

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGIA Y MECANICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO
MECANICO**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALENTADOR SOLAR DE
AGUA CON CAPACIDAD DE 200 LITROS PARA EL
LABORATORIO DE ENERGÍAS NO CONVENCIONALES DEL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

Desarrollado por:

**JOSE VICENTE PILLAJO GARCIA
LUIS EDUARDO CASTILLO OLALLA**

DIRECTOR: ING. JOSE GUASUMBA

CODIRECTOR: ING. ERNESTO SORIA

Sangolquí, 2007- 12 - 29

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “ DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALENTADOR SOLAR DE AGUA CON CAPACIDAD DE 200 LITROS PARA EL LABORATORIO DE ENERGÍAS NO CONVENCIONALES DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA ” fue realizado en su totalidad por Jose Vicente Pillajo García y Luis Eduardo Castillo Olalla, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

**Ing. Jose Guasumba
DIRECTOR**

**Ing. Ernesto Soria
CODIRECTOR**

Sangolquí, 2007-12-04

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALENTADOR SOLAR DE AGUA CON
CAPACIDAD DE 200 LITROS PARA EL LABORATORIO DE ENERGÍAS NO
CONVENCIONALES DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA
ENERGÍA Y MECÁNICA”**

ELABORADO POR:

Jose Vicente Pillajo García

Luis Eduardo Castillo Olalla

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Crnl. (R) Ing. Juan Díaz T.

Coordinador de la carrera de Ingeniería Mecánica

Sangolquí, 2007-11-25

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi familia y amigos cercanos, los cuales han sido mi soporte durante mi desarrollo físico, espiritual y cognoscitivo. Una dedicatoria muy especial a mi padre Luis Eduardo Castillo V., por haberme dado la educación que tanto necesite a lo largo de mi vida y a mi madre Yolanda de las Mercedes Olalla, por haberme dado la inspiración y motivación necesaria. A mis padres les dedico con mucho amor el presente trabajo, espero esto les devuelva un poco del amor que ellos han sabido entregarme durante toda mi vida.

Luis Eduardo Castillo

DEDICATORIA

La elaboración de este proyecto de grado lo dedico a mis padres, que por su afán y sacrificio motivaron e inspiraron con amor para que fuera posible la culminación de esta etapa estudiantil en mi vida, a mis hermanos que me apoyaron moral y espiritualmente en todo momento, y finalmente quisiera dedicar este trabajo a mis amigos más allegados.

José Pillajo

AGRADECIMIENTO

Quisiéramos principalmente agradecer a Dios por la vida, salud y conocimiento que nos ha dado durante estos años de estudio, a nuestras familias por el apoyo incondicional. A la Escuela Politécnica Del Ejército y catedráticos por habernos brindado las herramientas necesarias para adquirir el conocimiento. Al Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica D.E.C.E.M, por darnos la oportunidad de elaborar nuestro proyecto de grado. Al Ing. José Guasumba, Ing. Ernesto Soria y al Ing. Roberto Buen año, y a todas las personas que facilitaron el desarrollo del mismo.

Eduardo Castillo y José Pillajo

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	xv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvi
RESUMEN.....	xviii
CAPITULO I: GENERALIDADES.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Definición del Problema.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.1 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Alcance.....	3
1.5 Justificación e Importancia del Proyecto.....	3
CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Radiación Solar Local.....	5
2.1.1. Radiación Directa.....	6
2.1.2. Radiación Difusa.....	6
2.1.3. Albedo.....	7
2.1.4. Radiación Global.....	10
2.2. Inclinación Óptima.....	12

2.2.1 Orientación.....	12
2.2.2. Inclinación del Colector Solar.....	13
2.3. El Colector Solar Plano.....	14
2.3.1. Hipótesis.....	14
2.3.1.1. Tipo de Colectores Solares Planos.....	17
2.3.1.2. Partes de un colector Solar Plano.....	17
2.3.1.3. Energía Solar Térmica de Baja Temperatura.....	21
2.3.1.4. Subsistema de Almacenamiento.....	22
2.3.1.5. Subsistema de Distribución y Consumo.....	23
2.3.2. Energía Absorbida.....	25
2.3.3. Energía Transformada.....	26
2.3.4. Energía Perdida.....	29
2.3.4.1 Coeficientes de Transferencia de Calor.....	34
2.3.4.2. Coeficiente Cubierta Ambiente.....	35
2.3.5. Eficiencia del Colector Solar Plano.....	36
2.3.6. Factor de Remoción de Calor.....	37
2.3.6.1 Factor de Eficiencia de la Aleta Recta F_1	37
2.3.6.2 Factor de Eficiencia del Colector F_2	38
2.3.6.3 Factor de Remoción o Eficiencia Global del Colector F_3	40
2.3.7. Calor Útil.....	41
2.3.7.1 Reflexión de Interfaces.....	42
CAPITULO 3: DISEÑO DEL SISTEMA TÉRMICO.....	47
3.1 Tanque Acumulador.....	47
3.1.1 Diseño del Deposito Acumulador.....	47
3.1.2 Aislamiento en el Tanque Acumulador.....	51
3.1.3 Aislamiento en Tuberías.....	57
3.2 Sistema de Control.....	64
3.2.1 Flujómetro.....	64

3.2.2. Termómetro Digital.....	65
3.2.3 Caja de Control.....	66
3.3. Colector Solar Plano.....	67
3.3.1. Ubicación y Orientación.....	67
3.3.2. Cálculo y Dimensionamiento.....	68
3.3.2.1. Cálculo de Pérdidas Totales.....	68
3.3.2.2. Factor de remoción de Calor.....	78
3.3.2.3. Cálculo del Calor Útil.....	82
3.3.2.4. Cálculo de la Eficiencia del Colector Solar.....	82
3.4. Soportes.....	84
3.4.1. Soporte del Tanque Acumulador.....	84
3.4.2. Soporte de los Colectores.....	87
CAPITULO 4: CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE.....	91
4.1 Organigramas de Procesos.....	91
4.2. Secuencia de Construcción.....	91
4.2.1. Secuencia de Construcción del Colector Solar.....	94
4.2.2. Secuencia de Construcción del Soporte del Colector.....	99
4.2.3. Secuencia de Construcción del Soporte del Tanque Acumulador.....	99
4.2.4. Secuencia de Construcción del Tanque Acumulador.....	101
4.3. Planos.....	104
4.4. Diagramas de Montaje.....	104
4.4.1. Montaje del Colector Solar Plano.....	104
4.4.2. Montaje del Tanque de Almacenamiento.....	105
4.4.3. Montaje del Sistema de Control.....	106
4.4.4. Montaje del Sistema.....	106
4.5 Implementación de la Instrumentación.....	109
CAPITULO:5 PRUEBAS.....	111
5.1. Datos.....	111

5.1.1. Datos de Irradiación.....	111
5.1.2. Datos de Temperatura y Caudal.....	116
5.2. Análisis de Datos.....	123
5.2.1. Ejemplo de Cálculos.....	131
5.3. Hoja de Pruebas.....	133
5.4. Homologación.....	135
5.4.1. Definición del Método.....	135
5.4.2. Análisis de Cobertura Solar.....	136
CAPITULO 6: ANÁLISIS ECONÓMICO-FINANCIERO.....	141
6.1. Análisis Económico.....	141
6.1.1. Determinación de Costos.....	141
6.1.2. Materiales.....	141
6.1.3. Mano de Obra.....	146
6.1.4. Otros Costos.....	146
6.2. Análisis Financiero.....	147
6.2.1. Flujo de Caja.....	148
6.2.2. TIR y VAN.....	151
6.2.3. Recuperación de la Inversión.....	151
CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	153
7.1. Conclusiones.....	153
7.2. Recomendaciones.....	155
ANEXOS.....	157
ANEXO A: ORGANIGRAMA DE PROCESOS.....	158
ANEXO B: PLANOS.....	159
ANEXO C: ESPECIFICACIONES DE LOS ELEMENTOS DE CONTROL.....	160
ANEXO D: FOTOGRAFÍAS.....	161
ANEXO E: MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	168
REFERENCIAS.....	181

BIBLIOGRÁFICAS.....	181
DIRECCIONES DE INTERNET.....	182

INDICE DE FIGURAS

Nro. Fig	Contenido	Pág.
Figura 2.1:	Componentes de la Radiación Solar.....	7
Figura 2.2:	Reflejo y Absorción de la Radiación Solar por Diferentes Superficies.....	8
Figura 2.3:	Albedo de Agua con Posición Baja y Alta del Sol.....	9
Figura 2.4:	Cambios en la Radiación de Onda Corta.....	11
Figura 2.5:	Cambios en la Radiación de Onda Larga.....	11
Figura 2.6:	Distribución de Calor En un Colector Solar.....	12
Figura 2.7:	Orientación del Colector Solar.....	12
Figura 2.8:	Angulo de Inclinación Optimo en Verano e Invierno.....	13
Figura 2.9:	Inclinación del Colector Solar para el Periodo de Invierno.....	14
Figura 2.10:	Espectro Solar.....	15
Figura 2.11:	Partes de un Colector Solar.....	18
Figura 2.12:	Esquema de un Circuito Abierto.....	21
Figura 2.13:	Esquema de un Circuito Cerrado.....	22
Figura 2.14:	Efecto Termosifón.....	24
Figura 2.15:	Circulación Forzada.....	25
Figura 2.16:	Distribución de Calor En un Colector Solar.....	28
Figura 2.17:	Colector de Placa Plana con dos Cubiertas.....	30
Figura 2.18:	Circuito Térmico del Colector Placa Plana con dos Cubiertas.....	31
Figura 2.19:	Angulo de Incidencia y de Refracción.....	42
Figura 3.1:	Circuito Térmico del Tanque.....	51
Figura 3.2:	Circuito Térmico de la Tubería.....	58
Figura 3.3:	Orientación del Colector Solar.....	67
Figura 3.4:	Esquema eléctrico equivalente del colector.....	69
Figura 3.5:	Esquema eléctrico de pérdidas totales.....	69
Figura 3.6:	Soporte del Tanque Acumulador.....	84

Nro. Fig	Contenido	Pág.
Figura 3.7:	Simulación de Tensiones en el Soporte del Tanque.....	84
Figura 3.8:	Desplazamientos del Soporte del Tanque.....	85
Figura 3.9:	Deformación Unitaria del Soporte del Tanque.....	86
Figura 3.10:	Verificación de Diseño del Soporte del Tanque.....	87
Figura 3.11:	Soporte del Colector.....	87
Figura 3.12:	Aplicación de Fuerzas en el Soporte del Colector.....	88
Figura 3.13:	Simulación de Tensiones del Soporte del Colector.....	88
Figura 3.14:	Desplazamiento del Soporte Colector.....	89
Figura 3.15:	Verificación de Diseño del Soporte del Colector.....	89
Figura 4.1:	Perfil Lateral del Colector Solar.....	94
Figura 4.2:	Ensamble de los Perfiles.....	94
Figura 4.3:	Plancha Base de Caja Colectora.....	95
Figura 4.4:	Despiece de Caja Protectora del colector.....	95
Figura 4.5:	Despiece de la Caja protectora y Placa Plana.....	96
Figura 4.6:	Parrilla Colectora.....	96
Figura 4.7:	Ensamble d la Caja protectora, Placa absorbadora, Parrilla Colectora.....	97
Figura 4.8:	Despiece de los Elementos del Colector Solar.....	98
Figura 4.9:	Colector Solar.....	98
Figura 4.10:	Soporte del Colector Solar.....	99
Figura 4.11:	Arco de Platina 40X5mm.....	100
Figura 4.12:	Soporte del Tanque Térmico.....	100
Figura 4.13:	Cilindro Barolado.....	101
Figura 4.14:	Tapa Elíptica del Tanque.....	102
Figura 4.15:	Despiece del Tanque Acumulador.....	102
Figura 4.16:	Despiece del Tanque Acumulador y Flautas.....	103
Figura 4.17:	Tanque Acumulador.....	103
Figura 4.18a:	Montaje del Colector Solar.....	105

Nro. Fig	Contenido	Pág.
Figura 4.18b:	Colector Solar Terminado.....	105
Figura 4.19a y 4.19b:	Montaje del Tanque Térmico.....	106
Figura 4.20 a y 4.20b:	Montaje del Sistema de Control.....	106
Figura 4.21:	Emplazamiento de los Colectores y Tanque Acumulador.....	107
Figura 4.22:	Ubicación y Montaje de la Bomba de agua y Soporte.....	107
Figura 4.23:	Emplazamiento del Sistema de Control.....	108
Figura 4.24:	Montaje del Sistema hidráulico.....	108
Figura 5.3:	Curva de Rendimiento del Colector Solar.....	130
Figura 6.1:	Recuperación de la Inversión.....	152

INDICE DE FOTOGRAFÍA

Nro. Fotog.	Contenido	Pág.
Fotografía 2.1:	Colectores Solares Sobre el Tejado inclinado de una Vivienda...	16
Fotografía 2.2a:	Calentamiento de Agua a Nivel Industrial.....	16
Fotografía 2.2b:	Calentamiento de Agua a Nivel Industrial.....	16
Fotografía 3.1:	Medidor de Caudal.....	65
Fotografía 3.2:	Medidores de Temperatura.....	66
Fotografía 3.3:	Caja de Control.....	66
Fotografía 5.1:	Modulo Fotovoltaico.....	110
Fotografía 5.2:	Multímetro Omegaette Marca Omega.....	111

INDICE DE TABLAS

Nro. Tabla	Contenido	Pág.
Tabla 2.1:	Valores de Albedo.....	10
Tabla 2.2:	Valores de Absortancia y Emitancia.....	45
Tabla 4.1:	Tabla de Elementos del Sistema Térmico.....	91
Tabla 4.2:	Elementos de un Colector Solar.....	98
Tabla 4.3:	Descripción de Partes del Sistema.....	109
Tabla 5.1:	Datos de Amperaje e Irradiación.....	111
Tabla5.2:	Datos de Temperatura y Caudal (2007-10-23).....	116
Tabla 5.3:	Datos de Temperatura y Caudal (2007-10-24).....	117
Tabla 5.4:	Datos de Temperatura y Caudal (2007-10-25).....	118
Tabla 5.5:	Datos de Temperatura y Caudal (2007-10-26).....	119
Tabla 5.6:	Datos de Temperatura y Caudal (2007-10-29).....	120
Tabla 5.7:	Datos de Temperatura y Caudal (2007-10-30).....	121
Tabla 5.8:	Datos de Temperatura y Caudal (2007-10- 31).....	122
Tabla 5.9:	Cálculo del Rendimiento (2007-10-23).....	123
Tabla 5.10:	Cálculo del Rendimiento (2007-10-24).....	124
Tabla 5.11:	Cálculo del Rendimiento (2007-10-25).....	124
Tabla 5.12:	Cálculo del Rendimiento (2007-10-26).....	126
Tabla 5.13:	Cálculo del Rendimiento (2007-10-29).....	127

Nro. Tabla	Contenido	Pág.
Tabla 5.14:	Cálculo del Rendimiento (2007-10-30).....	128
Tabla 5.15:	Cálculo del Rendimiento (2007-10-31).....	129
Tabla 5.16:	Hoja de Datos.....	134
Tabla 6.1:	Materiales Utilizados en la Construcción de los Colectores Solares.....	141
Tabla 6.2:	Materiales utilizados en la Construcción del Tanque Térmico.....	142
Tabla 6.3:	Materiales Utilizados en la Construcción del Soportes de los Colectores Solares.....	143
Tabla 6.4:	Materiales utilizados en la Construcción del Soporte del Tanque Térmico.....	143
Tabla 6.5:	Materiales Utilizados en la Implementación del Sistema hidráulico.....	144
Tabla 6.6:	Gastos del Sistema de Control sin Sensores.....	145
Tabla 6.7:	Sensores Para el Sistema de Control.....	146
Tabla 6.8:	Costo de Mano de Obra.....	146
Tabla 6.9:	Costos Diversos.....	146
Tabla 6.10:	Extras no Tomados en Cuenta.....	147
Tabla 6.11:	Costo Total de Implementación del Sistema.....	147
Tabla 6.12:	Flujo de Caja.....	150
Tabla 6.13:	Cálculo del TIR y VAN.....	151
Tabla 6.14:	TIR y VAN al Final del Periodo.....	151

RESUMEN

Se realizo un Sistema Térmico de Homologación, con Colectores Solares Planos, para el Laboratorio de Energías No Convencionales de la ESPE.

En la actualidad los efectos secundarios de la utilización de Fuentes de Energía No Renovables, están alcanzando un nivel devastador para el Medio Ambiente, es así que es necesario impulsar el desarrollo de las Fuentes de Energía Renovables, buscando el evitar que se sigan produciendo efectos como el Efecto Invernadero, la Lluvia Acida, efectos de la utilización de las Energías Convencionales. Es necesario crear una Conciencia Social sobre el gran problema al que nos estamos enfrentando.

Se busca tener un mejor conocimiento sobre la Energía Solar, en especial sobre su recopilación a partir de Colectores Solares Planos, por lo cual se ha desarrollado esta investigación para obtener un equipo de laboratorio, el cual nos permitirá realizar prácticas a nivel de Educación de tercer y cuarto nivel, para poder obtener un mayor y mejor conocimiento sobre este tipo de energía.

Se desarrollo un sistema de 2 colectores solares planos. Se los coloco en paralelo y en serie para poder ver el comportamiento del sistema como tal. Se obtuvieron diversos resultados, obteniendo en paralelo un mayor volumen de agua caliente sanitaria (ACS), llegando a bordear los 80°C en un ciclo cerrado, mientras que en un sistema en serie se obtiene una mayor temperatura de Agua Caliente Sanitaria. Se

pudo observar que la eficiencia en el Ecuador es relativamente alta llegando al 65% en comparación con otros sistemas térmicos como México que llega al 40-50% de eficiencia.

El sistema no se ve afectado mayormente en la época de invierno, debido a que Ecuador se encuentra en la Línea Ecuatorial con latitud 0, y la radiación solar que le llega es muy alta.

Se desarrollo el proyecto en el periodo del Marzo 2007 – Diciembre 2007, y tiene una vida útil de 20 años.

El presente proyecto se desarrollo en las instalaciones del Laboratorio de Energías No Convencionales del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (DECEM) en la Escuela Politécnica del Ejercito ESPE.

Los beneficiarios son los estudiantes universitarios del DECEM, y alumnos de Post Grado en Energías Renovables, los cuales podrán obtener un mejor conocimiento realizando prácticas en este Banco de Pruebas. Adicionalmente como un efecto a mayor plazo, al tener un mejor conocimiento

CAPITULO 1.

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES:

Actualmente en el Ecuador, las Energías Renovables no tienen aplicaciones importantes, en vista de la ausencia de políticas que fortalezcan su aprovechamiento. Las empresas que se dedican a la producción de energía limpias son limitadas y los proyectos realizados en este campo son de poco aporte científico, por este motivo es que los proyectos que se tienen en el Ecuador son de bajo rendimiento, y no muy eficientes.

Debido a la facilidad de conseguir en nuestro país el combustible fósil, el tema de las Energías Renovables no ha sido de gran interés, por tal motivo no existen investigaciones de alto nivel sobre este tema. Otra razón por la cual se ha encontrado la necesidad de desarrollar proyectos que aporten a la elaboración del proyecto es la recuperación de la naturaleza reduciendo la contaminación que producen los combustibles fósiles así como también sus costos de producción de energía térmica.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA:

En la actualidad estamos padeciendo los efectos negativos de la contaminación. El uso indebido de los combustibles de origen fósil, han causado grandes cambios en el medio ambiente. Problemas como: el Calentamiento Global, la reducción de la capa de ozono y la lluvia ácida.

En nuestro propio entorno podemos sentir las consecuencias de esta contaminación. La temperatura ambiental llega hasta los 28-30 °C, un calor

sofocante, al cual no estamos acostumbrados, cuando apenas años atrás estábamos habituados a temperaturas en un rango de 18-21 °C, en un entorno fresco, el cual difiere en gran medida del actual

Los motivos expuestos anteriormente son el principal propósito que ha llevado a contribuir mediante este proyecto de grado, el diseño y construcción de un calentador solar de agua que permita analizar térmicamente el mejoramiento de la eficiencia del mismo y que sirva de referente para concientizar a la comunidad sobre los beneficios de este tipo de aplicaciones sustentadas en el uso de la energía solar térmica.

1.3 OBJETIVOS:

1.3.1 GENERAL

“Diseñar y construir un sistema de aprovechamiento de la energía solar térmica para calentar el agua de un tanque con capacidad de 200 litros, con fines didácticos y de investigación para el laboratorio del D.E.C.E.M “

1.3.2 ESPECÍFICOS

- Disponer de un modelo prototipo con el propósito de crear un plan piloto de comercialización, con el propósito de concientizar a la comunidad sobre el aprovechamiento racional o inteligente de este tipo de energías renovables
- Desarrollar un colector solar plano para agua caliente de servicio sanitario que disponga de sus respectivos instrumentos de verificación.
- Proveer un banco de homologación de sistemas térmicos solares para el Laboratorio de Energías No Convencionales del DECEM que permita evaluar y comparar con otros afines.

1.4 ALCANCE

El alcance del proyecto es diseñar y construir un sistema colector solar plano para la obtención de agua caliente sanitaria, el mismo que aplicado a la labor académica de los estudiantes de Ingeniería Mecánica, permita realizar la medición y verificación de las diferentes variables del proceso, así como también la investigación experimental sobre la convención de la energía solar en térmica de baja temperatura, y sus potenciales aplicaciones utilizando materiales disponibles en el mercado nacional. Además contribuir al mejoramiento académico de potenciales clientes de las universidades que tienen convenios con la ESPE y alumnos de Post Grado en Energías Renovables.

