externa de la conexión de tubería a la salida del fluido caliente es pequeña y que la conductividad térmica del polipropileno (material de las conexiones) es 0.22 W/m K , que corresponde a un valor de un *aislante* se puede despreciar las pérdidas en la conexión de tubería del panel-tanque $q_{pcx} \approx 0$.

Las pérdidas en el depósito son las siguientes:

$$q_{pda} = U_{da} A_{da}(T_{da} - T_a) = U_{da} A_{da}(303 - 298.3)\text{K} \quad (6.70)$$

Para hallar el valor del coeficiente global de pérdidas de calor en el depósito U_{da} se requiere examinar el circuito térmico del depósito en forma minuciosa, como sigue:

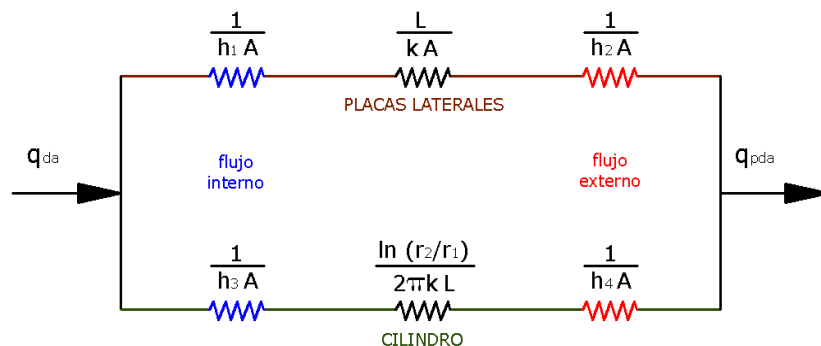


Figura 6.13 Circuito térmico para determinar las pérdidas en el depósito.

Fuente: Autor.

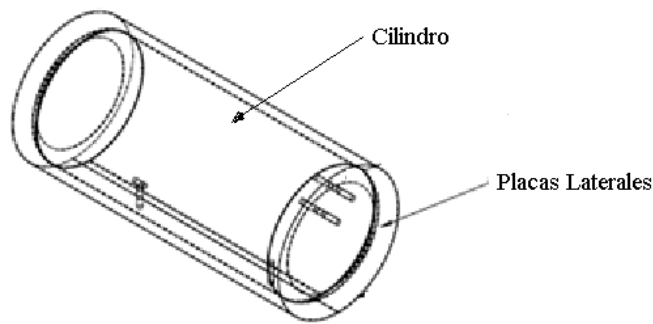


Figura 6.14 Depósito de almacenamiento.

Fuente: Autor.

$$R_{PL} = \frac{1}{h_1 A} + \frac{L}{k A} + \frac{1}{h_2 A} \quad (6.71)$$

$$R_C = \frac{1}{h_3 A} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2 \pi k L} + \frac{1}{h_4 A} \quad (6.72)$$

$$U_{da} A_{da} = \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_{PL}} + \frac{1}{R_C} \quad (6.73)$$

Suposiciones:

La transferencia de calor desde el depósito hacia el exterior se presenta por *convección natural*.

Se desprecian las pérdidas por radiación puesto que el aislante minimiza ostensiblemente su efecto.

En todos los casos se supone condiciones completamente desarrolladas.

El análisis es en estado estable y considerando que no exista consumo doméstico, es decir en circuito cerrado.

Flujo Interno:

– En el Cilindro:

Fluido **Agua**.

$D = 0.406 \text{ m}$ → diámetro del cilindro interior.

$L = 0.956 \text{ m}$ → longitud del cilindro interior.

$\dot{m} = 0.0148 \text{ kg/s}$ → flujo másico en el panel.

$\mu = 5.94 \times 10^{-4} \text{ [N s/m}^2\text{]} \rightarrow$ viscosidad dinámica a la temper. máxima del agua.

$T = 45^\circ\text{C} = 318 \text{ K} \rightarrow$ temperatura máxima a esperar en el depósito.

$Pr = 3.56 \geq 0.6 \rightarrow$ ver anexo

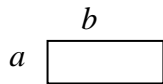
$k = 0.643 \text{ [W/m K]} \rightarrow$ ver anexo

$$Re = \frac{4 \dot{m}}{\pi D \mu} = \frac{4(0.0148)}{\pi (0.406)(5.94 \times 10^{-4})} = 78.27 \rightarrow \text{flujo laminar.}$$

$$Nu = \frac{h D}{k} = 4.36 \rightarrow \text{ver anexo}$$

$$h_3 = \frac{Nu k}{D} = \frac{4.36 (0.643)}{0.406} = 6.91 \frac{W}{m^2 K}$$

– En las Placas laterales:



$$b = \pi D = \pi (0.406\text{m}) = 1.275 \text{ m}$$

$$a = L = 0.956 \text{ m}$$

$$\frac{b}{a} = \frac{1.275}{0.956} = 1.33 \approx 1.43 \quad \therefore Nu = \frac{h D_h}{k} = 3.73 \rightarrow \text{ver anexo}$$

$$D_h = 2 \frac{2 A}{P} = 2 \frac{2 a b}{2a + 2b} = 2 \frac{2(0.956)(1.275)}{2(0.956) + 2(1.275)} = 1.093 \text{ m}$$

$$h_1 = \frac{Nu k}{D_h} = \frac{3.73 (0.643)}{1.093} = 2.19 \frac{W}{m^2 K}$$

Flujo Externo:

– En el Cilindro:

Fluido **Aire**.

$D = 0.459 \text{ m} \rightarrow$ diámetro del cilindro exterior.

$L = 1.011 \text{ m} \rightarrow$ longitud del cilindro exterior.

$V_w = 3 \text{ m/s} \rightarrow$ velocidad de viento media. (Ver Tabla 4.10 y 4.13).

$P = 1 \text{ atm.} \rightarrow$ condiciones aproximadamente estándar.

$T = 25.3^\circ\text{C} = 398.3 \text{ K} \rightarrow$ Día soleado (temperatura media. Ver Tabla 4.4).

$\nu = 1.574 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \rightarrow$ viscosidad cinemática a la temperatura indicada.

$k = 0.02616$ [W/m K] → ver anexo

$Pr = 0.707$ → ver anexo

$$Re = \frac{V_w D}{\nu} = \frac{3(0.459)}{1.574 \times 10^{-5}} = 87484.12 \rightarrow \text{flujo turbulento.}$$

$Re Pr > 0.2$

Relación de Churchill (ver anexo):

$$\begin{aligned} \overline{Nu} &= 0.3 + \frac{0.62 Re^{1/2} Pr^{1/3}}{\left[1 + \left(\frac{0.4}{Pr}\right)^{2/3}\right]^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{Re}{282000}\right)^{5/8}\right]^{4/5} \\ \overline{Nu} &= 0.3 + \frac{0.62 (87484.12)^{1/2} (0.707)^{1/3}}{\left[1 + \left(\frac{0.4}{0.707}\right)^{2/3}\right]^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{87484.12}{282000}\right)^{5/8}\right]^{4/5} = 196.65 \\ h_4 &= \frac{\overline{Nu} k}{D} = \frac{196.65 (0.02616)}{0.459} = 11.21 \frac{W}{m^2 K} \end{aligned}$$

– En las Placas laterales:

$L = D = 0.459$ m

$$Re = \frac{V_w L}{\nu} = \frac{3(0.459)}{1.574 \times 10^{-5}} = 87484.12 \rightarrow \text{flujo turbulento}$$

$Re \leq 10^8, 0.6 \leq Pr \leq 60$

$$Nu = 0.0296 Re^{4/5} Pr^{1/3} \rightarrow \text{flujo turbulento.}$$

$$Nu = 0.0296 (87484.12)^{4/5} (0.707)^{1/3} = 236.94$$

$$h_2 = \frac{Nu k}{L} = \frac{236.94 (0.02616)}{2 (0.459)} = 6.75 \frac{W}{m^2 K}$$

Para el cálculo de las resistencias, L es el espesor del aislante de lana de vidrio, que es de 2.54 cm (1 plg. Disponibilidad en el mercado) y k la conductividad del mismo ($k_a = 0.038$ W/m K). D_2 es el diámetro mayor y D_1 el menor. De las ecuaciones (6.71) y (6.72) tenemos:

$$R_{PL} = \frac{1}{h_1 A} + \frac{L}{k A} + \frac{1}{h_2 A}$$

$$= \frac{1}{2.19 \left(\frac{2\pi \times 0.406^2}{4} \right)} + \frac{0.0254}{0.038 \left(\frac{2\pi \times 0.459^2}{4} \right)} + \frac{1}{6.75 \left(\frac{2\pi \times 0.459^2}{4} \right)}$$

$$R_{PL} = \frac{1}{0.567} + \frac{0.0254}{0.0126} + \frac{1}{2.234} = 4.23 \frac{K}{W}$$

$$R_C = \frac{1}{h_3 A} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2 \pi k L} + \frac{1}{h_4 A}$$

$$= \frac{1}{6.91 (\pi \times 0.406 \times 0.956)} + \frac{\ln(D_2/D_1)}{2 \pi (0.038)(0.0254)}$$

$$+ \frac{1}{11.21(\pi \times 0.459 \times 1.011)}$$

$$R_C = \frac{1}{8.426} + \frac{\ln(0.459/0.406)}{0.00606} + \frac{1}{16.343} = 20.42 \frac{K}{W}$$

Reemplazando en la (6.73):

$$U_{da} A_{da} = \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{4.23} + \frac{1}{20.42} = 0.285 \frac{W}{K}$$

Reemplazando en la ecuación (6.70):

$$q_{pda} = U_{da} A_{da} (T_{da} - T_a) = \frac{1}{R_{eq}} (303 - 298.3)K = 0.285 \frac{W}{K} (4.7)K$$

$$q_{pda} = 1.34 W$$

Las pérdidas en el depósito son mínimas. Ahora volviendo a la ecuación (6.67) tenemos:

$$T_{da_f} = T_{da_o} + \frac{\Delta t}{m C_p} [(q_{útil} - q_{pcx}) - q_{cons} - q_{pda}]$$

Solución:

Datos:

$$q_{útil} = 389.9 W \rightarrow (\text{pag.115})$$

$q_{pcx} = 0 \text{ W} \rightarrow$ las pérdidas son despreciables.

$q_{pda} = 2.05 \text{ W}$

$q_{cons} = 0 \text{ W} \rightarrow$ en el análisis se requiere circuito cerrado, no debe existir consumo.

$T_{dao} = 15^\circ\text{C} \rightarrow$ temperatura mínima a esperar en el depósito (igual a la T inicial).

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

$m = \rho V = (996 \text{ kg/m}^3)(0.100\text{m}^3) = 99.6 \text{ kg} \rightarrow$ suponiendo que se encuentra en su capacidad nominal de 100 lt (el volumen máximo es de 118 lt).

$$T_{da_f} = 15 + \frac{\Delta t}{99.6 (4180)} [(389.9 - 0) - 0 - 1.34]$$

$$T_{da_f}(t) = 15^\circ\text{C} + \frac{\Delta t}{1071.46} \left[\frac{^\circ\text{C}}{\text{s}} \right]$$

Tabla 6.5 Temperaturas a alcanzar en el depósito en función del tiempo de exposición.

Fuente: Autor.

Tiempo Δt [s]	Tiempo [h]	Temperatura T_{da_f} [$^\circ\text{C}$]
1800	0.5	16.7
3600	1	18.4
5400	1.5	20.0
7200	2	21.7
9000	2.5	23.4
10800	3	25.1
12600	3.5	26.8
14400	4	28.4
16200	4.5	30.1
18000	5	31.8
19800	5.5	33.5
21600	6	35.2
23400	6.5	36.8
25200	7	38.5
27000	7.5	40.2
28800	8	41.9
30600	8.5	43.6
32400	9	45.2

El pico se alcanzaría a las nueve horas de exposición, no es posible tener más de nueve horas de exposición a la irradiación solar, por consiguiente se concluye que la temperatura máxima a alcanzar bordea los 45°C en caso de contar con un día plenamente soleado.

6.6.1.4 DISEÑO DE LA BASE PARA EL PANEL

a) Peso del Colector o Panel Solar.

Para realizar un diseño satisfactorio de la base de soporte del panel se tiene que considerar el peso del mismo y el peso del fluido que circula dentro, entonces, se diseña para la máxima capacidad o volumen de agua admisible en el panel.

- Masa del panel armado: 28.8 kg.
- Masa máxima del fluido de transferencia (agua): la masa se puede determinar conociendo la densidad y el volumen del cuerpo o sustancia de interés, la fórmula está definida de la siguiente manera:

$$m = \rho V \quad (6.74)$$

La densidad es mayor conforme más baja sea la temperatura del fluido y por ello se puede tomar como densidad del agua aquella que corresponde a una temperatura de unos 15°C (la más baja que se puede presentar dentro del panel):

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3 \rightarrow 15^\circ\text{C}$$

Para encontrar el volumen máximo (panel lleno con agua) se considera el volumen dentro de los 10 tubos colectores y 2 tubos laterales, como sigue:

$$V = A_t \cdot L = \frac{\pi D_i^2}{4} L \quad (6.75)$$

Solución:

Datos:

$D_i = 0.01384\text{m} \rightarrow$ tubos colectores.

$D_i = 0.03162\text{m} \rightarrow$ tubos colectores.

$L = 0.99\text{m} \rightarrow$ tubos colectores.

$L = 1\text{m} \rightarrow$ tubos laterales.

Para cada tubo colector el volumen es:

$$V = \frac{\pi \times (0.01384)^2}{4} (0.99) = 1.504 \times 10^{-4} \text{m}^3$$

Para los diez tubos se tiene:

$$V = 10 \times 1.504 \times 10^{-4} = 1.504 \times 10^{-3} \text{m}^3$$

Para cada tubo lateral el volumen es:

$$V = \frac{\pi \times (0.03162)^2}{4} (1) = 7.853 \times 10^{-4} \text{m}^3$$

Para los dos tubos se tiene:

$$V = 2 \times 7.853 \times 10^{-4} = 1.571 \times 10^{-3} \text{m}^3$$

El volumen total será el resultado de la suma de los dos volúmenes obtenidos:

$$V = 1.504 \times 10^{-3} + 1.571 \times 10^{-3} = 3.074 \times 10^{-3} \text{m}^3 = 0.00307 \text{m}^3$$

De la ecuación (6.60) la masa del líquido es:

$$m = 1000 \times 0.00307 = 3.07 \text{kg}$$

– La masa del panel lleno con agua a la temperatura más baja es:

$$m = 28.8 + 3.07 = 31.87 \text{kg}$$

Expresando el peso en unidades del SI se obtiene:

$$W_p = 31.87 \text{kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 312.33 \text{N}$$

b) Análisis Estático o de Equilibrio en la Base del Panel.

Para conocer las cargas, fuerzas y/o reacciones inherentes al estudio estático de la base del panel se requieren considerar los siguientes datos:

$W_p = 312.33\text{N}$. Este peso total del panel se puede distribuir en dos partes iguales para cada viga diagonal de la estructura (ver fig.6.15), por consiguiente el peso a considerar será la mitad.

$$W_p = \frac{312.33}{2} = 156.17\text{ N}$$

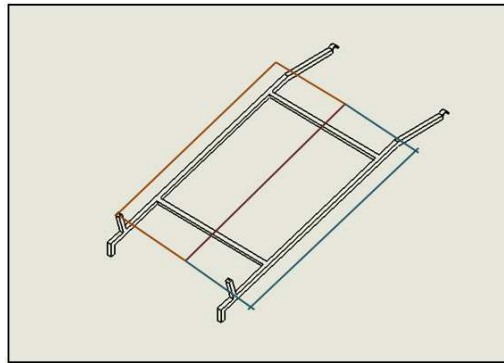


Fig. 6.15 Esquema ilustrativo de la distribución del peso del panel para cada viga lateral.

Fuente: Autor.

Los extremos superior e inferior de las vigas de la estructura van articulados.

Solución:

El perfil elegido para la base del panel es un tubo estructural cuadrado galvanizado ASTM A 500 de $\frac{3}{4}$ "', espesor de 1.5mm.

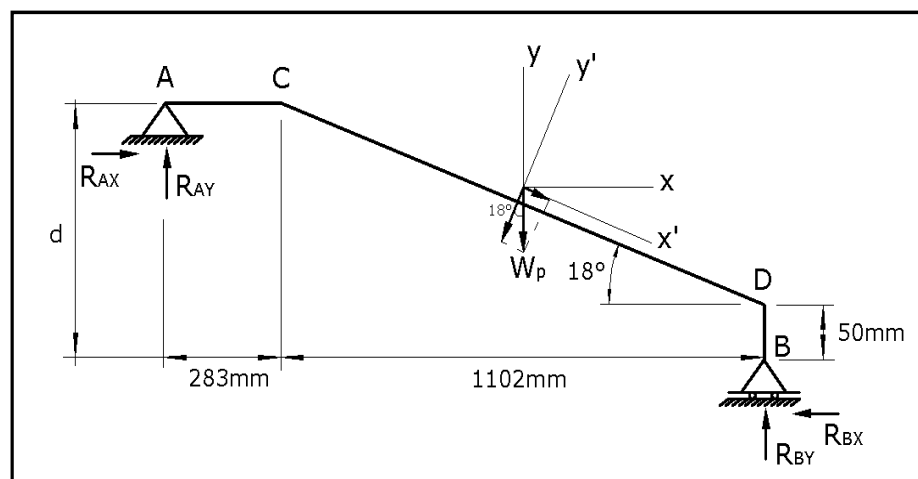


Figura 6.16 Diagrama de cuerpo libre de cada viga lateral.

Fuente: Autor.

$$d - 50 = 1102 \operatorname{tg} 18^\circ = 358.06 \text{mm}$$

$$d = 358.06 + 50 = 408.06 \text{mm}$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow +$$

$$R_{Ax} - R_{Bx} + W_{Px} = 0$$

$$R_{Ax} - R_{Bx} - 0 = 0$$

$$R_{Ax} = R_{Bx} \quad 1)$$

$$\sum F_y = 0 \uparrow +$$

$$R_{Ay} + R_{By} - W_P = 0$$

$$R_{Ay} + R_{By} - 156.17 \text{N} = 0$$

$$R_{Ay} + R_{By} = 156.17 \text{N} \quad 2)$$

$$\sum M_A = 0 \quad \curvearrowright +$$

$$-W_P \left(283 + \frac{1102}{2} \right) \text{mm} - R_{Bx}(408.06) \text{mm} + R_{By}(283 + 1102) \text{mm} = 0$$

$$-156.17 \text{N}(834) \text{mm} - R_{Bx}(408.06) \text{mm} + R_{By}(1385) \text{mm} = 0$$

$$R_{By}(1.385) \text{m} - R_{Bx}(0.408) \text{m} = 130.25 \text{N} \cdot \text{m}$$

$$(1.385)R_{By} - (0.408)R_{Bx} = 130.25 \text{N} \quad 3)$$

Se requiere emplear una ecuación adicional aparte de las ecuaciones de equilibrio y por eso se recurre a relacionar la fuerza de rozamiento con el coeficiente de rozamiento estático y con la normal en el punto B en contacto con el piso.

$$F_r = \mu_s N \quad (6.76)$$

Se debe conocer el coeficiente de rozamiento estático del acero (base del panel) sobre concreto o asfalto (piso donde va el colector). No se dispone de información exacta pero se puede estimar su valor en base a la siguiente información:

El coeficiente de rozamiento cinemático entre el acero y el concreto es 0.45, el coeficiente de rozamiento estático del acero sobre acero es 0.74. Es obvio que el coeficiente de rozamiento estático es mayor que el cinético por ello se puede estimar el coeficiente estático del acero sobre concreto en 0.80, considerando que si el valor se sobre dimensiona se incrementará el factor de seguridad.

Para las condiciones del punto B, de la ecuación (6.76) se tiene:

$$R_{Bx} = 0.8 R_{By} \quad 4)$$

Por consiguiente, el sistema a resolver es el siguiente:

$$\left. \begin{array}{l} R_{Ax} = R_{Bx} \quad 1) \\ R_{Ay} + R_{By} = 156.17N \quad 2) \\ (1.385)R_{By} - (0.408)R_{Bx} = 130.25N \quad 3) \\ R_{Bx} = 0.8 R_{By} \quad 4) \end{array} \right\}$$

Resultados:

$$R_{Ax} = 98.43 \text{ N}, R_{Ay} = 33.13 \text{ N}, R_{Bx} = 98.43 \text{ N y } R_{By} = 123.04 \text{ N}$$

c) Flexión y Fuerza Axial.

Flexión

Únicamente el tramo CD está sometido a flexión, porque soporta directamente el peso del panel.

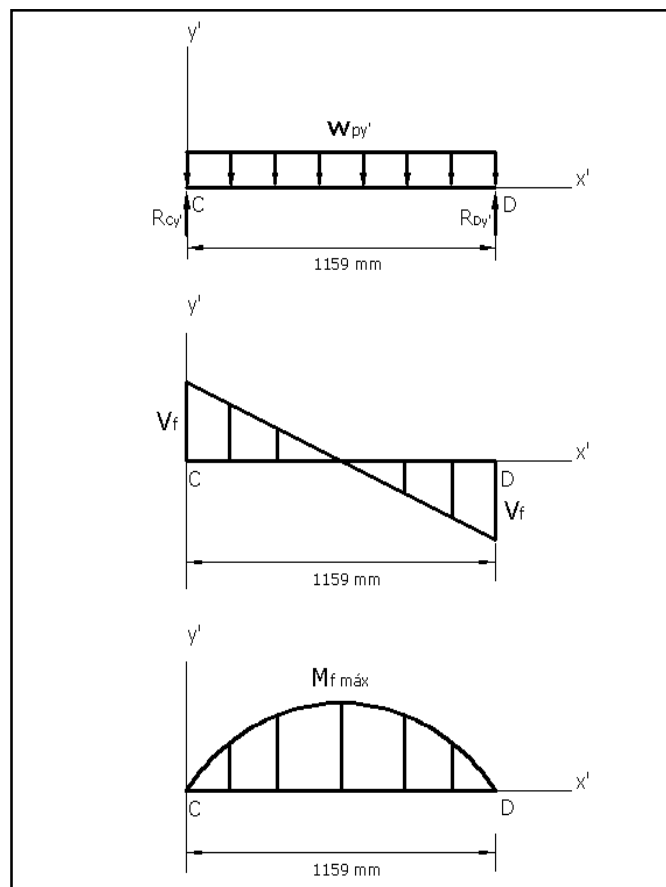


Figura 6.17 Diagrama de fuerza cortante y momento flector para el presente caso.

Fuente: Autor.

Para hallar el momento flector máximo primero se requiere conocer la carga distribuida w_{py} , y la fuerza cortante V_f , para lo que empleamos las siguientes ecuaciones:

$$l = \frac{1102mm}{\cos 18^\circ} = 1159mm = 1.159 m$$

$$w_{py} = \frac{W_{py'}}{l} = \frac{156.17 N \cos 18^\circ}{1.159 m} = 128.15 \frac{N}{m}$$

$$V_f = \frac{w_{py} l}{2} = \frac{128.15 \times 1.159}{2} = 148.53 N$$

El momento flector máximo $M_{f \text{ máx}}$ es el siguiente:

$$M_{f \text{ máx}} = \frac{w_{py} l^2}{8} = \frac{128.15 \times 1.159^2}{8} = 21.52 N.m$$

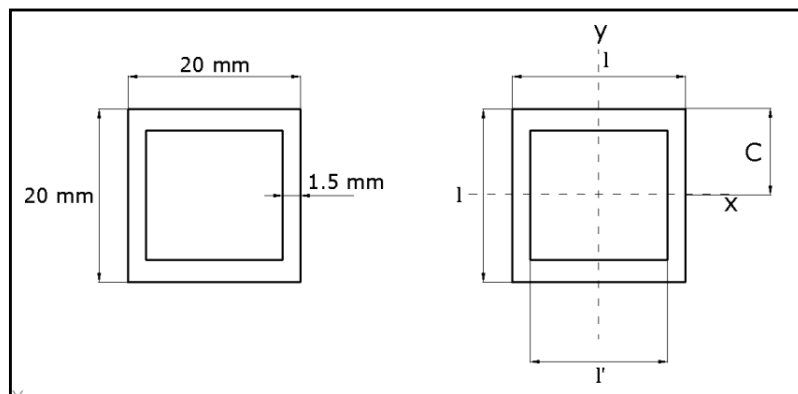


Figura 6.18 Sección transversal del tubo cuadrado ASTM A 500 de $\frac{3}{4}$ ''.

Fuente: Catálogo IPAC. (Anexo)

$$A = l^2 - l'^2 = 20^2 - 17^2 = 111 mm^2$$

$$I = \frac{1}{12}(l^4 - l'^4) = \frac{1}{12}(20^4 - 17^4) = 6373.25 mm^4 = 6.375 \times 10^{-9} m^4$$

El esfuerzo de flexión es:

$$f_b = \frac{M_{f \text{ máx}} \times C}{I} = \frac{21.52 N.m \times 0.01m}{6.375 \times 10^{-9} m^4} = 33.76 MPa$$

El esfuerzo admisible de flexión F_b depende del límite de fluencia F_Y del elemento, se puede considerar que el *elemento es compacto* (más adelante se verifica esta suposición), para cuyo caso se establece la siguiente relación:

$$F_b = 0.66 F_Y \quad (6.77)$$

$F_Y = 33 \text{ ksi} = 230 \text{ MPa} \rightarrow \text{ASTM A 500 Grado A.}$

$$F_b = 0.66 (230) = 151.8 \text{ MPa}$$

Carga Axial

Podemos hallar el valor de las reacciones $R_{Cy'}$ y $R_{Dy'}$, mostradas en la figura (6.17) del modo siguiente:

$$R_{Cy'} = R_{Dy'} = \frac{W_{Py'}}{2} = \frac{148.53}{2} = 74.26 \text{ N}$$

La fuerza axial sobre el elemento ACDB se puede descomponer en tres partes (tramos), a saber AC, CD y BD.

Viga AC

La carga axial está determinada por la reacción R_{Ax} y conociendo el área de la sección transversal del perfil se encuentra el esfuerzo axial f_{ax} , como sigue:

$$f_{ax} = \frac{R_{Ax}}{A} = \frac{98.43 \text{ N}}{1.11 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 0.887 \text{ MPa}$$

Viga BD

La carga axial está determinada por la reacción R_{By} y conociendo el área de la sección transversal del perfil se encuentra el esfuerzo axial f_{ay} , como sigue:

$$f_{ay} = \frac{R_{By}}{A} = \frac{123.04 \text{ N}}{1.11 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 1.108 \text{ MPa}$$

Viga CD

La carga axial está determinada por la componente del peso del panel en el eje x' $W_{px'}$ y conociendo el área de la sección transversal del perfil se encuentra el esfuerzo axial $f_{ax'}$, como sigue:

$$f_{ax'} = \frac{W_{px'}}{A} = \frac{156.17 \text{ sen } 18^\circ}{1.11 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 0.435 \text{ MPa}$$

Para el caso de los tramos AC y CD los apoyos se pueden considerar como de empotramiento por estar fijamente sujetos o soldadas las juntas, respectivamente, por ello se puede tomar un valor de $k = 0.65$, para el tramo BD el apoyo será empotrado y articulado con un $k = 0.8$. La relación de esbeltez se define como:

$$\frac{kL}{r}$$

El radio de giro r se determina así:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{6.375 \times 10^{-9} \text{ m}^4}{1.11 \times 10^{-4} \text{ m}^2}} = 7.58 \times 10^{-3} \text{ m} \rightarrow \text{Para todos los casos}$$

Las longitudes L son los segmentos AC = 0.283m, CD = 1.159m y BD = 0.05m

Con lo que se obtienen las siguientes relaciones de esbeltez:

AC

$$\frac{0.65 \times 0.283 \text{ m}}{7.58 \times 10^{-3} \text{ m}} = 24.27 \rightarrow F_{ax} = 18.70 \text{ ksi} = 128.8 \text{ MPa} \quad (\text{Ver Tabla Anexo})$$

CD

$$\frac{0.65 \times 1.159 \text{ m}}{7.58 \times 10^{-3} \text{ m}} = 99.39 \rightarrow F_{ax'} = 12.45 \text{ ksi} = 85.8 \text{ MPa} \quad (\text{Ver Tabla Anexo})$$

BD

$$\frac{0.8 \times 0.05 \text{ m}}{7.58 \times 10^{-3} \text{ m}} = 5.28 \rightarrow F_{ay} = 19.61 \text{ ksi} = 135.1 \text{ MPa} \quad (\text{Ver Tabla Anexo})$$

Finalmente para determinar si el elemento seleccionado es satisfactorio se aplica la fórmula que combina los esfuerzos axial y de flexión, como se indica a continuación:

$$\frac{f_{ax}}{F_{ax}} + \frac{f_{ax'}}{F_{ax'}} + \frac{f_{ay}}{F_{ay}} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1 \quad (6.78)$$

$$\frac{0.887}{128.8} + \frac{0.435}{85.8} + \frac{1.108}{135.1} + \frac{33.76}{151.8} \leq 1$$

$$0.0069 + 0.0051 + 0.0082 + 0.222 \leq 1$$

$0.242 \leq 1 \rightarrow$ El elemento resiste los esfuerzos de flexión y axial generados.

Resta por verificar si la *sección es compacta*, para lo que el patín y el alma deber ser compactos a la vez. Las condiciones a cumplir según la AISC son:

Patín compacto, debe cumplirse, según corresponda, una de las siguientes condiciones:

$$\frac{b_f}{2 t_f} < \frac{65}{\sqrt{F_Y}} \rightarrow \text{Patines no atiesados.}$$

$$\frac{b_f}{2 t_f} < \frac{190}{\sqrt{F_Y}} \rightarrow \text{Patines atiesados.}$$

Alma compacta:

$$\text{Si } \frac{f_a}{F_Y} \leq 0.16, \text{ entonces, se requiere que } \frac{d_{\text{epth}}}{2 t_w} < \frac{640}{\sqrt{F_Y}}$$

Donde:

b_f longitud del patín [mm].

t_f espesor del patín [mm].

F_Y límite de fluencia del elemento [kpsi] en las raíces o [MPa] en las demás.

f_a esfuerzo axial de compresión [MPa].

d_{epth} longitud del alma [mm].

t_w espesor del alma [mm].

Solución:

Para el perfil seleccionado (ASTM A 500) la longitud del patín y del alma son iguales, así como sus espesores, como se observa en la figura 6.18. Entonces:

$$b_f = d_{\text{epth}} = 20 \text{ mm.}$$

$$t_f = t_w = 1.5 \text{ mm.}$$

$$F_Y = 33 \text{ kpsi} = 230 \text{ MPa.}$$

Patín:

$$\frac{b_f}{2 t_f} = \frac{20 \text{ mm}}{2 (1.5 \text{ mm})} = 6.67 < \frac{65}{\sqrt{F_Y}} = \frac{65}{\sqrt{33}} = 11.31$$

$$\frac{b_f}{2 t_f} = 6.67 < \frac{190}{\sqrt{F_Y}} = \frac{190}{\sqrt{33}} = 33.07$$

→ El patín de la sección si es compacto.

Alma:

Se tienen 3 esfuerzos axiales de compresión:

$$\frac{f_{ax}}{F_Y} = \frac{0.887 \text{ MPa}}{230 \text{ MPa}} = 3.86 \times 10^{-3} \leq 0.16$$

$$\frac{f_{ax'}}{F_Y} = \frac{0.435}{230} = 1.89 \times 10^{-3} \leq 0.16$$

$$\frac{f_{ay}}{F_Y} = \frac{1.108}{230} = 4.82 \times 10^{-3} \leq 0.16$$

$$\frac{d_{epth}}{2 t_w} = \frac{20 \text{ mm}}{2 (1.5 \text{ mm})} = 6.67 < \frac{640}{\sqrt{33}} = 111.41$$

→ El alma de la sección es compacta.

∴ La sección si es compacta, la ecuación (6.77) si corresponde ser empleada.

El diseño es satisfactorio (Tubo Cuadrado ASTM A 500 de ¾" y espesor 1.5mm), aunque existe un sobredimensionamiento, priorizamos la disponibilidad del perfil.

6.6.1.5 PESO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Peso del Tanque de Almacenamiento.

La estructura de soporte del depósito tiene que resistir el peso del tanque y del fluido que se aloja en su interior, a diferencia del caso anterior en el que el peso del agua era poco significativo, en el presente caso el agua representa la mayor carga que influye sobre la estructura.

- Masa del tanque armado: 44.2 kg.
- Masa máxima del fluido almacenado (agua): para emplear la ecuación (6.74) se hace la misma consideración para el caso de la densidad del agua.

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3 \rightarrow 15^\circ\text{C}$$

$$V = 118.1 \text{ lt.} = 0.118 \text{ m}^3 \rightarrow \text{dato de diseño del tanque interior.}$$

Solución:

De la ecuación (6.74) la masa del líquido es:

$$m = 1000 \times 0.1181 = 118.1 \text{ kg}$$

- La masa del tanque de almacenamiento lleno con agua a la temperatura más baja es:

$$m = 44.2 + 118.1 = 162.3 \text{ kg}$$

En unidades del SI se obtiene:

$$W_p = 162.3 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1590.54 \text{ N}$$

6.6.2 CÁLCULO DEL ÁNGULO QUE FORMAN LA DIRECCIÓN DE INCIDENCIA DE LA IRRADIACIÓN SOLAR DIRECTA Y LA NORMAL A LA SUPERFICIE DEL COLECTOR.

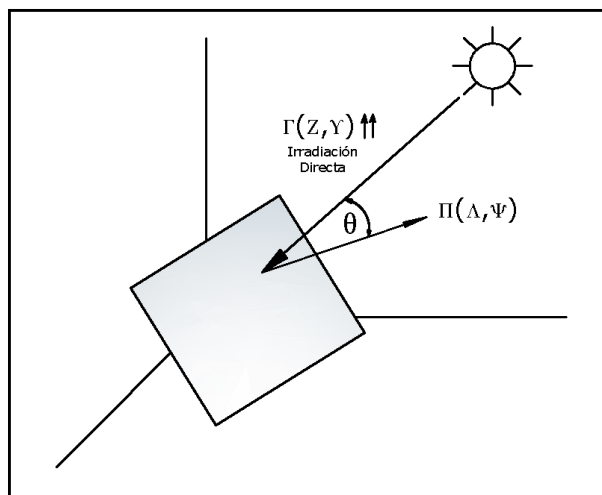


Figura 6.19 Esquema ilustrativo para la determinación del ángulo θ .³

Fuente: Norma INEN NTE 2507

$$\text{Irradiación directa (normal al colector)} = \text{Irradiación directa} \cos(\theta)$$

Si θ es el ángulo que forman los vectores Π y Γ , entonces:

$$\cos(\theta) = \Pi \cdot \Gamma$$

En donde Π y Γ son vectores unitarios definidos de la siguiente manera:

$$\Pi = (\text{sen}\Psi \text{sen}\Lambda, \text{cos}\Psi \text{sen}\Lambda, \text{cos}\Lambda)$$

$$\Gamma = (\text{sen}\Upsilon \text{sen}Z, \text{cos}\Upsilon \text{sen}Z, \text{cos}Z)$$

Como resultado del producto escalar entre Π y Γ , se tiene que:

$$\cos(\theta) = \text{sen}Z \text{sen}\Lambda \cos(\Upsilon - \Psi) + \text{cos}Z \text{cos}\Lambda \quad (6.79)$$

Donde:

Λ ángulo que forma el colector con el plano horizontal igual al ángulo que forma la normal a la superficie del colector (dada por Π) y la vertical al plano horizontal, corresponde a la inclinación del colector.

Ψ ángulo acimutal de la proyección de la normal (Π) a la superficie del colector, sobre el plano horizontal.

Z ángulo cenital del Sol, ángulo complementario de la altura angular aparente del Sol $0^\circ \leq Z \leq 90^\circ$.

Υ ángulo acimutal del Sol, $\Upsilon = 0$ al Sur, al Oriente $\Upsilon < 0$ y $\Upsilon > 0$ al Poniente (Occidente), $-180^\circ \leq \Upsilon \leq 180^\circ$.

Se sabe también que:

$$\cos(Z) = \text{sen}(\partial) \text{sen}(\phi) + \text{cos}(\partial) \text{cos}(\phi) \cos(\omega) = \text{sen}(90 - Z) \quad (6.80)$$

Donde:

ϕ latitud geográfica del sitio en donde se realiza el ensayo. Norte positiva y Sur negativa.

∂ declinación solar en [°], Norte positiva y Sur negativa, se puede calcular usando fórmulas empíricas, como la siguiente:

3. Las ecuaciones empleadas y consideraciones para el cálculo son tomadas de las normas INEN NTE 2507 y NORMEX-NMX-ES-001, aunque la nomenclatura está ligeramente cambiada.

$$\partial(j) = \text{sen}^{-1} \left[0.399 \text{sen} \left(\frac{360}{365} (j - 82) \right) \right] \quad (6.81)$$

En donde:

j día del año.

ω ángulo horario en [°], + después del medio día solar y – antes del medio día solar, el cual se calcula en términos del TSV (para la Sierra $TSV \approx T_{ofc} - 15\text{min}$), tiempo solar verdadero, de la siguiente manera:

$$\omega = \frac{180}{12} (TSV - 12) \quad (6.82)$$

$$TSV = T_{ofc} + \frac{L_{st} - L_{loc}}{15} + \zeta \quad \text{en [h]} \quad (6.83)$$

$\zeta = 9.87 * \text{sen}(2B) - 7.53 \cos(B) - 1.5 \text{sen}(B)$ en [min], para ingresar en la ecuación de TSV transformar posteriormente a [horas].

$$B = (j - 81)(360/364)$$

Donde:

T_{ofc} tiempo oficial u hora local según el huso horario que le corresponda al punto geográfico que se trate, expresado en horas. Para todo el Ecuador, la hora local es GMT- 5 horas.

L_{st} longitud del meridiano de referencia correspondiente al huso horario del lugar, en Ecuador es igual a 75° .

L_{loc} longitud geográfica local, en Ambato es de $78^\circ 37' 11'' = 78.6197^\circ$.

ζ Ecuación del tiempo, que se refiere al efecto acumulado de la variación del día solar, se puede calcular utilizando la fórmula empírica indicada arriba.

B ángulo efectivo para determinar la ecuación del tiempo en [°].

Para Ambato se tiene que:

$$TSV = T_{ofc} + \frac{75 - 78.6197}{15} + \zeta$$

$$TSV = T_{ofc} - 0.2413 + \zeta \quad (6.84)$$

Para calcular el ángulo acimutal del Sol, Y , se tienen que:

$$\cos(Y) = \frac{\text{sen}(\phi) \cos(Z) - \text{sen}(\partial)}{\cos(\phi) \text{sen}(Z)} \quad (6.85)$$

$$\text{sen}(Y) = \frac{\cos(\partial) \text{sen}(\omega)}{\text{sen}(Z)} \quad (6.86)$$

Si $\text{sen}(Y) < 0$, entonces: $Y = -\cos^{-1}(\cos(Y))$

Si $\text{sen}(Y) > 0$, entonces: $Y = +\cos^{-1}(\cos(Y))$

Si el ángulo acimutal es positivo se mide al Occidente de la línea Norte-Sur y si es negativo al Oriente de la línea Norte-Sur.

Solución:

Las pruebas en el colector se realizaron los días 21, 22, 24 de marzo y 28 de junio, siendo los días 80, 81, 83 y 179 del año, respectivamente.

$j_1 = 80$, $j_2 = 81$, $j_3 = 83$ y $j_4 = 179$, respectivamente.

Se obtienen las siguientes declinaciones solares:

$$\partial_1(80) = \text{sen}^{-1} \left[0.399 \text{sen} \left(\frac{360}{365} (80 - 82) \right) \right] = -0.7869^\circ$$

$$\partial_2(81) = \text{sen}^{-1} \left[0.399 \text{sen} \left(\frac{360}{365} (81 - 82) \right) \right] = -0.3935^\circ$$

$$\partial_3(83) = \text{sen}^{-1} \left[0.399 \text{sen} \left(\frac{360}{365} (83 - 82) \right) \right] = 0.3935^\circ$$

$$\partial_4(179) = \text{sen}^{-1} \left[0.399 \text{sen} \left(\frac{360}{365} (179 - 82) \right) \right] = 23.3937^\circ$$

$$B_1 = (80 - 81) \left(\frac{360}{364} \right) = -0.989^\circ$$

$$B_2 = (81 - 81) \left(\frac{360}{364} \right) = 0^\circ$$

$$B_3 = (83 - 81) \left(\frac{360}{364} \right) = 1.978^\circ$$

$$B_4 = (179 - 81) \left(\frac{360}{364} \right) = 96.923^\circ$$

Se determinan las ecuaciones del tiempo:

$$\begin{aligned}\zeta_1 &= 9.87\text{sen}[2(-0.989)] - 7.53 \cos(-0.989) - 1.5\text{sen}(-0.989) = -7.8437\text{min} \\ &= -0.1307h\end{aligned}$$

$$\zeta_2 = 9.87\text{sen}[2(0)] - 7.53 \cos(0) - 1.5\text{sen}(0) = -7.53\text{min} = -0.1255h$$

$$\begin{aligned}\zeta_3 &= 9.87\text{sen}[2(1.978)] - 7.53 \cos(1.978) - 1.5\text{sen}(1.978) = -6.8963\text{min} \\ &= -0.115h\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\zeta_4 &= 9.87\text{sen}[2(96.923)] - 7.53 \cos(96.923) - 1.5\text{sen}(96.923) = -2.9435\text{min} \\ &= -0.049h\end{aligned}$$

Para calcular los tiempos solares verdaderos TSV respectivos tenemos los datos:

Los valores de T_{ofc} corresponden a la hora local del día en la que se realizó las mediciones, como existen varios datos para cada día se considera intervalos de 30 minutos y se obtienen los valores indicados en las tablas de abajo aplicando la fórmula (6.84), y los ángulos horarios ω respectivos con la fórmula (6.82):

Tabla 6.6 Tiempo solar verdadero y ángulo horario para el 21 de marzo de 2011.

Fuente: Autor.

Hora (hh: mm)	Hora (h)	TSV [h]	ω [°]
11:00	11.0	10.6280	-20.5804
11:30	11.5	11.1280	-13.0804
12:00	12.0	11.6280	-5.5804
12:30	12.5	12.1280	1.9196
13:00	13.0	12.6280	9.4196
13:30	13.5	13.1280	16.9196

Tabla 6.7 Tiempo solar verdadero y ángulo horario para el 22 de marzo de 2011.

Fuente: Autor.

Hora (hh: mm)	Hora (h)	TSV [h]	ω [°]
11:00	11.0	10.6332	-20.5020
11:30	11.5	11.1332	-13.0020
12:00	12.0	11.6332	-5.5020
12:30	12.5	12.1332	1.9980
13:00	13.0	12.6332	9.4980
13:30	13.5	13.1332	16.9980

Tabla 6.8 Tiempo solar verdadero y ángulo horario para el 24 de marzo de 2011.

Fuente: Autor.

Hora (hh: mm)	Hora (h)	TSV [h]	ω [°]
11:00	11.0	10.6438	-20.3436
11:30	11.5	11.1438	-12.8436
12:00	12.0	11.6438	-5.3436
12:30	12.5	12.1438	2.1564
13:00	13.0	12.6438	9.6564
13:30	13.5	13.1438	17.1564

Tabla 6.9 Tiempo solar verdadero y ángulo horario para el 28 de junio de 2011.

Fuente: Autor.

Hora (hh: mm)	Hora (h)	TSV [h]	ω [°]
10:30	10.5	10.2096	-26.8554
11:00	11.0	10.7096	-19.3554
11:30	11.5	11.2096	-11.8554
12:00	12.0	11.7096	-4.3554
12:30	12.5	12.2096	3.1446
13:00	13.0	12.7096	10.6446
13:30	13.5	13.2096	18.1446

A partir de estos resultados se calcula el ángulo cenital del sol Z para los cuatro días y en las horas señaladas aplicando la fórmula (6.80) y conociendo que la latitud geográfica ϕ de Ambato es Sur $1^{\circ}14'30'' = -1.2417^{\circ}$. Además cabe señalar que la altura angular aparente del Sol es $(90 - Z)$, los resultados son los siguientes:

Tabla 6.10 Ángulo cenital y altura angular aparente del sol el 21 de marzo de 2011.

Fuente: Autor.

Hora (hh: mm)	Hora (h)	Cos(Z) [°]	Z [°]	$(90 - Z)$ [°]
11:00	11.0	0.9362	20.5824	69.4176
11:30	11.5	0.9740	13.0865	76.9135
12:00	12.0	0.9952	5.5983	84.4017
12:30	12.5	0.9994	1.9722	88.0278
13:00	13.0	0.9865	9.4288	80.5712
13:30	13.5	0.9567	16.9227	73.0773

Tabla 6.11 Ángulo cenital y altura angular aparente del sol el 22 de marzo de 2011.

Fuente: Autor.

Hora (hh: mm)	Hora (h)	Cos(Z) [°]	Z [°]	(90 – Z) [°]
11:00	11.0	0.9366	20.5172	69.4828
11:30	11.5	0.9743	13.0282	76.9718
12:00	12.0	0.9953	5.5664	84.4336
12:30	12.5	0.9993	2.1704	87.8296
13:00	13.0	0.9862	9.5347	80.4653
13:30	13.5	0.9562	17.0173	72.9827

Tabla 6.12 Ángulo cenital y altura angular aparente del sol el 24 de marzo de 2011.

Fuente: Autor.

Hora (hh: mm)	Hora (h)	Cos(Z) [°]	Z [°]	(90 – Z) [°]
11:00	11.0	0.9372	20.4089	69.5911
11:30	11.5	0.9746	12.9475	77.0525
12:00	12.0	0.9952	5.5888	84.4112
12:30	12.5	0.9989	2.7054	87.2946
13:00	13.0	0.9854	9.7923	80.2077
13:30	13.5	0.9551	17.2321	72.7679

Tabla 6.13 Ángulo cenital y altura angular aparente del sol el 28 de junio de 2011.

Fuente: Autor.

Hora (hh: mm)	Hora (h)	Cos(Z) [°]	Z [°]	(90 – Z) [°]
10:30	10.5	0.8100	35.9024	54.0976
11:00	11.0	0.8571	31.0055	58.9945
11:30	11.5	0.8894	27.2013	62.7987
12:00	12.0	0.9063	24.9971	65.0029
12:30	12.5	0.9076	24.8246	65.1754
13:00	13.0	0.8932	26.7233	63.2767
13:30	13.5	0.8634	30.3051	59.6949

Con las fórmulas (6.85) y (6.86) calculamos el ángulo acimutal del Sol \mathcal{Y} , así:

Tabla 6.14 Ángulo acimutal el 21 de marzo de 2011.

Fuente: Autor.

Hora (hh: mm)	Hora (h)	Sen (\mathcal{Y})	Cos (\mathcal{Y})	\mathcal{Y} [°]
11:00	11.0	-0.9998	-0.0186	-91.0682
11:30	11.5	-0.9995	-0.0326	-91.8664
12:00	12.0	-0.9968	-0.0803	-94.6059
12:30	12.5	0.9731	-0.2303	103.3125
13:00	13.0	0.9989	-0.0467	92.6745
13:30	13.5	0.9997	-0.0240	91.3777

Tabla 6.15 Ángulo acimutal el 22 de marzo de 2011.

Fuente: Autor.

Hora (hh: mm)	Hora (h)	Sen (γ)	Cos (γ)	γ [°]
11:00	11.0	-0.9993	-0.0383	-92.1960
11:30	11.5	-0.9980	-0.0632	-93.6234
12:00	12.0	-0.9884	-0.1516	-98.7182
12:30	12.5	0.9206	-0.3905	112.9867
13:00	13.0	0.9962	-0.0876	95.0238
13:30	13.5	0.9989	-0.0473	92.7137

Tabla 6.16 Ángulo acimutal el 24 de marzo de 2011.

Fuente: Autor.

Hora (hh: mm)	Hora (h)	Sen (γ)	Cos (γ)	γ [°]
11:00	11.0	-0.9970	-0.0780	-94.4709
11:30	11.5	-0.9922	-0.1249	-97.1772
12:00	12.0	-0.9564	-0.2920	-106.9801
12:30	12.5	0.7968	-0.6042	127.1739
13:00	13.0	0.9861	-0.1660	99.5539
13:30	13.5	0.9957	-0.0931	95.3402

Tabla 6.17 Ángulo acimutal el 28 de junio de 2011.

Fuente: Autor.

Hora (hh: mm)	Hora (h)	Sen (γ)	Cos (γ)	γ [°]
10:30	10.5	-0.7070	-0.7072	-134.9937
11:00	11.0	-0.5905	-0.8070	-126.1931
11:30	11.5	-0.4125	-0.9110	-114.3610
12:00	12.0	-0.1649	-0.9863	-99.4938
12:30	12.5	0.1199	-0.9928	83.1125
13:00	13.0	0.3770	-0.9262	67.8516
13:30	13.5	0.5664	-0.8241	55.4991

Únicamente resta por calcular el valor del ángulo θ que forman la dirección de incidencia de la irradiación solar directa y la normal a la superficie del colector empleando la fórmula (6.79) para lo cual se cuenta con los siguientes datos:

Cos (Z) indicados en las tablas (6.10), (6.11), (6.12) y (6.13), respectivamente.

Sen (Z) determinados a partir de los valores de Z de las tablas (6.10), (6.11), (6.12) y (6.13), respectivamente.

$\Lambda = 18^\circ \rightarrow$ inclinación del panel.

Sen (Λ) = 0.3090

Cos (Λ) = 0.9511

γ indicados en las tablas (6.14), (6.15), (6.16) y (6.17), respectivamente.

$\Psi = -90^\circ \rightarrow$ el panel se encontró orientado al oriente en el momento de la realización de las pruebas. Los resultados se indican a continuación:

Tabla 6.18 Ángulo θ para el 21 de marzo de 2011.

Fuente: Autor.

Hora (hh: mm)	Hora (h)	Sen (Z)	Cos ($\gamma - \Psi$)	Cos (θ)	θ [°]
11:00	11.0	0.3516	0.9998	0.9990	2.606
11:30	11.5	0.2264	0.9995	0.9963	4.9385
12:00	12.0	0.0976	0.9968	0.9766	12.4279
12:30	12.5	0.0344	-0.9731	0.9401	19.9244
13:00	13.0	0.1638	-0.9989	0.8876	27.4222
13:30	13.5	0.2911	-0.9997	0.8200	34.9204

Tabla 6.19 Ángulo θ para el 22 de marzo de 2011.

Fuente: Autor.

Hora (hh: mm)	Hora (h)	Sen (Z)	Cos ($\gamma - \Psi$)	Cos (θ)	θ [°]
11:00	11.0	0.3505	0.9993	0.9990	2.6190
11:30	11.5	0.2254	0.9980	0.9961	5.0630
12:00	12.0	0.0970	0.9884	0.9762	12.5254
12:30	12.5	0.0379	-0.9206	0.9396	20.0154
13:00	13.0	0.1656	-0.9962	0.8869	27.5104
13:30	13.5	0.2927	-0.9989	0.8191	35.0071

Tabla 6.20 Ángulo θ para el 24 de marzo de 2011.

Fuente: Autor.

Hora (hh: mm)	Hora (h)	Sen (Z)	Cos ($\gamma - \Psi$)	Cos (θ)	θ [°]
11:00	11.0	0.3487	0.9970	0.9988	2.8199
11:30	11.5	0.2241	0.9922	0.9956	5.3949
12:00	12.0	0.0974	0.9564	0.9753	12.7572
12:30	12.5	0.0472	-0.7968	0.9384	20.2206
13:00	13.0	0.1701	-0.9861	0.8854	27.7036
13:30	13.5	0.2962	-0.9957	0.8172	35.1936

Tabla 6.21 Ángulo θ para el 28 de junio de 2011.

Fuente: Autor.

Hora (hh: mm)	Hora (h)	Sen (Z)	Cos ($\gamma - \psi$)	Cos (θ)	θ [°]
10:30	10.5	0.5864	0.7072	0.8985	26.0357
11:00	11.0	0.5151	0.8070	0.9436	19.3293
11:30	11.5	0.4571	0.9110	0.9746	12.9526
12:00	12.0	0.4226	0.9863	0.9908	7.7933
12:30	12.5	0.4198	-0.9928	0.7344	42.7456
13:00	13.0	0.4497	-0.9262	0.7208	43.8821
13:30	13.5	0.5046	-0.8241	0.6926	46.1646

Analizando los resultados: Los ángulos acimutales determinan una mínima variación en la orientación con respecto a la línea Norte-Sur, únicamente existe un cambio de orientación Este-Oeste.

El ángulo θ formado entre la irradiación solar directa y la normal a la superficie del colector prácticamente no varía en días seguidos, pero en un lapso de tres meses (marzo a junio) si se aprecia un importante cambio. En relación con la hora del día la variación es muy notoria.

6.7 METODOLOGÍA-MODELO OPERATIVO

La construcción del colector solar se efectuó en un taller particular que dispone de soldadora autógena, soldadora eléctrica, compresor, tornillo de banco, sierra, etc. El vidrio templado Low-E fue elaborado en la empresa Fairis que se dedica a esta labor importando la materia prima correspondiente.



Figura 6.20 Fotografía del serpentín con los tubos soldados. Fuente: Autor.



Figura 6.21 Panel colector ensamblado.

Fuente: Autor.



Figura 6.22 Estructuras de soporte del tanque de almacenamiento y del panel, respectivamente.

Fuente: Autor.



Figura 6.23 Fotografía del vidrio templado.

Fuente: Autor.

Las especificaciones técnicas del colector diseñado son las siguientes:

Tabla 6.22 Especificaciones Técnicas del Colector Solar y sus partes.

Fuente: Autor.

Detalle	Colector Solar Plano
Peso Total aproximado	90 kg.
Dimensiones	Largo: 2.7 m, Ancho: 1.35m Altura: 1.05m
Fluido	Agua
Tipo de circulación	Circulación Natural
Alimentación	Red de Agua Potable
Potencia útil transferida al fluido	389.9 W
Principio de Funcionamiento	Diferencia de densidad del fluido

Detalle	Panel
Peso Total	28.8 kg.
Dimensiones	Largo: 1.07 m, Ancho: 1m Altura: 0.1m
Fluido	Agua
Tipo de circulación	Circulación Natural (Termosifón)
Alimentación	Red de Agua Potable
Volumen máximo del fluido	3.07 lt
Área Total	1.07 m ²
Área Efectiva	0.99 m ²
Caudal del fluido	1 lt/min
Inclinación	18°
Temperatura máxima registrada	75°C
Cubierta	Vidrio Templado Low-E
Placa de Absorción	Aluminio
Serpentín	Tipo rejilla (Cobre)
Aislante	Lana de vidrio

Detalle	Tanque de Almacenamiento
Peso Total	44.2 kg.
Dimensiones	Longit.:1.01 m, Diámet.: 0.46m
Fluido	Agua
Tipo de circulación	Circulación Natural
Alimentación	Red de Agua Potable
Volumen del tanque exterior	167.3 lt
Volumen máximo del fluido (tanque interior)	118.1 lt o 31.2 gal.
Aislante	Lana de vidrio
Otras	Herméticamente sellado

6.8 ADMINISTRACIÓN

6.8.1 PLANIFICACIÓN Y MANTENIMIENTO

6.8.1.1 INSTALACIÓN

Previo la instalación del dispositivo fue necesario realizar ensayos de presión estática en el serpentín para verificar su resistencia y que no existan fugas de agua.

Para el buen funcionamiento del sistema se requiere hacer una correcta instalación de las partes y accesorios, evitando que existan fugas en cualquier parte del sistema para que no fluya líquido y para evitar pérdidas de calor que originarían que la temperatura del agua descienda de forma acelerada.

Para una fácil transportación el sistema es desmontable en sus partes principales: tanque de almacenamiento, estructuras de soporte del panel y del tanque, panel y conexiones de tubería (poseen universales para separar y armar las conexiones).

Con el fin de precautelar la vida útil de las partes que se encuentran en contacto con el agua éstas están hechas de cobre o de acero galvanizado.

Se realizaron ensayos de exposición a la radiación solar en cuatro días diferentes y no se observó que exista daño ni degradación de sus componentes.

6.8.1.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

- Mensualmente se recomienda limpiar la placa de absorción y la caja o carcasa para evitar la acumulación de polvo que impediría la libre incidencia de los rayos solares; el vidrio templado es desmontable, por ello se lo puede limpiar por separado. El tanque debe ser vaciado periódicamente.
- Semestralmente es adecuado verificar el estado del aislamiento térmico porque si no se encuentra convenientemente sellado se presentarían fugas de calor que restarían eficiencia al dispositivo. Comprobar que el conjunto de válvulas de la red hidráulica funcionen correctamente.
- Es muy importante en los periodos prolongados de no utilización de la instalación, vaciarla y cubrir el colector para que no le dé el sol. ya que si el agua no se usa se provocará que la temperatura sea cada vez mayor, llegando a hervir y

aumentando la presión peligrosamente, aunque para ello se el tanque tiene en su parte externa superior una válvula de alivio de presión.

6.8.1.3 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

En caso de que existan fugas se pueden reemplazar los accesorios y las tuberías, es fundamental que las partes sustituyentes se unan con teflón o con pasta selladora para impedir las fugas de líquido.

En caso de presentarse destrucción severa en el tanque de almacenamiento será necesaria la sustitución de todo el conjunto porque se encuentra firmemente sellado. En el caso del panel, si se presenta un daño severo se deberá sustituir la caja y la placa de aluminio.

En general, el sistema tiene una vida útil prolongada, debido a que los medios deteriorantes son el agua y el ambiente. No existen otros problemas a largo plazo como fatiga de las partes por fricción, corrosividad por gases tóxicos, etc.

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

El propósito de la realización de ensayos en el dispositivo está centrado en verificar su correcto funcionamiento, lo cual es tangible por el calentamiento que experimenta el agua, otra finalidad es la determinación de la eficiencia térmica.

En las normas referentes al tema se señala que las pruebas deben realizarse en días *completamente despejados* y con los valores de irradiancia más elevados posibles. Adicionalmente se indica que se tiene que efectuar algunas pruebas para comprobar el correcto funcionamiento del sistema.