1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO

El consumo de energía en los países industrializados es notable, un elevado incremento anual, y una excesiva dependencia de los combustibles de origen fósil, esta situación origina problemas bien conocidos como el agotamiento del combustible finito en fechas no lejanas, impactos negativos causados sobre el medio ambiente como la lluvia ácida y el efecto invernadero.

El actual modelo energético basado en la quema de combustibles fósiles y la energía nuclear es insostenible, y la única alternativa posible viene dada por un modelo energético basado en la eficiencia energética y las energías renovables o limpias.

El sistema energético debe someterse a los límites de la Naturaleza. La sociedad actual utiliza la energía como si no existiesen límites, pero existen. Hay un límite que no podemos franquear y es la capacidad de la atmósfera para absorber CO₂, CO, SO_x y NO_x.

El Proyecto se sujeta principalmente a las necesidades institucionales que presenta la Escuela Politécnica del Ejército mediante la Carrera de Ingeniería

Mecánica y el DECEM, una de las razones consiste en los niveles académicos mediante la ciencia y tecnología. La ejecución y equipamiento de un nuevo laboratorio de Energías no convencionales permitirá complementar los conocimientos teóricos con la práctica, así como también encontrar nuevas aplicaciones para las energías alternativas

De esta manera podemos darnos cuenta de la importancia de incorporar al laboratorio de Energías No Convencionales un calentador solar de agua, el mismo que se procura evaluar y comparar los resultados que suministre este con otros afines.

CAPITULO 2.

MARCO TEÓRICO

2.1 RADIACIÓN SOLAR LOCAL

La radiación solar es la energía electromagnética emitida por los procesos de fusión del hidrógeno contenido en el sol, el mismo que llega a la tierra mediante un flujo de energía en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta). Aproximadamente la mitad de las que recibimos, comprendidas entre $0.4\mu\text{m}$ y $0.7\mu\text{m}$, pueden ser detectadas por el ojo humano, constituyendo lo que conocemos como luz visible. De la otra mitad, la mayoría se sitúa en la parte infrarroja del espectro y una pequeña parte en la ultravioleta. La porción de esta radiación que no es absorbida por la atmósfera, es la que produce quemaduras en la piel a la gente que se expone muchas horas al sol sin protección.

El **balance de radiación** (radiación neta) de una superficie urbana determinada se expresa con la siguiente fórmula¹:

Donde:

$$Q = (1 - A)(I \cdot \text{senh} + i) + (Ez - Ea) \quad (2.1)$$

Q: Radiación neta de todo tipo de onda

A: Albedo (expresado en decimales, por ejemplo, 0.7 o 70%);

(1- A): Radiación de onda corta absorbida por la superficie

(I-senh): Intensidad de la radiación solar directa que llega a la superficie horizontal

¹ Tomado de la página de internet http://www.atmosphere.mpg.de/enid/2_Clima_urbano/_Radiacion_3zg.html

H: Altitud solar

I: Intensidad de la radiación solar difusa

E_z: Radiación de onda larga de la tierra (calor emitido por la superficie a la atmósfera); la atmósfera absorbe cerca del 97% de la E_z, sólo una pequeña fracción va al espacio, pero depende del contenido del vapor de agua y de los gases del efecto invernadero,

E_a: Radiación de onda larga de la atmósfera, también llamada radiación de vuelta (calor emitido por la atmósfera a la superficie)

(E_z- E_a): Llamado radiación efectiva; el calor perdido por la tierra. El valor del balance Q puede ser positivo (es decir, llega más energía a la superficie que la que se pierde) o negativo (la superficie pierde más energía de la que gana).

2.1.1. RADIACIÓN DIRECTA

Es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan

2.1.2. RADIACIÓN DIFUSA

Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, que se denomina *difusa*, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc.

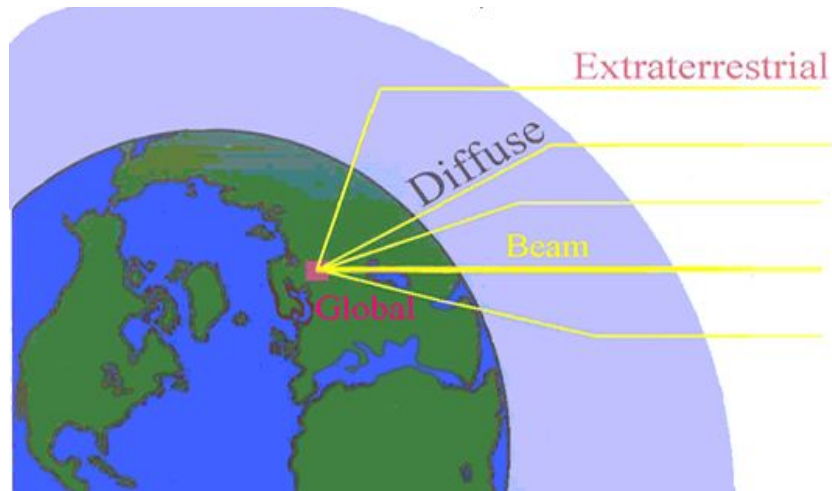


Figura 2.1 Componentes de la radiación solar

Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos.

Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad

2.1.3. ALBEDO

Albedo o radiación reflejada, es como su nombre indican, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben

El Albedo es el porcentaje de radiación que regresa de la superficie comparada con la que llega. Cambia en cada ciudad debido principalmente a las diferencias en el carácter de la superficie urbana, y depende del tipo, color y humedad de la superficie, pero también del tiempo que dure la cubierta de nieve. Para los materiales de construcción, un albedo bajo es típico en comparación con algunos

materiales y superficies naturales, es decir, 5-20% para asfalto, 10-35% para hormigón, 20-35% para piedras, 10-35% para tejados; para nieve reciente alcanza el 75-95%. Sin embargo, algunas superficies naturales pueden tener también un albedo bajo, por ejemplo, el llamado suelo negro con un 5-10%, algunos bosques 15-20 %.

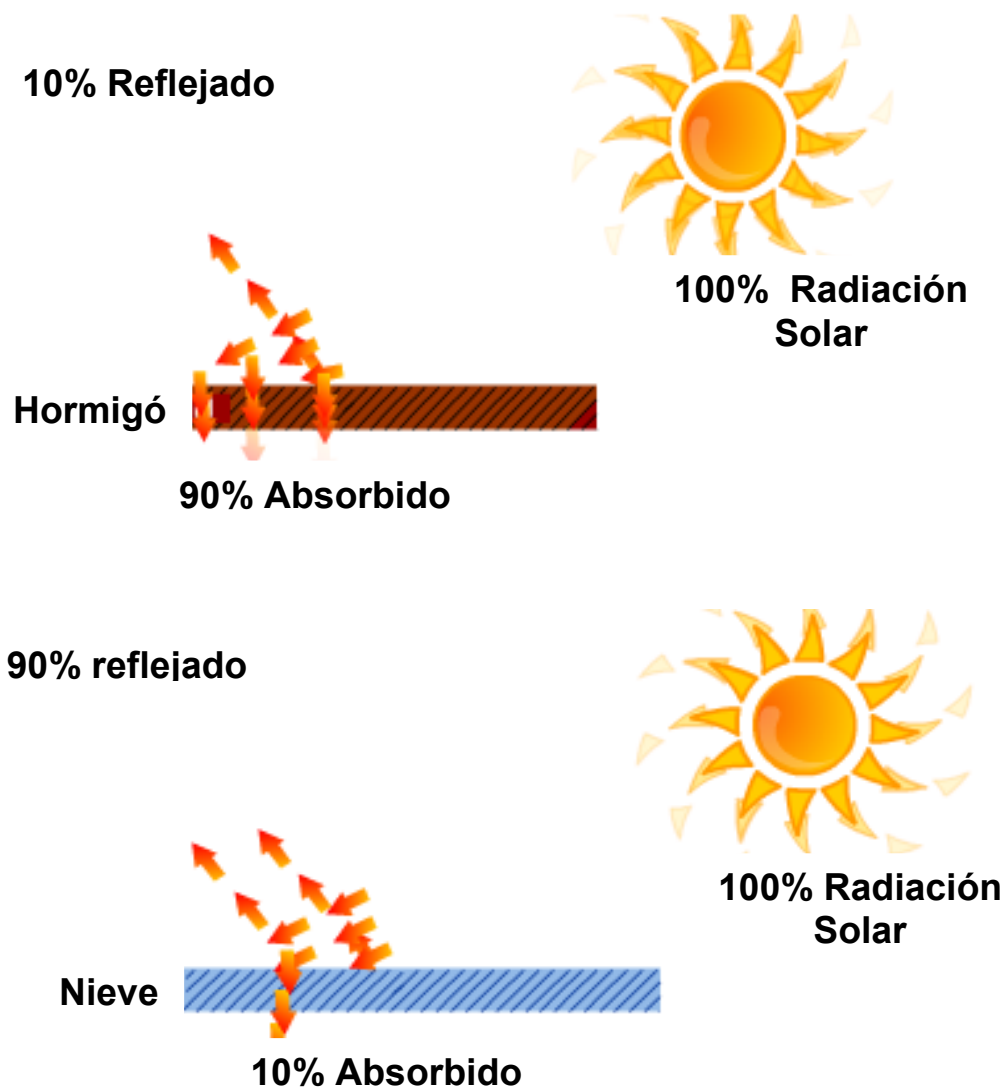


Figura 2.2 Reflejo y absorción de la radiación solar por diferentes superficies²

² Tomado de la página de internet http://www.atmosphere.mpg.de/enid/2_Clima_urbano/_Radiacion_3zg.html

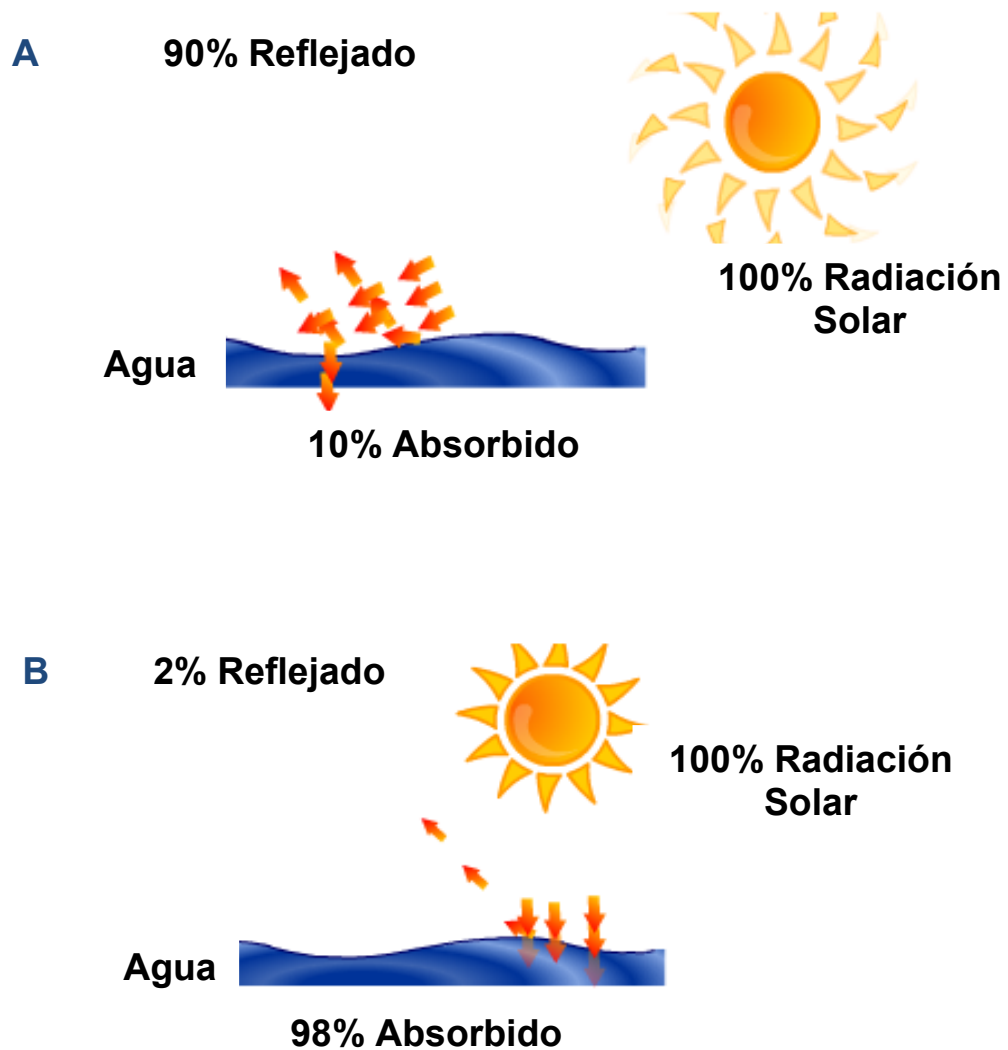


Figura 2.3 Albedo del agua con posición baja (A) y alta (B) del sol.³

El albedo del agua varía poco de 90 % dependiendo del ángulo de llegada de los rayos solares (ver tabla 2.1). Por lo tanto, la cantidad de radiación absorbida es algo mayor del 15-30% en una ciudad que en una zona no urbana. Además, los distintos tipos de superficies artificiales forman una especie de mosaico y causan una gran variabilidad espacial del albedo, lo que afecta a la temperatura del aire en la ciudad. En la siguiente tabla podemos ver los distintos valores de albedo:

³ Tomado de la página de internet http://www.atmosphere.mpg.de/enid/2_Clima_urbano/_Radiacion_3zg.html

Tabla 2.1 Valores de Albedo⁴

Inclinación del Sol	1°	5°	10°	20°	30°	40°	50°
Albedo (%) del agua	89.6	58.6	35.0	13.6	6.2	3.5	2.5

Fuente: Environmental Science Published For everybody Round The earth

2.1.4. RADIACIÓN GLOBAL

La radiación global se la conoce como la suma de las radiaciones anteriormente estudiadas. Esta radiación depende fundamentalmente de las condiciones atmosféricas locales. La siguiente expresión permite calcular la radiación Global⁵:

$$\text{Radiación Global} = \text{Directa} + \text{Difusa} + \text{reflejada} = 1000 \text{W/m}^2 \quad (2.2)$$

En invierno la difusa es mucho mayor en porcentaje y la radiación solar difusa, en base anual, es equivalente al 55% de la global. La cantidad de radiación solar global (tanto radiación solar directa como difusa) puede reducirse en una ciudad en un 10-20% debido a la contaminación atmosférica y la creciente nubosidad. La radiación directa, sin embargo, puede reducirse en un 50 %.

Esto significa que la cantidad de radiación ultravioleta (UV) también se reduce; ésta es una radiación biológicamente activa que mejora las condiciones aerosanitarias, es decir, mata bacterias que causan diversas enfermedades. Los contaminantes atmosféricos forman aerosoles que absorben la radiación de onda larga de la tierra (E_z), y después la radian de vuelta (E_a). Todos los factores mencionados causan el aumento de la temperatura del aire en áreas urbanas. En la figura 2.4 podemos ver los cambios en la radiación de onda corta recibida del sol en una ciudad en comparación con áreas no urbanas, es decir, "radiación directa -15%" significa que en una ciudad la radiación directa es un 15% menor que en áreas no urbanas.

⁴ Tomado de la página de internet http://www.atmosphere.mpg.de/enid/2_Clima_urbano/_Radiacion_3zg.html

⁵ Tomado de la página de internet <http://www.ideam.gov.co/files/atlas/radiacion.htm>

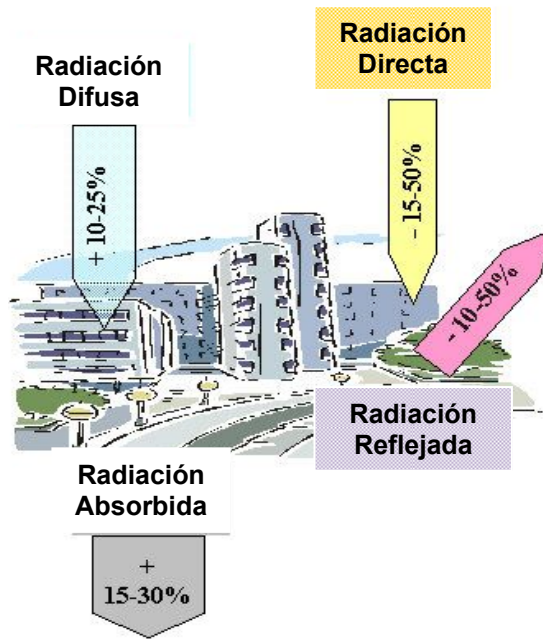


Figura 2.4 Cambios en la radiación de onda corta⁶

En la figura 2.5 podemos ver los Cambios en la radiación de onda larga (por ejemplo, radiación infrarroja) en una ciudad en comparación con áreas no urbanas; es decir "radiación de vuelta de la atmósfera +10%" significa que en una ciudad tal radiación es un 10% mayor que en zonas no urbanas.

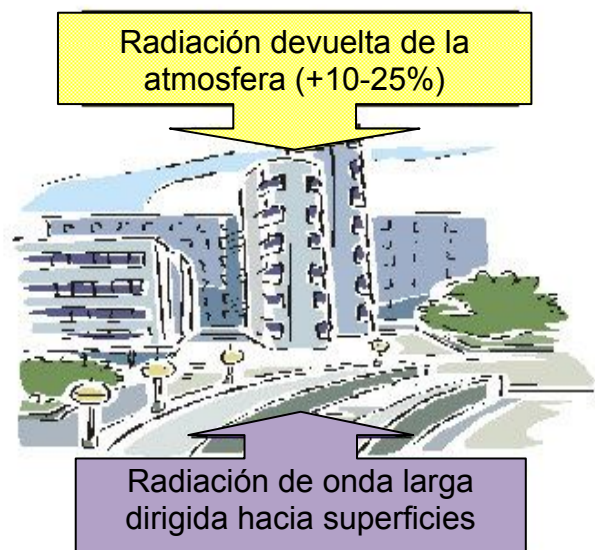


Figura 2.5 Cambios en la radiación de onda larga⁷

⁶ Tomado y traducido de la página de internet http://www.atmosphere.mpg.de/enid/2_Clima_urbano/-Radiacion_3zg.html

2.2 INCLINACIÓN ÓPTIMA

Los paneles solares alcanzan su máxima rendimiento cuando están orientados hacia el sol, en un ángulo perpendicular durante el día. Por lo general, los colectores solares son colocados sobre un techo o una estructura y tienen una posición fija y no pueden seguir la trayectoria del sol en el cielo, por lo tanto, no estarán orientados hacia el astro con un ángulo óptimo (90 grados), durante toda su trayectoria, por lo que debe dotarse a su emplazamiento de determinadas características que hacen a dos aspectos básicos.

- Orientación
- Inclinación

2.2.1 ORIENTACIÓN

La orientación óptima del colector es que su superficie de captación este dirigida hacia el norte, dado que permite aprovechar el mayor número de horas del sol, independientemente de la estación del año y de la latitud de emplazamiento.

En aquellos casos en que la colocación no sea posible por condiciones constructivas como obstrucciones, sombras, etc., debe orientarse tratando de asegurar el mayor número de horas del sol. Para ello debe buscarse no desviarse de la orientación norte más de 20° como se indica en la figura 2.7.

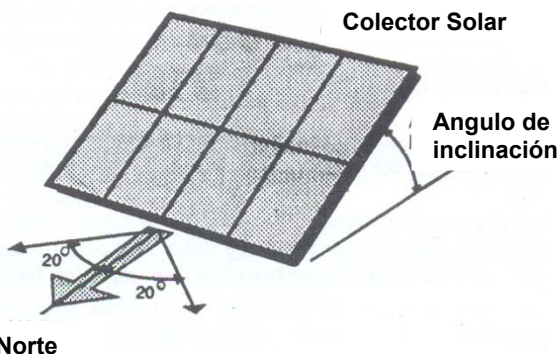


Figura 2.7 Orientación del colector solar.

⁷ Tomado y traducido de la página de internet
http://www.atmosphere.mpg.de/enid/2_Clima_urbano/_Radiaci_n_3zg.html

2.2.2 INCLINACIÓN DEL COLECTOR

Debido a fenómenos naturales como el movimiento terrestre alrededor del sol, existen las variaciones estacionales. En el invierno, el sol no alcanzará el mismo ángulo que en el verano, idealmente en el verano los paneles solares deberían ser colocados en posición ligeramente más horizontal para aprovechar al máximo la luz solar, sin embargo los mismos paneles no estarán, en posición óptima para el sol del invierno.

Con el propósito de alcanzar un mejor rendimiento anual promedio, los paneles solares deberán ser instalados en un ángulo fijo, determinado en algún punto entre los ángulos óptimos para el verano y para el invierno. Cada latitud presenta un ángulo de inclinación óptimo. Los paneles deben colocarse en posición horizontal únicamente en zonas cercanas al ecuador.