Para la medición de las temperaturas del agua en la entrada y salida del colector el panel dispone de porta termómetros que permiten colocar termómetros de mercurio o de espiga y tomar la temperatura del fluido.

Es imprescindible asegurarse que el *circuito sea cerrado* durante todo el período de pruebas, es decir que durante el ensayo no exista salida de agua del sistema, porque ello ocasionará pérdidas de calor y las mediciones no serían reales.

Para información más detallada se recomienda consultar las normas INEN NTE 2507, NORMEX-NMX-ES-001 2005 y ANSI/ASHRAE 93-1986.

Las pruebas efectuadas como parte del presente proyecto se realizaron los días lunes 21, martes 22 y jueves 24 de marzo, y el martes 28 de junio de 2011. Las siguientes fotografías ilustran la realización de un ensayo:



Figura 6.24 Colector solar en el momento de un ensayo.

Fuente: Autor.



Figura 6.25 Salida del agua del panel a altas temperaturas al final del ensayo.

Fuente: Autor.

El presente colector solar se destina para los laboratorios de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, por eso los responsables del mismo serán las personas encargadas de dichas instalaciones.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

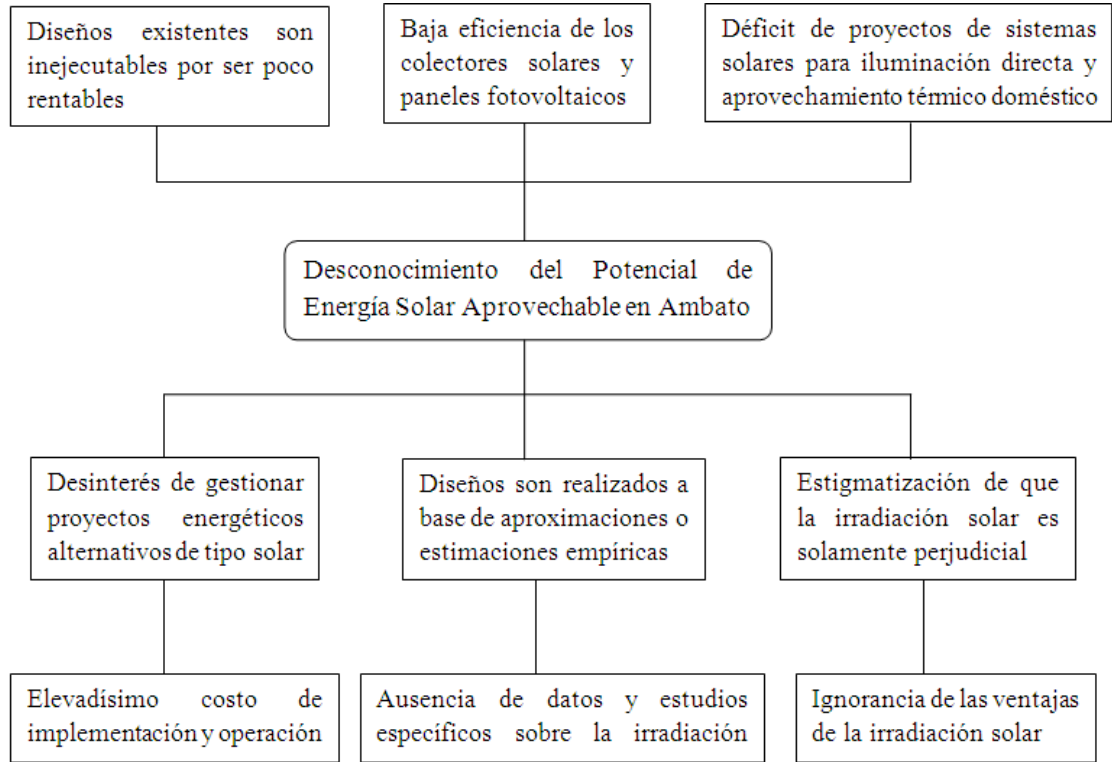
1. BIBLIOGRAFÍA

- AISC *Manual Estructuras de Acero Design Guide*. Novena Edición.
- ASHRAE Handbook HVAC Applications, (2007). *Energy Related Applications Solar Energy Use*. Capítulo 33 Edición Sistema Internacional de Unidades.
- ANSI /ASHRAE 93, (1986- RA91). *Methods of Testing to Determinate the Thermal Performance of Solar Collectors*. Atlanta-Georgia-USA.
- BRAUNSTEIN, A., SOHAR, E. y LEVITE T. (1984). *Measurement of Solar Radiation*. United States Patents- Patent Number 4,485,306.
- DELTA OHM. (2004). *Manual de Uso de Foto-radiómetro HD 2102.2*
- FLORES, Daniel. Pdf *Importancia de la medición de la radiación solar*. Facultad de Ingeniería de la BUAP. México.
- GUEVARA VÁSQUEZ, Sixto. (2003). Pdf *Diseño de Colectores Solares*. Lima-Perú. UNATSABAR-OPS/CEPIS.
- GUEVARA VÁSQUEZ, Sixto. (2003). Pdf *Teoría para el Diseño de Calentadores Solares de Agua*. Lima-Perú. UNATSABAR-OPS/CEPIS.
- GUEVARA VÁSQUEZ, Sixto. (2003). Pdf *Estimación de la Radiación Solar*. Lima-Perú. UNATSABAR- CEPIS/ OPS.
- INAMHI. Pdf *Instrumentos Meteorológicos*. <http://www.inahmi.ec>, Ecuador.
- INCROPERA, Frank y DE WITT, David. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. Editorial Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México. Cuarta Edición.
- INEN-CPE 003, (1989). *Código de Dibujo Técnico-Mecánico*. Quito-Ecuador. Norma Técnica Obligatoria.
- INEN-NTE 2507, (2009). *Rendimiento Térmico de Colectores Solares en Sistemas de Calentamiento de Agua para Uso Sanitario. Requisitos*. Quito-Ecuador. Primera Edición. Norma Técnica Voluntaria.
- ITESO Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, (1995). *Notas sobre el curso de Energía Solar*. Tlaquepaque-México.

- JIMENEZ, Hernán y PORTALANZA, Narcisa. (2009). *Estandarización de Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar en la ciudad de Riobamba*. Riobamba-Ecuador. ESPOCH-Tesis de Grado.
- MENDOZA, I. y PIEDRA, D. (2006). Pdf *Validación de Modelos de Radiación Solar Directa para la Ciudad de Bogotá a Partir de Datos Experimentales*. Bogotá-Colombia. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- NORMEX-NMX-ES-001, (2005). *Energía Solar-Rendimiento Térmico y Funcionalidad de colectores solares para calentamiento de agua-Métodos de Ensayo y Etiquetado*. Comité Técnico de Normalización Nacional para Energía Solar. México.
- KRAEMLING, Franz. (2006). *Encristalado de vidrio en hojas o laminado transparente que reflejan las radiaciones del sol y las radiaciones térmicas*. Patente en México. Clas. Internacional C03C27/12, B60J1/00, B32B17/10,
- PETERSEN, Hans. (2007). *Elementos para la Creación de un Manual de Buenas Prácticas para Instalaciones Solares Térmicas Domiciliarias*. Santiago de Chile. Universidad de Chile-Tesis de Grado.
- PROCOBRE. *Manual de Tubería de Cobre*. México
- ROSALER, Robert C. *Manual del Ingeniero de Planta. Tomo II*
- VILLEGAS, Esequiel y CARLOS, José. (2003). Pdf *Atlas de Energía Solar del Perú*. Lima-Perú. SENAMHI.
- WIKIPEDIA Enciclopedia en línea. *Ambato, Energía Solar, Radiación Solar, Radiación Difusa, Ley de Planck, Longitud de Onda, Colector Solar, Cuerpo Negro, Acimut, Cenit, Declinación, ASTM A 500*.
<http://www.wikipedia.org/> “título”
- YELLOTT, John. (1968). *Solar Radiation Measuring Device*. United States Patents- Patent Number 3,390,576.
- www.rivomark@adinet.com.uy/Manual_de_instalacion_y_mantenimiento_de_calentador_solar. (2010)
- libros.redsauce.net/EnergiasAlternativas/solar/PDFs/03solar.pdf
- www.pilkington.com/.../spanish/products/bp/bybenefit/thermalinsulation/lowe/default.htm

2. ANEXOS

ÁRBOL DE PROBLEMAS



ÁRBOL DE OBJETIVOS

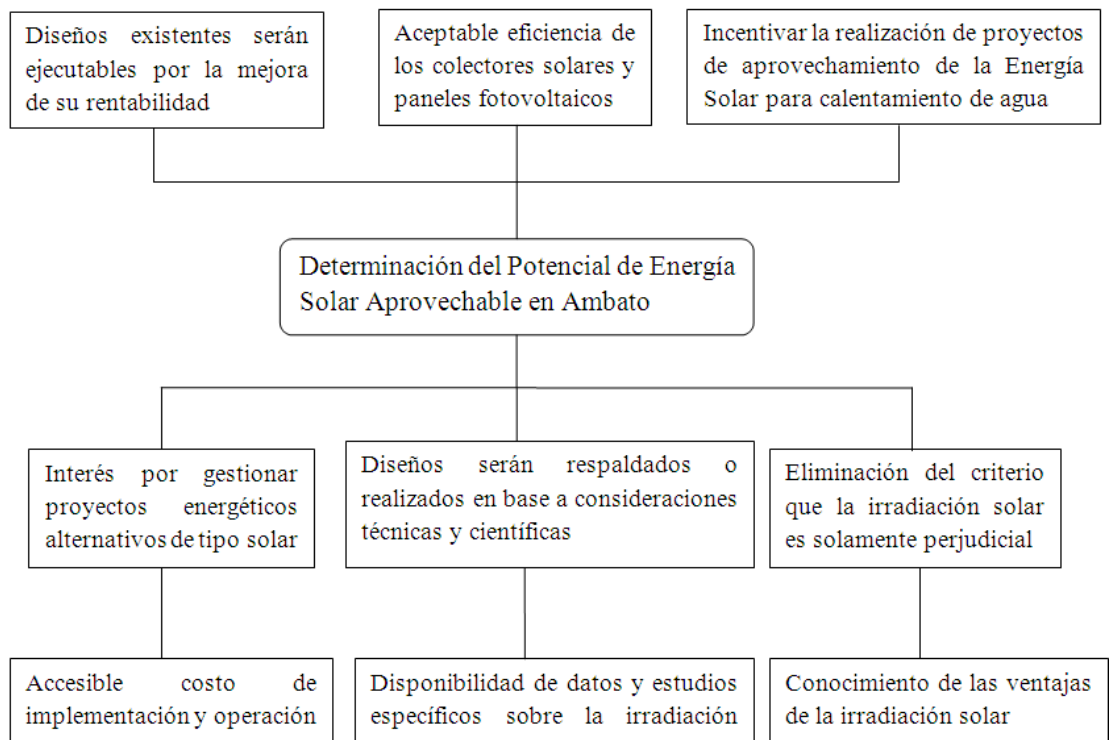


Foto-radiómetro Delta OHM HD2102.2



Datos Técnicos:

1. Entrada para sondas, conector de 8 polos DIN45326.
2. Entrada del conector de la alimentación auxiliar externa.
3. Símbolo de batería: indica el nivel de carga de las baterías.
4. Indicadores de función.
5. Línea de visualización secundaria.
6. Tecla HOLD/▲: en funcionamiento normal congela la medida; en el interior del menú aumenta el valor corriente.
7. Tecla FUNC/ENTER: en funcionamiento normal visualiza el máximo (MAX), el mínimo (MIN) y la media (AVG) de las medidas corrientes; en el interior del menú confirma la selección corriente. Si se pulsa junto con otras teclas, activa su función secundaria. Durante el cálculo de la integral Q(t), alterna la visualización del Q(t) con el tiempo de integración.
8. Tecla REL/▼: activa la modalidad de medida relativa (visualiza la diferencia entre el valor actual y el memorizado en el momento en el que se ha pulsado la tecla); en el interior del menú disminuye el valor corriente.
9. Tecla SERIAL/ERASE LOG: pone en marcha y termina el envío de datos al puerto de comunicación serie/USB. En el interior del menú elimina los datos que contiene la memoria del instrumento.
10. Tecla LOG/DUMP LOG: en funcionamiento normal, pone en marcha y termina la memorización de los valores medidos o de los valores integrados (Q/T) en la memoria interna; pone en marcha desde el menú la transferencia de los datos de la memoria del instrumento al PC.
11. Tecla MENU/CLR Q(t): permite acceder y salir del menú. Si está activado el cálculo de la integral Q(t), la pulsación contemporánea de las teclas MENU/CLR_Q/T y FUNC/ENTER pone a cero su valor.
12. Tecla Start-Stop_Q(t)/ESC: si está activada la función de integración Q(t), pone en marcha y detiene el cálculo; en el interior del menú anula la operación en curso sin aportar modificaciones.
13. Tecla UNIT/Q(t): en funcionamiento normal selecciona la unidad de medida para la variable principal; si se pulsa junto con la tecla FUNC, pone en marcha el procedimiento de cálculo de la integral Q(t).
14. Tecla ON-OFF/AUTO-OFF: enciende y apaga el instrumento; si se pulsa junto con la tecla HOLD, desactiva el autoapagado automático.
15. Símbolos MAX, MIN y AVG.
16. Línea de visualización principal.
17. Línea de los símbolos y de los comentarios
18. Conector de 8 polos mini-DIN para RS232C y USB 2.0.

ANEXOS A
FÓRMULAS Y TABLAS



A Propiedades del agua

TABLA A.1 Unidades del SI
[101 kPa (abs)].

Temperatura (°C)	Peso específico γ (kN/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.18×10^{-4}	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	5.94×10^{-4}	6.00×10^{-7}
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}
55	9.67	986	4.98×10^{-4}	5.05×10^{-7}
60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-7}
65	9.62	981	4.31×10^{-4}	4.39×10^{-7}
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-7}
75	9.56	975	3.73×10^{-4}	3.83×10^{-7}
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-7}
85	9.50	968	3.30×10^{-4}	3.41×10^{-7}
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-7}
95	9.44	962	2.92×10^{-4}	3.04×10^{-7}
100	9.40	958	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}

Fuente: **Mott Robert**. *Mecánica de Fluidos* 6ta. Edición

TABLA A-2

Propiedades en los puntos de ebullición y de congelación

Sustancia	Datos para la ebullición 1 atm		Datos para la congelación		Propiedades del líquido		
	Punto normal de ebullición, °C	Calor latente de vaporización, h_{fg} kJ/kg	Punto de congelación, °C	Calor latente de fusión, h_{if} kJ/kg	Temp., °C	Densidad, ρ kg/m ³	Calor específico, C_p kJ/kg · °C
Amoniaco	-33.3	1357	-77.7	322.4	-33.3	682	4.43
					-20	665	4.51
					0	639	4.62
					25	603	4.78
Argón	-185.9	161.6	-189.3	28	-185.6	1 394	1.14
Benceno	80.2	394	5.5	126	20	879	1.72
Salmuera (20% de cloruro de sodio por masa)	103.9	—	-17.4	—	20	1 150	3.11
<i>n</i> -Butano	-0.5	385.2	-138.5	80.3	-0.5	601	2.31
Bióxido de carbono	-78.4*	230.5 (a 0°C)	-56.6	—	0	298	0.59
Etanol	78.2	838.3	-114.2	109	25	783	2.46
Etilico, alcohol	78.6	855	-156	108	20	789	2.84
Etilenglicol	198.1	800.1	-10.8	181.1	20	1 109	2.84
Glicerina	179.9	974	18.9	200.6	20	1 261	2.32
Helio	-268.9	22.8	—	—	-268.9	146.2	22.8
Hidrógeno	-252.8	445.7	-259.2	59.5	-252.8	70.7	10.0
Isobutano	-11.7	367.1	-160	105.7	-11.7	593.8	2.28
Queroseno	204-293	251	-24.9	—	20	820	2.00
Mercurio	356.7	294.7	-38.9	11.4	25	13 560	0.139
Metano	-161.5	510.4	-182.2	58.4	-161.5	423	3.49
					-100	301	5.78
Metanol	64.5	1 100	-97.7	99.2	25	787	2.55
Nitrógeno	-195.8	198.6	-210	25.3	-195.8	809	2.06
					-160	596	2.97
Octano	124.8	306.3	-57.5	180.7	20	703	2.10
Aceite (ligero)					25	910	1.80
Oxígeno	-183	212.7	-218.8	13.7	-183	1 141	1.71
Petróleo	—	230-384			20	640	2.0
Propano	-42.1	427.8	-187.7	80.0	-42.1	581	2.25
					0	529	2.51
					50	449	3.12
Refrigerante-134a	-26.1	216.8	-96.6	—	-50	1 443	1.23
					-26.1	1 374	1.27
					0	1 295	1.34
					25	1 207	1.43
Agua	100	2 257	0.0	333.7	0	1 000	4.22
					25	997	4.18
					50	988	4.18
					75	975	4.19
					100	958	4.22

*Temperatura de sublimación. (A presiones por debajo de la del punto triple de 518 kPa, el bióxido de carbono existe como sólido o gas. Asimismo, la temperatura en el punto de congelación del bióxido de carbono es la temperatura en el punto triple de -56.5°C.)

Fuente: Cengel Yunus. *Transferencia de Calor*

TABLE A.12 Solar Radiative Properties for Selected Materials^a

Description/Composition	α_s	ϵ^b	α_s/ϵ	τ_s
Aluminum				
Polished	0.09	0.03	3.0	
Anodized	0.14	0.84	0.17	
Quartz overcoated	0.11	0.37	0.30	
Foil	0.15	0.05	3.0	
Brick, red (Purdue)	0.63	0.93	0.68	
Concrete	0.60	0.88	0.68	
Galvanized sheet metal				
Clean, new	0.65	0.13	5.0	
Oxidized, weathered	0.80	0.28	2.9	
Glass, 3.2-mm thickness				
Float or tempered				0.79
Low iron oxide type				0.88
Metal, plated				
Black sulfide	0.92	0.10	9.2	
Black cobalt oxide	0.93	0.30	3.1	
Black nickel oxide	0.92	0.08	11	
Black chrome	0.87	0.09	9.7	
Mylar, 0.13-mm thickness				0.87
Paints				
Black (Parsons)	0.98	0.98	1.0	
White, acrylic	0.26	0.90	0.29	
White, zinc oxide	0.16	0.93	0.17	
Plexiglas, 3.2-mm thickness				0.90
Snow				
Fine particles, fresh	0.13	0.82	0.16	
Ice granules	0.33	0.89	0.37	
Tedlar, 0.10-mm thickness				0.92
Teflon, 0.13-mm thickness				0.92

^aAdapted with permission from Reference 29.

^bThe emissivity values in this table correspond to a surface temperature of approximately 300 K.

Fuente: **Incropera Frank y De Witt. Fundamentals of Heat and Mass Transfer**

6th Edition

TABLA A.3 Continuación

Materiales y sistemas de aislamiento

Descripción/composición	Propiedades típicas a 300 K		
	Densidad, ρ (kg/m ³)	Conductividad térmica, k (W/m · K)	Calor específico, c_p (J/kg · K)
Manta y fibra			
Fibra de vidrio, revestida de papel	16	0.046	—
	28	0.038	—
	40	0.035	—
Fibra de vidrio, recubierta; forro de tubo	32	0.038	835
Tablero y losa			
Vidrio celular	145	0.058	1000
Fibra de vidrio, unión orgánica	105	0.036	795
Poliestireno, expandido			
Estirado (R-12)	55	0.027	1210
Lechos moldeados	16	0.040	1210
Lámina de fibra mineral; material de techado	265	0.049	—
Madera, triturada/encementada	350	0.087	1590
Corcho	120	0.039	1800
Relleno suelto			
Corcho, granulado	160	0.045	—
Óxido de silicio diatómico, polvo grueso	350	0.069	—
	400	0.091	—
Óxido de silicio diatómico, polvo fino	200	0.052	—
	275	0.061	—
Fibra de vidrio, vaciado o soplado	16	0.043	835
Vermiculita, hojuelas	80	0.068	835
	160	0.063	1000
Formado/espumado de origen			
Granos de lana mineral con aglomerantes de asbestos/ orgánicos, pulverizados	190	0.046	—
Mástique de corcho de acetato polivinilo; pulverizado o fratasado	—	0.100	—
Uretano, mezcla de dos partes; espuma rígida	70	0.026	1045
Reflectivo			
Hoja de aluminio que separa capas de vidrio harinosas; 10–12 capas, al vacío; para aplicaciones criogénicas (150 K)	40	0.00016	—
Hoja de aluminio y papel de vidrio laminado; 75–150 capas; al vacío; para aplicación criogénica (150 K)	120	0.000017	—
Polvo de óxido de silicio típico, al vacío	160	0.0017	—

Fuente: Incropera Frank y De Witt. *Fundamentos de Transferencia de Calor*
4ta. Edición

TABLE A.1 Thermophysical Properties of Selected Metallic Solids^a

Composition	Melting Point (K)	Properties at 300 K				Properties at Various Temperatures (K)												
		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	k (W/m · K)/ c_p (J/kg · K)												
						100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000				
Aluminum Pure	933	2702	903	237	97.1	302	237	240	231	218								
Alloy 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2770	875	177	73.0	482	798	949	1033	1146								
Alloy 195, Cast (4.5% Cu)		2790	883	168	68.2			174	185									
Beryllium	1550	1850	1825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8	78.7						
Bismuth	545	9780	122	7.86	6.59	203	1114	2191	2604	2823	3018	3227	3519					
Boron	2573	2500	1107	27.0	9.76	190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85							
Cadmium	594	8650	231	96.8	48.4	128	600	1463	1892	2160	2338							
Chromium	2118	7160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4	61.9	57.2	49.4				
Cobalt	1769	8862	421	99.2	26.6	192	384	484	542	581	616	682	779	937				
Copper Pure	1358	8933	385	401	117	167	122	85.4	67.4	58.2	52.1	49.3	42.5					
Commercial bronze (90% Cu, 10% Al)	1293	8800	420	52	14	236	379	450	503	550	628	733	674					
Phosphor gear bronze (89% Cu, 11% Sn)	1104	8780	355	54	17	482	413	393	379	366	352	339						
Cartridge brass (70% Cu, 30% Zn)	1188	8530	380	110	33.9	252	356	397	417	433	451	480						
Constantan (55% Cu, 45% Ni)	1493	8920	384	23	6.71	42	52	59	59	545	74							
Germanium	1211	5360	322	59.9	34.7	17	19	19	19.8	17.4	17.4							

Fuente: Incropera Frank y De Witt. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*
6th Edition

TABLE A.6 Thermophysical Properties of Saturated Water^a

Temperature, T (K)	Pressure, p (bars) ^b	Specific Volume (m ³ /kg)		Heat of Vaporization, h_{fg} (kJ/kg)	Specific Heat (kJ/kg · K)		Viscosity (N · s/m ²)		Thermal Conductivity (W/m · K)		Prandtl Number		Surface Tension, $\sigma_f \cdot 10^3$ (N/m)	Expansion Coefficient, $\beta_f \cdot 10^6$ (K ⁻¹)	Temperature, T (K)
		$v_f \cdot 10^3$	v_g		$c_{p,f}$	$c_{p,g}$	$\mu_f \cdot 10^6$	$\mu_g \cdot 10^6$	$k_f \cdot 10^3$	$k_g \cdot 10^3$	Pr_f	Pr_g			
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	-68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	668	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	697.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385
390	1.794	1.058	0.980	2212	4.239	2.104	237	12.69	686	26.3	1.47	1.013	55.6	841	390
400	2.455	1.067	0.731	2183	4.256	2.158	217	13.05	688	27.2	1.34	1.033	53.6	896	400
410	3.302	1.077	0.553	2153	4.278	2.221	200	13.42	688	28.2	1.24	1.054	51.5	952	410
420	4.370	1.088	0.425	2123	4.302	2.291	185	13.79	688	29.8	1.16	1.075	49.4	1010	420

Fuente: Incropera Frank y De Witt. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*

6th Edition

TABLE A.4 Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure^a

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Air							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688











Fuente: Incropera Frank y De Witt. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*6th Edition

TABLE 8.4 Summary of convection correlations for flow in a circular tube^{a,b,c}

Correlation		Conditions
$f = 64/Re_D$	(8.19)	Laminar, fully developed
$Nu_D = 4.36$	(8.53)	Laminar, fully developed, uniform q_s''
$Nu_D = 3.66$	(8.55)	Laminar, fully developed, uniform T_s
$\overline{Nu}_D = 3.66 + \frac{0.0668(D/L)Re_D Pr}{1 + 0.04[(D/L)Re_D Pr]^{2/3}}$	(8.56)	Laminar, thermal entry (or combined entry with $Pr \geq 5$), uniform T_s
or		
$\overline{Nu}_D = 1.86 \left(\frac{Re_D Pr}{L/D} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$	(8.57)	Laminar, combined entry, $0.6 \leq Pr \leq 5$, $0.0044 \leq (\mu/\mu_s) \leq 9.75$, uniform T_s
$f = 0.316 Re_D^{-1/4}$	(8.20a) ^c	Turbulent, fully developed, $Re_D \leq 2 \times 10^4$
$f = 0.184 Re_D^{-1/5}$	(8.20b) ^c	Turbulent, fully developed, $Re_D \geq 2 \times 10^4$
or		
$f = (0.790 \ln Re_D - 1.64)^{-2}$	(8.21) ^c	Turbulent, fully developed, $3000 \leq Re_D \leq 5 \times 10^6$
$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^n$	(8.60) ^d	Turbulent, fully developed, $0.6 \leq Pr \leq 160$, $Re_D \geq 10,000$, $(L/D) \geq 10$, $n = 0.4$ for $T_s > T_m$ and $n = 0.3$ for $T_s < T_m$
or		
$Nu_D = 0.027 Re_D^{4/5} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$	(8.61) ^d	Turbulent, fully developed, $0.7 \leq Pr \leq 16,700$, $Re_D \geq 10,000$, $L/D \geq 10$
or		
$Nu_D = \frac{(f/8)(Re_D - 1000)Pr}{1 + 12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3} - 1)}$	(8.62) ^d	Turbulent, fully developed, $0.5 \leq Pr \leq 2000$, $3000 \leq Re_D \leq 5 \times 10^6$, $(L/D) \geq 10$
$Nu_D = 4.82 + 0.0185(Re_D Pr)^{0.827}$	(8.64)	Liquid metals, turbulent, fully developed, uniform q_s'' , $3.6 \times 10^3 \leq Re_D \leq 9.05 \times 10^5$, $10^2 \leq Pe_D \leq 10^4$
$Nu_D = 5.0 + 0.025(Re_D Pr)^{0.8}$	(8.65)	Liquid metals, turbulent, fully developed, uniform T_s , $Pe_D \geq 100$

^aThe mass transfer correlations may be obtained by replacing Nu_D and Pr by Sh_D and Sc , respectively.

TABLE 8.1 Nusselt numbers and friction factors for fully developed laminar flow in tubes of differing cross section

Cross Section	$\frac{b}{a}$	$Nu_D = \frac{hD_h}{k}$		$f Re_{D_h}$
		(Uniform q_s'')	(Uniform T_s)	
	—	4.36	3.66	64
	1.0	3.61	2.98	57
	1.43	3.73	3.08	59
	2.0	4.12	3.39	62
	3.0	4.79	3.96	69
	4.0	5.33	4.44	73
	8.0	6.49	5.60	82
	∞	8.23	7.54	96
	∞	5.39	4.86	96
	—	3.11	2.49	53

Used with permission from W. M. Kays and M. E. Crawford, *Convection Heat and Mass Transfer*, 3rd ed. McGraw-Hill, New York, 1993.

Fuente: Incropera Frank y De Witt. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*
6th Edition

TABLE 7.9 Summary of convection heat transfer correlations for external flow^{a, b}

Correlation		Geometry	Conditions ^c
$\delta = 5x Re_x^{-1/2}$	(7.19)	Flat plate	Laminar, T_f
$C_{f,x} = 0.664 Re_x^{-1/2}$	(7.20)	Flat plate	Laminar, local, T_f
$Nu_x = 0.332 Re_x^{1/2} Pr^{1/3}$	(7.23)	Flat plate	Laminar, local, T_f , $Pr \geq 0.6$
$\delta_t = \delta Pr^{-1/3}$	(7.24)	Flat plate	Laminar, T_f
$\bar{C}_{f,x} = 1.328 Re_x^{-1/2}$	(7.29)	Flat plate	Laminar, average, T_f
$\bar{Nu}_x = 0.664 Re_x^{1/2} Pr^{1/3}$	(7.30)	Flat plate	Laminar, average, T_f , $Pr \geq 0.6$
$Nu_x = 0.565 Pe_x^{1/2}$	(7.32)	Flat plate	Laminar, local, T_f , $Pr \leq 0.05$, $Pe_x \geq 100$
$C_{f,x} = 0.0592 Re_x^{-1/5}$	(7.34)	Flat plate	Turbulent, local, T_f , $Re_x \leq 10^8$
$\delta = 0.37x Re_x^{-1/5}$	(7.35)	Flat plate	Turbulent, T_f , $Re_x \leq 10^8$
$Nu_x = 0.0296 Re_x^{4/5} Pr^{1/3}$	(7.36)	Flat plate	Turbulent, local, T_f , $Re_x \leq 10^8$, $0.6 \leq Pr \leq 60$
$\bar{C}_{f,L} = 0.074 Re_L^{-1/5} - 1742 Re_L^{-1}$	(7.40)	Flat plate	Mixed, average, T_f , $Re_{x,c} = 5 \times 10^5$, $Re_L \leq 10^8$
$\bar{Nu}_L = (0.037 Re_L^{4/5} - 871) Pr^{1/3}$	(7.38)	Flat plate	Mixed, average, T_f , $Re_{x,c} = 5 \times 10^5$, $Re_L \leq 10^8$, $0.6 \leq Pr \leq 60$
$\bar{Nu}_D = C Re_D^m Pr^{1/3}$ (Table 7.2)	(7.52)	Cylinder	Average, T_f , $0.4 \leq Re_D \leq 4 \times 10^5$, $Pr \geq 0.7$
$\bar{Nu}_D = C Re_D^m Pr^n (Pr/Pr_s)^{1/4}$ (Table 7.4)	(7.53)	Cylinder	Average, T_s , $1 \leq Re_D \leq 10^6$, $0.7 \leq Pr \leq 500$
$\bar{Nu}_D = 0.3 + [0.62 Re_D^{1/2} Pr^{1/3} \times [1 + (0.4/Pr)^{2/3}]^{-1/4}] \times [1 + (Re_D/282,000)^{5/8}]^{4/5}$	(7.54)	Cylinder	Average, T_f , $Re_D Pr \geq 0.2$
$\bar{Nu}_D = 2 + (0.4 Re_D^{1/2} + 0.06 Re_D^{2/3}) Pr^{0.4} \times (\mu/\mu_s)^{1/4}$	(7.56)	Sphere	Average, T_s , $3.5 \leq Re_D \leq 7.6 \times 10^4$, $0.71 \leq Pr \leq 380$
$\bar{Nu}_D = 2 + 0.6 Re_D^{1/2} Pr^{1/3}$	(7.57)	Falling drop	Average, T_∞
$\bar{Nu}_D = 1.13 C_1 C_2 Re_{D,max}^m Pr^{1/3}$ (Tables 7.5, 7.6)	(7.60), (7.61)	Tube bank ^d	Average, \bar{T}_f , $2000 \leq Re_{D,max} \leq 4 \times 10^4$, $Pr \geq 0.7$
$\bar{Nu}_D = C C_2 Re_{D,max}^m Pr^{0.36} (Pr/Pr_s)^{1/4}$ (Tables 7.7, 7.8)	(7.64), (7.65)	Tube bank ^d	Average, \bar{T} , $1000 \leq Re_D \leq 2 \times 10^6$, $0.7 \leq Pr \leq 500$

Fuente: Incropera Frank y De Witt. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*

6th Edition

Table 1 Date, Declination, and Equation of Time for the 21st Day of Each Month of 1964, with Data (*A*, *B*, *C*)
Used to Calculate Direct Normal Radiation Intensity at the Earth's Surface

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
Year Day	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
Declination δ , degrees	-19.9	-10.6	0.0	+11.9	+20.3	+23.45	+20.5	+12.1	0.0	-10.7	-19.9	-23.45
Equation of time, minutes	-11.2	-13.9	-7.5	+1.1	+3.3	-1.4	-6.2	-2.4	+7.5	+15.4	+13.8	+1.6
Solar noon	late		early			late		early				
<i>A</i> , W/m ²	1230	1215	1186	1136	1104	1088	1085	1107	1152	1193	1221	1234
<i>B</i> , dimensionless	0.142	0.144	0.156	0.180	0.196	0.205	0.207	0.201	0.177	0.160	0.149	0.142
<i>C</i> , dimensionless	0.058	0.060	0.071	0.097	0.121	0.134	0.136	0.122	0.092	0.073	0.063	0.057

A = apparent solar irradiation at air mass zero for each month.

B = atmospheric extinction coefficient.

C = ratio of diffuse radiation on horizontal surface to direct normal irradiation.

Fuente: ANSI /ASHRAE 93. Methods of Testing to Determinate the Thermal Performance of Solar Collectors.

- Coeficientes de rozamiento estático y cinético

Superficies en contacto	μ_s	μ_k
Cobre sobre acero	0.53	0.36
Acero sobre acero	0.74	0.57
Aluminio sobre acero	0.61	0.47
Caucho sobre concreto	1.0	0.8
Madera sobre madera	0.25-0.5	0.2
Madera encerada sobre nieve húmeda	0.14	0.1
Teflón sobre teflón	0.04	0.04
Articulaciones sinoviales en humanos	0.01	0.003

Fuente: Serway R. A.. *Física*. Editorial McGraw-Hill. (1992)

SECCIÓN CIRCULAR. TIPO K, L y M

DIÁMETROS EXTERIORES, INTERIORES Y ESPEORES DE PARED

DIAMETRO NOMINAL		DIAMETRO EXTERIOR	ESPEORES DE PARED mm			DIAMETRO INTERIOR mm		
puig	mm	mm	Tipo K	Tipo L	Tipo M	Tipo K	Tipo L	Tipo M
3/8	10	12.70	1.24	0.89	0.64	10.22	10.92	11.42
1/2	13	15.88	1.24	1.02	0.71	13.40	13.84	14.46
5/8	15	19.05	1.24	1.07	-	16.57	16.91	-
3/4	19	22.22	1.65	1.14	0.81	18.92	19.94	20.60
1.	25	28.58	1.65	1.27	0.89	25.28	26.04	26.80
1.1/4	32	34.92	1.65	1.40	1.07	31.62	32.12	32.78
1.1/2	38	41.28	1.83	1.52	1.24	37.62	38.24	38.80
2	50	53.98	2.11	1.78	1.47	49.76	50.42	51.04
2.1/2	63	66.68	2.41	2.03	1.65	61.86	62.62	63.38
3.	75	79.38	2.77	2.29	1.83	73.84	74.80	75.72
3.1/2	90	92.08	3.05	2.54	2.11	85.98	87.00	87.86
4.	100	104.76	3.40	2.79	2.41	97.98	99.20	99.96
5.	125	130.18	4.06	3.18	2.77	122.06	123.82	124.64
6.	150	155.58	4.88	3.56	3.10	145.82	148.46	149.38
8	200	206.38	6.88	5.08	4.32	192.62	196.22	197.74
10.	250	257.18	8.58	6.35	5.38	240.02	244.48	246.42
12	300	307.98	10.29	7.11	6.45	287.40	293.76	295.08

TABLA 2. Dimensiones y características de tubería rígida de cobre

Medida nominal	Diámetro exterior	Diámetro interno			Espesor de pared			Peso por tramo de 6.10 mts			Presión máxima		
		M	L	K	M	L	K	M	L	K	M	L	K
1/4"	0.375"	0.324"	0.314"	0.276"	0.025"	0.030"	0.049"	2.132 lb	2.524 lb	5.385 lb	6.133 lb/pulg ²	7.200 lb/pulg ²	8.820 lb/pulg ²
6.35 mm	9.525 mm	8.255 mm	8.001 mm	7.035 mm	0.635 mm	0.762 mm	1.245 mm	0.968 kg	1.146 kg	2.445 kg	431.15 kg/cm ²	506.16 kg/cm ²	620.04 kg/cm ²
3/8"	0.500"	0.449"	0.429"	0.401"	0.025"	0.035"	0.049"	2.903 lb	3.965 lb	6.890 lb	4.500 lb/pulg ²	6.300 lb/pulg ²	7.056 lb/pulg ²
9.50 mm	12.700 mm	11.43 mm	10.922 mm	10.21 mm	0.635 mm	0.889 mm	1.245 mm	1.318 kg	1.800 kg	3.128 kg	316.35 kg/cm ²	442.89 kg/cm ²	496.03 kg/cm ²
1/2"	0.625"	0.572"	0.544"	0.494"	0.028"	0.040"	0.065"	4.083 lb	5.705 lb	12.813 lb	4.032 lb/pulg ²	5.760 lb/pulg ²	6.685 lb/pulg ²
12.7 mm	15.875 mm	14.453 mm	13.843 mm	12.573 mm	0.711 mm	1.016 mm	1.651 mm	1.854 kg	2.590 kg	5.817 kg	283.45 kg/cm ²	404.92 kg/cm ²	469.95 kg/cm ²
3/4"	0.875"	0.811"	0.784"	0.744"	0.032"	0.045"	0.065"	6.566 lb	9.110 lb	16.799 lb	3.291 lb/pulg ²	4.632 lb/pulg ²	5.200 lb/pulg ²
19 mm	22.225 mm	20.601 mm	19.939 mm	18.923 mm	0.812 mm	1.143 mm	1.651 mm	2.981 kg	4.136 kg	7.627 kg	231.35 kg/cm ²	325.62 kg/cm ²	209.00 kg/cm ²
1"	1.125"	1.054"	1.024"	0.994"	0.035"	0.050"	0.065"	9.310 lb	13.114 lb	20.824 lb	2.800 lb/pulg ²	4.000 lb/pulg ²	4.260 lb/pulg ²
25 mm	28.575 mm	26.797 mm	26.035 mm	25.273 mm	0.889 mm	1.270 mm	1.651 mm	4.227 kg	5.954 kg	9.454 kg	196.84 kg/cm ²	281.20 kg/cm ²	299.47 kg/cm ²
1 1/4"	1.375"	1.290"	1.264"	1.230"	0.042"	0.055"	0.072"	13.656 lb	17.700 lb	27.231 lb	2.749 lb/pulg ²	3.600 lb/pulg ²	3.988 lb/pulg ²
32 mm	34.925 mm	32.791 mm	32.131 mm	31.267 mm	1.067 mm	1.397 mm	1.829 mm	6.200 kg	8.036 kg	12.363 kg	193.25 kg/cm ²	253.08 kg/cm ²	280.35 kg/cm ²
1 1/2"	1.625"	1.526"	1.504"	1.459"	0.049"	0.060"	0.083"	18.821 lb	22.826 lb	41.249 lb	2.713 lb/pulg ²	3.323 lb/pulg ²	3.515 lb/pulg ²
38 mm	41.275 mm	38.785 mm	38.227 mm	37.059 mm	1.245 mm	1.524 mm	2.108 mm	8.545 kg	10.363 kg	18.727 kg	190.72 kg/cm ²	233.60 kg/cm ²	247.10 kg/cm ²
2"	2.125"	2.016"	1.984"		0.058"	0.070"		29.233 lb	35.042 lb		2.470 lb/pulg ²	2.965 lb/pulg ²	
51 mm	53.975 mm	51.029 mm	50.419 mm		1.473 mm	1.778 mm		13.272 kg	15.909 kg		173.65 kg/cm ²	208.43 kg/cm ²	
2 1/2"	2.625"	2.494"	2.464"		0.065"	0.080"		40.647 lb	49.658 lb		2.228 lb/pulg ²	2.742 lb/pulg ²	
64 mm	66.675 mm	63.373 mm	62.611 mm		1.651 mm	2.032 mm		18.454 kg	22.545 kg		156.62 kg/cm ²	192.76 kg/cm ²	
3"	3.125"	2.976"	2.944"		0.072"	0.090"		53.663 lb	66.645 lb		2.073 lb/pulg ²	2.592 lb/pulg ²	
76 mm	79.375 mm	75.597 mm	74.803 mm		1.889 mm	2.286 mm		24.363 kg	30.257 kg		145.73 kg/cm ²	182.21 kg/cm ²	
4"	4.125"	3.934"	3.904"		0.095"	0.110"		93.310 lb	107.729 lb		2.072 lb/pulg ²	2.400 lb/pulg ²	
102 mm	104.775 mm	99.949 mm	99.187 mm		2.413 mm	2.794 mm		42.363 kg	48.909 kg		145.65 kg/cm ²	168.72 kg/cm ²	

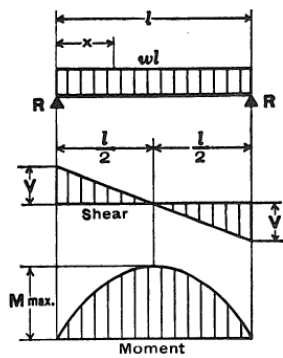
Fuente: PROCOBRE. Manual de Tubería de Cobre.

BEAM DIAGRAMS AND FORMULAS

For various static loading conditions

For meaning of symbols, see page 2 - 293

1. SIMPLE BEAM—UNIFORMLY DISTRIBUTED LOAD



Total Equiv. Uniform Load . . .	$= wl$
$R = V$	$= \frac{wl}{2}$
V_x	$= w \left(\frac{l}{2} - x \right)$
M max. (at center)	$= \frac{wl^2}{8}$
M_x	$= \frac{wx}{2} (l-x)$
Δ max. (at center)	$= \frac{5wl^4}{384EI}$
Δ_x	$= \frac{wx}{24EI} (l^3 - 2lx^2 + x^3)$

ASTM A500

From Wikipedia, the free encyclopedia

ASTM A500 is a standard specification published by the **ASTM** for cold-formed welded and seamless carbon steel structural tubing in round, square, and rectangular shapes. It is commonly specified in the USA for **hollow structural sections**, but the more stringent CSA G40.21 is preferred in Canada. Another related standard is ASTM A501, which is a hot-formed version of this A500. ASTM A500 defines four grades of **carbon steel** based primarily on material strength ^[1]

This is a standard set by the standards organization **ASTM International**, a voluntary standards development organizations that sets technical standards for materials, products, systems, and services.

Density

Like other carbon steels, A500 and A501 steels have a specific gravity of approximately 7.85, and therefore a density of approximately 7850 kg/m³ (0.284 pounds per cubic inch) ^[2]

Grades

A500 cold-formed tubing comes in four grades based on chemical composition, tensile strength, and heat treatment. The yield strength requirements are higher for square and rectangular than for round tubing. The minimum copper content is optional. Grade D must be heat treated. ^[1]

Grade	UNS	Composition (% by weight in heat)					Minimum strength requirements			
		C	Mn	P	S	Cu	tensile	yield (round)	yield (shaped)	elongation
		max %	max %	max %	max %	min %	MPa (ksi)	MPa (ksi)	MPa (ksi)	%
A	K03000	0.26	1.35	0.035	0.035	0.20	310 (45)	230 (33)	270 (39)	25
B	K03000	0.26	1.35	0.035	0.035	0.20	400 (58)	290 (42)	315 (46)	23
C	K02705	0.23	1.35	0.035	0.035	0.20	425 (62)	315 (46)	345 (50)	21
D	K03000	0.26	1.35	0.035	0.035	0.20	400 (58)	250 (36)	250 (36)	23

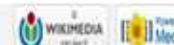
References

- ^a ^b ASTM A500/A500M-07.
- [^] A500A steel material properties, accessed October 8, 2006.

v · d · e	ASTM Standards
	List of ASTM International standards
	A514 steel · ASTM A325 · ASTM A354 · ASTM A490 · ASTM A500 · ASTM A53 · ASTM C 1112 · ASTM C 1270 · ASTM C 1349 · NOACK Volatility Test · ASTM E 1714 · ASTM E 2395 · ASTM F 1450 · ASTM F 1577 · ASTM F 1592 · ASTM F 1643 · ASTM F 1712 · ASTM F 1915 · ASTM F 2248 · ASTM F 2322 · ASTM F 2348 · ASTM F 571 · ASTM F 626 · ASTM F 883 · ASTM F 568M · ASTM D6751
	ASTM Subcommittee E20.02 on Radiation Thermometry

Categories: Steels | ASTM standards

Privacy policy · About Wikipedia · Disclaimers



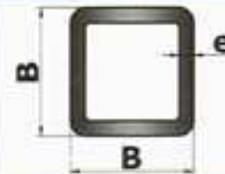
Fuente: WIKIPEDIA /ASTM A 500.

TUBERÍA ESTRUCTURAL E INDUSTRIAL

TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

Largo Normal
Recubrimiento
Norma de Fabricación
Otras dimensiones:

6 m
Negro o Galvanizado
ASTM A 500, ASTM A 123
Largo y dimensiones disponibles,
previa consulta



Dimensiones		Espesor	Peso
Designación	B	e	P
Pulg	mm	mm	Kg/6m
3/4		1,50	4,98
		2,00	6,30
1	25	1,50	6,36
		2,00	8,16
1 1/4	30	1,50	7,80
		2,00	10,08
1 1/2	40	1,50	10,62
		2,00	13,86
		3,00	19,80
2	50	1,50	13,44
		2,00	17,58
		3,00	25,50
2 3/8	60	1,50	16,26
		2,00	22,44
		3,00	33,30
3	75	2,00	27,00
		3,00	39,60
		4,00	51,54
4	100	2,00	36,42
		3,00	53,76
		4,00	70,38



Fuente: Catálogo IPAC

TUBERÍA ESTRUCTURAL E INDUSTRIAL

TUBO ESTRUCTURAL REDONDO PARA POSTES

Largo Normal
Recubrimiento
Norma de Fabricación
Otras dimensiones:

6 m
 Galvanizado
 ASTM A 500, ASTM A 123
 Largo y dimensiones disponibles,
 previa consulta



Dimensiones		Espesor	Peso
D		e	P
Pulg	mm	mm	Kg/6m
1/2	21,20	1,50	4,37
		2,00	5,68
3/4	26,70	1,50	5,59
		2,00	7,31
1	33,50	1,50	7,16
		2,00	9,32
1 1/4	42,20	1,50	9,03
		2,00	11,90
1 1/2	48,10	1,50	10,34
		2,00	13,64
2	60,30	1,50	13,05
		2,00	17,25
2 1/2	75,60	1,50	17,52
		2,00	21,78



Fuente: Catálogo IPAC

PLANCHAS

Producto	Recubrimiento	Dimensiones (mm)	Espesores (mm)	Calidad del acero
Plancha laminada en caliente	Negro	1,220 x 2,440	1.5 - 10.0	ASTMA 36 ASTM A 572 Gr. 50
		1,500 x 6,000	4.0 - 6.0	
		1,800 x 6,000	5.0 - 12.0	
		2,000 x 6,000	8.0 - 50.0	
		1,830 x 7,620	4.0 - 25.0	ASTM A 283 Gr. C
		2,440 x 6,000		ASTM A 516 Gr 70
		2,440 x 12,000		
		2,500 x 6,000	8.0 - 50.0	ASTM A 588 Gr. A
2,500 x 8,000				
2,500 x 12,000				
Plancha naval	Negro	1,524 x 6,096	4.0 - 12.0	ASTM A 131 Gr A / LLOYD'S ABS
Plancha Antideslizantes para piso	Negro	1,220 x 2,440	2.0 - 10.0	DIN 17100 ST 37.2
Plancha laminada en frío	Negro	1,000 x 2,000	0.3 - 1.50	ASTMA 366
		1,220 x 2,440		JIS G 3141 SPCC – SD
Plancha galvanizada	Galvanizada	1,220 x 2,440	0.3 - 1.50	ASTM A 653 CS

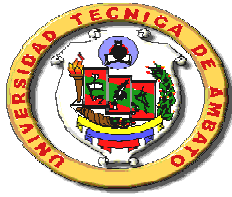
Otros largos y espesores de planchas disponibles, previa consulta



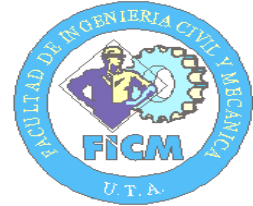
Fuente: Catálogo IPAC

ANEXOS B

FICHAS DE CAMPO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	01
Fecha de la Práctica:	Jueves 23/09/2010	Hora de Inicio:	11:50
Lugar de la Práctica:	Exteriores FICM-UTA	Hora de Salida:	14:10

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m2)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	11:00	NR	NR	NR	NR	NR
2	11:15	NR	NR	NR	NR	NR
3	11:30	NR	NR	NR	NR	NR
4	11:45	NR	NR	NR	NR	NR
5	12:00	Nublado	159.14	20.5	3.2	34.5
6	12:15	Nublado	182.67	18.7	6.7	39.0
7	12:30	Parcial Nublado	761.4	20.0	3.0	38.5
8	12:45	Parcial Nublado	478.2	22.4	7.0	37.5
9	13:00	Parcial Nublado	707.6	22.4	3.6	36.6
10	13:15	Parcial Nublado	721.2	23.7	4.8	31.5
11	13:30	Nublado	182.23	25.2	3.6	31.4
12	13:45	Nublado	169.35	18.8	4.5	44.0
13	14:00	Nublado	169.26	19.3	4.3	44.3

Leyenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc.Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

Observaciones: Se presentaron corrientes de viento moderadas con una velocidad de viento máxima de 8.9 m/s, la temperatura y la humedad relativa también fueron moderadas en relación a la hora del día. La irradiancia alcanzó valores altos entre las 12:30 y 13:15, en los otros intervalos fue insignificante.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

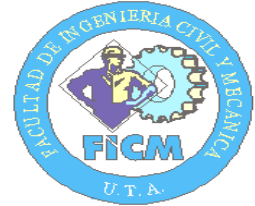
Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: En el período de estudio en general todas las magnitudes presentaron valores moderados, lo más destacable es que se registró valores elevados de irradiancia pero solo en un lapso de 45 minutos (de 12:30 a 13:15).

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	02
Fecha de la Práctica:	Viernes 24/09/2010	Hora de Inicio:	10:50
Lugar de la Práctica:	Exteriores FICM-UTA	Hora de Salida:	14:10

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m ²)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	11:00	Parcial Nublado	182.44	22.2	2.5	39.4
2	11:15	Soleado	857.2	30.5	0.8	24.0
3	11:30	Soleado	887.7	27.3	4.1	28.0
4	11:45	Parcial Nublado	329.9	25.3	4.8	31.5
5	12:00	Parcial Nublado	834.9	23.8	1.8	29.8
6	12:15	Nublado	149.4	23.6	5.9	32.6
7	12:30	Nublado	256.6	19.2	6.4	41.2
8	12:45	Parcial Nublado	629.3	21.4	8.9	39.9
9	13:00	Parcial Nublado	499.4	18.5	9.8	49.3
10	13:15	Parcial Nublado	383.0	21.5	8.5	43.8
11	13:30	Nublado	247.7	18.1	5.8	50.3
12	13:45	Nublado	345.6	18.2	6.2	48.7
13	14:00	Parcial Nublado	505.0	21.3	3.0	41.6

Leyenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc.Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

Observaciones: Existieron importantes corrientes de viento que se presentaron de forma irregular y poco predecible registrándose una máxima velocidad de viento de 10.9 m/s, la temperatura fue moderada y la humedad relativa fue alta alcanzando hasta el 50.3%. La irradiancia registró valores muy elevados pero se comportó de forma irregular.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: En el lapso de estudio se tuvieron importantes corrientes de viento, temperaturas más o menos moderadas pero muy variables y humedad relativa alta. En cuanto a la irradiancia fue elevada entre las 11:15 y 12:00 y más o menos considerable entre las 12:45 y 13:15.

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	03
Fecha de la Práctica:	Martes 28/09/2010	Hora de Inicio:	10:50
Lugar de la Práctica:	Exteriores FICM-UTA	Hora de Salida:	14:10

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m2)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	11:00	Parcial Nublado	265.3	27.5	0.5	30.1
2	11:15	Parcial Nublado	335.4	28.8	1.1	22.9
3	11:30	Soleado	576.6	31.8	0.8	20.2
4	11:45	Soleado	625.1	28.1	1.1	23.3
5	12:00	Parcial Nublado	794.2	31.8	0.5	18.5
6	12:15	Parcial Nublado	367.7	31.6	1.8	21.5
7	12:30	Parcial Nublado	223.1	30.8	1.4	20.1
8	12:45	Parcial Nublado	308.4	27.5	3.8	21.3
9	13:00	Parcial Nublado	274.9	28.4	4.9	21.3
10	13:15	Parcial Nublado	562.5	23.0	4.5	30.9
11	13:30	Parcial Nublado	187.14	21.6	5.2	36.8
12	13:45	Nublado	182.2	21.0	4.4	39.5
13	14:00	Nublado	209.4	21.0	8.9	37.9

Leyenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc.Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

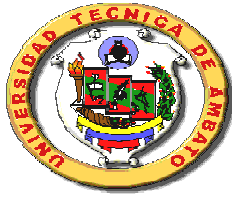
Observaciones: De 11:00 a 13:00 prácticamente no hubieron corrientes de viento, la temperatura alcanzó picos altos (una máxima de 32°C) y la humedad relativa fue muy baja llegando hasta un 18%. A partir de las 13:00 se presentaron corrientes de viento con gran frecuencia alcanzándose una velocidad de viento de hasta 10.9 m/s, la temperatura descendió y la humedad se elevó considerablemente.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

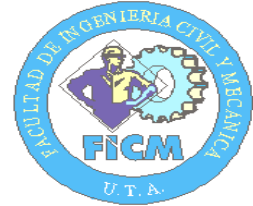
Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: Cuando se presentan corrientes de viento física y claramente perceptibles, la velocidad de viento es igual o superior a 3 o 4 m/s. En el presente día por las condiciones dadas se tuvieron elevadísimos valores de temperatura así como muy baja humedad relativa hasta las 13:00. La irradiancia fue muy irregular y solo importante en ciertos lapsos.

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	04
Fecha de la Práctica:	Jueves 30/09/2010	Hora de Inicio:	10:50
Lugar de la Práctica:	Exteriores FICM-UTA	Hora de Salida:	13:40

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m2)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	11:00	Parcial Nublado	779.3	25.2	4.0	35.2
2	11:15	Parcial Nublado	766.9	25.0	4.8	28.6
3	11:30	Parcial Nublado	779.6	23.5	5.4	30.7
4	11:45	Parcial Nublado	585.7	21.2	5.2	36.4
5	12:00	Parcial Nublado	285.2	20.8	6.8	36.0
6	12:15	Nublado	81.71	20.2	5.4	41.4
7	12:30	Nublado	172.36	19.5	4.8	42.4
8	12:45	Nublado	173.9	22.8	5.2	38.6
9	13:00	Nublado	103.97	18.8	6.5	46.0
10	13:15	Nublado	75.94	20.6	4.2	40.5
11	13:30	Nublado	110.06	19.5	3.6	44.5
12	13:45	NR	NR	NR	NR	NR
13	14:00	NR	NR	NR	NR	NR

Leyenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc.Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

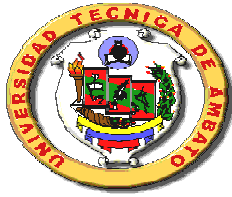
Observaciones: En general se presentaron importantes corrientes de viento con una velocidad máxima de viento de 11.3 m/s, la temperatura estuvo moderada pero descendió poco a poco hasta bordear los 18 °C, la humedad relativa fue relativamente alta especialmente al final del lapso de estudio. De 11:00 a 12:00 la irradiancia alcanzó valores elevados y posteriormente cayó de forma considerable.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

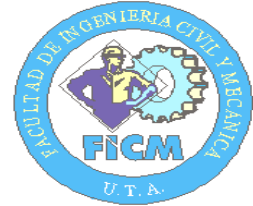
Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: El presente día fue favorable en cuanto a corrientes de viento porque fueron constantes, La temperatura estuvo moderada considerando que el clima predominante es el templado, la humedad relativa fue más o menos regular pero subió a valores considerables al final del estudio. La irradiancia solo fue significativa entre las 11:00 y 12:00.

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	05
Fecha de la Práctica:	Martes 05/10/2010	Hora de Inicio:	10:50
Lugar de la Práctica:	Exteriores FICM-UTA	Hora de Salida:	14:10

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m2)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	11:00	Soleado	705.6	24.5	1.5	32.3
2	11:15	Soleado	753.8	25.8	3.2	32.2
3	11:30	Soleado	773.2	27.8	1.3	26.2
4	11:45	Soleado	798.2	26.1	2.7	28.5
5	12:00	Soleado	791.3	25.5	2.6	27.5
6	12:15	Soleado	793.8	25.4	2.3	27.3
7	12:30	Soleado	779.2	27.4	2.4	25.8
8	12:45	Soleado	747.9	25.2	3.2	31.7
9	13:00	Soleado	706.4	27.4	2.4	27.6
10	13:15	Soleado	660.2	26.8	3.4	26.6
11	13:30	Soleado	617.7	22.8	4.6	31.0
12	13:45	Soleado	574.1	23.0	4.7	34.1
13	14:00	Parcial Nublado	230.7	25.5	3.6	32.6

Leyenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc.Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

Observaciones: Únicamente existieron pequeñas y aisladas brisas hasta las 13:20, a partir de ahí se presentaron corrientes de viento moderadas alcanzando una velocidad de viento máxima de 9.3 m/s. La humedad fue relativamente baja y sin mayor variación, la temperatura más o menos alta y estable. La irradiancia se mantuvo uniforme y presentó valores elevados.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: El día estuvo soleado, el Sol emitió una gran cantidad de energía que se evidenció en los altos valores de irradiancia, que además tendió a ser constante (entre 600 y 800 W/m2). En cuanto a la velocidad de viento, la temperatura y la humedad relativa, también fueron estables (sin mayores variaciones), aunque cabe mencionar que se bordeó los 28°C.