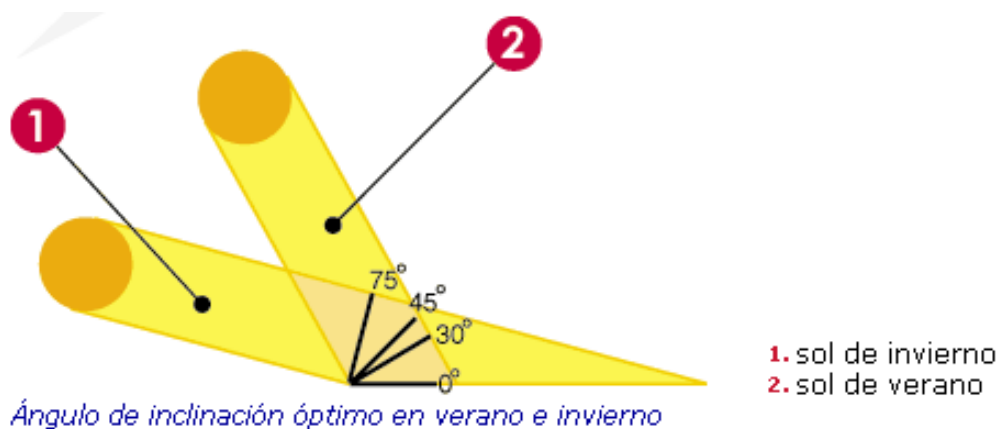


Figura 2.8 Angulo de inclinación Optimo en Verano e Invierno.

Para la captación de la mayor cantidad de energía solar depende de dos factores muy importantes.

- Latitud del lugar de emplazamiento
- Período de utilización durante el año

El cálculo exacto es muy laborioso, por lo que en la práctica se recurre a establecer la inclinación del colector en función de las siguientes reglas, que permiten determinar con suficiente aproximación, de acuerdo al período de uso.

- Para el período de verano, el ángulo de inclinación debe ser igual a la latitud del lugar menos 20°
- Para el período de invierno, el ángulo de inclinación será igual a la latitud del lugar más 10° , como se indica en la figura 2.9.

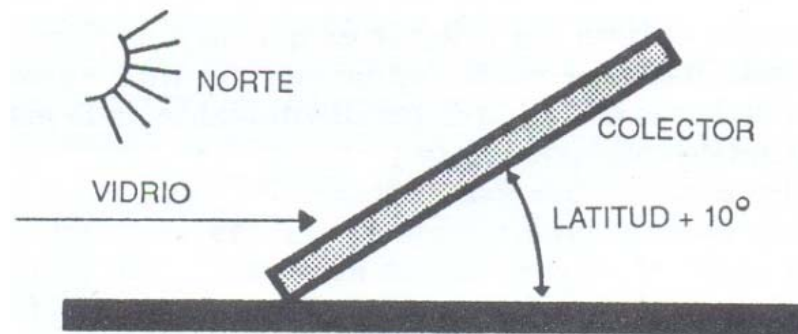


Figura 2.9 Inclinación del colector solar para el período de invierno

- Para el uso del colector durante todo el año, la inclinación será igual a $0,9$ de la latitud del lugar.

2.3 EL COLECTOR SOLAR PLANO

2.3.1 HIPÓTESIS

Un colector solar es una especie de intercambiador de calor que transforma la energía radiante en calor. La transferencia de energía se hace desde fuente radiante “El sol”, hacia un fluido (Agua, aceite o aire generalmente) que circula por los tubos o ductos del colector. El flujo de energía radiante que finalmente intercepta el colector, proviene básicamente del rango visible del espectro solar (longitud de onda entre 0.29 y $2.5 \mu m$) y es por naturaleza variable con el tiempo.

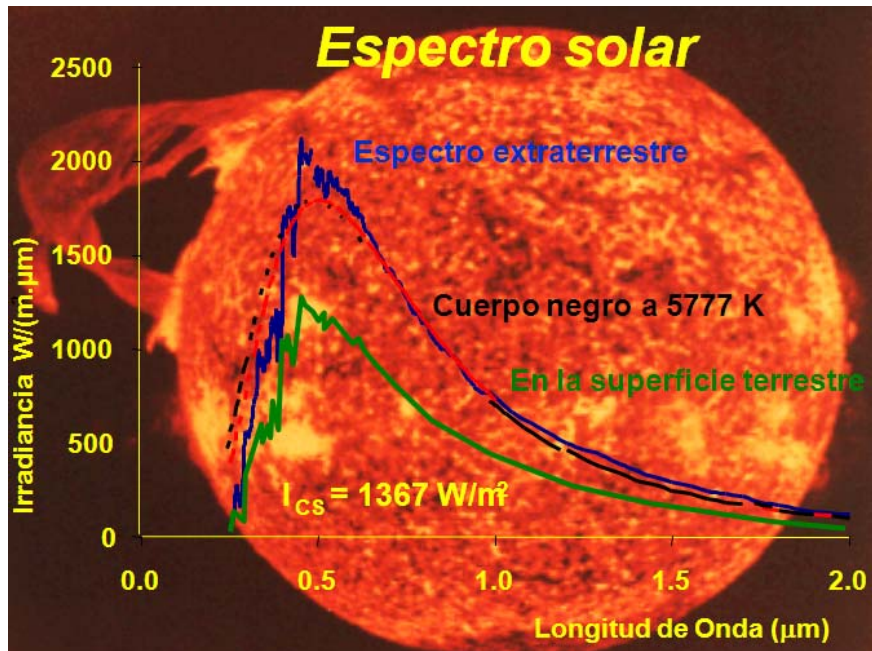


Figura 2.10 Espectro Solar⁸

En condiciones óptimas podemos esperar como máximo, flujos de $1100 W/m^2$. De esta forma, un análisis de colectores solares presenta problemas relacionados con radiación y flujos de energía pequeños y variables.

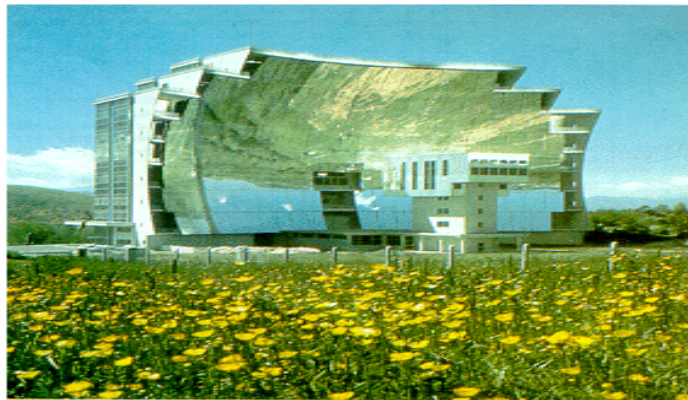
Dentro de los diversos tipos de colectores, los colectores solares planos son los más comunes, estos pueden ser diseñados y utilizados en aplicaciones donde requiere que la energía sea liberada a baja temperatura, debido a que la temperatura de operación de este tipo de colectores, difícilmente pasa los $100^\circ C$.

Las ventajas que podemos obtener de este tipo de colectores son respecto a los colectores de enfoque, que concentran la radiación solar; es que estos utilizan la energía solar directa y difusa, no requieren movimiento continuo para dar seguimiento al sol, prácticamente no necesitan mantenimiento y son mecánicamente de construcción más simple que los colectores concentradores. Las principales aplicaciones de estos dispositivos son en el campo del calentamiento de agua a nivel doméstico e industrial, acondicionamiento calorífico de edificios y secado de frutas y granos.

⁸ Grafico proporcionado por el Ing. José Guasumba, catedrático de la Escuela Politécnica del Ejército



Fotografía 2.1 Colectores solares sobre el tejado inclinado de una vivienda



Fotografía 2.2 a Calentamiento de agua a nivel industrial



Fotografía 2.2.b Calentamiento de agua a nivel industrial⁹

⁹ Fotografías obtenidas de www.gstriatum.com

Como lo indica el nombre, éste tipo de colector tiene forma plana y funciona con base en la absorción de la radiación solar. Tienen la ventaja de que pueden utilizar la radiación solar difusa (reflejada a través de las nubes), aparte de la radiación directa.

Un colector plano puede dar temperaturas entre 65-90° C con una eficiencia promedio 40-60%

2.3.1.1. Tipos de colectores solares planos

Los colectores solares planos pueden ser divididos en dos categorías básicas:

- Los que utilizan como fluido de trabajo un líquido (agua, aceite).
- Los que utilizan como fluido de trabajo un gas (aire).

En general los que calientan aire manejan flujos mucho más grandes que los que calientan agua.

También podemos decir que cuando se trabaja con un líquido, este fluye normalmente por un tubo adherido a la placa absorbedora o aleta; mientras que cuando se utiliza un gas, este fluye por un ducto que forma parte de la placa de absorción y que además puede tener muy diversas formas.

2.3.1.2. Partes de un colector solar plano

Los colectores solares planos están compuestos generalmente por distintos materiales, los mismos que se detallan a continuación con las numeraciones desde 1 al 8.

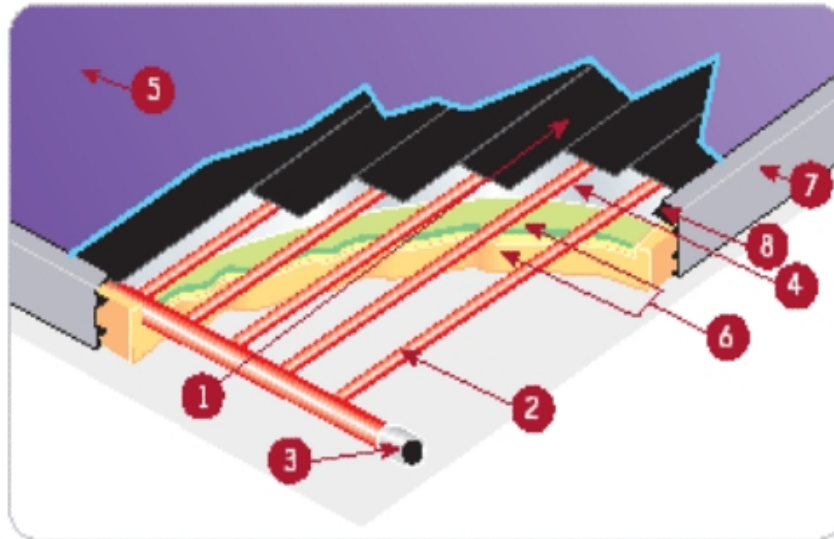


Figura 2.11 Partes de un colector solar

Donde:

1. Película de pintura negra
2. Tubería
3. Conexiones (Accesorios)
4. Superficie captadora de la radiación solar
5. Cubierta transparente
6. Aislamiento térmico
7. Caja protectora o colectora que acopla el conjunto al resto de la instalación
8. Sellado

a. Película de pintura negra

Permite incrementar la absorción de radiación solar, incrementando la eficiencia del colector solar.

b. Tubería de ½”

Son tubos generalmente de cobre de ½” que permiten el flujo de agua y están conectados a dos principales de ¾” o 1” de diámetro.

c. Conexiones

Permiten la unión y aseguramiento de la tubería con las mangueras que van a transportar el agua caliente sanitario. Son cuatro conexiones sean machos o hembras de ¾” o 1”.

c. Placa o superficie captadora

Es el elemento principal que recoge la radiación solar y transmite el calor que ésta transporta. Está construida de material metálico como aluminio pintado de negro mate o plástico en algunos casos donde se quiere temperaturas menores a 50°C. Esta placa debe absorber la máxima radiación posible con el propósito de convertirla en energía térmica con el mayor rendimiento, y transferir la mayor cantidad posible de calor al fluido portador. Para mejorar estas placas se emplean los llamados "recubrimientos selectivos", productos de máxima absorción de radiación y mínima emisión.

d. Cubierta transparente

El rendimiento del colector aumenta utilizando una cubierta transparente que protege la placa colectora y produce un efecto invernadero al atrapar el calor incidente. Estas cubiertas son de vidrio, plásticos o combinaciones de estos materiales; la elección del material y del número de cubiertas suele depender del costo y del aumento del rendimiento obtenido

e. El aislamiento térmico

Es el recubrimiento en todos los lados del panel, excepto en la parte acristalada, que evita pérdidas térmicas. El material es cualquier tipo de aislante (fibra de vidrio, poliuretano) y el grosor depende de la aplicación, lugar, tipo de aislante.

f. Caja protectora o caja colectora

La caja protege todos los elementos del colector y permite ensamblar sus diferentes componentes, solándose presentar en variados aspectos y materiales. Sus superficies se suelen tratar con pinturas resistentes al ambiente en que va a ser instalada.

Para aplicaciones particulares, el tamaño del colector es de 1x2 m, y espesores de 10 a 15 cm

g. Sellado

Sustancia pegajosa que al secarse permite un sellado con hermetismo al conjunto evitando pérdidas de calor en el efecto invernadero. En la mayoría de casos se utiliza silicón.

h. Tanques de almacenamiento.

Existen varios tipos de tanques de almacenamiento para agua caliente, los más utilizados en colectores de placa plana son los sistemas integrados, donde los tanques de almacenamiento son montados junto con los colectores, generalmente sobre el techo. Los tanques son ubicados sobre los colectores para aprovechar el efecto de termosifón.

La densidad del agua varía según la temperatura, por lo tanto el agua es más densa a mayores temperaturas y por tal fenómeno tiende a subir. Los sistemas de termosifón hacen uso de este principio para hacer circular agua a través del colector, el agua fría, proveniente de la tubería, atraviesa el colector mientras el agua caliente es extraída del tanque de almacenamiento. Para que el termosifón sea exitoso es esencial que los tubos tengan el diámetro adecuado.

Los sistemas de alimentación por gravedad también pueden ser utilizados para almacenar agua de los colectores de placa plana. En esta configuración, el tanque es instalado en una cavidad en el techo, y únicamente el colector es expuesto al

sol. La posición de los colectores debe ser la adecuada para permitir que se produzca termosifón en forma natural.

Aunque estos sistemas son generalmente más baratos al momento de su compra, la tubería de la vivienda debe ser adecuada para la alimentación por gravedad.

Otros sistemas que se utilizan en colectores de placa plana, aunque menos populares, son los sistemas forzados, en los cuales un tanque es ubicado a nivel del suelo y el colector en el techo. En estos sistemas una bomba de agua es activada cuando hay radiación solar y el agua fría circula atravesando el colector. Los sistemas forzados son más caros que los sistemas integrados o de gravedad, y necesitan electricidad para accionar la bomba de circulación de agua.

2.3.1.3 Energía solar térmica de baja temperatura

Las instalaciones para la producción de agua caliente sanitaria se pueden clasificar en:

a. Circuito abierto

Estas instalaciones no disponen de intercambiador de calor quedando su aplicación limitada por factores como la calidad de agua generalmente funciona con circulación o termosifón.

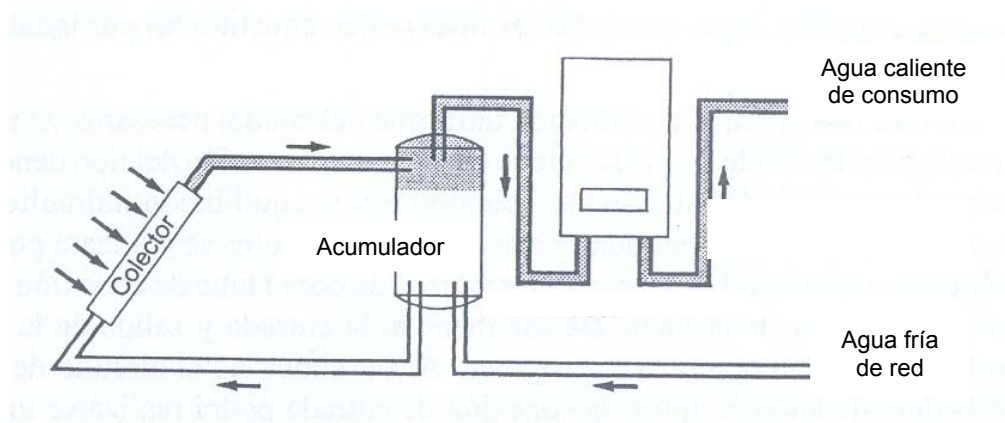


Figura 2.12 Esquema de un circuito abierto¹⁰

¹⁰ “Energía Solar Térmica de Baja Temperatura”, M. Castro y A. Colmenar, pág. 45.

b. Circuito cerrado

En este existe la distinción de dos circuitos diferentes, el circuito primario estaría constituido por dos colectores donde se produce el calentamiento de agua y por la bomba de impulsión. Esta agua cede el calor por medio de un intercambiador al agua que circula por el circuito secundario, siendo esta agua la que es almacenada en el acumulador.

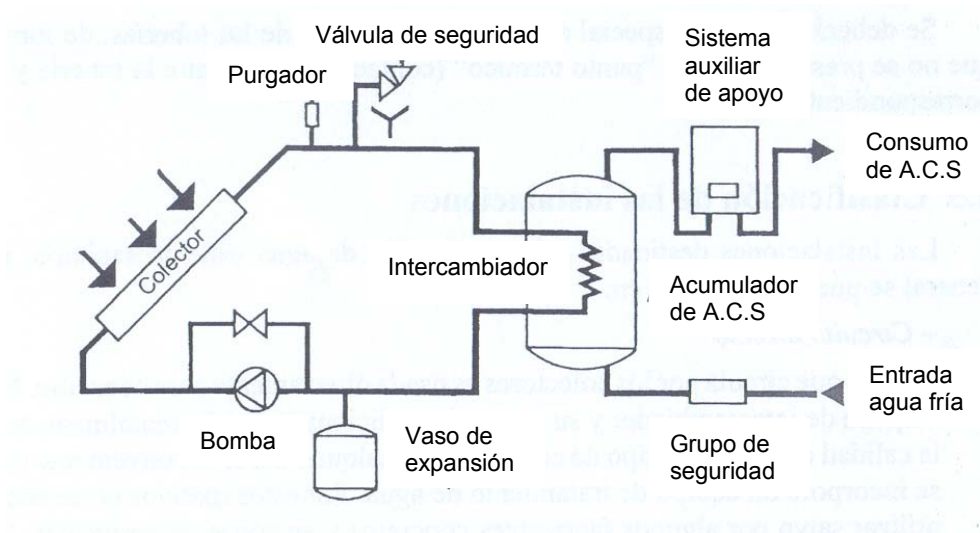


Figura 2.13 Esquema de un circuito cerrado¹¹

2.3.1.4 Subsistencia de almacenamiento

Si se quiere aprovechar al máximo las horas de sol, será necesario acumular la energía en aquellos momentos del día en que esto sea posible y utilizarla cuando se produzca la demanda.

Lo habitual es almacenar la energía en forma de calor sensible por medio del agua que se pasará a consumo con posterioridad.

Pueden encontrarse en el mercado muchos tipos distintos de acumuladores para agua caliente, aunque en instalaciones pequeñas o medianas es recomendable la utilización de acumuladores específicos para energía solar.

¹¹ “Energía Solar Térmica de Baja Temperatura”, M. Castro y A. Colmenar, pág. 46.

a. Estratificación:

La estratificación es el fenómeno que ocurre cuando el agua caliente flota sobre el agua fría en el tanque de almacenamiento, y es importante para los sistemas de agua caliente calentada por energía solar, porque facilita el calentamiento del agua fría de la base del tanque y ubica el agua caliente en la parte superior del tanque para su uso.

Para realizar un adecuado efecto de estratificación es importante tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- El agua dirigida hacia los colectores es el agua más fría de la parte baja del tanque.
- Para reducir la mezcla, el agua caliente de los colectores debe ingresar por la parte superior del tanque.
- La velocidad de entrada y salida del agua en el tanque debe mantenerse baja y adicional mente se suelen utilizar difusores y otros elementos para reducir la turbulencia y maximizar la estratificación.
- En caso de tener un respaldo de resistencias eléctricas en el tanque, estas no deben operar cuando existe radiación solar para poder obtener el máximo calentamiento por energía solar.

2.3.1.5 Subsistema de distribución y consumo

En las instalaciones solares térmicas de baja temperatura para que la transferencia térmica sea eficaz, debemos asegurar la circulación del fluido.

Esto se puede conseguir de dos formas diferentes, por termosifón (circulación natural) y mediante una bomba de circulación (circulación forzada).

a. Circulación natural o por termosifón

El movimiento del agua por circulación natural o termosifón se produce por la diferencia de temperaturas entre el agua fría del tanque y la caliente del colector,

esto es, el agua interior del colector calentada por el sol disminuye su densidad y por tanto su peso, por lo que el mayor peso del agua fría del depósito (colocado necesariamente por encima de los colectores más de 30 cm.), actuando por el conducto de retorno, que une la parte inferior del depósito con la parte inferior del colector, empuja al agua caliente del colector, menos pesada, obligándola a ascender por la tubería que une la parte superior del tanque, creado de esta forma el movimiento del agua del colector al depósito, éste se mantendrá mientras haya suficiente diferencia de temperaturas entre el colector y el depósito una vez calentada el agua del depósito las temperaturas se igualan y el movimiento cesa.

Cuando se produce una extracción de agua caliente el depósito se rellena con agua de la red, la temperatura del tanque baja y el movimiento se reinicia por sí mismo. Es básico, en un sistema por termosifón que el diseño y montaje de la instalación favorezca el movimiento del agua caliente. Dos son los factores que influyen en la fuerza ascensional del agua:

- La diferencia media de temperaturas del agua a la salida del colector y en la parte baja del depósito.
- La diferencia de alturas h entre el tanque y los colectores (mínimo 30 cm.)

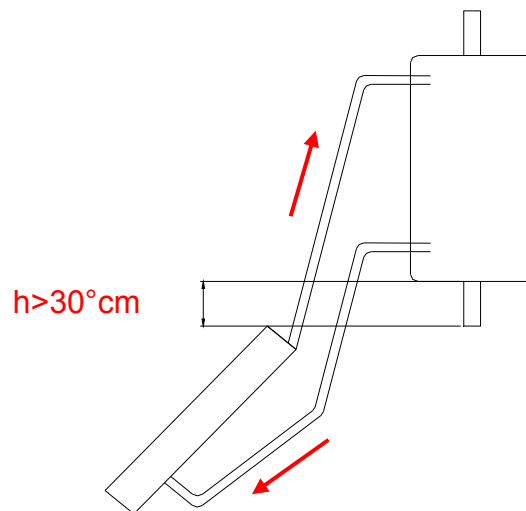


Figura 2.14 Efecto termosifón

Este sistema es aconsejable para viviendas unifamiliares con una demanda de agua caliente de unos 250 l/día

b. Circulación forzada

La circulación forzada no es otra cosa que introduciendo una bomba que hace circular el agua de forma forzada, lo cual permite regular mejor la instalación.

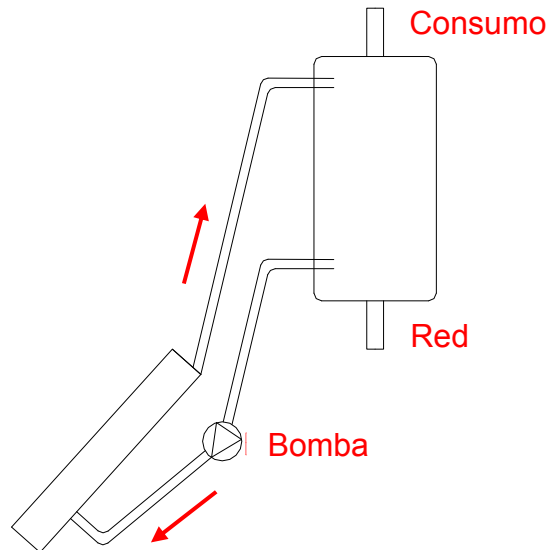


Figura 2.15 Circulación forzada

Ahora el captador y el depósito pueden adoptar la posición relativa que convenga, es decir, que pueden estar al mismo nivel.

2.3.2. ENERGÍA ABSORBIDA

En el momento en que los rayos solares atraviesan la placa transparente del colector solar plano llegan a la placa absorbente, esta placa absorbe la mayor cantidad de radiación solar proveniente del sol para luego transformarla en calor. Mencionado calor se lo representa en la siguiente ecuación¹².

$$Q_{\text{abs}} = Q_u + Q_L + \frac{du}{dt} \quad (2.3)$$

¹² ITESO: Energía Solar, Jorge Hermosillo, David Gudiño, Miryam Mendoza, pág. 38

Donde

Q_{abs} : Calor total incidente absorbido por unidad de tiempo en el colector

Q_u : Calor útil que finalmente se transfiere al fluido de trabajo.

Q_L : Pérdidas de calor hacia los alrededores por radiación, convección o conducción.

$\frac{du}{dt}$ = Rapidez del cambio de energía interna almacenada en el colector, el valor del último término y generalmente se desprecia.

El calor absorbido mencionado en la ecuación anterior se la puede resumir por otra ecuación¹³. Así:

$$Q_{abs} = G_T A_C (\tau\alpha) \quad (2.4)$$

Donde

G_T : Energía solar incidente o Intensidad de radiación en (w/m^2),

A_C : Área efectiva del colector (m^2),

$\tau\alpha$: Coeficiente de modificación del ángulo de incidencia que es el producto de la transmitancia del vidrio y de la absorptancia de la placa colectora.

2.3.3 ENERGIA TRANSFORMADA

En estado estable, el funcionamiento de un colector solar plano se puede describir mediante un balance energético. Un modelo adecuado de análisis térmico de un colector de placa plana puede considerar las siguientes hipótesis:

¹³ ITESO: Energía Solar, Jorge Hermosillo, David Gudiño, Miryam Mendoza, pág. 38

- El flujo térmico se puede considerar unidimensional, tanto a través de las cubiertas, como de los aislamientos laterales
- Los cabezales que conectan los tubos cubren solamente una pequeña superficie de la placa colectora y proporcionan un flujo térmico uniforme a los tubos
- El cielo se puede considerar como si fuese una fuente térmica equivalente a un cuerpo negro, en lo que respecta a la radiación infrarroja, a una temperatura del cielo equivalente
- Se supondrá que la radiación sobre la placa plana absorbente del colector es uniforme
- El colector está térmicamente aislado en estado estacionario
- La caída de temperatura entre la parte superior e inferior de la placa es despreciable

Como hemos expuesto anteriormente, el colector plano es un sistema térmico donde existen fenómenos de convección y radiación, razón por la cual es necesario hacer un análisis térmico de todos los fenómenos que suceden en el sistema. Mediante un balance energético se puede hallar la distribución de la energía solar incidente sobre un colector de placa plana, su transformación en energía útil. Este balance energético se puede poner en la siguiente forma¹⁴:

$$A \cdot I_0 \cdot k \cdot \tau_S \cdot \alpha_{SP} = Q_u + q_{perdidas} + q_{almacenada} = A \cdot k \cdot I_S \cdot \alpha_S \quad (2.5)$$

Donde:

A: Superficie del colector, igual en la cubierta que en la placa absorbente.

¹⁴ ITESO: Energía Solar, Jorge Hermosillo, David Gudiño, Miryam Mendoza. pág. 39

K: Factor de conversión de la radiación (difusa y directa), que sirve para evaluar la energía solar incidente en el plano del colector.

τ_s : Transmitancia solar efectiva de la cubierta del colector

α_{SP} : Absortancia solar de la placa absorbente del colector

Q_u : Calor útil que se transfiere al fluido refrigerante que circula por el colector solar.

En la figura 2.16 podemos observar el comportamiento de radiaciones directa, difusa y albedo al momento de ser absorbida por la placa absorbidora y ser transformada en Irradiación que es la cantidad de calor por metro cuadrado.

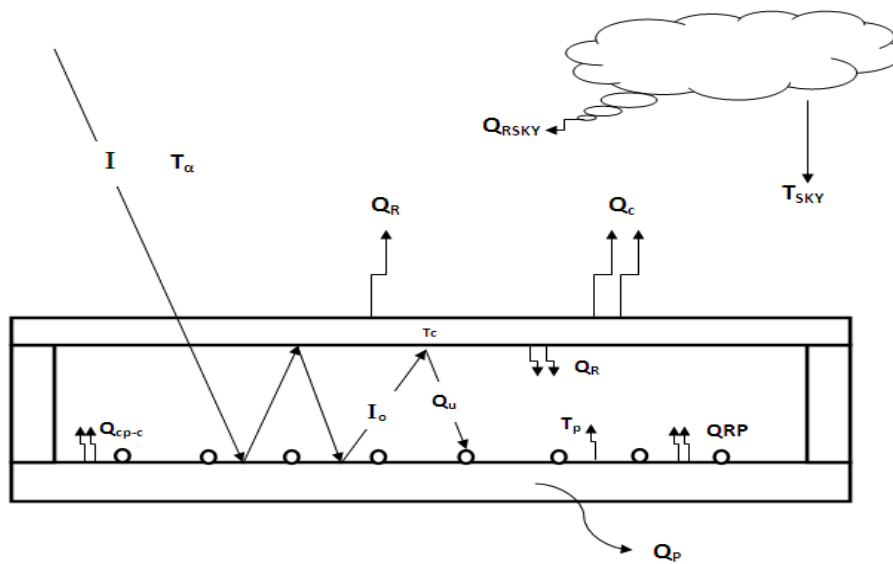


Figura 2.16 Distribución Calorífica en un Colector Solar

Donde:

T_α : Temperatura Ambiente

T_{SKY} : Temperatura del cielo

T_p : Temperatura de la placa absorbidora

Q_p : Calor perdido al ambiente

Q_u : Calor útil

Q_c : Calor perdido por la parte superior

Q_R : Calor de radiación

Q_{RP} : Calor de radiación perdido

Q_{RSKY} : Calor de radiación del Cielo

2.3.4 ENERGÍA PERDIDA

Debido a que es indispensable conocer el valor de U_L para poder evaluar el calor útil o la energía perdida de calor, a continuación se presenta un modelo matemático de cómo obtenerlo. El modelo toma en cuenta como contribuyen las distintas pérdidas de calor al coeficiente total, dando la oportunidad de analizar cada uno por separado, y además hace las siguientes suposiciones.

- El colector opera en estado estable
- Cubierta opaca a radiación infrarroja
- No existe sombra sobre la placa colectora
- Temperatura uniforme.

Si la superficie inferior del colector está bien aislada (de la placa absorbente hacia abajo), la mayor parte de las pérdidas al exterior se producen a través de su superficie superior, es decir, a través de la cubierta o cubiertas que constituyen la ventana del colector; el calor se transfiere entre la cubierta y la segunda placa de vidrio, y entre las dos placas de vidrio, por convección y radiación, en paralelo, Figura 2.18.

La velocidad de transferencia de las pérdidas térmicas por unidad de área del colector entre la placa absorbente a T_p y la segunda cubierta de vidrio a T_2 , es la misma que entre las placas de vidrio que conforman las cubiertas a T_2 y T_1 y la misma que entre la placa de vidrio de la cubierta exterior a T_1 y el medio exterior a T_a . Teniendo en cuenta la figura 6.4 se encuentra que las pérdidas térmicas hacia

arriba, entre la placa colectora y la segunda cubierta, se pueden poner en la forma¹⁵:

$$q_{\text{perd_hacia_arriba}(p-2)} = hc_{(p-2)}(T_p - T_2) + \frac{\sigma(T_p^4 + T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_{pi}} + \frac{1}{\epsilon_{2i}} - 1} \quad (2.6)$$

Donde:

hc_(p-2): Coeficiente de transferencia de calor por convección entre la placa y la segunda cubierta

ε_{pi}: Emitancia infrarroja de la placa

ε_{2i}: Emitancia infrarroja de la segunda cubierta

En el siguiente grafico se puede observar el comportamiento de la radiación solar incidente al momento de llegar a un colector solar de placa plana de dos cubiertas.

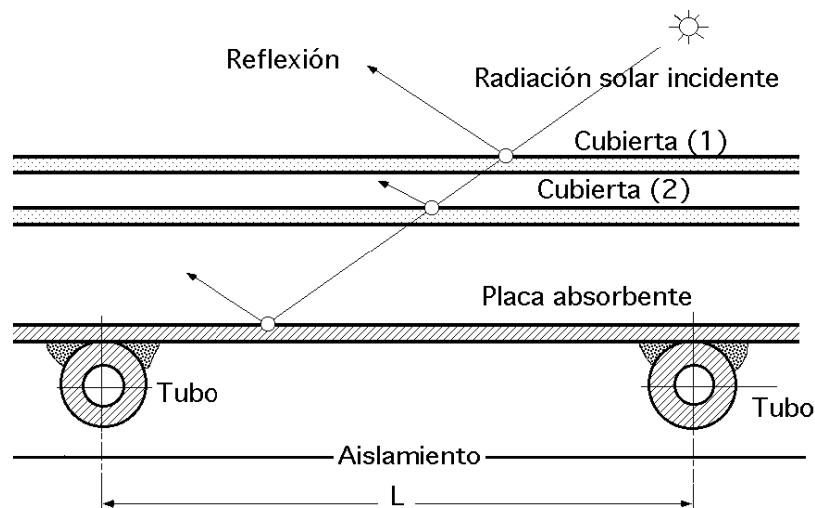


Figura 2.17 .Colector de placa plana con dos cubiertas¹⁶

¹⁵ Solar Energy, Thermal Processes, John A. Duffie, pág. 127

¹⁶ Energía Solar, Ing. Pedro Fernández. pág. 36

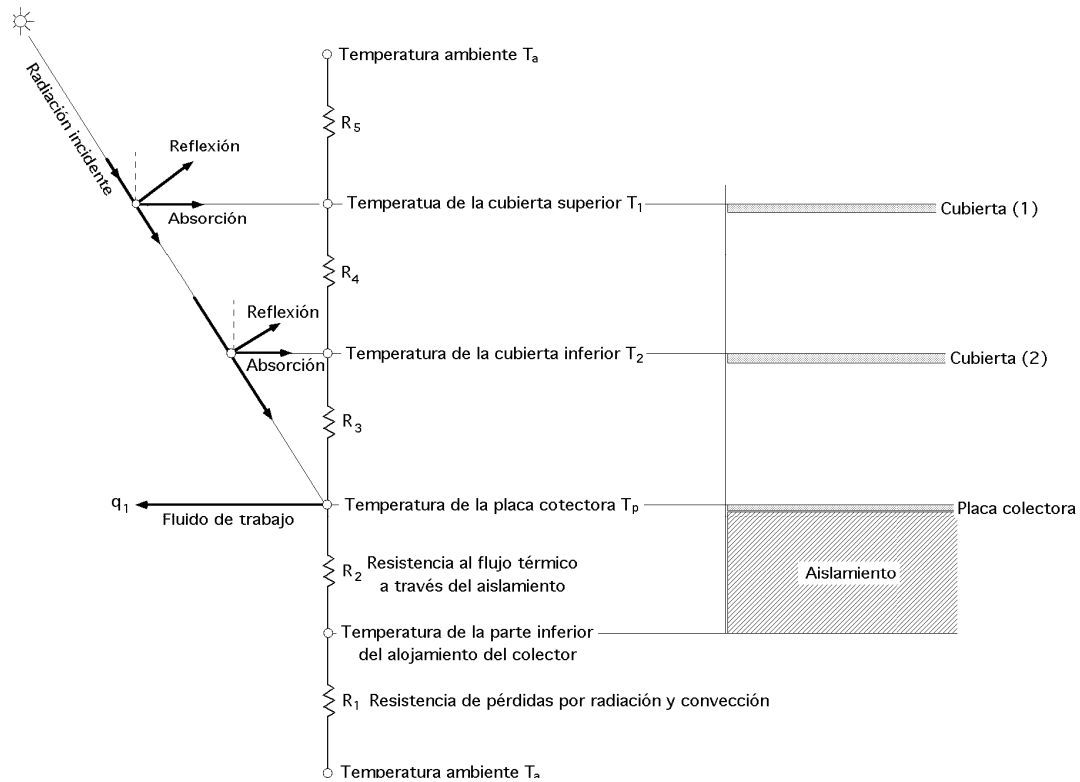


Figura 2.18: Circuito térmico del colector placa plana con dos cubiertas¹⁷

La ecuación anterior se puede poner en función de $(T_p - T_{C2})$ como:

$$q_{perd_hacia_arriba(p-C2)} = (hc_{(p-C2)} + hr_{(p-C2)})(T_p - T_{C2}) = \frac{T_p - T_{C2}}{R_3} = \frac{T_p - T_{C2}}{\frac{1}{hc_{(p-C2)} + hr_{(p-C2)}}} \quad (2.7)$$

que:

$$hr_{(p-C2)} = \frac{\sigma(T_p^2 + T_{C2}^2)(T_p - T_{C2})}{\frac{1}{\epsilon_{pi}} + \frac{1}{\epsilon_{2i}} - 1} \quad (2.8)$$

La velocidad de la transferencia de pedidas térmicas entre las dos cubiertas es de la forma:

$$(2.9)$$

¹⁷ Energía Solar, Ing. Pedro Fernández. pág. 37

$$q_{\text{perd_hacia_arriba}(C2_C1)} = (hc_{(C2-C1)} + hr_{(C2-C1)})(T_{C2} - T_{C1}) = \frac{T_{C2} - T_{C1}}{R_4} = \frac{T_{C2} - T_{C1}}{\frac{1}{hc_{(C2-C1)} + hr_{(C2-C1)}}$$

Donde¹⁸

$$hr_{(C1-C2)} = \frac{\sigma(T_{C1}^2 + T_{C2}^2)(T_{C1} - T_{C2})}{\frac{1}{\epsilon_{1i}} + \frac{1}{\epsilon_{2i}} - 1} \quad (2.10)$$

Es el coeficiente de transferencia de calor por radiación entre las dos cubiertas transparentes.

Las emitancias ϵ_{1i} y ϵ_{2i} de las dos cubiertas transparentes serán iguales, si ambas están construidas del mismo material. Si no fuese así, se pueden obtener algunas ventajas económicas utilizando una cubierta de plástico entre la cubierta más exterior, que será de vidrio, y la placa absorbente; en este tipo de construcción sería posible el que las propiedades radiactivas de las dos cubiertas no fuesen iguales.

Si el aire está en reposo, para hallar la ecuación de la resistencia térmica entre la superficie superior de la cubierta exterior y el aire ambiente, se pueden utilizar correlaciones de convección natural, pero si sobre el colector está soplando el viento, hay que aplicar correlaciones de convección forzada. A su vez se produce un intercambio de radiación entre la cubierta superior y el cielo a una temperatura T_{cielo} , mientras que el intercambio de calor por convección se produce entre T_1 y el aire ambiente a T_a .

Siendo la temperatura de cielo¹⁹:

$$T_{\text{cielo}} = 0.0522(T_a)^{1.5} \quad (2.11)$$

¹⁸ Solar Energy, Thermal Processes, John A. Duffie, pág. 129

¹⁹ Solar Energy, Thermal Processes, John A. Duffie, pág. 76

Por lo tanto:

$$hc_{C1-ambiente} = \varepsilon_{11} \sigma (T_{C1} + T_{cielo}) (T_{C1}^2 + T_{cielo}^2) \quad (2.12)$$

Para el colector de placa plana y doble cubierta de vidrio, la conductancia de pérdidas de calor $U_{t(Total)}$ se puede expresar en la forma:

$$U_{t(Total)} = \frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{R_3 + R_4 + R_5} \quad (2.13)$$

Para el colector de placa plana de una sola cubierta de vidrio, la conductancia de pérdidas de calor incluyendo las pérdidas laterales se expresa de la siguiente forma:

$$U_L = U_t + U_e + U_b \quad (2.14)$$

Donde:

U_L : Coeficiente de pérdidas totales

U_t : Coeficiente de pérdidas superiores

U_e : Coeficiente de pérdidas laterales

U_b : Coeficiente de pérdidas posteriores

Siendo:

$$U_t = \frac{1}{R_1 + R_2} \quad (2.15)$$

Donde:

$$R_1 = \frac{1}{hc_{p-cl} + hr_{p-cl}} = \text{Resistencia térmica placa-cubierta} \quad (2.16)$$

$$R_2 = \frac{1}{hr_{c1-a} + h_w} = \text{Resistencia térmica placa – ambiente} \quad (2.17)$$

$$U_b = \frac{k_{ais}}{L_b} \quad (2.18)$$

Donde:

K_{ais}: Conductividad del aislante

L_b: Espesor del aislamiento en la base

$$U_e = \frac{UA_e}{L_c \cdot B_c} \quad (2.19)$$

$$UA_e = \frac{K_{ais}}{L_e} (2L_c + 2B_c)h \quad (2.20)$$

Donde:

L_c: Largo de la placa colectora

L_e: Espesor del aislamiento en los lados

B_c: Ancho de la placa colectora

H: Altura del colector

2.3.4.1 Coeficientes de transferencia de calor

Los coeficientes de transferencia de calor por convección forzada flujo externo,

$h_{c_{c1-a}}$, $h_{c_{b-a}}$ se los puede calcular mediante la siguiente ecuación²⁰

$$h = 5.7 + 3.8V_v \quad (2.21)$$

²⁰ Energía Solar, Ing. Pedro Fernández. pág. 56

Donde:

V_v : es la velocidad del viento en m/s y h en $W/m^2/K$

El coeficiente de transferencia de calor $h_{c,p-c1}$, se puede estimar de la relación dada por Hollands, obtenida de estudios experimentales de la convección natural de aire entre dos placas paralelas, con la inferior a mayor temperatura que la superior:

$$Nu = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708 \cdot (\sin 1.8\beta)^{1.6}}{Ra \cdot \cos \beta} \right]^+ \left[1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos \beta} \right]^+ + \left[\left(\frac{Ra \cdot \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]^+ \quad (2.22)$$

En esta ecuación²¹, los términos entre corchetes que contienen el signo positivo indican que si los valores internos son negativos, entonces se toman como cero.

Por lo tanto el número de Nusselt se calcula así;

$$Nu = \frac{h_{c,p-c} L_{p-c}}{k_{aire}} \quad (2.23)$$

Para determinar el número de Rayleigh se utiliza la siguiente expresión²²:

$$Ra = \frac{g \beta_{aire} (T_p - T_c) L^3 P_r}{V_{aire}^2} \quad (2.24)$$

Para determinar los coeficientes de radiación térmica se utiliza la expresión que se indican a continuación;

2.3.4.2 Coeficiente Cubierta ambiente

$$h_{r_{c1-a}} = \sigma (T_{c1} + T_s) (T_{c1}^2 + T_s^2) \epsilon_{c1} \quad (2.25)$$

²¹ Ingeniería de la energía Solar, ALMANZA SALGADO R. y MUÑOZ GUTIERREZ F., "Ingeniería de la Energía Solar", 1ra ed., 1994, México D.F., 419 p. pág. 70

²² Ingeniería de la energía Solar, ALMANZA SALGADO R. y MUÑOZ GUTIERREZ F., "Ingeniería de la Energía Solar", 1ra ed., 1994, México D.F., 419 p. pág. 71

Donde:

T_{c1} : Temperatura de la cubierta transparente

T_s : Temperatura del cielo

σ : Constante de Stefan – Boltzmann y su valor corresponde a $5,67 \cdot 10^{-8} \text{W/m}^2/\text{K}^4$

$$hr_{(p-c2)} = \frac{\sigma(T_p^2 + T_{c2}^2)(T_p - T_{c2})}{\frac{1}{\varepsilon_{pi}} + \frac{1}{\varepsilon_{2i}} - 1} \quad (2.26)$$

Donde:

ε_p : Emisividad de la placa colectora.