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	06
Fecha de la Práctica:	Jueves 07/10/2010	Hora de Inicio:	10:50
Lugar de la Práctica:	Exteriores FICM-UTA	Hora de Salida:	14:10

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m ²)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	11:00	Soleado	712.4	26.3	0.6	33.8
2	11:15	Soleado	85.13	29.0	0.8	27.7
3	11:30	Soleado	789.0	28.3	1.1	27.3
4	11:45	Soleado	795.8	23.5	3.2	33.7
5	12:00	Soleado	800.7	23.1	4.2	34.3
6	12:15	Soleado	794.0	24.5	4.5	33.9
7	12:30	Soleado	785.4	24.0	5.8	33.1
8	12:45	Soleado	749.0	21.7	6.2	38.5
9	13:00	Soleado	639.2	21.8	6.1	37.8
10	13:15	Soleado	664.9	20.4	7.4	40.2
11	13:30	Soleado	629.8	23.2	3.2	33.3
12	13:45	Soleado	589.9	21.5	6.6	37.6
13	14:00	Soleado	565.5	21.4	8.5	34.8

Leyenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc. Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

Observaciones: A partir de las 12:30 se presentaron importantes corrientes de viento con bastante frecuencia, alcanzando un record de velocidad de viento para el medio día de 14.7 m/s. La humedad relativa y la temperatura presentaron valores moderados, la humedad máxima no superó el 40%, sin embargo la temperatura alcanzó los 29 °C. La irradiancia presentó valores elevados.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: El día estuvo soleado, el Sol emitió una importante cantidad de energía que produjo altos valores de irradiancia, excepto a las 11:15 en donde cayó sombra por segundos. A pesar de las condiciones climáticas se presentaron corrientes de viento continuas y considerables, la temperatura y humedad relativa fueron más o menos estables.

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	07
Fecha de la Práctica:	Viernes 08/10/2010	Hora de Inicio:	10:50
Lugar de la Práctica:	Exteriores FICM-UTA	Hora de Salida:	14:10

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m ²)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	11:00	Nublado	216.6	24.2	0.5	44.1
2	11:15	Nublado	163.15	22.3	1.3	42.2
3	11:30	Nublado / Lluvia	102.76	17.8	3.3	54.9
4	11:45	Nublado	218.8	22.4	1.3	45.8
5	12:00	Nublado	38.02	18.9	2.4	50.6
6	12:15	Nublado	168.37	21.1	1.6	49.9
7	12:30	Nublado	184.14	21.3	2.2	45.4
8	12:45	Parcial Nublado	330.6	22.3	1.7	44.2
9	13:00	Nublado	314.2	22.2	3.1	40.7
10	13:15	Nublado	74.89	22.7	1.7	41.2
11	13:30	Parcial Nublado	695.9	22.3	2.7	40.9
12	13:45	Nublado	168.55	23.3	3.1	37.7
13	14:00	Nublado	140.2	18.4	1.3	48.9

Leyenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc.Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

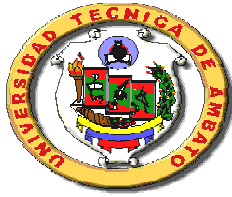
Observaciones: Se presentaron pequeñas lloviznas aisladas, sin embargo no existieron corrientes de viento a destacar, la humedad relativa se manifestó muy alta llegando hasta el 62% a las 11:55 y la temperatura presentó valores moderados. La irradiancia fue baja, únicamente alcanzó un pico importante (696 W/m²).

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

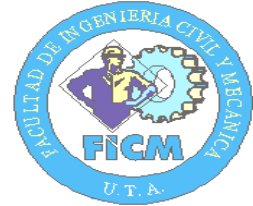
Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: El día estuvo nublado y escasamente lluvioso, por ello la irradiancia no registró valores importantes. No se presentaron corrientes de viento pese a las condiciones climáticas, la humedad relativa fue muy elevada tomando en cuenta que se trata del medio día y la temperatura fue moderada sin presentar valores bajos a pesar de ser un día nublado.

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	08
Fecha de la Práctica:	Martes 12/10/2010	Hora de Inicio:	10:50
Lugar de la Práctica:	Exteriores FICM-UTA	Hora de Salida:	14:10

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m2)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	11:00	Nublado	269.0	19.7	3.4	43.1
2	11:15	Nublado	197.76	19.8	2.3	41.8
3	11:30	Nublado	153.11	16.1	4.3	48.1
4	11:45	Parcial Nublado	563.6	21.1	1.2	41.6
5	12:00	Parcial Nublado	283.8	17.9	8.7	45.6
6	12:15	Parcial Nublado	272.8	19.4	4.3	45.3
7	12:30	Parcial Nublado	600.5	19.0	4.7	43.4
8	12:45	Parcial Nublado	491.6	22.1	2.4	33.7
9	13:00	Nublado	247.1	19.0	4.8	43.2
10	13:15	Nublado	270.1	19.5	3.5	41.3
11	13:30	Nublado	215.0	19.9	3.4	41.0
12	13:45	Nublado	202.0	19.4	3.6	47.0
13	14:00	Nublado	118.42	17.7	2.4	49.8

Leyenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc.Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

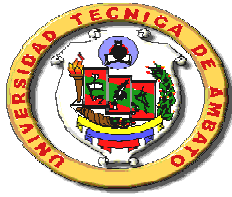
Observaciones: Se presentaron corrientes de viento irregulares en la frecuencia de apareamiento y que no fueron muy elevadas, la máxima velocidad de viento fue de 9.6 m/s. La humedad relativa se manifestó alta y la temperatura relativamente baja. La irradiancia fue poco significativa, únicamente existió ciertos momentos en que supero los 500 W/m2.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

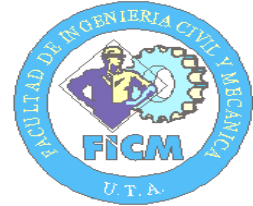
Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: En el lapso de medición el día estuvo preponderantemente nublado, aunque existieron ciertos intervalos en que tendió a despejarse y fue entonces que se tuvieron significativos valores de irradiancia. La velocidad de viento presentó valores importantes pero no muy elevados, la humedad relativa fue alta y la temperatura algo baja.

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	09
Fecha de la Práctica:	Jueves 14/10/2010	Hora de Inicio:	10:50
Lugar de la Práctica:	Exteriores FICM-UTA	Hora de Salida:	14:10

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m2)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	11:00	Nublado	342.2	24.5	0.8	38.9
2	11:15	Nublado	459.1	22.6	2.2	40.3
3	11:30	Nublado	323.2	24.1	2.3	37.4
4	11:45	Nublado	274.3	26.9	0.9	34.3
5	12:00	Nublado	238.6	22.8	3.0	39.2
6	12:15	Nublado	220.7	22.9	1.4	39.3
7	12:30	Nublado	225.2	20.2	2.1	42.4
8	12:45	Nublado	258.8	22.6	1.8	37.9
9	13:00	Nublado	290.0	25.1	1.6	35.6
10	13:15	Nublado	285.1	22.1	2.0	38.1
11	13:30	Nublado	233.8	24.8	0.9	34.9
12	13:45	Nublado	202.5	20.0	3.7	36.3
13	14:00	Parcial Nublado	228.2	25.0	2.4	33.8

Leyenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc.Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

Observaciones: No existieron corrientes de viento a resaltar, la humedad relativa estuvo más o menos elevada y estable, la temperatura fue moderada pese a tener cielo nublado. La irradiancia tendió a ser uniforme pero con valores pequeños.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: El medio día se presentó nublado, por esta razón la irradiancia fue poco significativa, sin embargo estuvo uniforme y siempre sobrepasó los 200 W/m2. Prácticamente no existieron corrientes de viento importantes, la humedad relativa estuvo estable y algo alta y la temperatura moderada.

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	10
Fecha de la Práctica:	Viernes 15/10/2010	Hora de Inicio:	10:55
Lugar de la Práctica:	Exteriores FICM-UTA	Hora de Salida:	14:10

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m2)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	11:00	Nublado	249.7	19.2	4.6	49.9
2	11:15	Nublado	253.7	22.7	0.9	40.8
3	11:30	Nublado	297.0	22.2	2.8	40.8
4	11:45	Parcial Nublado	563.2	25.3	2.0	35.8
5	12:00	Parcial Nublado	409.4	23.4	3.4	35.2
6	12:15	Parcial Nublado	208.8	25.9	1.2	30.3
7	12:30	Parcial Nublado	744.7	24.8	3.6	34.6
8	12:45	Parcial Nublado	273.2	24.5	3.3	32.7
9	13:00	Parcial Nublado	526.5	28.0	0.7	30.9
10	13:15	Parcial Nublado	654.5	24.4	4.3	32.5
11	13:30	Parcial Nublado	631.0	23.7	3.3	33.7
12	13:45	Parcial Nublado	584.2	26.5	1.5	30.5
13	14:00	Parcial Nublado	562.9	23.8	3.8	33.5

Leyenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc.Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

Observaciones: Existieron moderadas corrientes de viento que se presentaron de forma irregular y poco predecible, la velocidad de viento llegó hasta los 7.3 m/s. La humedad relativa y la temperatura fueron moderadas, aunque se alcanzó los 28 °C. La irradiancia fue muy impredecible y cambiante, pero cabe mencionar que tuvo valores apreciables a partir de las 11:45.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: El medio día se presentó en dos facetas, primero estuvo nublado y luego se fue despejando, la irradiancia tuvo valores importantes a partir de las 11:45, aunque siempre existieron intervalos en los que cayó en magnitud. Hubieron corrientes de viento pero nunca llegaron a ser muy fuertes, la humedad y temperatura fueron moderadas.

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	11
Fecha de la Práctica:	Jueves 21/10/2010	Hora de Inicio:	10:55
Lugar de la Práctica:	Exteriores FICM-UTA	Hora de Salida:	14:10

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m ²)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	11:00	Soleado	719.2	26.7	0.5	29.1
2	11:15	Soleado	724.0	26.2	1.5	26.4
3	11:30	Soleado	754.3	24.7	4.2	26.6
4	11:45	Soleado	777.4	25.4	1.9	25.6
5	12:00	Soleado	780.6	27.2	2.1	25.2
6	12:15	Soleado	768.3	29.0	0.4	25.1
7	12:30	Soleado	730.4	23.1	7.7	33.6
8	12:45	Soleado	725.3	24.0	4.3	31.8
9	13:00	Soleado	668.5	25.2	2.9	29.9
10	13:15	Soleado	621.2	25.5	4.9	31.3
11	13:30	Soleado	653.4	28.1	1.7	28.4
12	13:45	Parcial Nublado	628.9	23.2	5.9	37.1
13	14:00	Parcial Nublado	530.1	21.6	8.7	41.2

Legenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc.Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

Observaciones: A partir de las 12:20 comenzaron a existir brisas que luego de las 12:55 se convirtieron en importantes corrientes de viento, registrándose una máxima velocidad de viento de 9.6 m/s. La humedad relativa fue en general baja hasta las 13:35 y la temperatura elevada hasta esa misma hora. La irradiancia tendió a ser uniforme superando siempre los 600 W/m² hasta las 13:35.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: Aproximadamente de 8:45 a 13:35 el día estuvo soleado. En el intervalo de estudio hasta las 13:35 la irradiancia registró valores elevados y fue muy uniforme. La humedad y temperatura fueron baja y alta, respectivamente, hasta esa hora. A partir de las 13:35 descendió la irradiancia y se volvió irregular, también bajó la temperatura y subió la humedad. Se presentaron corrientes de viento apreciables desde las 12:55.

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	12
Fecha de la Práctica:	Viernes 22/10/2010	Hora de Inicio:	10:55
Lugar de la Práctica:	Exteriores FICM-UTA	Hora de Salida:	14:10

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m2)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	11:00	Soleado	696.9	24.1	1.7	30.8
2	11:15	Soleado	721.2	22.9	2.2	34.3
3	11:30	Soleado	757.7	27.1	0.9	28.5
4	11:45	Soleado	784.5	27.3	1.5	28.3
5	12:00	Parcial Nublado	476.7	24.8	4.3	31.5
6	12:15	Parcial Nublado	836.9	22.7	4.7	36.5
7	12:30	Parcial Nublado	513.0	25.1	1.6	34.9
8	12:45	Parcial Nublado	487.8	22.0	4.1	38.6
9	13:00	Soleado	611.8	24.8	2.1	31.4
10	13:15	Soleado	646.5	25.3	2.8	31.1
11	13:30	Soleado	587.2	22.7	5.2	35.0
12	13:45	Soleado	545.3	23.9	1.9	36.1
13	14:00	Soleado	493.6	21.1	8.6	40.8

Leyenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc.Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

Observaciones: Se presentaron corrientes de viento con cierta frecuencia a partir de las 12:00, llegando a un pico de velocidad de viento de 14.4 m/s. La humedad relativa y temperatura fueron moderadas en magnitud aunque cambiantes de forma poco predecible. La irradiancia estuvo elevada y uniforme hasta las 12:00 y a partir de allí descendió un poco volviéndose además irregular.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: El medio día se presentó soleado y parcialmente nublado, la irradiancia obtuvo valores elevados pero algo irregulares, especialmente fue cambiante a partir de las 12:00. La humedad relativa y temperatura estuvieron moderadas en magnitud pero variaron con cierta frecuencia. Existieron apreciables corrientes de viento a partir de las 12:00.

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	13
Fecha de la Práctica:	Martes 26/10/2010	Hora de Inicio:	12:40
Lugar de la Práctica:	Exteriores FICM-UTA	Hora de Salida:	14:10

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m ²)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	11:00	Nublado	NR	NR	NR	NR
2	11:15	Nublado	NR	NR	NR	NR
3	11:30	Nublado	NR	NR	NR	NR
4	11:45	Parcial Nublado	NR	NR	NR	NR
5	12:00	Parcial Nublado	NR	NR	NR	NR
6	12:15	Parcial Nublado	NR	NR	NR	NR
7	12:30	Parcial Nublado	NR	NR	NR	NR
8	12:45	Parcial Nublado	661.2	26.6	0.7	30.7
9	13:00	Parcial Nublado	394.3	19.9	4.3	39.0
10	13:15	Parcial Nublado	628.4	26.9	0.8	30.1
11	13:30	Parcial Nublado	627.2	30.8	1.1	24.2
12	13:45	Parcial Nublado	310.5	31.1	1.1	23.3
13	14:00	Parcial Nublado	478.6	26.7	3.4	29.8

Legenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc.Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

Observaciones: No existieron corrientes de viento a destacar, únicamente aparecieron con notoriedad a partir de las 13:50. La humedad relativa y la temperatura fueron muy irregulares, al inicio la humedad estuvo un poco elevada y llegó a ser muy baja al final del lapso de estudio, la temperatura empezó baja y alcanzó valores elevadísimos al final. La irradiancia fue importante a partir de las 11:45.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: El día estuvo muy nublado hasta las 11:30 visualizándose cierta obscuridad, a partir de entonces se fue despejando permitiendo alcanzar elevados valores de irradiancia, aunque su comportamiento siempre fue irregular porque a momentos cayó un poco de sombra. La humedad relativa y temperatura fueron muy cambiantes, lo destacable es que la temperatura llegó a superar los 30°C. No existieron importantes corrientes de viento.

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	14
Fecha de la Práctica:	Jueves 28/10/2010	Hora de Inicio:	10:55
Lugar de la Práctica:	Exteriores FICM-UTA	Hora de Salida:	14:05

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m ²)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	11:00	Soleado	654.9	24.9	1.3	31.8
2	11:15	Soleado	704.8	23.5	2.8	31.1
3	11:30	Soleado	734.7	24.5	1.8	29.1
4	11:45	Soleado	727.4	23.5	1.5	30.7
5	12:00	Parcial Nublado	796.7	25.1	1.3	27.0
6	12:15	Parcial Nublado	735.4	27.4	1.4	25.4
7	12:30	Parcial Nublado	382.8	29.0	0.7	25.4
8	12:45	Parcial Nublado	705.6	25.5	3.9	28.4
9	13:00	Parcial Nublado	493.6	24.1	2.3	34.8
10	13:15	Nublado	205.8	26.6	1.6	29.9
11	13:30	Nublado	194.99	22.4	5.3	37.6
12	13:45	Parcial Nublado	357.3	26.2	1.7	27.5
13	14:00	Nublado	177.85	26.3	2.5	27.2

Leyenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc.Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

Observaciones: No se presentaron corrientes de viento hasta las 13:10, a partir de entonces aparecieron con cierta frecuencia pero nunca se alcanzó elevados valores de velocidad de viento. La humedad relativa fue baja y la temperatura estuvo estable y relativamente alta. La irradiancia fue significativa hasta las 12:25, luego descendió su magnitud y desde las 13:10 cayó hasta ser despreciable.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

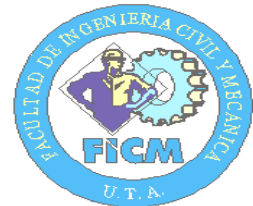
Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: En el lapso de estudio las condiciones climáticas variaron considerablemente, primero estuvo soleado registrándose altos valores de irradiancia, posteriormente se nubló el cielo paulatinamente cayendo la irradiancia hasta ser despreciable. La humedad fue baja y la temperatura estuvo uniforme todo el tiempo y parcialmente elevada llegando hasta los 29°C. La velocidad de viento nunca alcanzó valores altos.

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	15
Fecha de la Práctica:	Viernes 29/10/2010	Hora de Inicio:	10:55
Lugar de la Práctica:	Exteriores FICM-UTA	Hora de Salida:	14:10

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m2)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	11:00	Soleado	690.4	27.6	0.6	25.2
2	11:15	Soleado	709.0	25.9	1.0	25.7
3	11:30	Soleado	704.8	29.4	0.5	23.1
4	11:45	Soleado	708.8	30.2	1.6	21.1
5	12:00	Soleado	698.4	30.0	0.4	20.8
6	12:15	Soleado	692.2	29.3	1.0	20.5
7	12:30	Soleado	648.7	29.1	0.6	20.4
8	12:45	Soleado	638.6	30.8	0.5	21.1
9	13:00	Parcial Nublado	259.0	28.7	1.6	20.4
10	13:15	Parcial Nublado	149.57	26.7	1.1	21.6
11	13:30	Parcial Nublado	548.1	28.1	1.5	25.6
12	13:45	Nublado	58.32	26.2	2.3	26.6
13	14:00	Nublado	367.3	26.7	2.4	29.5

Leyenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc.Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

Observaciones: No existieron corrientes de viento, únicamente brisas muy débiles a partir de las 13:35. La humedad relativa fue uniforme y baja. La temperatura también tendió a ser constante y alcanzó valores elevadísimos (30 °C). La irradiancia estuvo alta y uniforme hasta cerca de las 13:00, posteriormente varió frecuentemente siendo a momentos insignificante.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: El día estuvo soleado hasta las 13:00 por ello la irradiancia fue elevada y casi constante, a partir de entonces decreció porque el cielo empezó a nublarse, tornándose además muy irregular. La humedad relativa y la temperatura tuvieron un comportamiento uniforme, en el caso de la primera fue baja y la segunda elevada. La velocidad del viento siempre fue despreciable.

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	16
Fecha de la Práctica:	Jueves 04/11/2010	Hora de Inicio:	10:55
Lugar de la Práctica:	Exteriores FICM-UTA	Hora de Salida:	14:10

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m ²)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	11:00	Soleado	654.4	28.1	0.6	26.9
2	11:15	Soleado	672.6	26.8	1.3	23.8
3	11:30	Soleado	682.2	30.2	0.6	23.9
4	11:45	Soleado	701.2	29.9	0.6	23.9
5	12:00	Soleado	712.6	29.6	0.4	23.5
6	12:15	Soleado	708.1	30.5	1.4	23.7
7	12:30	Soleado	683.4	25.9	2.7	27.2
8	12:45	Soleado	652.8	25.2	3.8	27.6
9	13:00	Soleado	623.3	24.1	3.8	32.2
10	13:15	Soleado	582.2	27.1	1.2	30.6
11	13:30	Soleado	541.3	23.5	6.8	35.5
12	13:45	Soleado	510.4	21.3	9.8	44.1
13	14:00	Soleado	486.3	21.9	8.6	44.3

Leyenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc.Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

Observaciones: Hasta las 12:10 no hubieron corrientes de viento, a partir de ahí se presentaron brisas y desde las 13:00 aparecieron corrientes importantes de hasta 10 m/s la velocidad de viento. La temperatura estuvo muy uniforme y elevada hasta las 13:15 y luego fue descendiendo. La humedad tendió a ser constante hasta esa hora presentando valores bajos y luego subió. La irradiancia fue alta.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: El medio día siempre estuvo soleado presentándose valores altos de irradiancia, mismos que descendieron paulatinamente al final pero nunca fueron valores insignificantes. La velocidad de viento fue significativa solo desde las 13:00. La humedad relativa y temperatura estuvieron muy uniformes hasta las 13:15, la primera con valores bajos y la segunda con elevadísimos, ambas al final se tornaron moderadas en magnitud.

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	17
Fecha de la Práctica:	Viernes 05/11/2010	Hora de Inicio:	10:55
Lugar de la Práctica:	Exteriores FICM-UTA	Hora de Salida:	14:10

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m ²)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	11:00	Soleado	648.0	26.0	1.0	26.9
2	11:15	Soleado	670.1	23.6	1.4	27.6
3	11:30	Soleado	712.7	28.1	0.7	22.1
4	11:45	Soleado	712.4	24.0	2.6	30.2
5	12:00	Soleado	712.8	24.4	2.9	25.5
6	12:15	Soleado	708.3	29.0	1.5	23.2
7	12:30	Soleado	689.9	26.5	1.1	24.8
8	12:45	Soleado	634.1	23.3	3.9	29.0
9	13:00	Soleado	635.2	24.2	3.0	31.4
10	13:15	Soleado	607.0	24.0	4.8	33.3
11	13:30	Soleado	558.3	25.2	1.2	29.6
12	13:45	Soleado	444.0	21.7	6.9	38.7
13	14:00	Soleado	463.3	22.4	5.8	36.7

Leyenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc.Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

Observaciones: Desde las 13:00 se presentaron importantes corrientes de viento con mucha frecuencia pero la velocidad de viento nunca superó los 10 m/s. La humedad relativa fue baja hasta las 13:30 y a partir de ahí subió. La temperatura estuvo relativamente alta también hasta las 13:30 y luego se tornó moderada. La irradiancia mostró un comportamiento uniforme y fue elevada hasta las 13:30.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: Todo el medio día estuvo soleado, por esta razón la irradiancia fue elevada en especial hasta las 13:30 y luego decreció paulatinamente pero siguió siendo importante. La velocidad de viento tuvo valores medianamente elevados a partir de las 13:00. La humedad relativa estuvo baja y la temperatura alta hasta las 13:30 y luego se tornaron moderadas en magnitud.

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	18
Fecha de la Práctica:	Martes 09/11/2010	Hora de Inicio:	10:55
Lugar de la Práctica:	Exteriores FICM-UTA	Hora de Salida:	14:05

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m ²)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	11:00	Soleado	672.3	21.6	3.3	29.7
2	11:15	Soleado	696.4	20.4	3.7	31.2
3	11:30	Soleado	724.0	23.3	5.5	29.9
4	11:45	Parcial Nublado	601.5	24.5	3.3	28.9
5	12:00	Parcial Nublado	671.2	25.1	2.6	32.7
6	12:15	Parcial Nublado	596.1	21.5	3.6	35.7
7	12:30	Soleado	662.1	24.4	0.8	29.8
8	12:45	Soleado	567.1	20.5	4.7	34.2
9	13:00	Parcial Nublado	635.0	24.6	2.3	28.8
10	13:15	Parcial Nublado	174.18	18.7	6.4	39.1
11	13:30	Parcial Nublado	221.4	19.3	7.2	41.2
12	13:45	Parcial Nublado	512.2	19.0	6.8	43.4
13	14:00	Parcial Nublado	464.7	20.2	4.0	41.7

Leyenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc.Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

Observaciones: Existieron frecuentes corrientes de viento que se manifestaron durante todo el medio día, aunque no se alcanzaron velocidades de viento muy elevadas. Como consecuencia de lo anterior la humedad relativa y la temperatura estuvieron moderadas. La irradiancia presentó valores altos hasta las 13:00 y en general estuvo irregular porque subió y bajó de manera impredecible.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: El medio día estuvo soleado aunque a momentos el sol fue cubierto por una fina capa de nubes, por esta razón la irradiancia estuvo elevada pero variable e incluso en instantes fue insignificante. La humedad relativa y la temperatura presentaron valores moderados. La velocidad de viento fue medianamente importante en todo el lapso de medida.

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	19
Fecha de la Práctica:	Martes 16/11/2010	Hora de Inicio:	10:55
Lugar de la Práctica:	Exteriores FICM-UTA	Hora de Salida:	13:35

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m ²)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	11:00	Nublado	435.3	25.9	0.4	39.0
2	11:15	Nublado	477.1	28.4	0.5	30.0
3	11:30	Parcial Nublado	340.6	28.5	1.0	28.1
4	11:45	Parcial Nublado	89.72	29.4	0.5	24.8
5	12:00	Parcial Nublado	704.2	24.7	1.6	34.5
6	12:15	Parcial Nublado	180.8	26.9	0.8	30.3
7	12:30	Parcial Nublado	443.7	26.2	0.5	32.4
8	12:45	Parcial Nublado	378.8	27.0	1.4	34.6
9	13:00	Nublado	195.26	26.1	0.8	31.7
10	13:15	Nublado	101.4	26.7	0.4	30.7
11	13:30	Nublado	21.65	20.9	2.6	39.2
12	13:45	Nublado /Llovizna	NR	NR	NR	NR
13	14:00	Nublado / Lluvia	NR	NR	NR	NR

Legenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc.Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

Observaciones: No se presentaron corrientes de viento hasta las 12:35, a partir de allí aparecieron leves brisas hasta las 13:40, momento en el cual comenzaron a existir fuertes corrientes de viento y a llover. La temperatura estuvo elevada hasta las 13:15 y luego descendió considerablemente. La humedad fue moderada hasta las 13:15 y después estuvo muy alta. La irradiancia fue muy irregular.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: El medio día se dividió en dos condiciones bien definidas, primero estuvo parcialmente nublado hasta las 13:00 y después nublado con presencia de lluvia y oscurecimiento total del cielo desde las 13:40. Por esto la irradiancia fue muy irregular siendo prácticamente nula al final. La temperatura fue alta y la humedad moderada hasta las 13:15, después se hicieron baja y elevada, respectivamente. No hubo presencia de viento hasta las 13:40.

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	20
Fecha de la Práctica:	Martes 23/11/2010	Hora de Inicio:	10:55
Lugar de la Práctica:	Exteriores FICM-UTA	Hora de Salida:	14:05

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m ²)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	11:00	Soleado	604.0	25.8	1.3	35.8
2	11:15	Soleado	638.7	27.6	0.5	31.4
3	11:30	Soleado	659.6	28.8	1.4	26.7
4	11:45	Soleado	677.4	31.7	1.0	25.8
5	12:00	Soleado	700.9	28.6	2.0	24.1
6	12:15	Parcial Nublado	715.0	30.7	1.5	23.7
7	12:30	Parcial Nublado	688.4	29.4	2.4	25.4
8	12:45	Parcial Nublado	274.2	28.8	2.0	27.3
9	13:00	Parcial Nublado	618.3	27.6	2.8	26.5
10	13:15	Parcial Nublado	580.5	29.9	0.9	25.5
11	13:30	Parcial Nublado	620.7	26.9	3.0	31.0
12	13:45	Parcial Nublado	140.09	27.9	4.2	28.5
13	14:00	Nublado	121.87	22.5	5.4	33.9

Leyenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc.Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

Observaciones: No se presentaron corrientes de viento hasta las 13:00, a partir de entonces aparecieron corrientes de baja intensidad y desde las 13:30 aumentaron en magnitud. La temperatura estuvo muy elevada y la humedad relativa fue baja. La irradiancia presentó valores altos hasta las 13:30 y luego descendió considerablemente porque cayó sombra debido a una importante presencia de nubosidad.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: El medio día estuvo inicialmente soleado y paulatinamente se fue nublando, la presencia de sol se evidenció hasta las 13:30 por ello la irradiancia estuvo alta hasta esa hora y después cayó hasta ser insignificante. La humedad relativa estuvo baja aunque subió al final del lapso de estudio. La temperatura fue elevadísima bordeando hasta los 32°C. En general no se presentaron importantes corrientes de viento.

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	21
Fecha de la Práctica:	Viernes 26/11/2010	Hora de Inicio:	10:55
Lugar de la Práctica:	Exteriores FICM-UTA	Hora de Salida:	13:05

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m ²)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	11:00	Parcial Nublado	617.5	26.2	1.1	35.4
2	11:15	Parcial Nublado	621.3	26.6	0.9	34.9
3	11:30	Parcial Nublado	724.4	27.8	0.7	34.7
4	11:45	Parcial Nublado	290.8	25.9	1.4	31.6
5	12:00	Parcial Nublado	648.9	23.9	3.1	35.5
6	12:15	Parcial Nublado	693.8	22.2	4.4	33.8
7	12:30	Parcial Nublado	697.2	25.2	2.4	33.0
8	12:45	Parcial Nublado	653.1	20.3	5.6	43.1
9	13:00	Parcial Nublado	635.8	23.2	3.4	40.9
10	13:15	Soleado	NR	NR	NR	NR
11	13:30	Soleado	NR	NR	NR	NR
12	13:45	Soleado	NR	NR	NR	NR
13	14:00	Soleado	NR	NR	NR	NR

Leyenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc.Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

Observaciones: A partir de las 12:00 comenzaron a presentarse pequeñas corrientes de viento con cierta frecuencia. La temperatura estuvo inicialmente alta pero luego se tornó moderada por la presencia de corrientes de viento. La humedad relativa se presentó muy uniforme y moderada. La irradiancia fue elevada pero a momentos decreció por la presencia de nubosidad, en especial entre 11:30 y 12:00.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: El medio día tuvo elevados valores de irradiancia, únicamente existieron pequeños lapsos en los que la misma decreció, pero en general fue alta y uniforme. La temperatura inicialmente fue elevada y después se moderó por la presencia de corrientes de viento que sin embargo no permitieron alcanzar velocidades de viento de gran consideración. La humedad relativa fue uniforme y moderada.

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	22
Fecha de la Práctica:	Martes 30/11/2010	Hora de Inicio:	10:55
Lugar de la Práctica:	Exteriores FICM-UTA	Hora de Salida:	14:05

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m ²)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	11:00	Nublado	303.5	23.8	0.7	49.7
2	11:15	Nublado	401.8	24.5	0.5	50.5
3	11:30	Nublado	439.2	25.2	0.9	41.8
4	11:45	Nublado	455.0	24.7	2.4	37.8
5	12:00	Nublado	304.7	24.2	3.2	41.1
6	12:15	Nublado	391.2	23.8	2.6	38.9
7	12:30	Nublado	396.6	24.9	2.3	38.8
8	12:45	Nublado	322.9	23.2	3.6	39.6
9	13:00	Nublado	323.4	23.8	4.1	40.9
10	13:15	Nublado	315.7	22.7	5.3	39.7
11	13:30	Nublado	258.9	21.5	3.0	42.1
12	13:45	Nublado	226.2	20.5	7.6	44.1
13	14:00	Nublado	206.6	21.1	3.9	42.4

Leyenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc.Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

Observaciones: Se presentaron moderadas corrientes de viento desde las 11:30, pero nunca se alcanzó velocidades de viento superiores a 9 m/s. La temperatura se mantuvo moderada y uniforme. La humedad relativa osciló entre moderada y alta. La irradiancia fue un tanto baja pero importante considerando que el medio día fue nublado.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

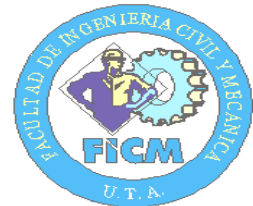
Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: El medio día estuvo nublado sin embargo la irradiancia no fue insignificante, se mantuvo por sobre los 200 W/m². La temperatura fue uniforme y moderada. La humedad relativa en general estuvo elevada. La velocidad de viento no presentó valores a destacar pero tampoco fue despreciable.

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	23
Fecha de la Práctica:	Lunes 21/03/2011	Hora de Inicio:	11:15
Lugar de la Práctica:	Exteriores laboratorios FICM-UTA	Hora de Salida:	13:35

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m2)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	11:00	NR	NR	NR	NR	NR
2	11:15	Parcial Nublado	NR	NR	NR	NR
3	11:30	Parcial Nublado	NR	NR	NR	NR
4	11:45	Parcial Nublado	NR	NR	NR	NR
5	12:00	Parcial Nublado	307.4	21.8	1.7	37.7
6	12:15	Parcial Nublado	875.9	32.1	0.4	28.8
7	12:30	Nublado	195.9	26.9	0.6	29.1
8	12:45	Nublado	112.21	29.5	0.5	30.1
9	13:00	Nublado / Lluvia	285.6	23.7	3.4	35.5
10	13:15	Nublado / Lluvia	257.4	29.7	0.4	36.6
11	13:30	Nublado /Llovizna	245.3	28.2	0.3	43.8
12	13:45	NR	NR	NR	NR	NR
13	14:00	NR	NR	NR	NR	NR

Legenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc.Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

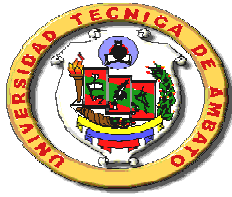
Observaciones: No se presentaron corrientes de viento a destacar. La temperatura estuvo muy variable alcanzando picos altos y bajos. La humedad relativa fue moderada. La irradiancia se presentó muy variable, a partir de ls 12:30 decreció hasta volverse insignificante.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

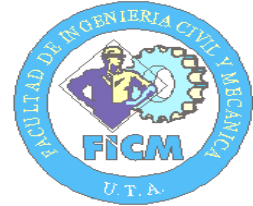
Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: El medio día estuvo muy inestable en cuanto a la condición climática lo que se evidenció en valores dispersos de irradiancia, al final ésta fue despreciable por la presencia de lluvia. La temperatura fue muy irregular y la humedad relativa se comportó en condiciones normales para esa hora del día, la velocidad de viento fue despreciable.

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	24
Fecha de la Práctica:	Martes 22/03/2011	Hora de Inicio:	10:55
Lugar de la Práctica:	Exteriores laboratorios FICM-UTA	Hora de Salida:	13:35

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m2)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	11:00	Parcial Nublado	458.7	NR	NR	NR
2	11:15	Parcial Nublado	304.7	26.0	0.4	39.4
3	11:30	Soleado	767.8	27.3	1.2	37.3
4	11:45	Soleado	804.6	27.4	0.4	33.0
5	12:00	Soleado	837.4	26.4	1.8	34.2
6	12:15	Parcial Nublado	654.4	29.3	0.6	31.6
7	12:30	Parcial Nublado	823.2	28.0	1.0	30.7
8	12:45	Nublado	148.58	30.4	0.5	29.3
9	13:00	Nublado	112.67	29.7	0.5	29.4
10	13:15	Nublado	106.06	26.7	0.6	32.3
11	13:30	Nublado	133.89	28.9	0.2	30.9
12	13:45	Nublado	NR	NR	NR	NR
13	14:00	Parcial Nublado	NR	NR	NR	NR

Legenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc.Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

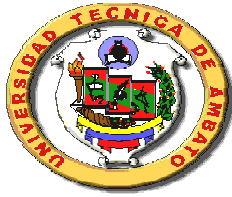
Observaciones: No se presentaron corrientes de viento a destacar. La temperatura se mantuvo relativamente alta y uniforme. La humedad relativa fue moderada. La irradiancia se presentó muy variable, a partir de ls 12:45 decreció hasta volverse insignificante.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

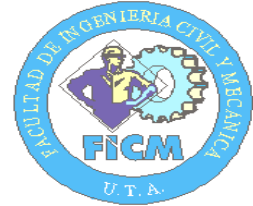
Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: El medio día estuvo muy inestable en cuanto a la condición climática lo que se reflejó en valores dispersos de irradiancia, al final ésta fue prácticamente despreciable. La temperatura y humedad relativa se comportaron en condiciones normales para esa hora del día, mientras la velocidad de viento fue casi nula (menor a lo usual).

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	25
Fecha de la Práctica:	Jueves 24/03/2011	Hora de Inicio:	10:55
Lugar de la Práctica:	Exteriores laboratorios FICM-UTA	Hora de Salida:	13:35

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m2)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	11:00	Parcial Nublado	352.9	24.2	1.1	41.3
2	11:15	Parcial Nublado	729.7	27.2	0.8	35.9
3	11:30	Soleado	729.0	23.9	2.2	38.5
4	11:45	Soleado	723.5	25.0	1.6	34.8
5	12:00	Soleado	744.3	26.2	0.8	36.2
6	12:15	Soleado	745.4	24.2	1.6	35.1
7	12:30	Soleado	743.4	24.8	4.6	38.8
8	12:45	Soleado	738.2	25.3	4.5	39.9
9	13:00	Soleado	737.7	23.1	3.6	39.1
10	13:15	Soleado	670.7	24.0	1.4	39.8
11	13:30	Soleado	659.8	23.7	5.1	40.2
12	13:45	Soleado	NR	NR	NR	NR
13	14:00	Soleado	NR	NR	NR	NR

Leyenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc.Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

Observaciones: Existieron corrientes de viento sobre todo a partir de las 12:15 que sin embargo no fueron muy importantes, la temperatura estuvo moderada y uniforme aunque a momentos fue elevada. La humedad relativa se presentó relativamente alta para esa hora. La irradiancia fue alta y más o menos constante.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

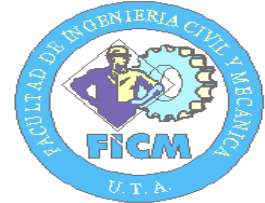
Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: El medio día estuvo soleado a partir de las 11:30 y se mantuvo así hasta cerca de las 16:00, bajo dichas condiciones la irradiancia alcanzó valores elevados. La temperatura sin embargo no fue muy alta por la presencia de pequeñas corrientes de viento que refrescaron el ambiente y la humedad relativa fue considerable por la misma razón.

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO
TÉRMICO DEL COLECTOR SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	03
Fecha de la Práctica:	Jueves 24/03/2011	Hora de Inicio:	10:30
Lugar de la Práctica:	Exteriores laboratorios FICM-UTA	Hora de Salida:	14:00

REGISTRO DE DATOS

Hora inicial entrada del agua: 10:40 Tiempo llenado tanque hasta nivel de llave: 30 min
 Hora inicial salida de agua: 13:45 Tiempo vaciado del tanque: 10 min

No.Medición	Hora	Irradiancia (W/m ²)	Tent agua fría (°C)	Tentrada agua colector (°C)	Tsalida agua colector (°C)	Tsalida agua tanque (°C)
1	11:00	352.9	19.0	NR	42.0	18.0
2	11:15	729.7	-	-	-	-
3	11:30	729.0	19.0	28.0	NR	18.5
4	11:45	723.5	NR	27.0	54.0	NR
5	12:00	744.3	19.5	40.0	65.0	19.0
6	12:15	745.4	-	-	-	-
7	12:30	743.4	19.5	44.0	66.0	19.0
8	12:45	738.2	-	-	-	-
9	13:00	737.7	19.0	NR	NR	NR
10	13:15	670.7	-	-	-	-
11	13:30	659.8	19.5	22.0	41.0	NR
12	13:45	NR	-	-	-	-
13	14:00	NR	-	-	-	-

Leyenda: T Temperatura NR No registrado

Observaciones: La temperatura ambiental estuvo moderada y uniforme. La temperatura del agua proveniente del grifo también fue casi constante oscilando entre 19 y 20°C. A consecuencia de la irradiación que incidió sobre la tubería el agua ingresó al panel a temperaturas altas. A la salida del colector se alcanzó temperaturas muy elevadas, pero en el tanque no se consiguió el mismo resultado.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

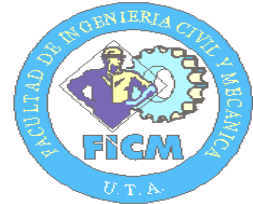
Magnitud / Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Temperatura ambiente	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Temperatura del agua	Termómetro de Hg B&C Germany	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: Las condiciones climáticas fueron estables, la temperatura de entrada del agua es casi independiente y cercana a 20°C, pero el agua que ingresó al panel luego de atravesar la tubería expuesta al ambiente se calentó alcanzando temperaturas considerables. El panel cumplió su función permitiendo alcanzar un pico máximo de 66°C. Pero para calentar el agua del tanque se requiere más tiempo de exposición a los rayos solares.

Firma Responsable:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA
FICHA DE CAMPO:
ESTUDIO ESPECTRAL DE IRRADIACIÓN SOLAR
REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable:	Byron Toalombo R.	Ficha No.	26
Fecha de la Práctica:	Martes 28/06/2011	Hora de Inicio:	10:10
Lugar de la Práctica:	Exteriores laboratorios FICM-UTA	Hora de Salida:	14:00

REGISTRO DE DATOS

No.Medición	Hora	Condición Climática	G (W/m ²)	T (°C)	Vw (m/s)	Hr (%)
1	10:15	Soleado	500.2	27.2	NR	NR
2	10:30	Soleado	515.7	30.0	NR	NR
3	10:45	Soleado	517.5	23.7	1.8	39.8
4	11:00	Soleado	528.4	26.9	2.2	34.4
5	11:15	Soleado	556.7	31.5	0.5	29.6
6	11:30	Soleado	567.0	30.9	0.6	30.4
7	11:45	Soleado	580.8	26.7	1.7	36.0
8	12:00	Soleado	582.8	29.9	0.5	33.2
9	12:15	Soleado	582.9	29.6	0.8	32.2
10	12:30	Soleado	578.1	26.3	2.3	36.6
11	12:45	Soleado	568.6	27.3	1.1	33.8
12	13:00	Soleado	484.1	28.8	1.8	36.1
13	13:15	Soleado	548.2	28.6	1.4	32.4
14	13:30	Soleado	530.7	30.3	0.4	31.2
15	13:45	Soleado	490.1	28.6	1.3	32.8

Leyenda: G Irradiancia T Temperatura Vw Veloc.Viento Hr Humedad Relativa
 NR No registrado

Observaciones: Practicamente no existieron corrientes de viento. La temperatura ambiente fue elevada. La humedad relativa estuvo moderada y uniforme. La irradiancia se presentó uniforme y relativamente alta.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

Magnitud /Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Irradiancia	Foto-Radiómetro HD2102.2 - Sonda LP471 RAD (400-1050nm)	Función de Piranómetro mediante la Sonda de Medición de Irradiancia, datalogger
Temperatura	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Velocidad de Viento	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Humedad Relativa	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales: El día fue soleado desde las 9:30 hasta las 17:00, por ello la irradiancia tendió a ser constante, aunque no fue muy alta en comparación con otros días soleados registrados a finales del 2010, esto es tangible porque no se superó los 600 W/m². La temperatura se presentó alta y la humedad relativa moderada. No aparecieron corrientes de viento.

Firma Responsable:

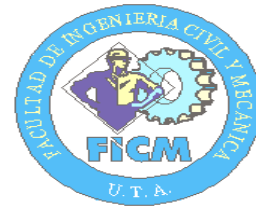


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
INGENIERIA MECÁNICA

FICHA DE CAMPO:

**ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO
TÉRMICO DEL COLECTOR SOLAR**

REPORTE DEL ENSAYO



INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Responsable: Byron Toalombo R.
Fecha de la Práctica: Martes 28/06/2011
Lugar de la Práctica: Exteriores laboratorios FICM-UTA

Ficha No. 04
Hora de Inicio: 10:10
Hora de Salida: 14:00

REGISTRO DE DATOS

Hora inicial entrada del agua: 10:15

Tiempo llenado tanque hasta nivel de llave: 25 min

Hora inicial salida de agua: 13:50

Tiempo vaciado del tanque: 10 min

No. Medición	Hora	Irradiancia (W/m ²)	Tent agua fría (°C)	Tentrada agua colector (°C)	Tsalida agua colector (°C)	Tsalida agua tanque (°C)
1	10:15	500.2	17.5	NR	NR	NR
2	10:30	515.7	-	32.0	39.0	22.0
3	10:45	517.5	-	45.0	55.0	24.0
4	11:00	528.4	-	55.0	63.0	25.0
5	11:15	556.7	-	63.0	69.0	26.0
6	11:30	567.0	-	68.0	71.0	26.0
7	11:45	580.8	-	69.0	72.0	26.0
8	12:00	582.8	-	73.0	75.0	26.0
9	12:15	582.9	-	73.0	75.0	26.0
10	12:30	578.1	-	73.0	74.0	25.0
11	12:45	568.6	-	71.0	71.0	24.0
12	13:00	484.1	-	70.0	70.0	24.0
13	13:15	548.2	-	68.0	68.0	24.0
14	13:30	530.7	-	69.0	69.0	25.0
15	13:45	490.1	18.0	69.0	69.0	24.0

Leyenda:

T Temperatura

NR No registrado

Observaciones:

La temperatura ambiente fue alta y más o menos uniforme. La temperatura del agua proveniente de la red de agua potable osciló los 18°C. Por el hecho de contar con un día plenamente soleado se alcanzaron temperaturas muy elevadas en la entrada y salida del panel. En el tanque el agua llegó hasta 26°C.

EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

Magnitud / Parámetro	Instrumento / Equipo	Detalle
Temperatura ambiente	Anemómetro Testo 410-2	Medida instantánea, no almacena datos
Temperatura del agua	Termómetros de Hg y de Espiga B&C G.	Medida instantánea, no almacena datos

Observaciones Finales:

Las condiciones climáticas fueron estables, la temperatura de entrada del agua depende en poca medida de la temperatura exterior y osciló los 18°C. El agua a la entrada del panel superó los 70°C y a la salida llegó a alcanzar los 75°C en dos horas de exposición a la irradiación solar. En el depósito de almacenamiento la temperatura máxima del agua fue de 26°C, evidenciando que el volumen del tanque debe ser menor en relación al panel.

Firma Responsable:

ANEXOS C

REGISTRO CONDICIÓN CLIMÁTICA

REGISTRO DEL ESTADO DEL TIEMPO		
Fecha	Hora	Condición Climática
Martes 07/09/10	11:00 - 14:00	Nublado
Miércoles 08/09/10	11:00 - 14:00	Soleado
Jueves 09/09/10	11:00 - 14:00	Soleado
Viernes 10/09/10	11:00 - 14:00	Soleado
Lunes 13/09/10	11:00 - 14:00	Soleado
Martes 14/09/10	11:00 - 14:00	Soleado y Parcial Nublado
Miércoles 15/09/10	11:00 - 14:00	Nublado
Jueves 16/09/10	11:00 - 14:00	Soleado
Miércoles 22/09/10	11:00 - 14:00	Soleado
Lunes 27/09/10	11:00 - 14:00	Soleado
Miércoles 29/09/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Lunes 04/10/10	11:00 - 14:00	Nublado
Miércoles 06/10/10	11:00 - 14:00	Soleado
Lunes 11/10/10	11:00 - 14:00	Nublado
Miércoles 13/10/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Sábado 16/10/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado y Nublado
Domingo 17/10/10	11:00 - 14:00	Nublado y Parcial Nublado
Lunes 18/10/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Martes 19/10/10	11:00 - 14:00	Nublado
Miércoles 20/10/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Sábado 23/10/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado y Soleado
Domingo 24/10/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Lunes 25/10/10	11:00 - 14:00	Nublado
Miércoles 27/10/10	11:00 - 14:00	Soleado
Sábado 30/10/10	11:00 - 14:00	Nublado
Domingo 31/10/10	11:00 - 14:00	Nublado
Lunes 01/11/10	11:00 - 14:00	Nublado
Martes 02/11/10	11:00 - 14:00	Nublado
Miércoles 03/11/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado y Nublado
Sábado 06/11/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado y Soleado
Domingo 07/11/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Lunes 08/11/10	11:00 - 14:00	Soleado
Miércoles 10/11/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado y Nublado
Jueves 11/11/10	11:00 - 14:00	Nublado y Parcial Nublado
Viernes 12/11/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Sábado 13/11/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado y Nublado
Domingo 14/11/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Lunes 15/11/10	11:00 - 14:00	Nublado/Lluvia

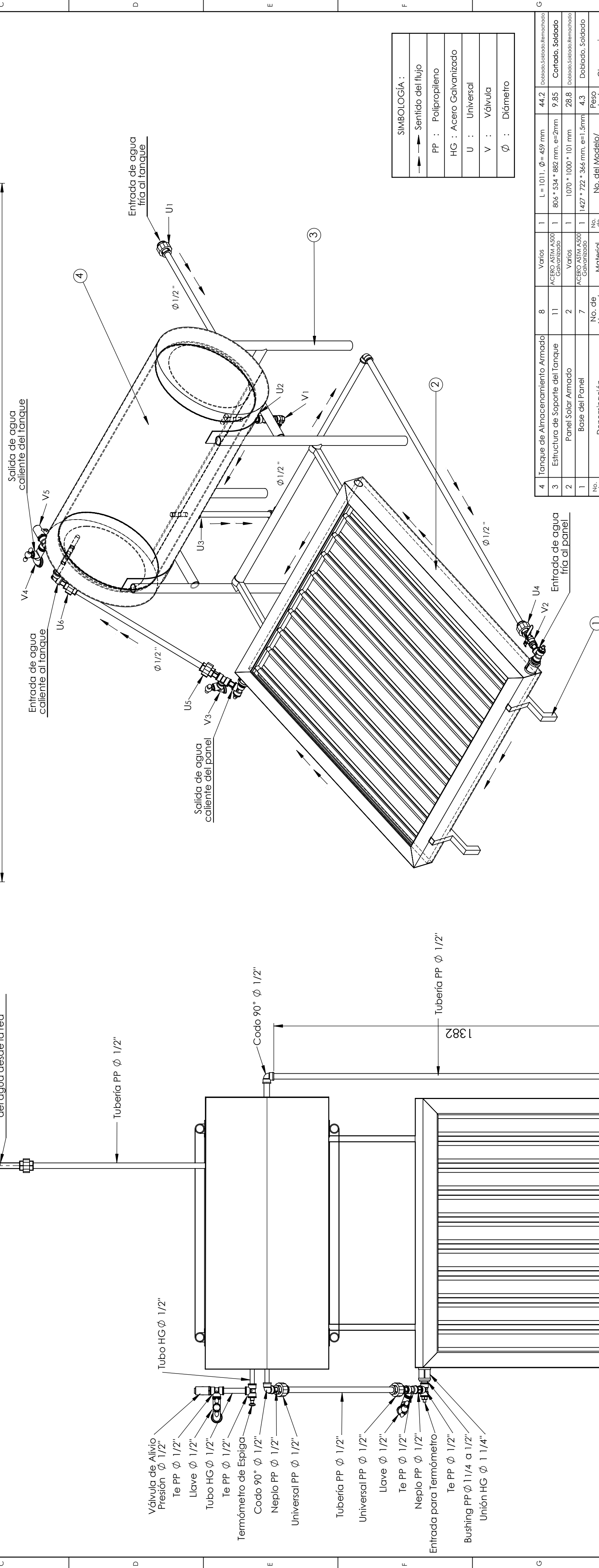
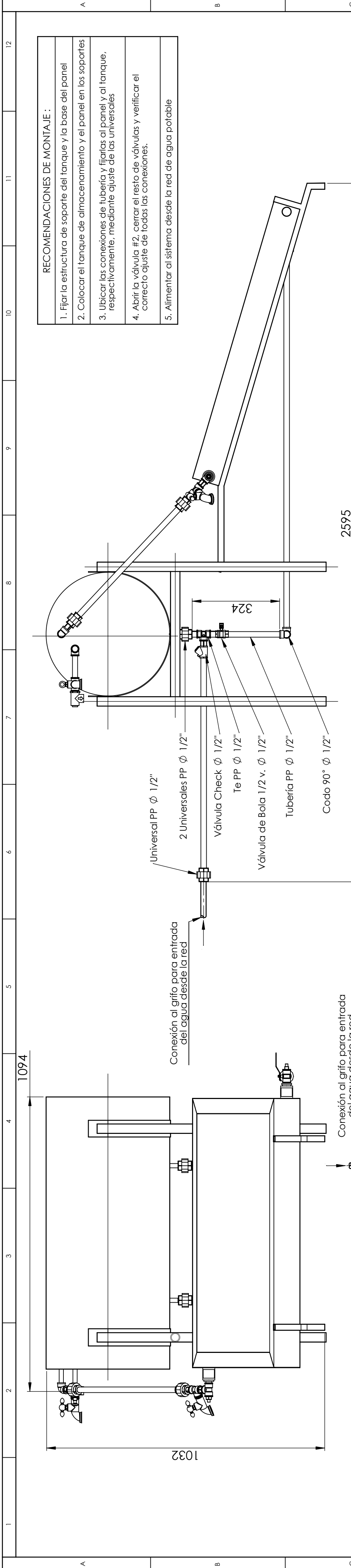
Miércoles 17/11/10	11:00 - 14:00	Nublado
Jueves 18/11/10	11:00 - 14:00	Nublado y Parcial Nublado
Viernes 19/11/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Sábado 20/11/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Domingo 21/11/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado y Nublado
Lunes 22/11/10	11:00 - 14:00	Soleado
Miércoles 24/11/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado y Soleado
Jueves 25/11/10	11:00 - 14:00	Soleado, Nublado y Parcial Nublado
Sábado 27/11/10	11:00 - 14:00	Nublado
Domingo 28/11/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado y Nublado/Lluvia
Lunes 29/11/10	11:00 - 14:00	Soleado y Parcial Nublado
Miércoles 01/12/10	11:00 - 14:00	Nublado
Jueves 02/12/10	11:00 - 14:00	Nublado
Viernes 03/12/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado y Nublado
Sábado 04/12/10	11:00 - 14:00	Nublado
Domingo 05/12/10	11:00 - 14:00	Nublado y Parcial Nublado
Lunes 06/12/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Martes 07/12/10	11:00 - 14:00	Nublado y Parcial Nublado
Miércoles 08/12/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado y Nublado
Jueves 09/12/10	11:00 - 14:00	Nublado
Viernes 10/12/10	11:00 - 14:00	Soleado y Parcial Nublado
Sábado 11/12/10	11:00 - 14:00	Nublado
Domingo 12/12/10	11:00 - 14:00	Nublado y Parcial Nublado
Lunes 13/12/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Martes 14/12/10	11:00 - 14:00	Nublado
Miércoles 15/12/10	11:00 - 14:00	Nublado
Jueves 16/12/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Viernes 17/12/10	11:00 - 14:00	Nublado/Lluvia
Sábado 18/12/10	11:00 - 14:00	Nublado/Lluvia
Domingo 19/12/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Lunes 20/12/10	11:00 - 14:00	Nublado y Parcial Nublado
Martes 21/12/10	11:00 - 14:00	Nublado y Parcial Nublado
Miércoles 22/12/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Jueves 23/12/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Viernes 24/12/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado y Nublado
Sábado 25/12/10	11:00 - 14:00	Nublado y Parcial Nublado
Domingo 26/12/10	11:00 - 14:00	Nublado/Lluvia
Lunes 27/12/10	11:00 - 14:00	Nublado y Parcial Nublado
Martes 28/12/10	11:00 - 14:00	Nublado
Miércoles 29/12/10	11:00 - 14:00	Nublado y Parcial Nublado
Jueves 30/12/10	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Viernes 31/12/10	11:00 - 14:00	Soleado
Domingo 02/01/11	11:00 - 14:00	Soleado

Lunes 03/01/11	11:00 - 14:00	Nublado
Martes 04/01/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado y Nublado
Miércoles 05/01/11	11:00 - 14:00	Soleado
Jueves 06/01/11	11:00 - 14:00	Nublado y Parcial Nublado
Viernes 07/01/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado y Nublado
Sábado 08/01/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Domingo 09/01/11	11:00 - 14:00	Nublado
Lunes 10/01/11	11:00 - 14:00	Nublado/Lluvia
Martes 11/01/11	11:00 - 14:00	Nublado
Miércoles 12/01/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado y Soleado
Jueves 13/01/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado y Soleado
Viernes 14/01/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Sábado 15/01/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Domingo 16/01/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Lunes 17/01/11	11:00 - 14:00	Nublado y Parcial Nublado
Martes 18/01/11	11:00 - 14:00	Soleado
Miércoles 19/01/11	11:00 - 14:00	Soleado
Jueves 20/01/11	11:00 - 14:00	Soleado
Viernes 21/01/11	11:00 - 14:00	Soleado
Sábado 22/01/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Domingo 23/01/11	11:00 - 14:00	Nublado/Lluvia
Lunes 24/01/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Martes 25/01/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Miércoles 26/01/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Jueves 27/01/11	11:00 - 14:00	Soleado
Viernes 28/01/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Sábado 29/01/11	11:00 - 14:00	Nublado y Parcial Nublado
Domingo 30/01/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Lunes 31/01/11	11:00 - 14:00	Nublado
Martes 01/02/11	11:00 - 14:00	Nublado
Miércoles 02/02/11	11:00 - 14:00	Nublado
Jueves 03/02/11	11:00 - 14:00	Nublado
Viernes 04/02/11	11:00 - 14:00	Nublado y Parcial Nublado
Sábado 05/02/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Domingo 06/02/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Lunes 07/02/11	11:00 - 14:00	Nublado
Martes 08/02/11	11:00 - 14:00	Nublado
Miércoles 09/02/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Jueves 10/02/11	11:00 - 14:00	Nublado y Parcial Nublado
Viernes 11/02/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Sábado 12/02/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Domingo 13/02/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado y Nublado
Lunes 14/02/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado

Martes 15/02/11	11:00 - 14:00	Nublado
Miércoles 16/02/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado y Soleado
Jueves 17/02/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado y Nublado
Viernes 18/02/11	11:00 - 14:00	Soleado y Parcial Nublado
Sábado 19/02/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Domingo 20/02/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Lunes 21/02/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Martes 22/02/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Miércoles 23/02/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Jueves 24/02/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado y Nublado
Viernes 25/02/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Sábado 26/02/11	11:00 - 14:00	Soleado
Domingo 27/02/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Lunes 28/02/11	11:00 - 14:00	Soleado
Martes 01/03/11	11:00 - 14:00	Soleado, Parcial Nublado y Nublado
Miércoles 02/03/11	11:00 - 14:00	Soleado, Parcial Nublado y Nublado
Jueves 03/03/11	11:00 - 14:00	Soleado y Parcial Nublado
Viernes 04/03/11	11:00 - 14:00	Soleado
Sábado 05/03/11	11:00 - 14:00	Soleado
Domingo 06/03/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado y Nublado
Lunes 07/03/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Martes 08/03/11	11:00 - 14:00	Nublado
Miércoles 09/03/11	11:00 - 14:00	Nublado
Jueves 10/03/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Viernes 11/03/11	11:00 - 14:00	Soleado y Parcial Nublado
Sábado 12/03/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Domingo 13/03/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Lunes 14/03/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Martes 15/03/11	11:00 - 14:00	Soleado
Miércoles 16/03/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Jueves 17/03/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Viernes 18/03/11	11:00 - 14:00	Soleado, Nublado y Parcial Nublado
Sábado 19/03/11	11:00 - 14:00	Nublado
Domingo 20/03/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Lunes 21/03/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado y Nublado/Llovizna
Miércoles 23/03/11	11:00 - 14:00	Nublado y Parcial Nublado
Viernes 25/03/11	11:00 - 14:00	Nublado y Parcial Nublado
Sábado 26/03/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado
Domingo 27/03/11	11:00 - 14:00	Nublado
Lunes 28/03/11	11:00 - 14:00	Nublado/Llovizna
Martes 29/03/11	11:00 - 14:00	Nublado/Llovizna
Miércoles 30/03/11	11:00 - 14:00	Nublado
Jueves 31/03/11	11:00 - 14:00	Parcial Nublado