ε_c : Emisividad de la cubierta.

σ : Es la constante de Stefan – Boltzmann y su valor corresponde a

$$5,67 \cdot 10^{-8} \text{W/m}^2/\text{K}^4$$

2.3.5 EFICIENCIA DEL COLECTOR SOLAR PLANO

Por otro lado, tenemos que la forma de medir el funcionamiento del colector es mediante la eficiencia del colector (η_c). Esta se define como la relación entre el calor útil y la energía solar incidente sobre el colector en un mismo período de tiempo. Analíticamente se representa así²³.

$$\eta_c = \frac{Q_u}{H_T \cdot A_c} \quad (2.27)$$

²³ ITESO: Energía Solar, Jorge Hermosillo, David Gudiño, Miryam Mendoza. pág. 43

El rendimiento del colector no es un valor fijo ya que depende de factores que varían durante el funcionamiento del mismo como, la temperatura ambiente y temperatura de entrada del fluido frío como parámetros variables en el día y como parámetros fijos tenemos área de colector, factor de remoción de calor y coeficiente de pérdidas totales. La expresión para esta eficiencia es la siguiente²⁴:

$$\eta_c = \frac{A_c \cdot F_r [G_T \cdot (\tau\alpha) - U_L (T_i - T_a)]}{A_c \cdot H_T} \quad (2.28)$$

Donde:

η : Eficiencia del colector

A_c : Área efectiva del colector

$\tau\alpha$: Coeficiente de modificación del ángulo de incidencia

U_L : Coeficiente de pérdidas totales

T_i : Temperatura de entrada del fluido frío

G_T : Intensidad de radiación.

2.3.6 FACTOR DE REMOCIÓN DE CALOR

El factor de remoción de calor o eficiencia global del colector (F_R), es aquel que se utiliza para la determinación del calor útil y posteriormente la eficiencia

2.3.6.1 Factor de Eficiencia de la aleta recta, F_1

Haciendo un balance de energía en una placa de absorción se encuentra que el calor por unidad de longitud que fluye por conducción a lo largo de la aleta hacia el tubo, es igual a²⁵.

²⁴ ITESO: Energía Solar, Jorge Hermsillo, David Gudiño, Miryam Mendoza. pág. 43

²⁵ ITESO: Energía Solar, Jorge Hermsillo, David Gudiño, Miryam Mendoza. pág. 51

$$F_1 = \frac{\tanh\left[\frac{m(W-D)}{2}\right]}{\frac{m(W-D)}{2}} \quad (2.29)$$

Y

$$m = \sqrt{\frac{U_L}{k\delta}} \quad (2.30)$$

Donde:

W: Espaciamiento entre tubos

D: Diámetro exterior de los tubos

T_b: Temperatura de la placa en la vecindad del tubo.

K: Conductividad térmica de la aleta

δ : Espesor de la aleta

2.3.6.2 Factor de la eficiencia del colector, F₂

Este factor de eficiencia F₂, está relacionado con el calor útil que eventualmente debe ser transferido al fluido de trabajo. Generalmente este proceso ocurre con agua o aceite²⁶.

$$F_2 = \frac{\frac{1}{U_L}}{W \left[\frac{1}{U_L [D + (W - D)F_1]} + R_{union} + \frac{1}{\pi D_i h_f} \right]} \quad (2.31)$$

Donde:

$$R_{union} > 30 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C};$$

²⁶ ITESO: Energía Solar, Jorge Hermosillo, David Gudiño, Miryam Mendoza. pág. 52

h_{fi}: Factor de intercambio térmico pared fluido

D_i: Diámetro interior del tubo

h_f: Coeficiente de transferencia de calor por convección en la interface
Tubo – Fluido

El valor de h_f puede ser encontrado fácilmente en tablas, o graficas apropiadas, conociendo el flujo y diámetro nominal de cada tubo. De esta forma, todas las variables son conocidas y por lo tanto podemos conocer el valor de F₂

A continuación se indican Interpretaciones físicas para F₂:

- Cociente entre la energía útil captada por el colector y la que captaría si la placa absorbente estuviera a la temperatura del fluido.
- Resistencia térmica placa-ambiente dividida por la resistencia térmica fluido-ambiente
- F₂ depende de la geometría del colector y del caudal másico de fluido. La dependencia con la temperatura es escasa.

Para utilizar la ecuación (2.31), es necesario verificar si el flujo es laminar o turbulento, para esto se debe calcula el número de Reynolds así;

$$R_e = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} \quad (2.32)$$

Donde:

μ: Viscosidad dinámica en Kg/m s

ρ: Densidad del fluido en Kg/m³ y

V: La velocidad en m/s

Para el caso del agua,

Si $Re < 2100$ se utiliza la expresión

$$h_{fi} = \frac{1.12}{D} \left[3.46 R_e \frac{D}{L} + 2029 \left(\frac{D^2 R_e}{L} \right)^{\frac{4}{3}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (2.33)$$

En la región de transición $2100 < Re < 10000$

$$h_{fi} = \frac{0.112 \left(R_e^{\frac{2}{3}} - 125 \right)}{D} \quad (2.34)$$

Si $Re > 10000$ se tiene flujo turbulento

$$h_{fi} = \frac{0.112 R_e^{0.8}}{D} \quad (2.35)$$

2.3.6.3 Factor de Remoción o Eficiencia Global del Colector, F_R o F_R

Haciendo un balance en el propio fluido de trabajo y desarrollando una expresión que calcule la temperatura del fluido en cualquier posición del tubo en dirección del flujo, podemos encontrar, mediante un análisis no presentado aquí, que F_R queda representado por la siguiente ecuación²⁷:

$$F_R = \frac{\text{calor util captado por el fluido}}{\text{calor util captado con placa a } T_{fi}} = \frac{\dot{m} C_p (T_{fo} - T_{fi})}{A_c [S - U_L (T_{fi} - T_a)]} \quad (2.36)$$

Resumiendo la ecuación anterior

$$F_R = \frac{m C_p}{A_c U_L} \left[1 - \exp \left(- \frac{U_L F_2 A_c}{m C_p} \right) \right] \quad (2.37)$$

Donde:

²⁷ ITESO: Energía Solar, Jorge Hermosillo, David Gudiño, Miryam Mendoza. pág. 53

m: Flujo de masa por cada tubo

C_p: Capacidad calorífica de cada fluido de trabajo

De esta manera podemos calcular el calor útil Q_u . La ecuación de Q_u a través de F_3 nos permite evaluar el funcionamiento de cada una de las partes de la placa absolvedora, así como la característica del fluido de trabajo, de manera que tengamos oportunidad de evaluarlas y modificar cada una por separado, si es el caso.

2.3.7 CALOR ÚTIL

Haciendo un desglose detallado de los términos de la ecuación (2.5), encontramos que Q_u se lo puede representar por la ecuación.

$$Q_u = A_c [G_T (\alpha \tau) - U_L (T_{pm} - T_a)] \quad (2.38)$$

Esta manera de calcular Q_u no es muy correcta debido a que se supone una temperatura media fija de la placa absolvedora T_{pm} , cuando en realidad la temperatura de entrada y salida del colector son bastante diferentes. Además, la temperatura de la placa absolvedora está cambiando con el tiempo, debido a que es función de variables que también están variando constantemente con el tiempo, como temperatura ambiente y radiación solar.

Lo que se representa en esta parte del capítulo, es una ecuación de Q_u modificada que nos permite calcular a este de una manera más correcta esta ecuación queda en función de F_R y de la temperatura del fluido al entrar al colector T_i . Así la ecuación (2.38) se transforma en²⁸

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_i - T_a)] \quad (2.39)$$

Donde:

$$S = G_T (\alpha \tau)$$

²⁸ ITESO: Energía Solar, Jorge Hermosillo, David Gudiño, Miryam Mendoza. pág. 51

La ecuación (2.39). Es la más importante del presente capítulo, debido a que el factor de remoción o factor de eficiencia global F_3 , involucra específicamente todas las partes de la placa absolvedora, temperatura del fluido y masa de fluidos que pasan a través de los tubos del colector; en lugar de simplemente suponer una temperatura promedio en la placa de absorción.

Para evaluar F_3 , se hace un análisis muy detallado, pero que no expondremos en esta parte. Simplemente se mencionara las ecuaciones más fundamentales, se identificarán todas sus variables y se dará una explicación sencilla y pertinente cuando el caso lo amerite.

Para poder evaluar F_3 , primeramente tendremos que evaluar otros dos factores de eficiencia como son el factor de eficiencia de la aleta F_1 , el factor de eficiencia de la sección F_2

2.3.7.1 Reflexión en interfaces

La fracción de la radiación solar $\tau\alpha$ que es absorbida por el colector, es el producto de la transmitancia del vidrio y la absorptancia de la placa colectora. Mencionado valor se lo puede llegar a obtener mediante el siguiente procedimiento el cual depende principalmente del espesor y del número de cubiertas transparentes.

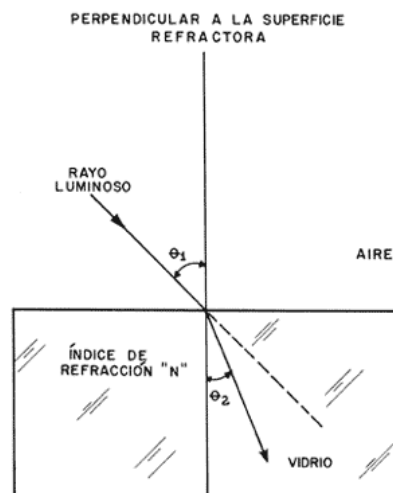


Figura 2.19 Angulo de incidencia y de refracción

El ángulo de refracción θ_2 se obtiene a partir del ángulo θ_1 que es el ángulo entre la luz solar directa y la normal de la superficie colectora.

$$\theta_2 = \arcsen\left(\frac{\text{sen}\theta_1}{1.53}\right) \quad (2.40)$$

Luego se calcula el coeficiente de refracción de la superficie del vidrio por las dos componentes de la luz polarizada que atraviesa la cubierta con:

$$A = \frac{\text{sen}^2(\theta_2 - \theta_1)}{\text{sen}^2(\theta_2 + \theta_1)} \quad (2.41)$$

Donde:

A : Polar perpendicular

$$B = \frac{\text{tg}^2(\theta_2 - \theta_1)}{\text{tg}^2(\theta_2 + \theta_1)} \quad (2.42)$$

Donde:

B : Polar paralela

Si el ángulo de incidencia es nulo, se debe usar para A y B el valor de 0.044

Se calcula la transmitancia del vidrio por cada una de las dos componentes considerando la hipótesis para un vidrio completamente transparente.

$$\tau_A = \frac{1 - A}{1 + (2N - 1)A} \quad (2.43)$$

$$\tau_B = \frac{1 - B}{1 + (2N - 1)B} \quad (2.44)$$

Donde:

N: Es el número de placas de vidrio

Por lo tanto, la transmitancia media será:

$$\tau_r = \frac{(\tau_A + \tau_B)}{2} \quad (2.45)$$

La atenuación total del vidrio está dada por:

$$\tau = \tau_r e^{\frac{-KNT}{\cos\theta_2}} \quad (2.46)$$

Donde:

K: Factor de atenuación del vidrio, y se asume un valor entre 0.5 a 3.0 m^{-1} respectivamente para vidrio muy limpio o muy opaco. Para un vidrio de cubierta con medio contenido de hierro, el valor de K es de $2 m^{-1}$.

N: Número de placas de vidrio

T: Espesor de la cubierta, comúnmente se utiliza el de 0.004 m.

θ_2 : Angulo de refracción.

Entonces el valor global del producto $\alpha\tau$ que toma en cuenta la absorción y refracción será entonces;

$$(\alpha\tau) = \frac{\alpha\tau}{[1 - (1 - \alpha)\rho_d]} \quad (2.47)$$

Donde:

ρ_d : Reflejancia para la luz difusa y tiene valores de 0.16, 0.24, 0.29, 0.32 para 1, 2, 3, 4 cubiertas transparentes.

Pero en la práctica se puede suponer cubierta no absorbentes con²⁹

$$(\tau\alpha)_e = 1.01 \cdot (\tau\alpha) \approx 1.02\tau\alpha \quad (2.48)$$

Tomando el valor de la absorptancia para diferentes materiales de la Tabla 2.2, que se muestra a continuación.

Tabla 2.2 Valores de absorptancia y emitancia

VALORES DE ABSORTANCIA Y EMITANCIA PARA DIVERSOS MATERIALES			
SUPERFICIE	TEMPERATURA $\theta/^\circ\text{C}$	A (VISIBLE)	E (INFRARROJO)
Hielo (Nieve)	0	0.31-0.33	0.96-0.82
Pintura negra mate	20	0.95	0.95
Pintura verde	20	0.5	0.95
Pintura blanca	20	0.25	0.95
Negro de humo	20	0.95	0.89
Cobre Pulido	200	0.35	0.04
Aluminio	20	0.09	0.10
Plata	200	0.04	0.04
Cobre (Oxidado)	20	0.09	0.014
Negro de Níquel	20	0.09	0.014
Negro de Cromo (N+Zn +S)	20	0.89-0.95	0.16-0.07

Fuente: Energía Solar de J. I. B. Wilson Aguilar Peris, Editorial EXEDRA, Primera edición Pág.49

²⁹ ITESO: Energía Solar, Jorge Hermosillo, David Gudiño, Miryam Mendoza. pág. 43

CAPITULO 3.

DISEÑO DEL SISTEMA TERMICO

3.1 DISEÑO DEL DEPOSITO ACUMULADOR

La norma ASME* para tanques sometidos a presión interna nos presenta una serie de procedimientos para calcular el espesor del tanque acumulador o tanque térmico.

Diámetro interno del tanque:

$$D_i := 0.5 \text{ m}$$

Volumen del tanque:

$$V_i := 0.2 \text{ m}^3$$

Eficiencia de la junta:

$$E := 0.7$$

Como no vamos a trabajar con elementos químicos de peligrosidad sino simplemente agua, entonces no necesita ser radiografiado.

Esfuerzo admisible del material:

$$\sigma := 34809.057 \text{ psi}$$

Factor de seguridad:

$$F_s := 1.5$$

Presión de trabajo:

$$P_t := 100 \text{ psi}$$

El recipiente debe estar diseñado para soportar presión interna debido a que este trabaja con la presión de la red de agua potable del valle. Esta presión puede alcanzar los 70 psi a 100 psi dependiendo del lugar.

Corrosión admisible:

$$CA := 1 \text{ mm}$$

$$CA = 0.03937 \text{ in}$$

La corrosión admisible se seleccionó en base al número de años de vida útil, para el caso de los colectores solares 20 años.

Debido a factores como oxígeno y minerales que se encuentran en el agua, estos permiten que la superficie del tanque se deteriore en su tiempo de vida disminuyendo su espesor, por ese motivo se ha seleccionado un valor alto de 1mm en la corrosión admisible.

Cálculo del volumen del cilindro:

El valor cúbico de una de las cabezas elipsoidales se lo realizó en el programa Solid Works y su valor fue de 0.021558 m^3 , este valor lo multiplicamos por dos para poder encontrar el volumen total de las cabezas valor que nos servirá para encontrar la altura del cilindro

$$V_{\text{cab}} := 2 \cdot 0.021558 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{cab}} = 0.043 \text{ m}^3$$

Volumen el cilindro:

Los 200 litros los restamos del volumen de las cabezas obteniendo de esta manera el volumen del cilindro del tanque, volumen que nos permitirá encontrar la altura del cilindro.

$$V_{\text{cil}} := V_i - V_{\text{cab}} \quad (3.1)$$

$$V_{\text{cil}} = 0.157 \text{ m}^3$$

Cálculo de la altura del cilindro:

$$L_c := \frac{4 \cdot V_{\text{cil}}}{\pi \cdot D_i^2} \quad (3.2)$$

$$L_c = 0.799 \text{ m}$$

Cálculo del espesor del tanque:

$$R_i := \frac{D_i}{2} \quad (3.3)$$

$$R_i = 9.843 \text{ in}$$

Resistencia del material:

$$S_t := \frac{\sigma}{F_s} \quad (3.4)$$

$$S_t = 2.321 \times 10^4 \text{ psi}$$

Espesor del tanque calculado:

$$t_s := \frac{P_t \cdot R_i}{S_t \cdot E - 0.6 P_t} \quad (3.5)$$

$$t_s = 0.061 \text{ in}$$

$$t_{\text{cal}} := t_s + CA \quad (3.6)$$

$$t_{\text{cal}} = 2.549 \text{ mm.}$$

Espesor comercial:

$$t_{\text{com}} := 3 \text{ mm}$$

$$t_{\text{com}} = 0.118 \text{ in}$$

Presión máxima

$$P_{\text{max}} := \frac{S_t \cdot E \cdot t_{\text{com}}}{R_i + 0.6 t_{\text{com}}} \quad (3.7)$$

$$P_{\text{max}} = 193.537 \text{ psi}$$

P_{max} es la presión máxima que puede alcanzar el cilindro con un espesor de 3mm

Cálculo del espesor de las cabezas

Cabeza elipsoidal³⁰:

$$t_c := \frac{P_t \cdot D_i}{2 \cdot S_t \cdot E - 0.2 P_t} \quad (3.8)$$

$$t_c = 0.061 \text{ in}$$

$$t_c = 1.54 \text{ mm}$$

$$t_{\text{cal2}} := t_c + CA \quad (3.9)$$

$$t_{\text{cal}} = 2.625 \text{ mm}$$

Espesor comercial:

$$t_{\text{com2}} := 3 \text{ mm}$$

$$t_{\text{com}} = 0.118 \text{ in}$$

³⁰ Formula obtenida del libro de PRESSURE VESSEL HANDBOOK Pág. 18, para cálculo de espesor en tanques cilíndricos con medidas internas.

Presión máxima:

$$P_{\max} := \frac{2 \cdot S_t \cdot E \cdot t_{\text{com}}}{D_i + 0.2 \cdot t_{\text{com}}} \quad (3.10)$$

$$P_{\max} = 192.619 \text{ psi}$$

P_{\max} es la presión máxima que va a soportar el tanque con un espesor de 3mm.

Se puede apreciar que tanto el espesor comercial del cuerpo como el de las cabezas es el mismo, esto es de gran ayuda ya que permitirá utilizar una sola plancha de tool de 1.22mX2.44m evitando de esta manera los desperdicios de material.

3.1.2 AISLAMIENTO EN EL TANQUE ACUMULADOR

El procedimiento para el diseño de pérdidas de calor en el tanque es similar al de pérdidas de calor de las tuberías, Hay algunos parámetros que se han cambiado como por ejemplo en el caso anterior utilizamos lana de vidrio, pero para el tanque vamos a usar poliuretano, porque la constante de conductividad del poliuretano es más pequeño que la lana de vidrio, esto nos favorecerá ya que el agua permanecerá más tiempo caliente debido a que van a existir menores pérdidas de calor.

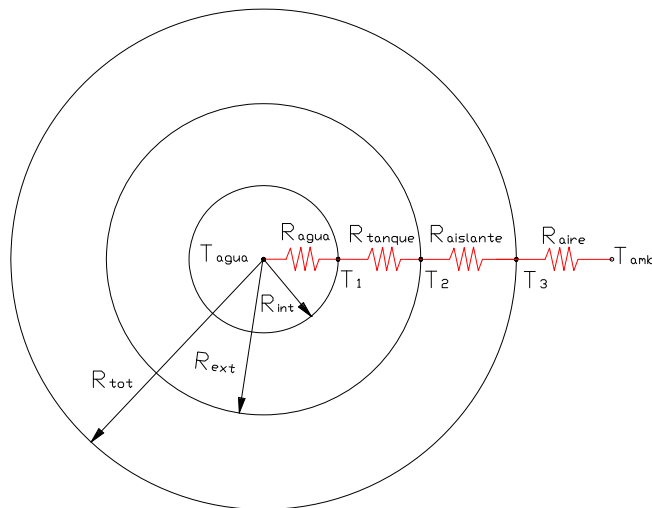


Figura 3.1 Circuito térmico del tanque

Viscosidad dinámica del fluido externo aire³¹:

$$\mu_{\text{aire}} := 178.625 \cdot 10^{-7} \frac{N \cdot s}{m^2}$$

Velocidad del aire:

$$V_{\text{aire}} := 0.972 \frac{m}{s}$$

Densidad del aire:

$$\delta_{\text{aire}} := 1.2167 \frac{kg}{m^3}$$

Diámetro interno:

$$D_{\text{in}} := 0.5 \text{ m}$$

Espesor del tubo:

$$e_{\text{tub}} := 0.003 \text{ m}$$

Espesor del aislante:

$$e_{\text{ais}} := 0.0508 \text{ m}$$

Diámetro total con aislante:

$$D_{\text{tot}} := D_{\text{in}} + 2 \cdot e_{\text{tub}} + 2 \cdot e_{\text{ais}} \tag{3.11}$$

$$D_{\text{tot}} = 0.608 \text{ m}$$

Número de Reynolds del fluido externo (aire):

³¹ Valor obtenido mediante interpolación del libro de Fundamentos de Transferencia de Calor de Frank P. Incropera y David P. De Witt pág. 839, Apéndice A. Propiedades termofísicas del aire para T=15°C

$$R_{\text{reyn}} := \frac{\delta_{\text{aire}} \cdot V_{\text{aire}} \cdot D_{\text{tot}}}{\mu_{\text{aire}}} \quad (3.12)$$

$$R_{\text{reyn}} = 4.012 \times 10^4$$

Constantes de correlación empírica debida a Hilpert para el aire³²:

$$C_1 := 0.027$$

$$m_1 := 0.805$$

Número de Prandlt del fluido externo para el aire

$$P_{\text{prant}} := 0.71$$

Número de Nusselt del fluido externo aire:

$$N_{\text{nuss}} := C_1 \cdot R_{\text{reyn}}^{m_1} \cdot P_{\text{prant}}^{\frac{1}{3}} \quad (3.13)$$

$$N_{\text{nuss}} = 122.32$$

Conductividad del fluido externo (aire)³³:

$$K_e := 25.35210^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

Coficiente de convección del fluido externo (aire):

$$N_{\text{nuss}} := C_1 \cdot R_{\text{reyn}}^{m_1} \cdot P_{\text{prant}}^{\frac{1}{3}} \quad (3.14)$$

³² Valor obtenido del libro de Fundamentos de Transferencia de Calor de Frank P. Incropera y David P. De Witt pág. 370, Constantes para el cilindro circular en flujo cruzado

³³ Valor obtenido mediante interpolación del libro de Fundamentos de Transferencia de Calor de Frank P. Incropera y David P. De Witt pág. 839, Apéndice A. Propiedades termofísicas del aire para T=15°C

$$h_e := N_{\text{nuss}} \cdot \frac{K_e}{D_{\text{tot}}} \quad (3.15)$$

$$h_e = 5.104 \frac{1}{\text{K} \cdot \text{m}^2} \text{ W}$$

Conductividad del aislante (Poliuretano):

$$K_{\text{ais}} := 0.027 \frac{\text{W}}{\text{K} \cdot \text{m}}$$

Radio Crítico del aislamiento:

$$r_{\text{rca}} := \frac{K_{\text{ais}}}{h_e} \quad (3.16)$$

$$r_{\text{rca}} = 5.29 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Viscosidad del fluido interno agua³⁴:

$$\mu_{\text{agua}} := 722.38 \cdot 10^{-6} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$$

Caudal másico del fluido interno:

$$m_{\text{cua}} := 0.1 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Número de Reynolds del Fluido interno:

$$R_{\text{reyagua}} := 4 \cdot \frac{m_{\text{cua}}}{\pi \cdot D_{\text{in}} \cdot \mu_{\text{agua}}} \quad (3.17)$$

$$R_{\text{reyagua}} = 466.277$$

³⁴ Valor obtenido mediante interpolación del libro de Fundamentos de Transferencia de Calor de Frank P. Incropera y David P. De Witt pág. 846, Apéndice A. Propiedades termofísicas del aire para T=35°C

Número de Prandtl del fluido interno⁶:

$$P_{\text{prain}} := 4.83$$

Número de Nusselt del fluido interno³⁵:

$$Nu_{\text{int}} := 3.66$$

Conductividad del fluido interno:

$$K_{\text{fint}} := 625.0410^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$$

Coefficiente de conducción del fluido interno:

$$h_{\text{fint}} := K_{\text{fint}} \cdot \frac{Nu_{\text{int}}}{D_{\text{in}}} \quad (3.18)$$

$$h_{\text{fint}} = 4.575 \frac{1}{\text{K}\cdot\text{m}^2} \text{W}$$

Radio interno de la tubería:

$$r_{\text{int}} := \frac{D_{\text{in}}}{2} \quad (3.19)$$

$$r_{\text{int}} = 0.25 \text{m}$$

Radio externo de la tubería:

$$r_{\text{ext}} := r_{\text{int}} + e_{\text{tub}} \quad (3.20)$$

$$r_{\text{ext}} = 0.253 \text{m}$$

³⁵ Valor obtenido del libro de Fundamentos de transferencia de Calor de Frank P. Incropera y David P. De Witt Pág. 440. Constantes de Nusselt para el cilindro circular cuando la temperatura superficial es constante

Radio total con aislante:

$$r_{\text{tot}} := r_{\text{ext}} + e_{\text{ais}} \quad (3.21)$$

$$r_{\text{tot}} = 0.304\text{m}$$

Conductividad de la tubería:

$$K_{\text{tub}} := 60.5 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$$

Resistencia térmica total:

$$R_{\text{tot}} := \frac{1}{\pi \cdot D_{\text{in}} \cdot h_{\text{fint}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{ext}}}{r_{\text{int}}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K_{\text{tub}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{tot}}}{r_{\text{ext}}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K_{\text{ais}}} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_{\text{tot}} \cdot h_{\text{e}}} \quad (3.22)$$

$$R_{\text{tot}} = 1.321 \text{K}\cdot\text{m} \frac{1}{\text{W}}$$

Temperatura del agua a los 35°C:

$$T_{\text{agua}} := 308.15 \text{K}$$

Temperatura ambiente 15°C:

$$T_{\text{amb}} := 288.15 \text{K}$$

Calor transferido entre el fluido interno y externo:

$$Q := \frac{T_{\text{agua}} - T_{\text{amb}}}{R_{\text{tot}}} \quad (3.23)$$

$$Q = 15.146 \frac{1}{\text{m}} \text{W}$$

Calor específico del agua:

$$C_p := 4181 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$$

Largo de tanque:

$$L_{\text{tan}} := 1.2 \text{ m}$$

Temperatura interna del fluido en 6m:

$$T_{\text{fint}} := T_{\text{agua}} - \frac{Q \cdot L_{\text{tan}}}{m_{\text{cua}} \cdot C_p} \quad (3.24)$$

$$T_{\text{fint}} = 308.107 \text{ K}$$

Temperatura perdida en 6 metros en °C:

$$T_{\text{agua2}} := 35 \text{ C}$$

$$T_{\text{fint2}} := 34.957 \text{ C}$$

$$T_{\text{perd}} := T_{\text{agua2}} - T_{\text{fint2}} \quad (3.25)$$

$$T_{\text{perd}} = 0.043 \text{ C}$$

El aislante térmico seleccionado inicialmente nos proporciona una pérdida de calor de 0.043 °C en los seis metros de tubería, valor que es aceptado en el diseño.

3.1.3 Aislamiento en las tuberías

Para realizar el respectivo análisis térmico de pérdidas calor en las tuberías, primero se procede a realizar la analogía eléctrica que nos permite ver de mejor manera las resistencias térmicas tanto por conducción como por convección

Se debe toma muy en cuenta que la geometría en estudio es una superficie cilíndrica hueca.

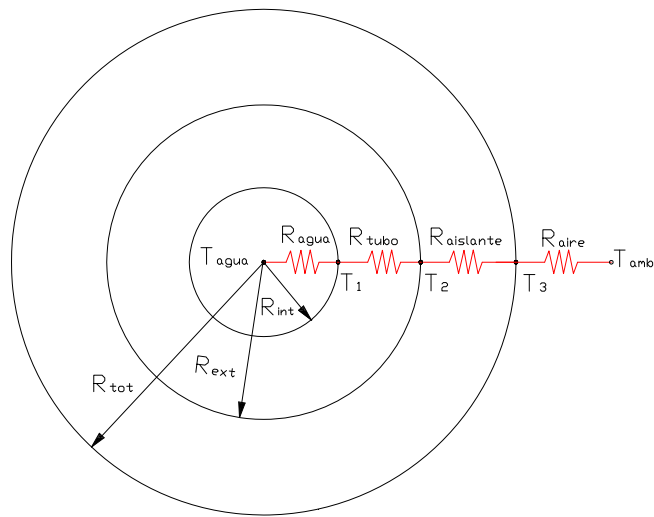


Figura 3.2 Circuito térmico de la tubería

Temperatura del agua a los 50 °C:

$$T_{\text{agua}} := 323.15 \text{ K}$$

Temperatura ambiente 15 °C:

$$T_{\text{amb}} := 288.15 \text{ K}$$

Viscosidad dinámica del fluido externo aire³⁶:

$$\mu_{\text{aire}} := 178.625 \cdot 10^{-7} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$$

Velocidad del aire:

$$V_{\text{aire}} := 0.972 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Densidad del aire³⁷:

$$\delta_{\text{aire}} := 1.2167 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

³⁶ Valor obtenido mediante interpolación del libro de Fundamentos de Transferencia de Calor de Frank P. Incropera y David P. De Witt pág. 839, Apéndice A. Propiedades termofísicas del aire para T=15°C

³⁷ Valor obtenido mediante interpolación del libro de Fundamentos de Transferencia de Calor de Frank P. Incropera y David P. De Witt pág. 839, Apéndice A. Propiedades termofísicas del aire para T=15°C

Diámetro interno:

$$D_{in} := 0.622 \text{ in}$$

$$D_{in} = 0.016 \text{ m}$$

Espesor del tubo:

$$e_{tub} := 0.109 \text{ in}$$

$$e_{tub} = 2.769 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Espesor del aislante:

$$e_{ais} := 1 \text{ in}$$

$$e_{ais} = 0.025 \text{ m}$$

Diámetro total con aislante:

$$D_{tot} := D_{in} + 2 \cdot e_{tub} + 2 \cdot e_{ais} \quad (3.26)$$

$$D_{tot} = 0.072 \text{ m}$$

Número de Reynolds del fluido externo (aire):

$$R_{reyn} := \frac{\delta_{aire} \cdot V_{aire} \cdot D_{tot}}{\mu_{aire}} \quad (3.27)$$
$$R_{reyn} = 4.763 \times 10^3$$

Constantes de correlación empírica debida a Hilpert para el aire³⁸:

$$C_1 := 0.193$$

$$m_1 := 0.618$$

³⁸ Valor obtenido del libro de Fundamentos de Transferencia de Calor de Frank P. Incropera y David P. De Witt pág. 370, Constantes para el cilindro circular en flujo cruzado

Número de Prandtl del fluido externo para el aire³⁹:

$$P_{\text{prant}} := 0.71$$

Número de Nusselt del fluido externo aire:

$$N_{\text{nuss}} := C_1 \cdot R_{\text{reyn}}^{m_1} \cdot P_{\text{prant}}^{\frac{1}{3}} \quad N_{\text{nuss}} = 32.279 \quad (3.28)$$

Conductividad del fluido externo (aire)⁴⁰:

$$K_e := 25.35210^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$$

Coefficiente de convección del fluido externo (aire):

$$h_e := N_{\text{nuss}} \cdot \frac{K_e}{D_{\text{tot}}} \quad (3.29)$$

$$h_e = 11.344 \frac{1}{\text{K}\cdot\text{m}^2} \text{ W}$$

Conductividad del aislante (Lana de vidrio):

$$K_{\text{ais}} := 0.05 \frac{\text{W}}{\text{K}\cdot\text{m}}$$

Radio Crítico del aislamiento:

$$r_{\text{rca}} := \frac{K_{\text{ais}}}{h_e} \quad (3.30)$$

$$r_{\text{rca}} = 4.407 \times 10^{-3} \text{ m}$$

³⁹ Valor obtenido mediante interpolación del libro de Fundamentos de Transferencia de Calor de Frank P. Incropera y David P. De Witt pág. 839, Apéndice A. Propiedades termofísicas del aire para T=15°C

⁴⁰ Valor obtenido mediante interpolación del libro de Fundamentos de Transferencia de Calor de Frank P. Incropera y David P. De Witt pág. 839, Apéndice A. Propiedades termofísicas del aire para T=15°C

Viscosidad del fluido interno agua⁴¹:

$$\mu_{\text{agua}} := 546.13 \cdot 10^{-6} \frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2}$$

Caudal másico del fluido interno:

$$m_{\text{cua}} := 0.25 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Número de Reynolds del Fluido interno: 3

$$R_{\text{reyagua}} := 4 \cdot \frac{m_{\text{cua}}}{\pi \cdot D_{\text{in}} \cdot \mu_{\text{agua}}} \quad (3.31)$$

$$R_{\text{reyagua}} = 3.689 \times 10^4$$

Número de Prandlt del fluido interno⁴²:

$$P_{\text{prain}} := 3.55$$

Número de Nusselt del fluido interno:

$$\text{Nu}_{\text{int}} := 0.023 R_{\text{reyagua}}^{\frac{4}{5}} \cdot P_{\text{prain}}^{0.4} \quad (3.32)$$

$$\text{Nu}_{\text{int}} = 171.935$$

Conductividad del fluido interno⁴³:

$$K_{\text{fint}} := 643.15 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$$

⁴¹ Valor obtenido mediante interpolación del libro de Fundamentos de Transferencia de Calor de Frank P. Incropera y David P. De Witt pág. 846, Apéndice A. Propiedades termofísicas del aire para T= 50°C

⁴² Valor obtenido mediante interpolación del libro de Fundamentos de Transferencia de Calor de Frank P. Incropera y David P. De Witt pág. 846, Apéndice A. Propiedades termofísicas del aire para T=15°C

⁴³ Valor obtenido mediante interpolación del libro de Fundamentos de Transferencia de Calor de Frank P. Incropera y David P. De Witt pág. 846, Apéndice A. Propiedades termofísicas del aire para T=15°C

Coefficiente de conducción del fluido interno:

$$h_{\text{fint}} := K_{\text{fint}} \cdot \frac{\text{Nu}_{\text{int}}}{D_{\text{in}}} \quad (3.33)$$

$$h_{\text{fint}} = 6.999 \times 10^3 \frac{1}{\text{K} \cdot \text{m}^2} \text{ W}$$

Radio interno de la tubería:

$$r_{\text{int}} := \frac{D_{\text{in}}}{2} \quad (3.34)$$

$$r_{\text{int}} = 7.899 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Radio externo de la tubería:

$$r_{\text{ext}} := r_{\text{int}} + e_{\text{tub}} \quad (3.35)$$

$$r_{\text{ext}} = 0.011 \text{ m}$$

Radio total con aislante:

$$r_{\text{tot}} := r_{\text{ext}} + e_{\text{ais}} \quad (3.36)$$

$$r_{\text{tot}} = 0.036 \text{ m}$$

Conductividad de la tubería⁴⁴:

$$K_{\text{tub}} := 0.16 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

Resistencia térmica total:

$$R_{\text{tot}} := \frac{1}{\pi \cdot D_{\text{in}} \cdot h_{\text{fint}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{ext}}}{r_{\text{int}}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K_{\text{tub}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{tot}}}{r_{\text{ext}}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K_{\text{ais}}} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_{\text{tot}} \cdot h_{\text{e}}} \quad R_{\text{tot}} = 4.487 \text{ K} \cdot \text{m} \frac{1}{\text{W}} \quad (3.37)$$

⁴⁴ Valor obtenido del libro de Fundamentos de transferencia de Calor de Frank P. Incropera y David P. De Witt Pág. 838, Apéndice A. propiedades termofísicas de la materia

Calor transferido entre el fluido interno y externo:

$$Q := \frac{T_{\text{agua}} - T_{\text{amb}}}{R_{\text{tot}}} \quad (3.38)$$

$$Q = 7.801 \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

Calor específico del agua:

$$C_p := 4181 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$L_{\text{mang}} := 6 \text{ m}$$

Temperatura interna del fluido en 6m:

$$T_{\text{fint}} := T_{\text{agua}} - \frac{Q \cdot L_{\text{mang}}}{m_{\text{cua}} \cdot C_p} \quad (3.39)$$

$$T_{\text{fint}} = 323.105 \text{ K}$$

Temperatura perdida en 6 metros en °C:

$$T_{\text{agua2}} := 50 \text{ C}$$

$$T_{\text{fint2}} := 49.955 \text{ C}$$

$$T_{\text{perd}} := T_{\text{agua2}} - T_{\text{fint2}} \quad (3.39)$$

$$T_{\text{perd}} = 0.045 \text{ C}$$

El aislante térmico seleccionado inicialmente nos proporciona una pérdida de calor de 0.045 °C en los seis metros de tubería, valor que es aceptado en el diseño.

Se pudo ver también que el flujo de agua caliente en la tubería lisa proporciona un número de Reynolds que se encuentra ubicado en el rango de transición entre el fluido laminar y turbulento

Para evitar pérdidas de calor es recomendable de que el flujo de agua caliente nunca sea turbulento más bien laminar.

3.2. SISTEMAS DE CONTROL

En la Instalación de Agua Caliente Sanitaria por Energía Solar es necesario realizar la implementación de varios sensores o indicadores de las variables hidráulicas y térmicas, que se evidencian en un proceso de convección natural donde las fuerzas de empuje del agua serán originadas por el gradiente de temperatura ΔT , entre la placa colectora y el acumulador.

Tres instrumentos son los necesarios para colocarlos en las líneas de circulación y son los siguientes:

- Flujometro (Rotámetro)
- Termómetro Digital
- Indicadores de Presión

Con estos tres elementos básicos se podrá determinar en tiempo real la presión, temperatura y caudal; los mismos que sirven para el análisis de propiedades termo físicas de radiación solar directa y difusa.

3.2.1 FLUJOMETRO:

Se utilizara un Flujómetro FL-2068 de la marca Omega, el cual tiene una capacidad de 0.8 a 9 LPM de Agua.

Tiene las siguientes características:

- Rango: 0.8 – 9 LPM
- Precisión: $\pm 3\%$ Escala
- Presión Máxima: 100 PSIG
- Temperatura Máxima: 150 °C
- Válvulas de Cobre



Fotografía 3.1 Medidor de caudal

3.2.2 TERMÓMETRO DIGITAL:

Se utilizara sensores de temperatura DP752C-96-SLR con las siguientes características:

- Funcionamiento con una célula solar de 3V.
- Rango: -50 °C a 70 °C
- Resolución: 1 °C
- Termistor 0.25" OD, 1.8", con una sonda de 1.8" largo de acero inoxidable.
- Cable de 96" de largo para transmisión de la señal.

- Tiempo de Actualización 10 segundos.

Para el funcionamiento de la célula solar, la luminiscencia mínima necesaria es de 35 lux.



Fotografía 3.2 Medidores de temperatura

Los sensores de temperatura se calibraron en el banco de pruebas del Laboratorio de Termodinámica del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (DECEM) de la Escuela Politécnica del Ejercito (ESPE); obteniendo como resultado que todos los sensores se encuentran dentro del rango establecido.

3.2.3 CAJA DE CONTROL:

El sistema de control indicado a continuación está compuesto por cuatro medidores de temperatura y un Flujo metro o medidor de caudal. El Flujo metro es conectado por universales que están en los extremos las manqueras



Fotografía 3.3 Caja de Control

3.3 COLECTOR SOLAR PLANO

3.3.1 UBICACIÓN Y ORIENTACIÓN:

El laboratorio de Energías no Convencionales que pertenece al DECEM de la Escuela Politécnica del Ejército, tiene su ubicación en Sangolquí, cantón Rumiñahui de la Provincia de Pichincha, teniendo una posición geográfica de latitud 0° .

Considerando los problemas de contaminación visual y ateniéndonos a la ordenanza Municipal, inspeccionamos el lugar y encontramos que algunos factores como la altura del edificio, la superficie plana horizontal de la terraza y la extensa distancia que hay hacia las otras edificaciones son beneficiosas para instalar nuestro colector solar en dicho lugar, ya que no genera impacto visual ni tampoco sombra, por lo tanto se puede colocar los colectores solares en la posición más conveniente se estime.

La orientación óptima del colector es que su superficie de captación este dirigida hacia el norte o hacia el sur, dado que permite aprovechar el mayor número de horas del sol, independientemente de la estación del año y de la latitud de emplazamiento.

En aquellos casos en que la colocación no sea posible por condiciones constructivas como obstrucciones, sombras, debe orientarse tratando de asegurar el mayor número de horas del sol. Para ello debe buscarse no desviarse de la orientación norte o sur más de 20° como se indica en la figura 3.1.

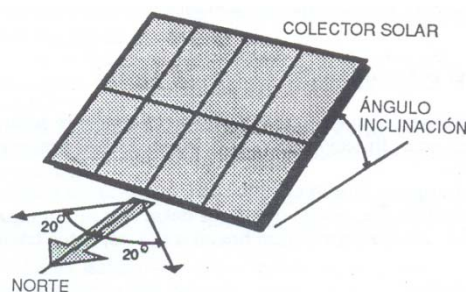


Figura 3.3 Orientación del colector solar.

Por lo general, los colectores solares son colocados sobre un techo o una estructura y tienen una posición fija y no pueden seguir la trayectoria del sol en el cielo, por lo tanto, no estarán orientados hacia el astro con un ángulo óptimo (90 grados).

Para el caso de la Escuela Politécnica del Ejército la vamos a colocar en dirección sur ya que esta es la forma más óptima para captar la radiación solar.

La inclinación se determina como 10° mas la latitud del sitio, esta inclinación es necesaria para evitar la acumulación de contaminantes (polvo, agua), que opacan la superficie. La inclinación permite que las lluvias laven la cubierta. La latitud en nuestro país por estar en el centro del planeta es 0° por lo tanto el ángulo de inclinación para nuestro colector será de 10° .

3.3.2 CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO

3.3.2.1 Cálculo de pérdidas totales

Los colectores solares planos son una fuente importante de captación de energía solar, la misma que se la transforma en calor para luego transmitirla al agua. Como todo sistema este captador tiene la desventaja de estar propenso a las pérdidas de calor que se disipan al ambiente. Estas pérdidas de calor las vamos a clasificar en superiores, laterales e inferiores.

Para el cálculo de las pérdidas superiores existen dos métodos diferentes que se pueden optar, el método de Holland y método de Klein.

Para el análisis térmico de pérdidas superiores hemos optado por el método Holland ya que consiste en calcular el valor las pérdidas superiores involucrando la distancia de la cubierta transparente, placa absolvedora, temperatura de la cubierta transparente mientras que Klein no lo hace.