ANEXOS D

PLANOS



- RECOMENDACIONES DE MONTAJE :**
1. Fijar la estructura de soporte del tanque y la base del panel
 2. Colocar el tanque de almacenamiento y el panel en los soportes
 3. Ubicar las conexiones de tubería y fijarlas al panel y al tanque, respectivamente, mediante ajuste de las universales
 4. Abrir la válvula #2, cerrar el resto de válvulas y verificar el correcto ajuste de todas las conexiones.
 5. Alimentar al sistema desde la red de agua potable

SIMBOLOGÍA :

→	Sentido del flujo
PP	Polipropileno
HG	Acero Galvanizado
U	Universal
V	Válvula
Ø	Diámetro

Tanque de Almacenamiento Armado	8	Varios	1	L = 1011. Ø = 459 mm	44.2	Debado, Soldado, Remachado
3 Estructura de Soporte del Tanque	11	ACERO ASTM A500 Galvanizado	1	806 * 534 * 882 mm, e=2mm	9.85	Cortado, Soldado
2 Panel Solar Armado	2	Varios	1	1070 * 1000 * 101 mm	28.8	Debado, Soldado, Remachado
1 Base del Panel	7	ACERO ASTM A500 Galvanizado	1	1427 * 722 * 346 mm, e=1.5mm	4.3	Doblado, Soldado
No. de Orden		Denominación		Material	No. de piezas	Peso kg/ pieza
						Observaciones

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS :

Peso Total Aproximado : 90 kg.
 Dimensión Total : Largo 2.7 m; Ancho 1.35 m; Altura 1.05 m
 Fluido y Tipo de Circulación : Agua (Circulación Natural)
 Alimentación del Fluido : Línea de Agua Potable
 Potencia Térmica Máxima: 389.96 W

MATERIAL: VARIOS

TOLERANCIA: ± 1 mm

FECHA: 17/06/11

INGENIERO: BYRON TOALOMBO

REVISOR: ING. S. CABRERA

APROBADO: ING. S. CABRERA

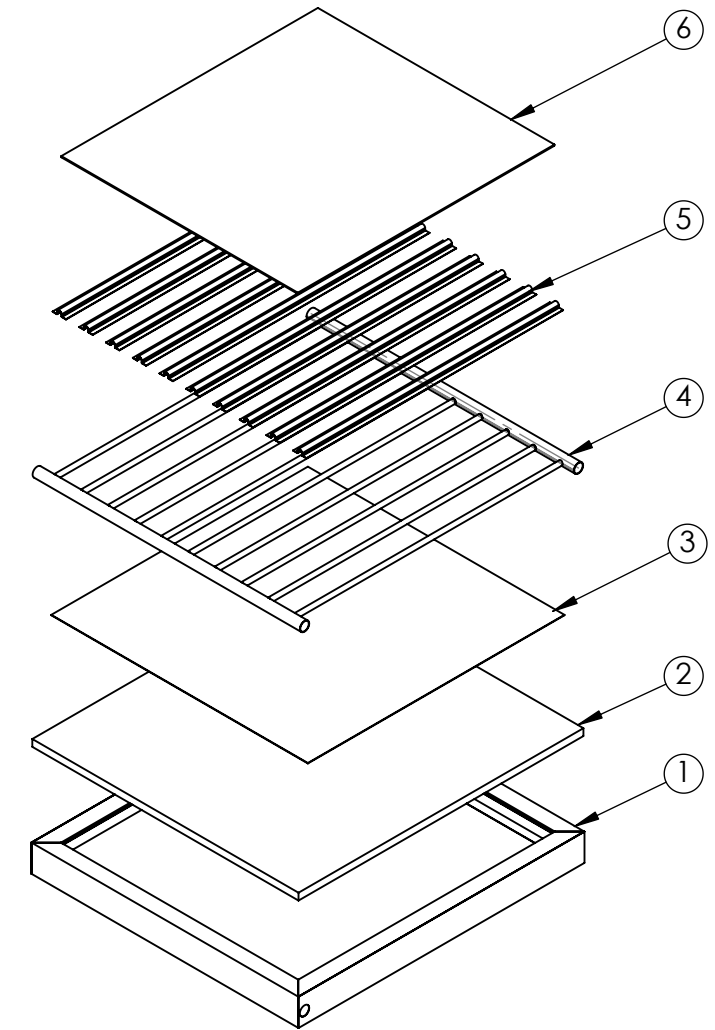
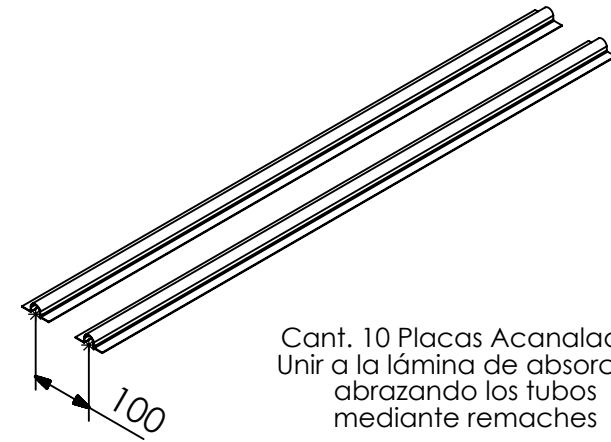
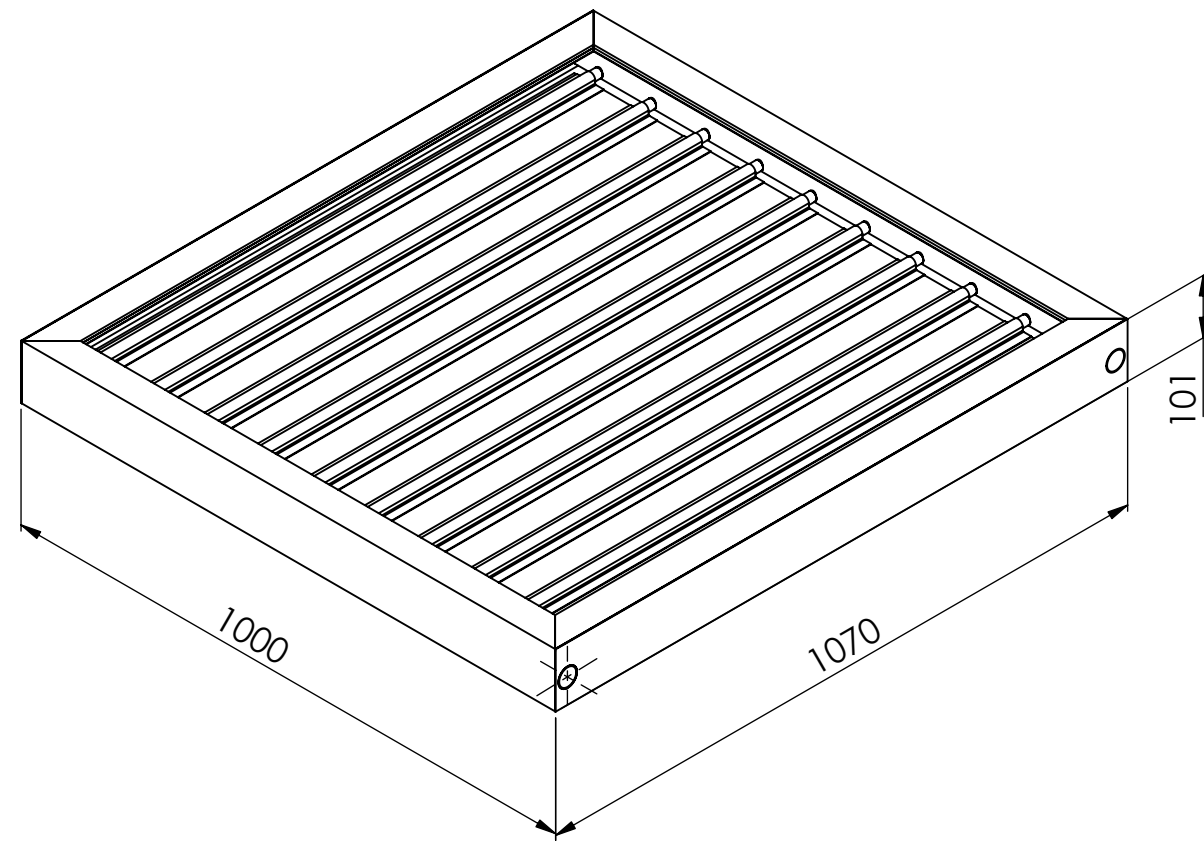
TÍTULO: Colector Solar Plano para Calentamiento de Agua

ESCALA: 1:10

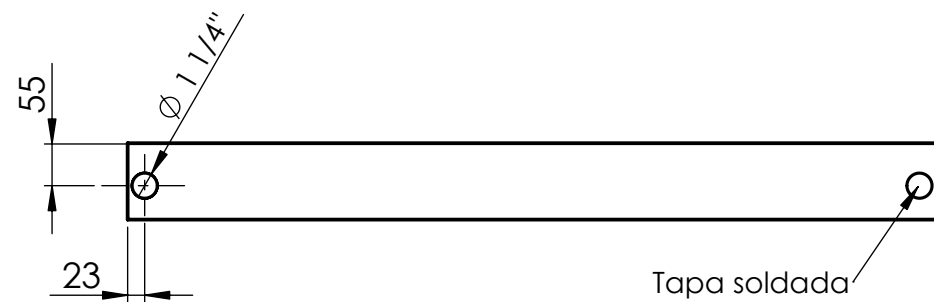
U.T.A.: INGENIERIA MECANICA

NUMERO DE LAMINA: 01 / 11

SUSTITUCION:



ESCALA: 1:20



Tapa soldada

ESPECIFICACIONES :

Área Total : 1.07 m²

Área Efectiva : 0.99 m²

Fluido a Circular : Agua

Tipo de Circulación : Natural

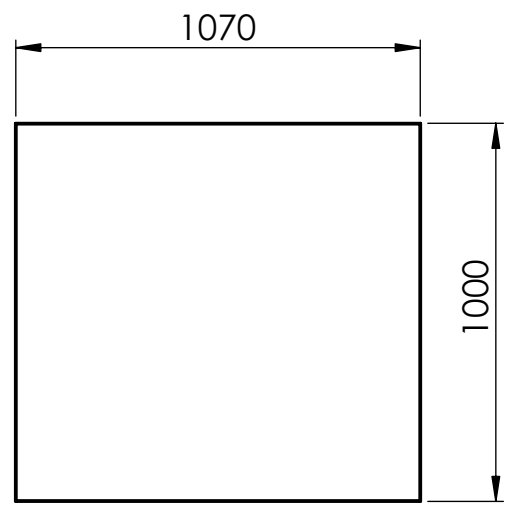
Volumen Máximo del Fluido : 3.07 lt

No. de Orden	Denominación	No. de Norma/ Dibujo	Material	No. de Piezas	No. del Modelo/ Semiproducto	Peso kg/ pieza	Observaciones
6	Cubierta de Vidrio	-	Vidrio Templado Low-E	1	960 * 885 mm, e=4 mm	8.5	Comprado
5	Placa de Absorción Acanalada	6	Aluminio	10	960 * 50 * 17 mm, e=1mm	0.73	Doblado, Remachado
4	Serpentín Tubular	5	Cobre	1	1058 * 1000 * 34.92 mm, e=1/2 y 1 1/4"	7.7	Cortado, Soldado
3	Placa de Absorción	4	Aluminio	1	960 * 960 mm, e=1mm	2.92	Cortado
2	Aislante	-	Lana de Vidrio	1	1066 * 996 mm, e=1"	0.5	Comprado
1	Caja Metálica	3	Acero ASTM A653 CS Galvanizado	1	1070 * 1000 * 101 mm, e=1mm	8.45	Doblado, Remachado

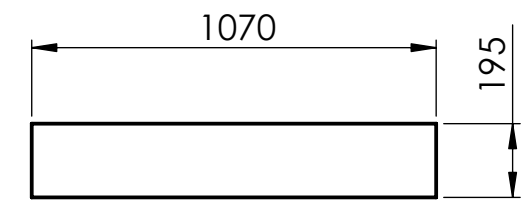
TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	TITULO:	ESCALA:	
± 1 mm	28.8 kg	VARIOS			Panel Solar Armado
FECHA:	NOMBRE:	NUMERO DE LAMINA:			
DIBUJO: 17 / 06 / 11	BYRON TOALOMBO				
REVISO: 01 / 07 / 11	ING. S. CABRERA				
APROBO: 01 / 07 / 11	ING. S. CABRERA				
U.T.A.					
INGENIERIA MECANICA			SUSTITUCION:		

NOTA: Colocar un plástico negro envolviendo al aislante de lana de vidrio. Para protección del vidrio templado utilizar un caucho protector para los fillos y pegarlo con silicón negro para asegurar que el caucho no se despegue.

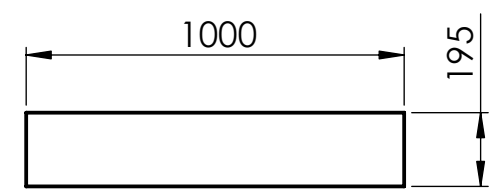




FONDO
Cant. 1

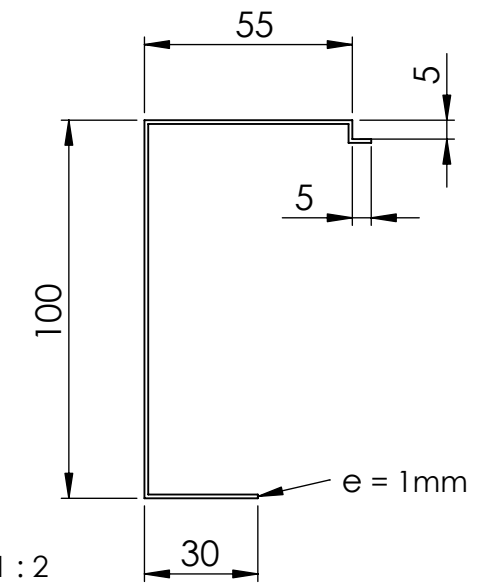
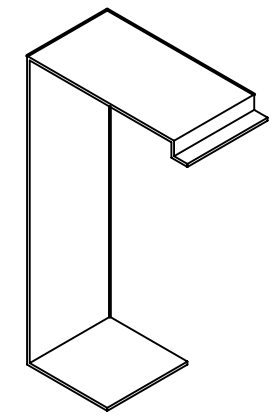


FRONTAL
Cant. 2

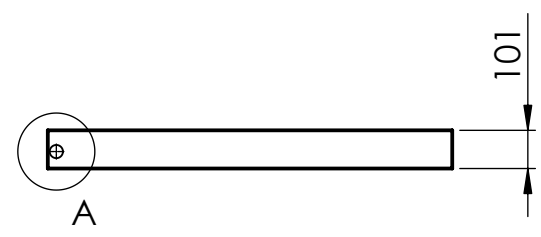


LATERAL
Cant. 2

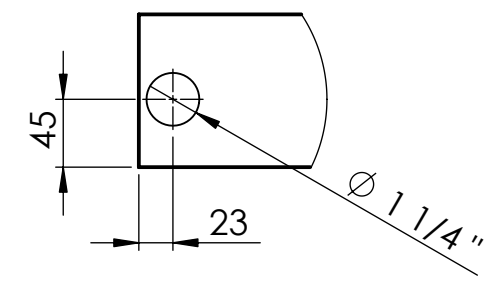
PERFIL DOBLADO



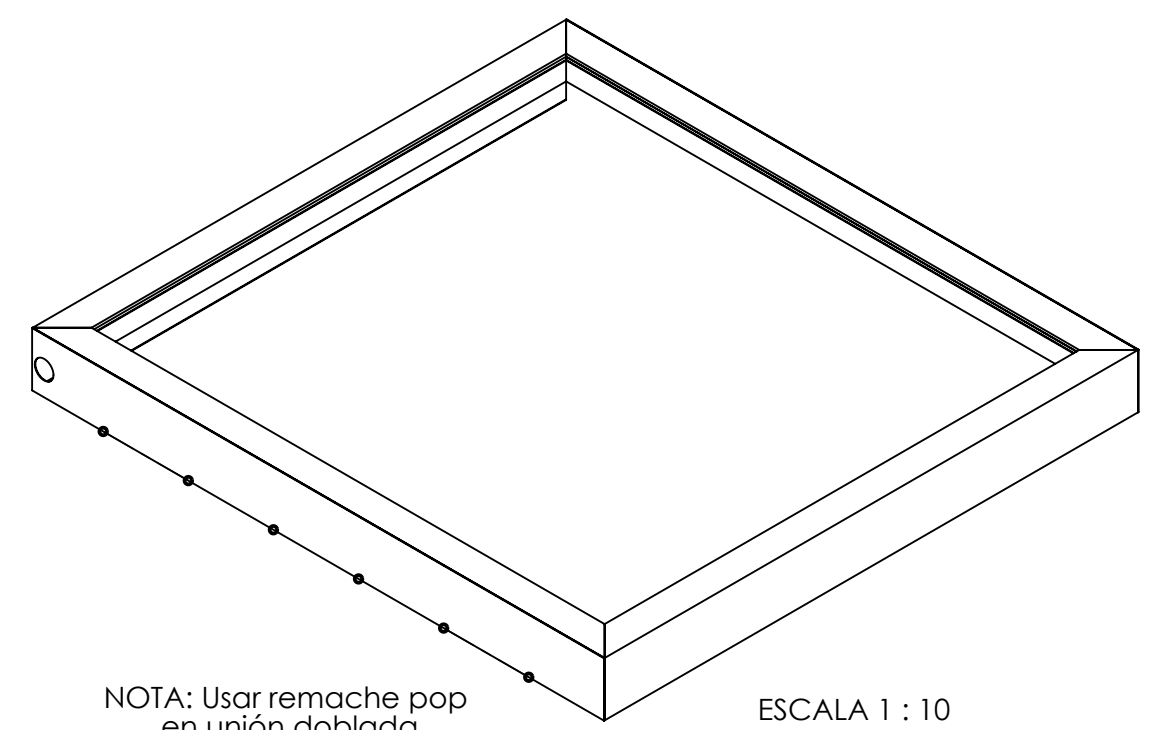
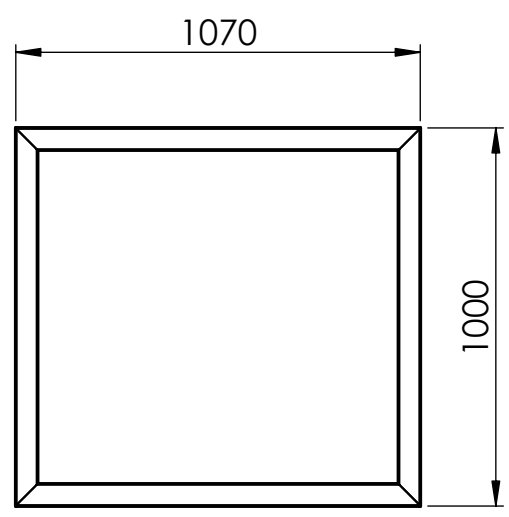
ESCALA 1 : 2



A



DETALLE A
ESCALA 1 : 5



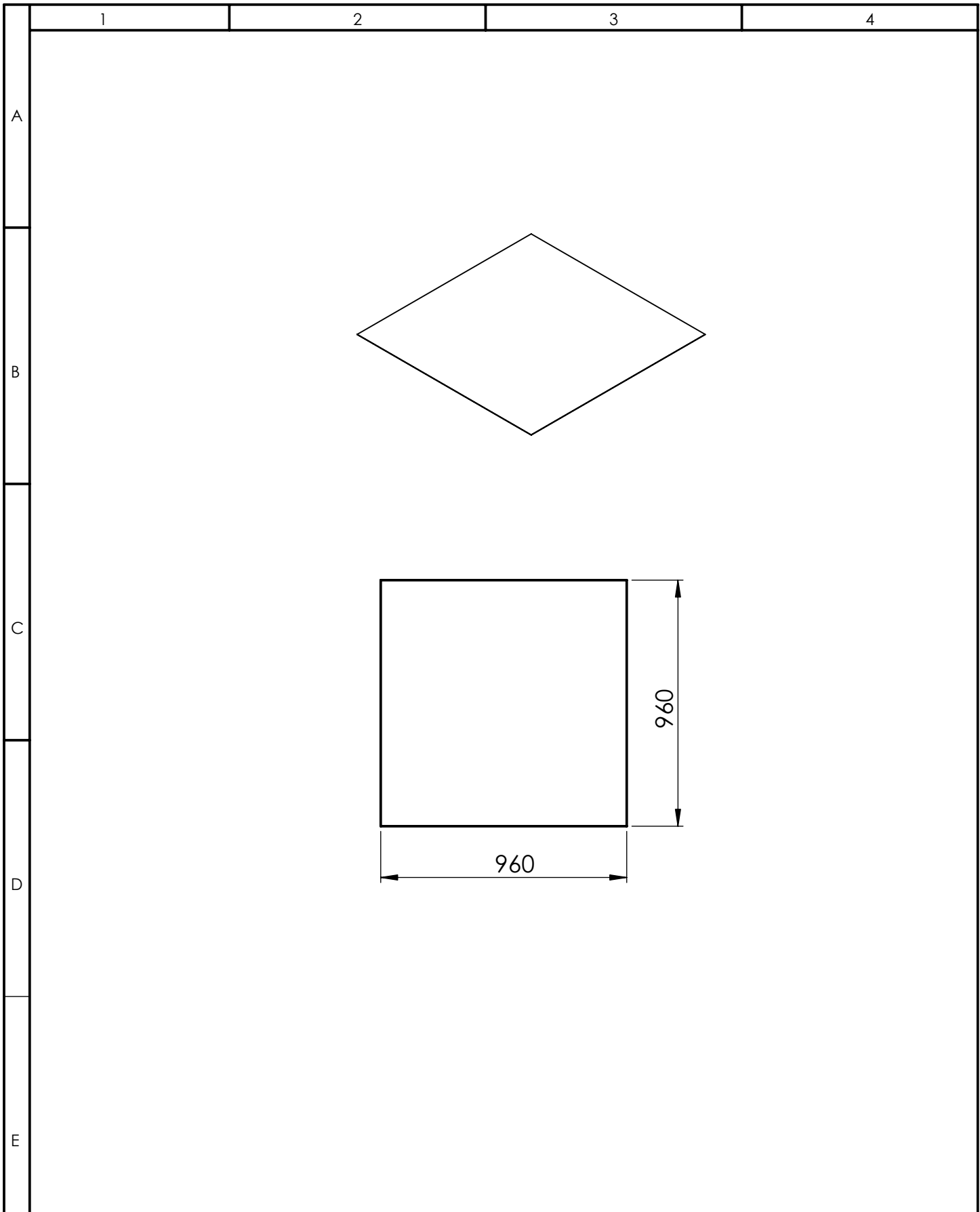
NOTA: Usar remache pop en unión doblada


ESCALA 1 : 10

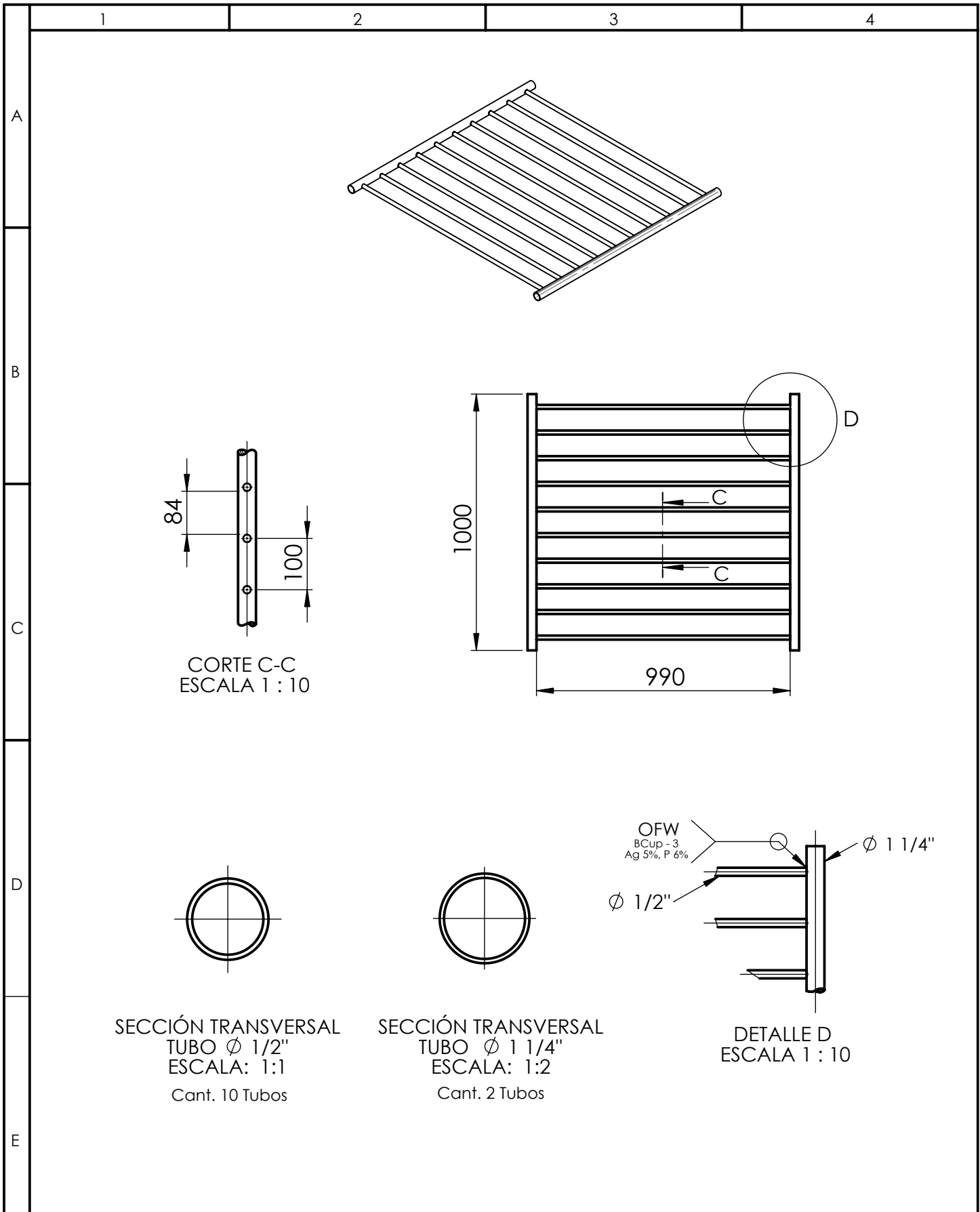
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				± 1 mm	8.45 kg	ACERO ASTM A 653 CS GALVANIZADO	
				FECHA	NOMBRE	TITULO:	
				DIBUJO: 17 / 06 / 11	BYRON TOALOMBO	Caja Metálica	
				REVISO: 01 / 07 / 11	ING. S. CABRERA		
				APROBO: 01 / 07 / 11	ING. S. CABRERA		
				U.T.A.		NUMERO DE LAMINA:	03 / 11
				INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCION:	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE				