A continuación vamos a detallar como se realiza el análisis mediante el método de Holland.

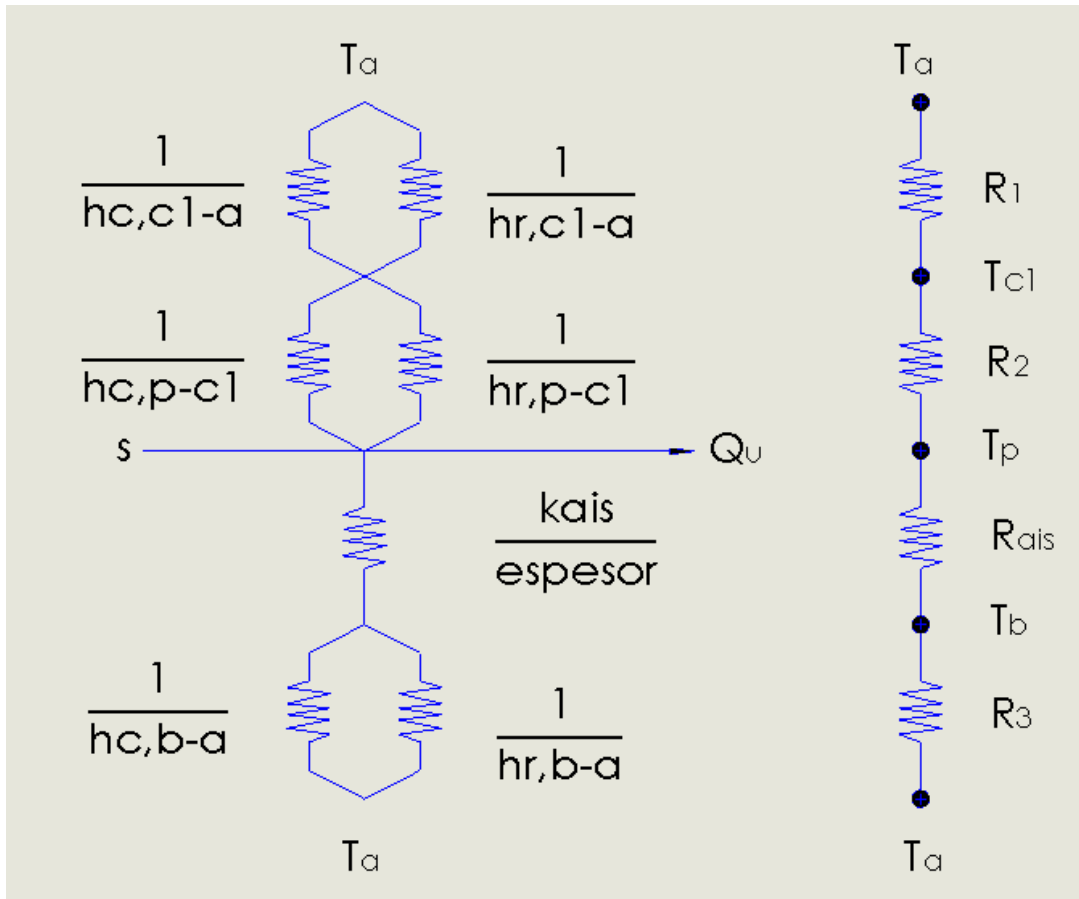


Figura 3.4 Esquema eléctrico equivalente del colector

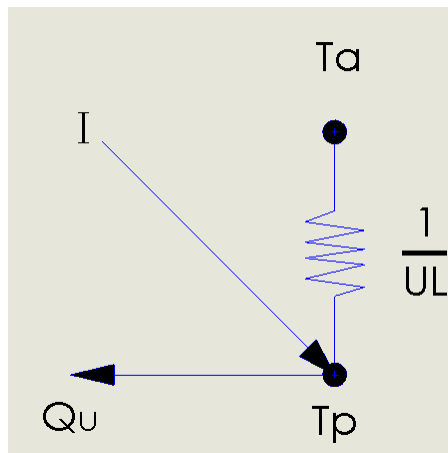


Figura 3.5 Esquema eléctrico de pérdidas totales

Conductividad de la placa colectora de aluminio:

$$k_p := 237 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$$

Distancia o espacio entre tubos:

$$W_{\text{tubos}} := 100 \text{ mm}$$

Diámetro externo de los tubos:

$$D := 1.051 \text{ in}$$

Diámetro interno de los tubos:

$$D_i := 1.122 \text{ in}$$

Coefficiente de convección del agua:

$$h_{fi} := 300 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$$

Largo de la placa colectora:

$$L_c := 1.885 \text{ m}$$

Ancho de la placa colectora:

$$B_c := 0.895 \text{ m}$$

Área de recolección de radiación:

$$A_c := L_c \cdot B_c \tag{3.40}$$

$$A_c = 1.687 \text{ m}^2$$

Densidad del agua a condiciones normales:

$$\delta_{\text{agua}} := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Flujo de masa de agua por termosifón:

$$m_{\text{fluido}} := 11.11 \cdot 10^{-3} \frac{\text{L}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} \cdot A_c \cdot \delta_{\text{agua}} \quad (3.41)$$

$$m_{\text{fluido}} = 0.019 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Calor específico del agua:

$$C_p := 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Espesor de la placa:

$$\delta_{\text{placa}} := 1 \text{mm}$$

Temperatura de ingreso del fluido:

$$T_i := 283.15 \text{K}$$

Temperatura de salida del fluido:

$$T_{\text{salida}} = 323.15 \text{K}$$

Volumen del tanque:

$$V_{\text{tanque}} := 0.2 \text{m}^3$$

$$V_{\text{tanque}} = 200 \text{L}$$

Velocidad del viento:

$$V_v := 3.82 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Constante de Boltzmann:

$$\sigma := 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

Angulo de inclinación del colector:

$$\beta := 10 \text{ deg}$$

Emitancia de la placa:

$$\varepsilon_p := 0.11$$

Emitancia de la cubierta:

$$\varepsilon_c := 0.856$$

Temperatura de la placa:

$$T_p := 343.15 \text{ K}$$

Temperatura de la cubierta:

$$T_c := 311.15 \text{ K}$$

Temperatura ambiente:

$$T_a := 288.15 \text{ K}$$

Conductividad del aislamiento:

$$k_{\text{ais}} := 0.027 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

Espesor del aislamiento en la base:

$$L_b := 0.055 \text{ m}$$

Espesor del aislamiento en los lados:

$$L_e := 0.045 \text{ m}$$

Altura del colector:

$$h := 0.11 \text{ m}$$

Largo del colector Solar:

$$l_c := 1.975 \text{ m}$$

Ancho del colector:

$$a_c := 1 \text{ m}$$

Espacio entre placas:

$$L := 55 \text{ mm}$$

Emitancia de la placa con superficie selectiva:

$$\varepsilon_p := 0.95$$

Emitancia de la cubierta transparente:

$$\varepsilon_{c1} := 0.79$$

Conductividad del aire:

$$k_{\text{aire}} := 0.0293 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

Número de Prandtl:

$$\text{Pr} := 0.70129$$

$$v_{\text{aire}} := 1.8798210^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Constante de Boltzmann:

$$\sigma := 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

Como nos podemos dar cuenta en los datos expuestos en la columna anterior existen dos clases de datos. Los primeros datos que son valores asumidos o empíricos y los segundos que son valores reales o establecidos.

Los valores asumidos como temperatura de la placa absolvedora, temperatura de la cubierta transparente son valores obtenidos por la experiencia de muchos años

de trabajo en al área de la investigación por el Ing. José Guasumba quien de una manera cordial nos facilito dichos datos que nos ayudo para poder realizar el respectivo análisis térmico de nuestro colector solar.

Número de Rayleigh:

$$\beta' := \frac{1}{\frac{T_p + T_c}{2}} \quad (3.42)$$

$$\beta' = 0.003 \frac{1}{K}$$

$$Ra := \frac{g \cdot \beta' \cdot (T_p - T_c) \cdot L^3 \cdot Pr}{v_{aire}^2} \quad (3.43)$$

$$Ra = 316721.038$$

Número de Nusselt:

$$Nu := \begin{cases} A \leftarrow 1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos(\beta)} \\ B \leftarrow \sqrt[3]{\frac{Ra \cdot \cos(\beta)}{5830}} - 1 \\ A \leftarrow 0 \text{ if } A \leq 0 \\ B \leftarrow 0 \text{ if } B \leq 0 \\ N \leftarrow 1 + 1.44(A) \cdot \left(1 - \frac{\sin(1.8 \cdot \beta)^{1.6} \cdot 1708}{Ra \cdot \cos(\beta)} \right) + B \end{cases} \quad (3.44)$$

$$Nu = 5.199$$

Coeficiente de conducción placa – cubierta:

$$hc_{p_c1} := \frac{Nu \cdot k_{aire}}{L} \quad (3.45)$$

$$hc_{p_c1} = 2.77 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Coeficiente de radiación placa – cubierta:

$$hr_{p_c1} := \frac{\sigma \cdot (T_p + T_c) \cdot (T_p^2 + T_c^2)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_{c1}} - 1} \quad (3.46)$$

$$hr_{p_c1} = 6.037 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Temperatura de cielo:

$$T_s := 0.052 \cdot T_a^{1.5} \quad (3.47)$$

$$T_s = 255.328 \text{ K}$$

Coeficiente de radiación cubierta – ambiente:

$$hr_{c1_a} := \sigma \cdot (T_c + T_s) \cdot (T_c^2 + T_s^2) \cdot \epsilon_{c1} \quad (3.48)$$

$$hr_{c1_a} = 4.111 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Coeficiente de convección cubierta – ambiente:

$$h_w := \left[5.7 + 3.8 \left(\frac{V_v}{\frac{m}{s}} \right) \right] \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (3.49)$$

$$h_w = 20.216 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Resistencia térmica placa – cubierta:

$$R_1 := \frac{1}{hc_{p_c1} + hr_{p_c1}} \quad (3.50)$$

$$R_1 = 0.114 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Resistencia térmica cubierta – ambiente:

$$R_2 := \frac{1}{hr_{c1_a} + h_w} \quad (3.51)$$

$$R_2 = 0.041 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Coefficiente de pérdidas superiores:

$$U_t := \frac{1}{R_1 + R_2} \quad (3.52)$$

$$U_t = 6.466 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Este método de Holland involucra todos los coeficientes de pérdidas de calor en sus diferentes modos como radiación, convección y convección del viento, como se pudo observar en el análisis térmico se lo considero individualmente en cada una de sus etapas.

Las siguientes ecuaciones matemáticas de temperatura de la cubierta transparente y temperatura de la placa absolvedora, nos permiten hacer una corrección o modificación en las temperaturas iniciales asumidas.

Temperatura de la cubierta transparente:

$$T_{c1} := T_p - \frac{U_t \cdot (T_p - T_a)}{hr_{p_c1} + hc_{p_c1}} \quad (3.53)$$

$$T_{c1} = 302.769K$$

Temperatura de la placa colectora:

$$T_{p1} = 351.531K$$

Como nos podemos dar cuenta estos valores no difieren en mucho con los valores planteados inicialmente.

Coefficiente de pérdidas posteriores:

$$U_b := \frac{k_{ais}}{L_b} \quad (3.54)$$

$$U_b = 0.491 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Este coeficiente de pérdidas de calor no es otra cosa que las pérdidas que se encuentra en la parte inferior del colector y que se encuentra relacionado con el aislante térmico y el espesor del aislante.

Coefficiente de pérdidas laterales:

$$UA_e := \frac{k_{ais}}{L_e} \cdot (2 \cdot L_c + 2 \cdot B_c) \cdot h \quad (3.55)$$

$$UA_e = 0.367 \frac{W}{K}$$

$$U_e := \frac{UA_e}{L_c \cdot B_c} \quad (3.56)$$

$$U_e = 0.218 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

El coeficiente de pérdidas laterales se la encuentra a partir de los datos siguientes: Largo del colector solar (L_c), Ancho del colector solar (B_c), Altura del colector (h), espesor de la pared lateral (L_e)

Coeficiente de pérdidas totales en el sistema:

$$U_L := U_e + U_b + U_t \quad (3.57)$$

$$U_L = 7.175 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

De esta manera se ha encontrado un valor de pérdidas totales en el colector, que en próximos cálculos nos permitirá encontrar un factor de remoción de calor que no es más que una constante que permite encontrar la eficiencia y el calor proporcionado por cada colector.

3.3.2.2. Factor de Remoción de Calor:

Generalmente en proyectos de colectores solares la circulación en el interior del subsistema opera mediante circulación forzada, y por consideraciones de algunos autores recomiendan un flujo de $m_{\text{fluido}} = 0.019 \frac{Kg}{s}$.

La separación de las tuberías W_{tubos} , se ha obtenido de acuerdo a una recomendación que menciona que las separaciones no debe sobrepasar en un rango de 10 a 15 cm.

En el caso de sobrepasar las medidas recomendadas se tendría una gran pérdida de calor en la línea centro de las dos tuberías paralelas. Y en el caso en que la separación sea muy corta no se estaría aprovechando en gran manera la cantidad de calor que se podría entregar al fluido de circulación.

Se selecciono una tubería de ½ pulgada, por el motivo de que es más fácil calentar el fluido a velocidades bajas y porque la transferencia de calor va hacer más rápido al momento en que la placa colectora transfiera su calor.

$$m_{\text{aleta}} := \sqrt{\frac{U_L}{k_p \cdot \delta_{\text{placa}}}} \quad (3.58)$$

$$m_{\text{aleta}} = 5.502 \frac{1}{\text{m}}$$

$$F_{\text{aleta}} := \frac{\tanh \left[m_{\text{aleta}} \cdot \left(\frac{W_{\text{tubos}} - D}{2} \right) \right]}{m_{\text{aleta}} \cdot \left(\frac{W_{\text{tubos}} - D}{2} \right)} \quad (3.59)$$

$$F_{\text{aleta}} = 0.986$$

$$F' := \frac{\frac{1}{U_L}}{W_{\text{tubos}} \cdot \left[\frac{1}{U_L \cdot [D + (W_{\text{tubos}} - D) \cdot F_{\text{aleta}}]} + \frac{1}{\pi \cdot D_i \cdot h_{fi}} \right]} \quad (3.60)$$

$$F' = 0.965$$

$$Fr := \frac{m_{\text{fluido}} \cdot C_p}{A_c \cdot U_L} \cdot \left(1 - e^{\frac{-A_c \cdot U_L \cdot F'}{m_{\text{fluido}} \cdot C_p}} \right) \quad (3.61)$$

$$Fr = 0.896$$

Este factor de remoción calor es aquel que se utiliza para determinar el calor útil proporcionado por cada colector y por adicionalmente su eficiencia.

La fracción de la radiación solar $\tau\alpha$ que es absorbida por el colector y que se utiliza en el cálculo de la eficiencia, es el producto de la transmitancia del vidrio y la absortancia de la placa colectora

Coeficiente de modificación del ángulo de incidencia:

El ángulo θ_1 es el ángulo entre la luz solar directa y la normal de la cubierta colectora

$$\theta_1 := \frac{10 \cdot \pi}{180}$$

$$\theta_1 = 0.175$$

El ángulo θ_2 es el ángulo de refracción del rayo luminoso:

$$\theta_2 := \text{asin}\left(\frac{\sin(\theta_1)}{1.53}\right) \quad (3.62)$$

$$\theta_2 = 0.114$$

$$\theta_2 = 0.114$$

A y B son el coeficiente de refracción de la superficie de vidrio. Si el ángulo de incidencia es nulo, se puede usar para A y B el valor de 0.044

$$A := \frac{\sin(\theta_2 - \theta_1)^2}{\sin(\theta_2 + \theta_1)^2} \quad (3.63)$$

$$B := \frac{\tan(\theta_2 - \theta_1)^2}{\tan(\theta_2 + \theta_1)^2} \quad (3.64)$$

$$A = 0.046$$

$$B = 0.042$$

Número de cubiertas o placas de vidrio:

$$N := 1$$

Valores de Transmitancia para A y B:

$$\tau_A := \frac{1 - A}{1 + (2N - 1) \cdot A} \quad (3.65)$$

$$\tau_B := \frac{1 - B}{1 + (2N - 1) \cdot B} \quad (3.66)$$

$$\tau_A = 0.913$$

$$\tau_B = 0.919$$

Donde τ_r es un valor promedio:

$$\tau_r := \frac{\tau_A + \tau_B}{2} \quad (3.67)$$

$$\tau_r = 0.916$$

Factor de atenuación del vidrio recomendación 0,5 a 3,0

$$K := 0.4 \text{ m}^{-1}$$

Espesor de la cubierta transparente:

$$T := 0.004 \text{ m}$$

Transmitancia de la cubierta transparente:

$$\tau := \tau_r \cdot e^{\frac{-K \cdot N \cdot T}{\cos(\theta_2)}} \quad \tau = 0.914 \quad (3.68)$$

Reflejancia para la luz difusa con calores 0.16 para una cubierta de vidrio

$$\rho_d := 0.16$$

Absortancia de la superficie selectiva:

$$\alpha_p := 0.95$$

Coeficiente de modificación del ángulo de incidencia:

$$K_{\alpha\tau} := \frac{\alpha_p \cdot \tau}{1 - (1 - \alpha_p) \cdot \rho_d} \quad (3.69)$$

$$K_{\alpha\tau} = 0.876$$

Intensidad de radiación:

$$G_{\text{media}} := 750 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

3.3.2.3 Cálculo del Calor Útil:

Encontrado el factor de remoción de calor, el siguiente paso es calcular el calor útil proporcionado por cada colector.

$$Q_u := A_c \cdot Fr \cdot [K_{\alpha\tau} \cdot G_{\text{media}} - U_L \cdot (T_{\text{salida}} - T_a)] \quad (3.70)$$

$$Q_u = 613.502\text{W}$$

3.3.2.4. Cálculo de la Eficiencia del Colector Solar:

La eficiencia η_c es una forma de medir el funcionamiento del colector y no es un valor fijo ya que depende de factores que varían durante el funcionamiento del mismo, como temperatura de entrada del fluido, factor de remoción de calor y coeficientes de pérdidas totales.

$$\eta_c := \frac{Q_u}{A_c \cdot G_{\text{media}}} \quad (3.71)$$

$$\eta_c = 0.485$$

La eficiencia del colector es muy buena debido a que se ha utilizado materiales de excelente propiedades térmicas, pero hay que tomar en cuenta las condiciones

ambientales como días nublados, lluvias, mañanas muy frías y temperatura de ingreso del fluido, son verdaderos factores afectan la eficiencia del colector, para ello las recomendaciones de diseño por autores nos indican que se debe utilizar una eficiencia del 40% a 50%.

La demanda energética de interés es aquella que se requiere únicamente para el calentamiento de agua del laboratorio y se va a determinar de acuerdo a la cantidad de energía que se requiere para elevar la temperatura del volumen de agua que se consume.

El cálculo de la demanda energética se parte por la cantidad de volumen y en este caso el laboratorio solicito el calentamiento de agua para 200 litros.

$$m_{\text{agua}} := 200 \text{ kg}$$

$$t := 28800 \text{ s}$$

$$Q_r := \frac{m_{\text{agua}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{salida}} - T_i)}{t} \quad (3.72)$$

$$Q_r = 1163.889 \text{ W}$$

t: tiempo circulación de fluido en el colector por 8 horas diarias.

Para obtener el número de colectores necesarios dividimos la demanda energética para la cantidad de energía que nos proporciona cada colector

$$N_{\text{colectores}} := \frac{Q_r}{Q_u} \quad (3.73)$$

$$N_{\text{colectores}} = 1.9 \quad (3.74)$$

El número de colectores que se necesitan 1.9, pero para alcanzar nuestro propósito de diseño lo vamos a sobredimensionar a 2 colectores debido a factores ambientales mencionados anteriormente que disminuyen la eficiencia del colector.

3.4. SOPORTES

3.4.1. SOPORTE DEL TANQUE ACUMULADOR

En la construcción del soporte del tanque acumulador se selecciono un perfil de tubo cuadrado de 40X40X1.2mm, tomándose en cuenta el peso que va a soportar.

Grafico en 3D en Solid-Works

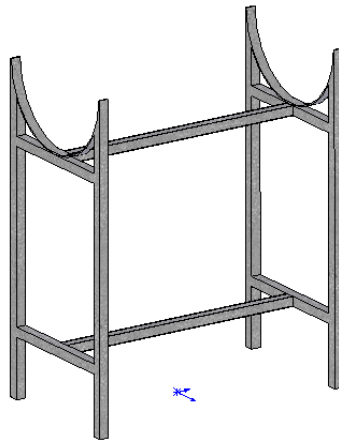


Figura 3.6 Soporte del tanque acumulador

Mediante una balanza se pudo obtener el peso verdadero del tanque acumulador, el cual dio un valor de 200kg incluyendo el peso del agua interior. Para la simulación del soporte se lo sometió a una fuerza distribuida de 200kgf como se indica en el grafico siguiente.