ESCALA:
1 : 20

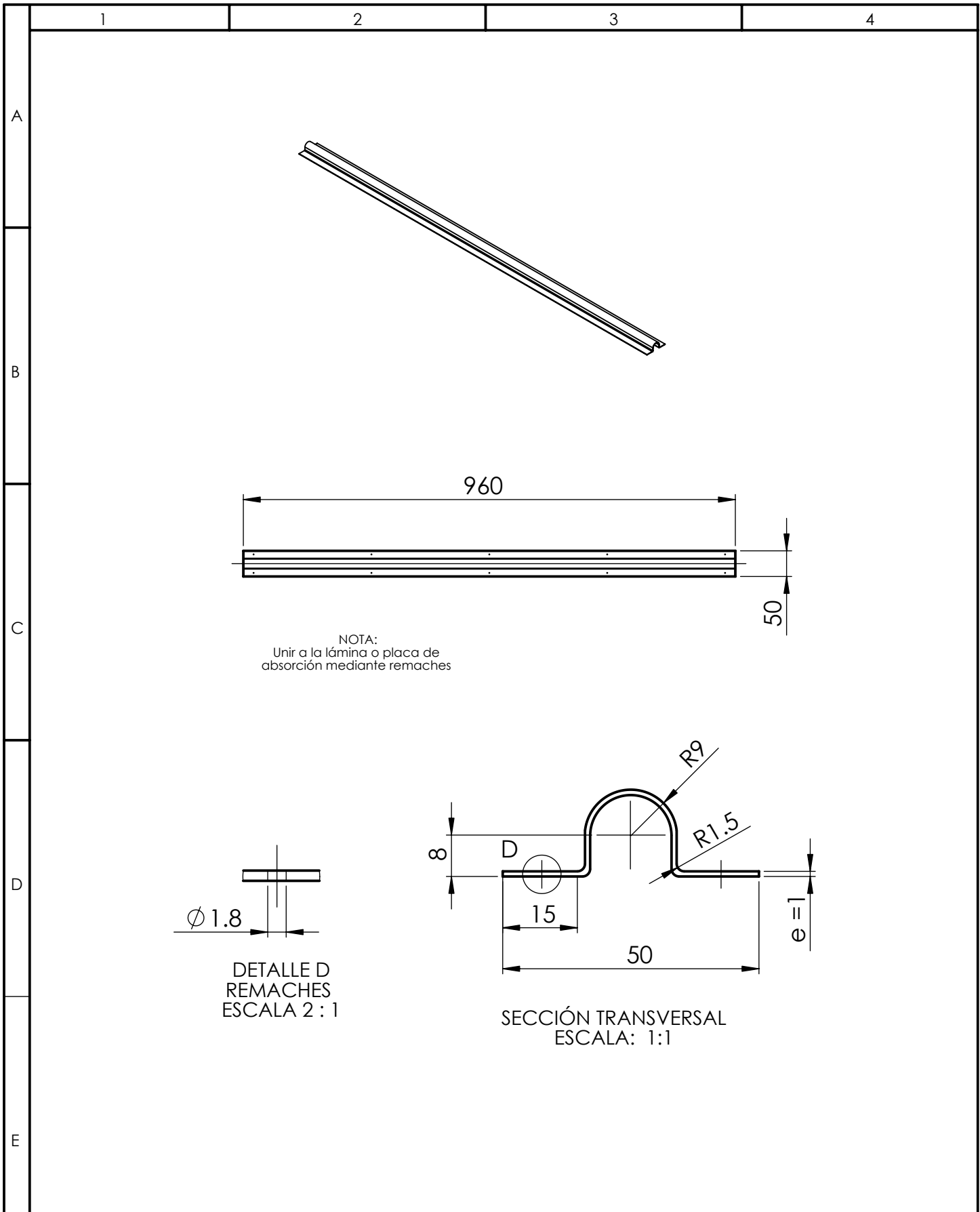




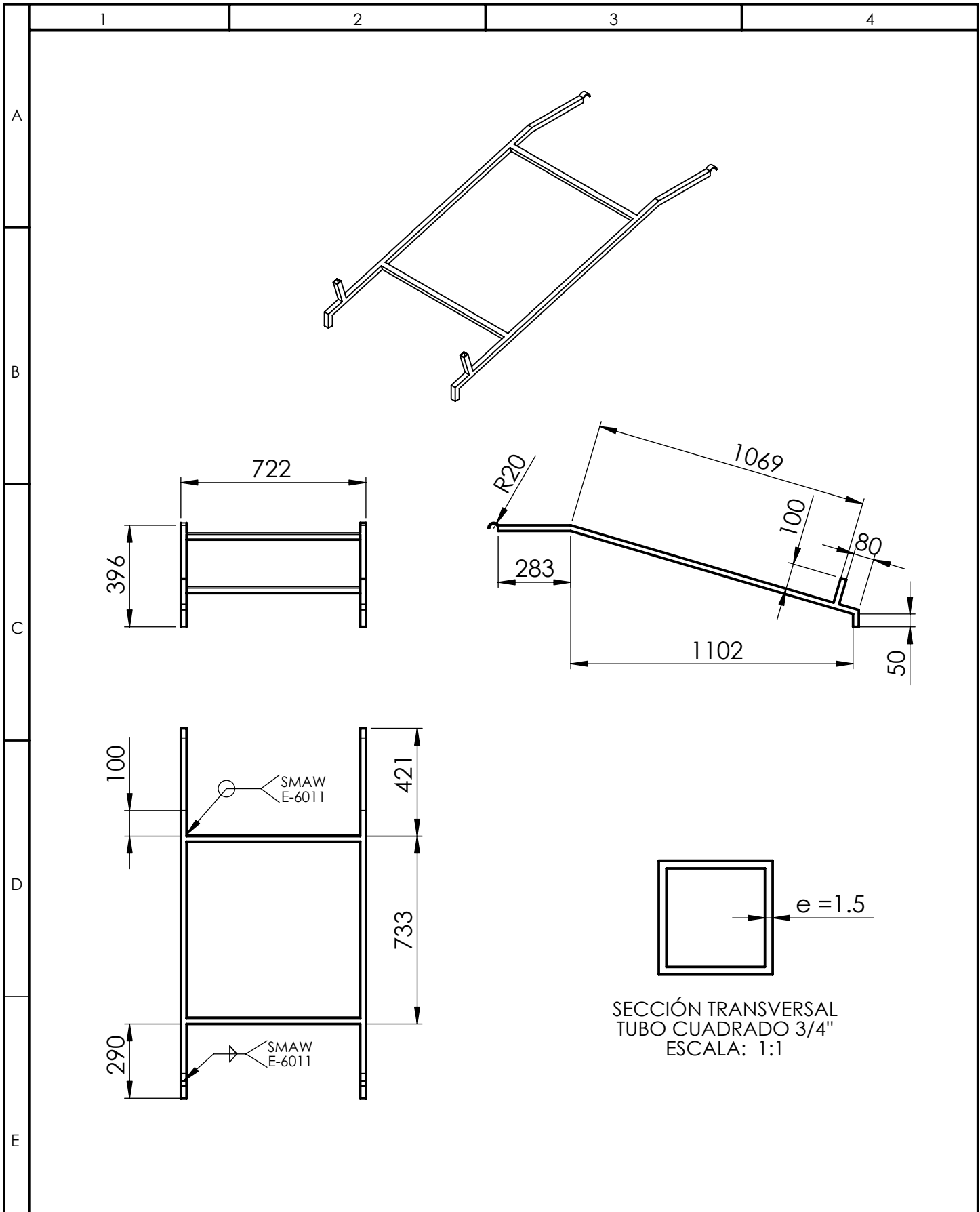
				TOLERANCIA: + - 1 mm	PESO: 2.92 kg	MATERIAL: ALUMINIO esp.1mm			
					FECHA	NOMBRE	TITULO Placa de Absorción		ESCALA: 1:20
				DIBUJO	17/ 06 / 11	BYRON TOALOMBO			
				REVISO	01/ 07 / 11	ING. S. CABRERA			
					APROBO	01/ 07 / 11	ING. S. CABRERA	NUMERO DE LAMINA 04 / 11	
EDICION	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	U.T.A. INGENIERIA MECANICA			SUSTITUCION:		




				TOLERANCIA: ± 1 mm	PESO: 7.7 kg	MATERIAL: COBRE	
						TITULO Serpentín Tubular	ESCALA: 1:20
				FECHA	NOMBRE		
				DIBUJO 17/06/11	BYRON TOALOMBO		
				REVISO 01/07/11	ING. S. CABRERA		
				APROBO 01/07/11	ING. S. CABRERA		
				U.T.A.		NUMERO DE LAMINA	05 / 11
						INGENIERIA MECANICA	
EDICION	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	SUSTITUCION:			

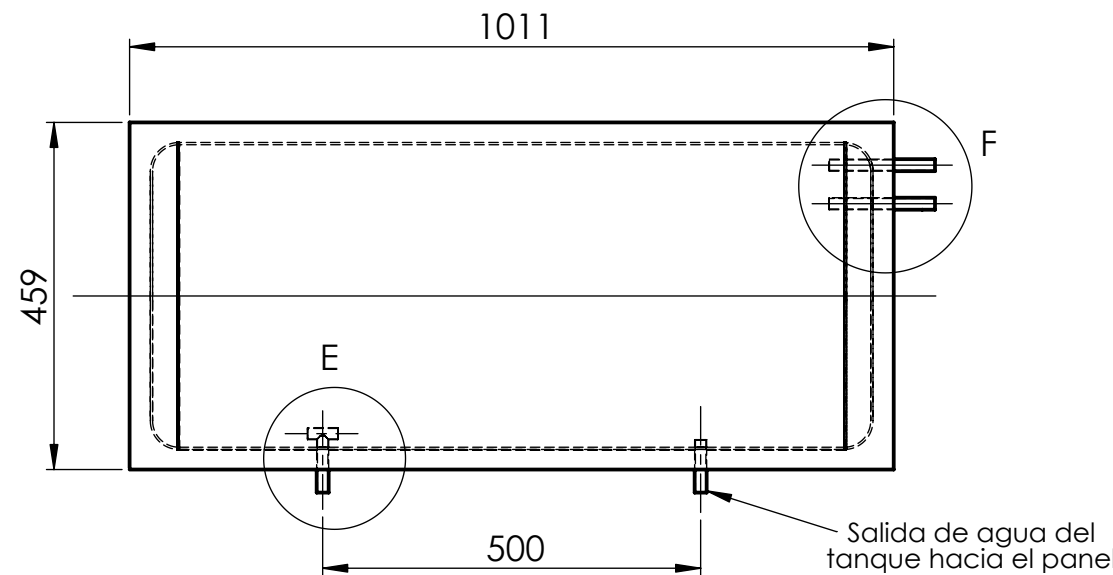
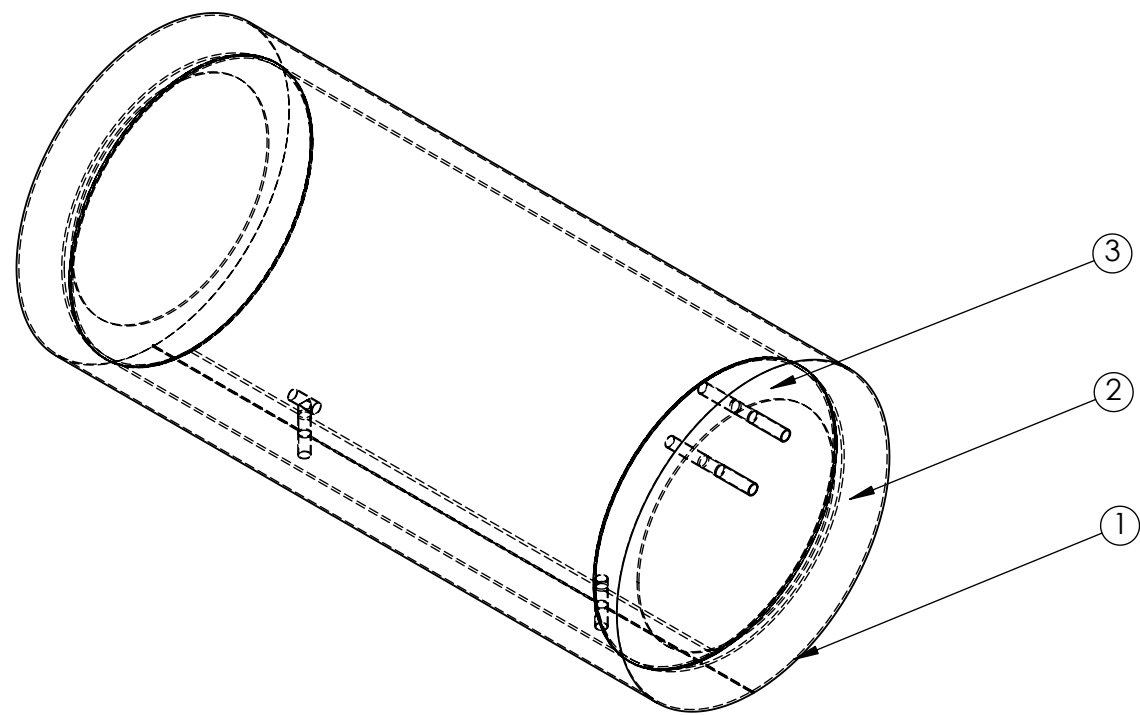


				TOLERANCIA: + 1 mm - 1 mm	PESO: 0.73 kg	MATERIAL: ALUMINIO	
						TITULO Placa de Absorción Acanalada	ESCALA: 1:10
				FECHA	NOMBRE		
				DIBUJO 17/ 06 / 11	BYRON TOALOMBO		
				REVISO 01/ 07 / 11	ING. S. CABRERA		
				APROBO 01/ 07 / 11	ING. S. CABRERA		
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		NUMERO DE LAMINA	06 / 11
EDICION	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE			SUSTITUCION:	



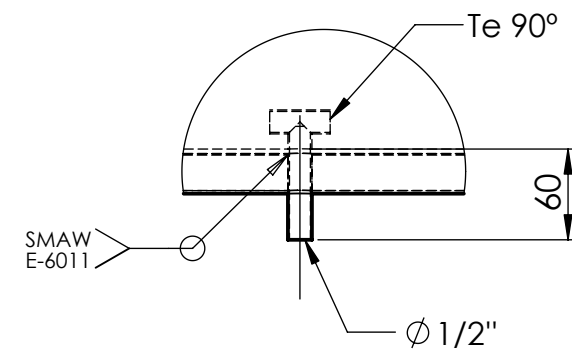
				TOLERANCIA: ± 1 mm	PESO: 4.3 kg	MATERIAL: ACERO ASTM A 500 GALVANIZADO esp. 1.5mm	
					FECHA	NOMBRE	TITULO
				DIBUJO	17/ 06 / 11	BYRON TOALOMBO	Base del Panel
				REVISO	01/ 07 / 11	ING. S. CABRERA	
				APROBO	01/ 07 / 11	ING. S. CABRERA	
				U.T.A.		NUMERO DE LAMINA	07 / 11
EDICION	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCION:	



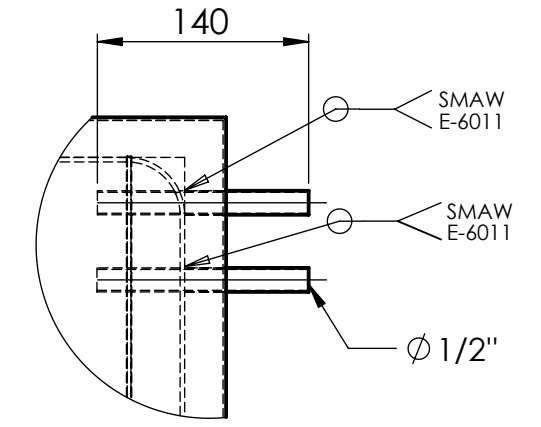


NOTA: Insertar mediante suelda SMAW 4 tubos de acero galvanizado $\phi 1/2"$

Entrada de agua fría desde la red
 Entrada de agua caliente desde el panel (tubo arriba) y salida de agua para uso doméstico (tubo abajo)



DETALLE E
ESCALA 1 : 5

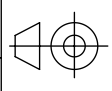


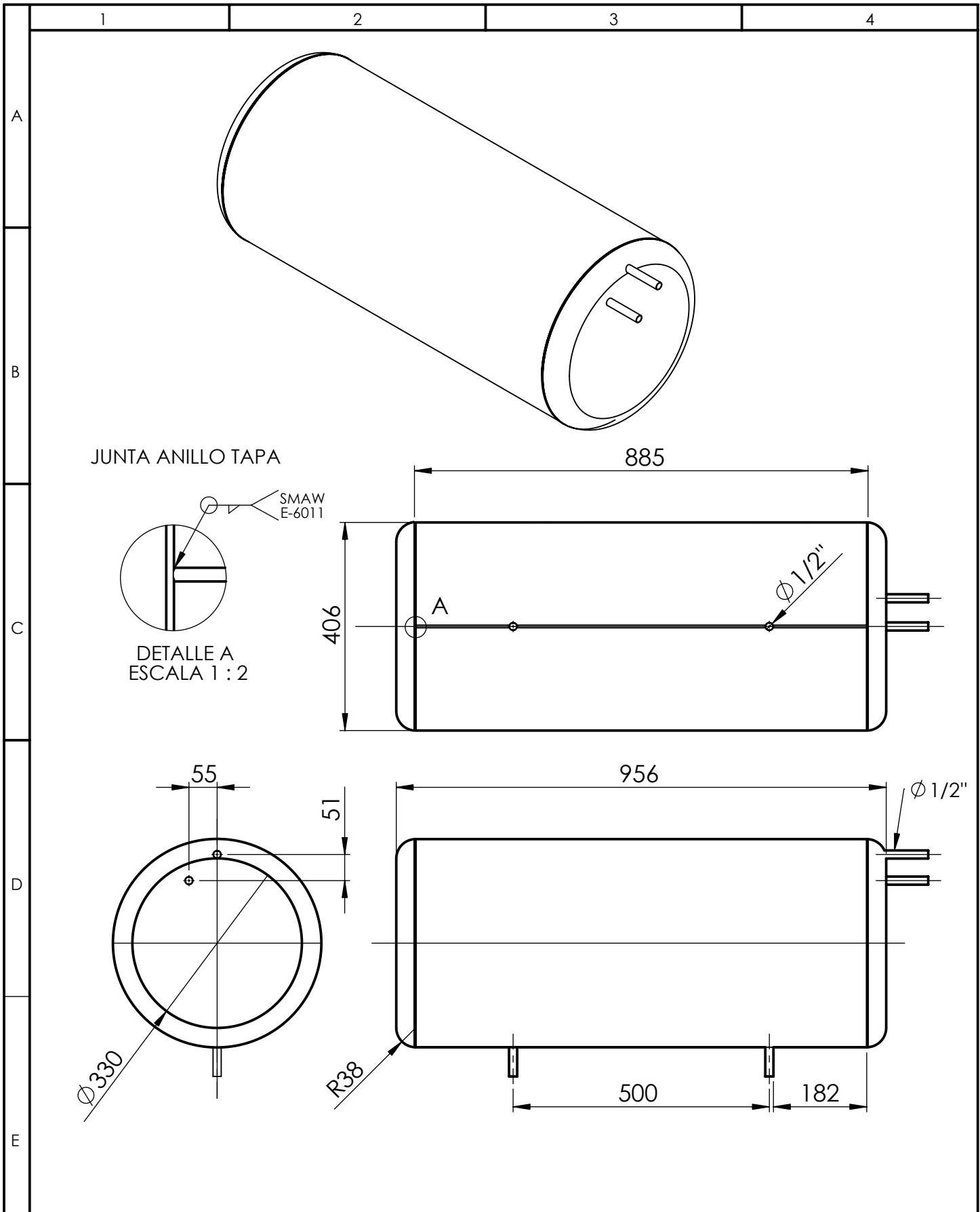
DETALLE F
ESCALA 1 : 5

ESPECIFICACIONES:	
Volumen:	0.167 m ³ o 167.3 lt
Fluido a circular:	Agua
Tipo de circulación:	Natural
Volumen máximo del fluido:	118.1 lt o 31.21 gal

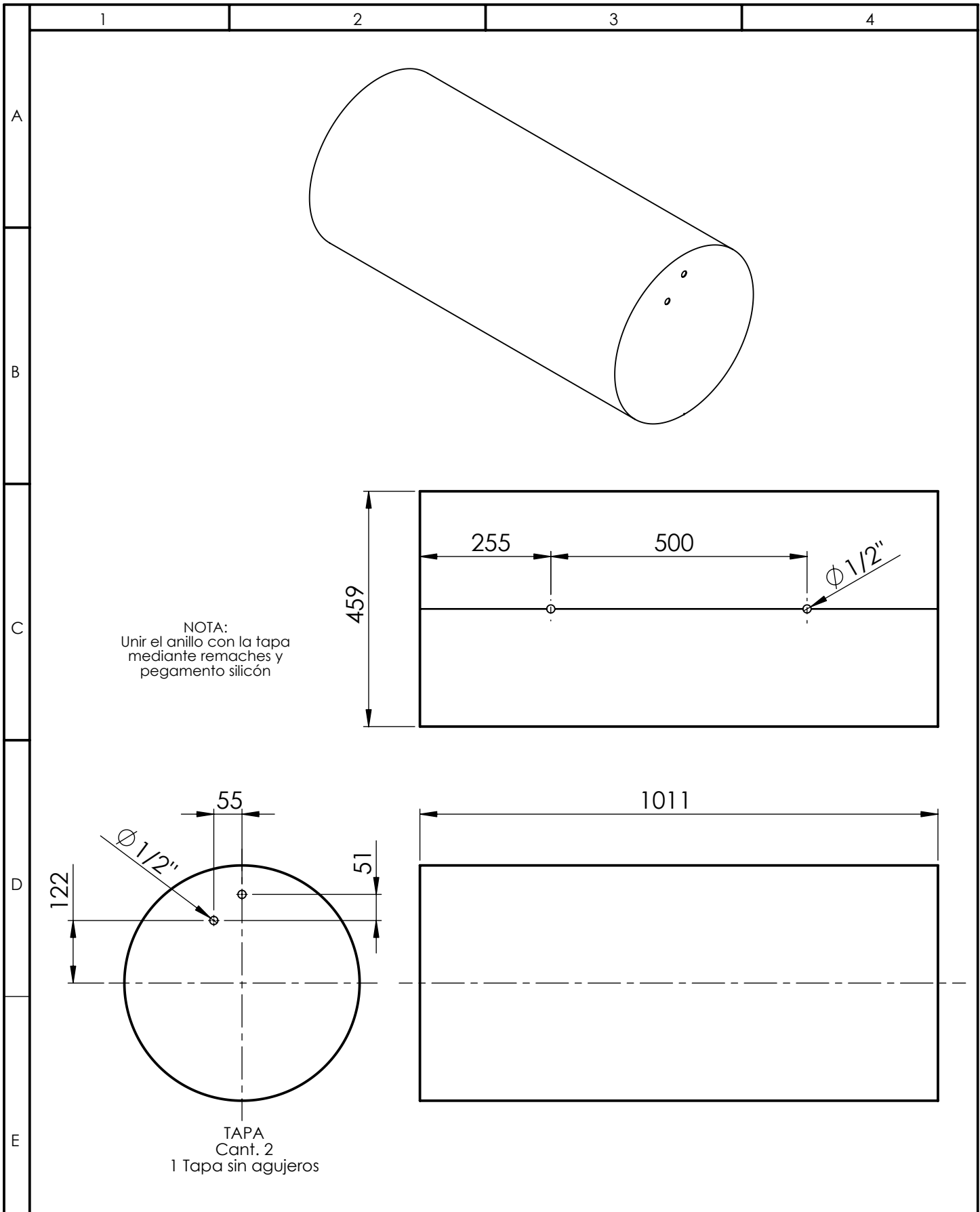
No. de Orden	Denominación	No. de Norma/ Dibujo	Material	No. de Piezas	No. del Modelo/ Semiproducto	Peso kg/ pieza	Observaciones
3	Tanque de Almacenamiento	9	Acero ASTM A653 CS Galvanizado	1	L = 956, $\phi = 406$ mm, e= 3mm	30.0	Doblado, Soldado
2	Aislante	-	Lana de Vidrio	1	L = 1006, $\phi = 412$ mm, e= 1"	2.1	Comprado
1	Cubierta del Tanque	10	Acero ASTM A653 CS Galvanizado	1	L = 1011, $\phi = 459$ mm, e= 1mm	12.1	Doblado, Remachado

TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:	
± 1 mm		44.2 kg		VARIOS	
FECHA		NOMBRE		TITULO:	
DIBUJO: 17 / 06 / 11		BYRON TOALOMBO		Tanque de Almacenamiento Armado	
REVISO: 01 / 07 / 11		ING. S. CABRERA		ESCALA: 1 : 10	
APROBO: 01 / 07 / 11		ING. S. CABRERA			
U.T.A.				NUMERO DE LAMINA: 08 / 11	
INGENIERIA MECANICA				SUSTITUCION:	

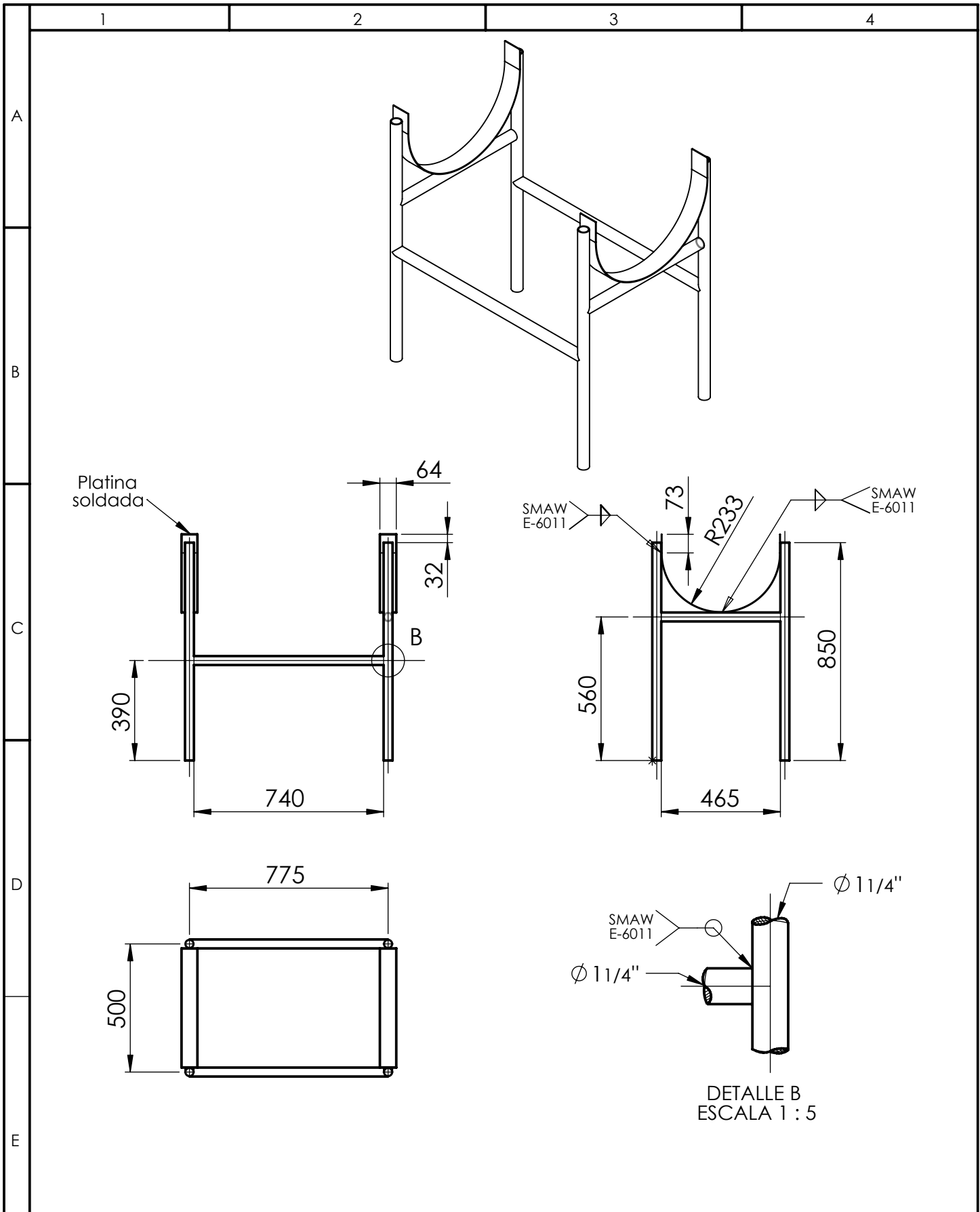




				TOLERANCIA: $\pm 1 \text{ mm}$	PESO: 30 kg	MATERIAL: ACERO ASTM A 653 CS GALVANIZADO esp. 3mm	
						TITULO	ESCALA:
				DIBUJO	FECHA	NOMBRE	Tanque de Almacenamiento 1:10
				REVISO	01/07/11	ING. S. CABRERA	
				APROBO	01/07/11	ING. S. CABRERA	
				U.T.A.		NUMERO DE LAMINA	09 / 11
EDICION	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCION:	



				TOLERANCIA: + - 1 mm	PESO: 12.1 kg	MATERIAL: ACERO ASTM A 653 CS GALVANIZADO esp.1mm		
						TITULO Cubierta del Tanque	ESCALA: 1:10	
					FECHA			NOMBRE
				DIBUJO	17/ 06 / 11			BYRON TOALOMBO
				REVISO	01/ 07/ 11	ING. S. CABRERA		
				APROBO	01/ 07/ 11	ING. S. CABRERA		
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		NUMERO DE LAMINA	10 / 11	
EDICION	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE			SUSTITUCION:		



				TOLERANCIA: + - 1 mm	PESO: 9.85 kg	MATERIAL: ACERO ASTM A 500 GALVANIZADO esp. 2mm	
					FECHA	NOMBRE	TITULO
				DIBUJO	17/ 06 / 11	BYRON TOALOMBO	Estructura Soporte del Tanque
				REVISO	01/ 07 / 11	ING. S. CABRERA	
				APROBO	01/ 07 / 11	ING. S. CABRERA	
				U.T.A.		NUMERO DE LAMINA	11 / 11
EDICION	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCION:	