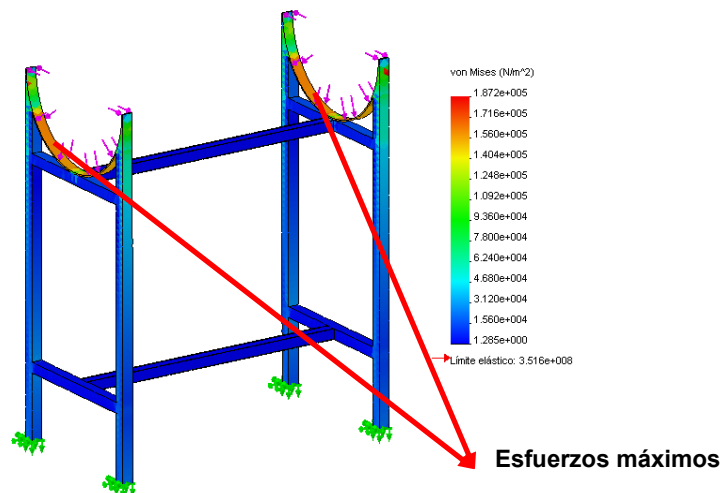


Figura 3.7 Simulación de tensiones del Soporte

Al haber realizado la simulación del soporte, se obtuvieron los resultados como se ven en la figura. El esfuerzo máximo se ve representado con el color rojo y se encuentra en la mitad de la semicircunferencia. A partir de esto podemos deducir que es el lugar donde la mayor parte de la carga será soportada. El menor esfuerzo, prácticamente nulo está representado por el color azul y se encuentra en la gran mayoría del soporte, por lo cual la probabilidad de falla del soporte es muy baja.

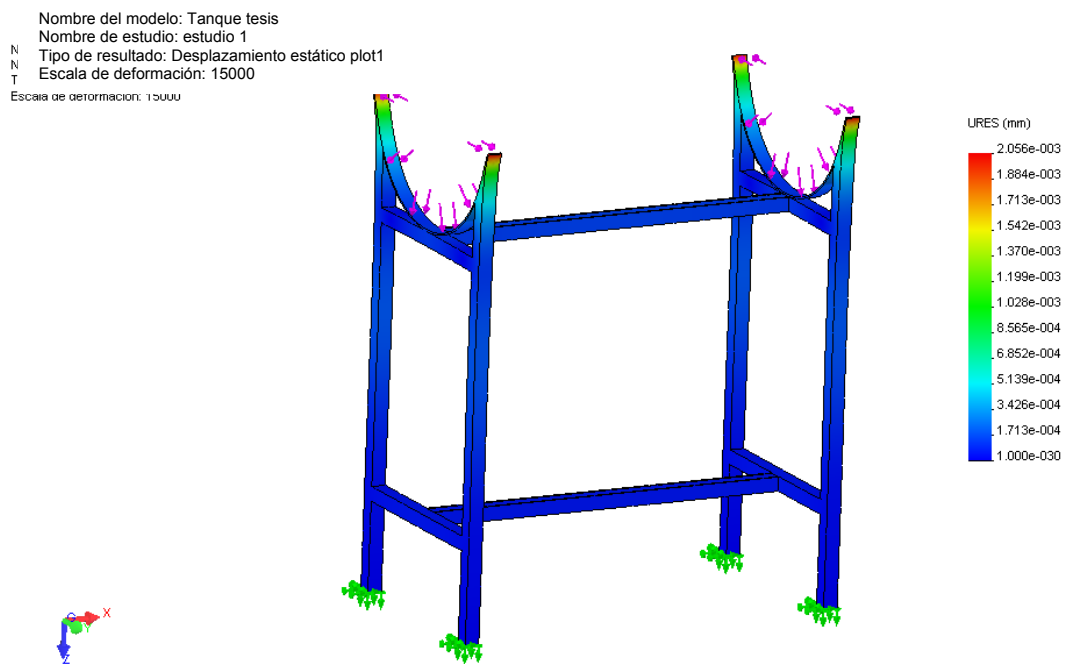


Figura 3.8 Desplazamientos del Soporte del tanque

En esta figura podemos observar los desplazamientos que el soporte tiende a sufrir al ser aplicada la carga del tanque. De esta manera se puede observar que al ser aplicada la carga la platina tiende a desplazarse en la parte superior debido a que es el lugar más débil, donde se unen el perfil cuadrado y la platina, habiendo sido necesario que se realice un corte en la platina cuadrada para darle la forma de la platina, habiéndose debilitado la estructura en esa zona.

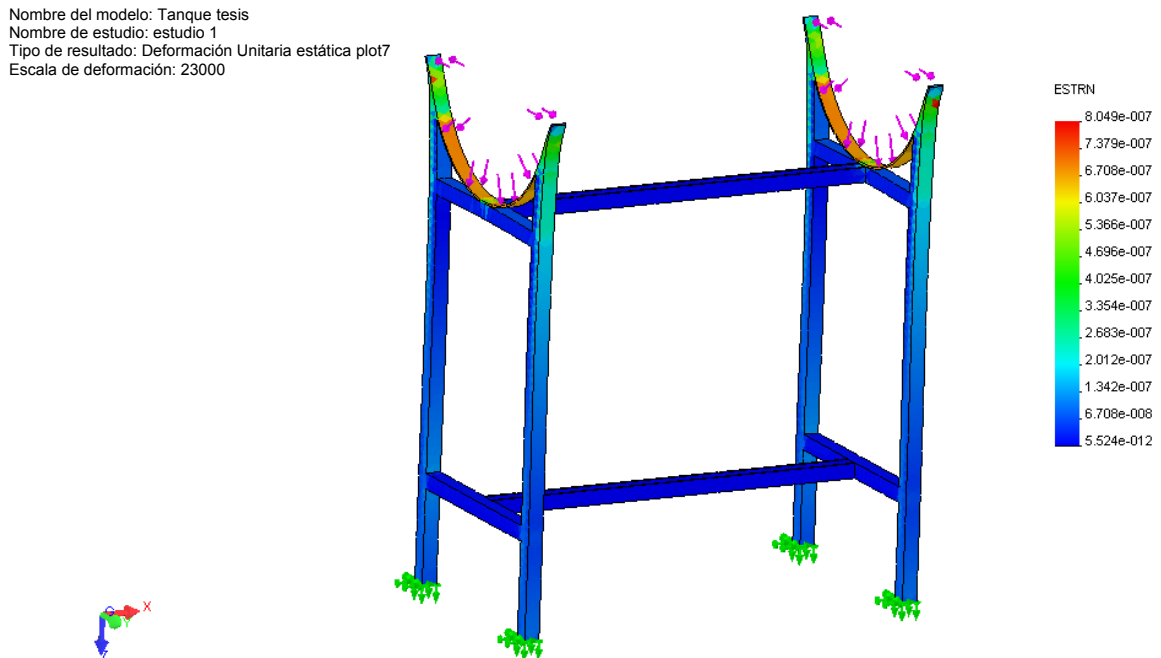


Figura 3.9 Deformación Unitaria del Soporte del Tanque

En la figura se puede observar la deformación unitaria que sufre el soporte, siendo esta muy marcada en la platina que soporta el tanque, podemos ver como su deformación unitaria es muy marcada con una zona de color anaranjado, debido al peso que debe soportar.

Nombre del modelo: Tanque tesis
Nombre de estudio: estudio 1
Tipo de resultado: Verificación de diseño plot1
Criterio: Tensiones Von Mises Máx.
Distribución de factor de seguridad FDS min =1.5e+003

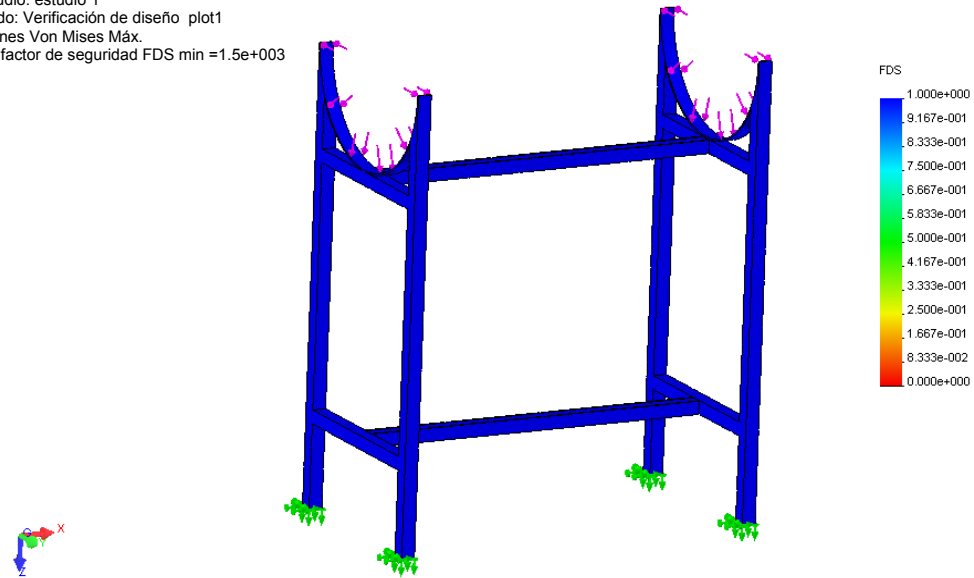


Figura 3.10 Verificación de Diseño del Soporte del tanque

Por último realizamos la verificación de Diseño, en la cual podemos observar que el soporte del tanque no va a presentar fallas, lo que se puede ver por su marcado color azul.

3.4.2. SOPORTE DE LOS COLECTORES

Se construyeron los soportes para los colectores de la siguiente manera.

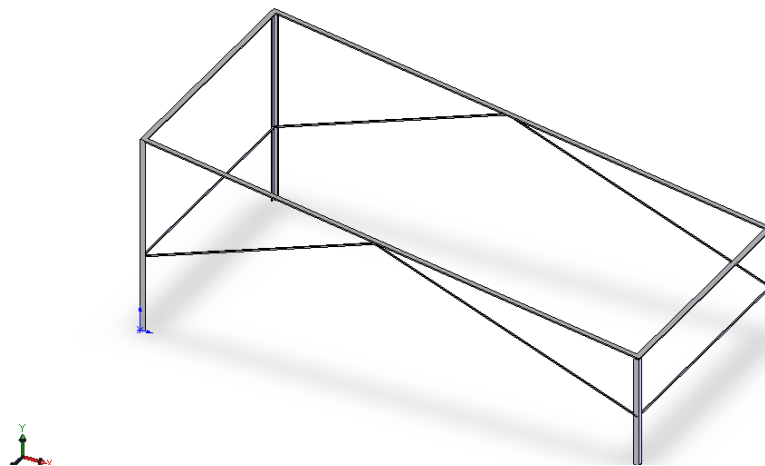


Figura 3.11 Soporte del Colector

En la simulación se utilizó un peso de 30 kg, el cual se obtuvo en una balanza para los colectores. Para la simulación del soporte se lo sometió a una fuerza distribuida de 30kgf como se indica en el grafico siguiente.

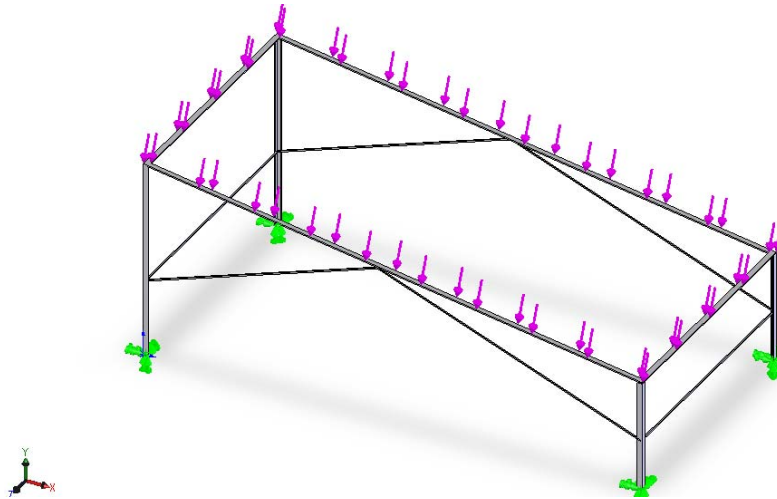


Figura 3.12 Aplicación de Fuerzas en el Soporte del Colector

Nombre del modelo: Base Colector
Nombre de estudio: estudio 1
Tipo de resultado: Verificación de diseño plot1
Criterio: Tensiones Von Mises Máx.
Distribución de factor de seguridad FDS min =1.5e+003

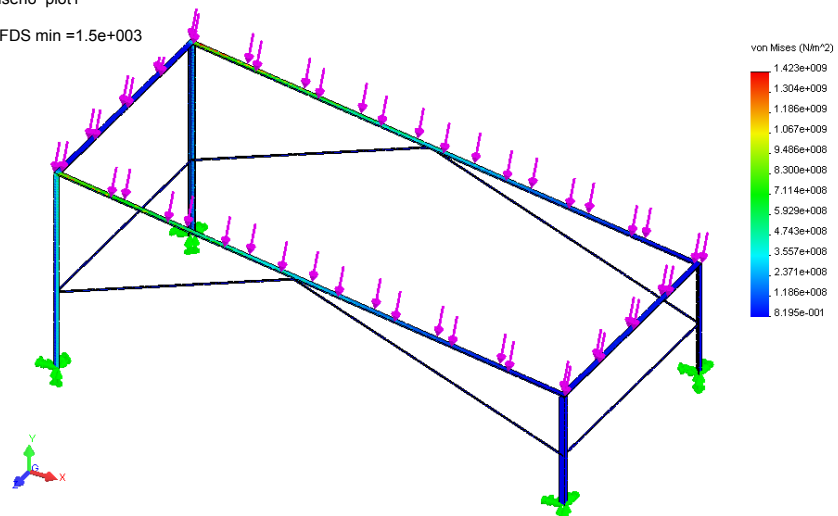


Figura 3.13 Simulación de tensiones del Soporte del Colector

Al haber realizado la simulación del soporte, se obtuvieron los resultados como se ven en la figura. El esfuerzo máximo se ve representado con el color rojo y no se encuentra presente. El menor esfuerzo, prácticamente nulo está representado por el color azul y se encuentra en la gran mayoría del soporte, por lo cual la probabilidad de falla del soporte es muy baja.

Nombre del modelo: Base Colector
Nombre de estudio: estudio 1
Tipo de resultado: Desplazamiento estático plot1
Escala de deformación: 15000

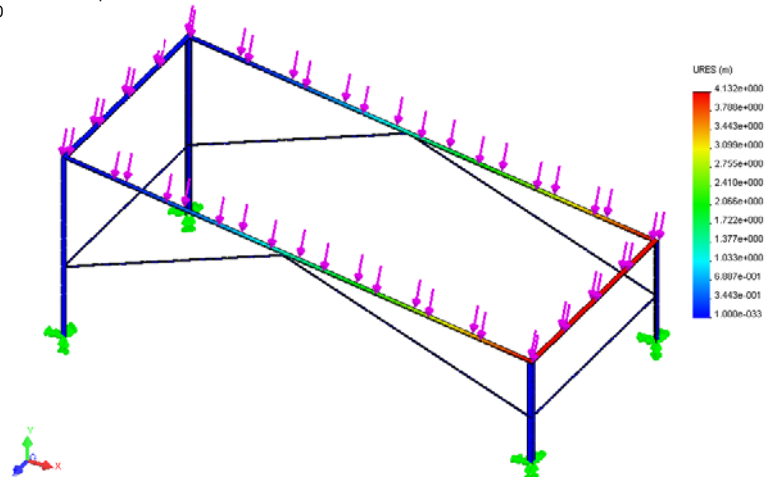


Figura 3.14 Desplazamientos del Soporte del Colector

En esta figura podemos observar los desplazamientos que el soporte tiende a sufrir al ser aplicada la carga del colector. De esta manera se puede observar que al ser aplicada la carga la platina tiende a desplazarse en la parte inferior debido a la inclinación del soporte.

Nombre del modelo: Base Colector
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Desplazamiento estático plot5

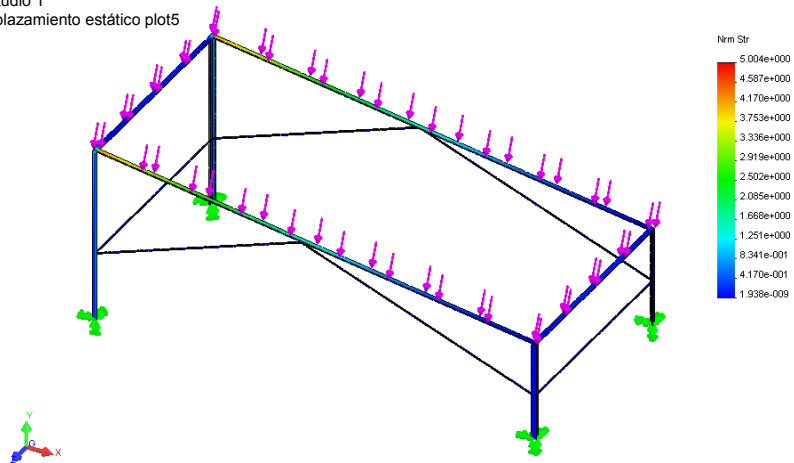


Figura 3.15 Verificación de diseño del soporte del colector

Por último realizamos la verificación de Diseño, en la cual podemos observar que el soporte no va a presentar fallas, lo que se puede ver por su marcado color azul.

CAPITULO 4

CONSTRUCCION DEL COLECTOR SOLAR PLANO

4.1 ORGANIGRAMAS DE PROCESO

Por facilidad de dibujo, los organigramas de procesos fueron elaborados en Auto CAD, y se encuentran en el anexo A

4.2 SECUENCIA DE CONSTRUCCIÓN

Con el fin de construir los colectores solares, soportes y tanque acumulador es necesaria una gran variedad de equipos, los cuales se detallan a continuación.

- Dobladora Manual Universal “Edwards Truefold” Modelo 612U/CFOLD
- Guillotina para Acero, “Edwards” Modelo 3.25/2000DC, con una capacidad de 2015x3.25mm.
- Sueda eléctrica, “TransArc AC 330”, de tipo SMAW. 330 A, 220V.
- Sueda Oxiacetilénica
- Flexómetro Stanley 5m
- Escuadra Stanley
- Sierra de Arco Manual
- Remachadora Stanley

A continuación presentamos una tabla detallada de los elementos que se usan en el desarrollo del presente proyecto:

Tabla 4.1 Tabla de Elementos del Sistema Térmico

CODIGO	PARTE	DESCRIPCION DE LA PARTE	MATERIAL
COL001	Perfil Lateral	Perfil a ser utilizado en la construcción del Colector (x 2)	Tool Galvanizado
COL002	Perfil Superior	Perfil a ser utilizado en la construcción del Colector	Tool Galvanizado

Tabla 4.1 Continuación

COL003	Perfil Inferior	Perfil a ser utilizado en la construcción del Colector	Tool Galvanizado
COL004	Plancha Base	Plancha Base de la Caja Colectora	Tool Galvanizado
COL005	Placa Absorbadora	Placa Absorbadora de Calor Negra	Aluminio
COL006	Armazón	Armazón armado con los diversos Perfiles	Tool Galvanizado
COL007	Caja Protectora	Armazón + Plancha Base	Varios
TUB001	Tubería de 1/2"	Tubería de Cobre Tipo M de 1/2"	Cobre
TUB002	Tubería de 1"	Tubería de Cobre Tipo M de 1"	Cobre
COL008	Parrilla Colectora	Parrilla de Cobre para Recolectar Calor	Cobre
COL009	Vidrio	Vidrio Templado de 4mm	Vidrio
COL010	Caja Colectora	Ensamble Sin el Vidrio	Varios
COL011	Colector	Ensamble Total del Colector	Varios
SPC001	Perfil de Soporte 1	Perfil de Soporte	Acero A36
SPC002	Perfil de Soporte 2	Perfil de Patas	Acero A36
SPC003	Refuerzo	Alma de Varilla cuadrada de 5mm	Acero A36
SPC004	Soporte del Colector	Soporte del Colector Solar	Acero A36
SPT001	Arco de Platina	Arco de Platina Adelca	Acero A36
SPT002	Patas del Soporte	Patas del Soporte de Perfil de Tubo Cuadrado (x 4)	Acero A36
SPT003	Alma Larga del Soporte	Almas Largas del Soporte de Perfil de Tubo Cuadrado (x 2)	Acero A36
SPT004	Alma Corta del Soporte	Almas Cortas del Soporte de Perfil de Tubo Cuadrado (x 4)	Acero A36
SPT005	Soporte del Tanque	Soporte del Tanque Acumulador	Acero A36
TAN001	Plancha de Acero	Plancha de Acero AISI 302	Acero AISI 302
TAN002	Plancha de Tool	Plancha de Tool Galvanizado	Tool Galvanizado

Tabla 4.1 Continuación

TAN003	Acero Barolado	Plancha de Acero AISI 302 Cortada a medida y Barolada	Acero AISI 302
TAN004	Tool Barolado	Plancha de Tool Galvanizado Cortada a medida y Barolada	Tool Galvanizado
TAN005	Tapas de Acero	Tapas de Acero Prensadas con una Matriz Elíptica	Acero AISI 302
TAN006	Flautas Cortas	Flautas de 1/2" cortas (x 3)	Tubería Galvanizada
TAN007	Flauta Larga	Flauta de 1/2" Larga	Tubería Galvanizada
TAN008	Tanque Interno	Tanque Interno de Acero AISI 302 Soldado	Varios
TAN009	Tapas de Tool	Tapas de Tool realizadas por Repujado	Tool Galvanizado
TAN010	Tanque Externo	Tanque Externo de Tool Galvanizado Remachado	Tool Galvanizado
SIS001	Colector Completo	Colector + Soporte del Colector	Varios
SIS002	Tanque Completo	Tanque + Soporte del Tanque	Varios
SIS003	Sistema de Control	Sistema de Instrumentación del Sistema	Varios
SIS004	Sistema Hidráulico	Conexiones Hidráulicas para la circulación de Agua	Tubería Plastigama
REV001	Poliuretano	Aislamiento de Poliuretano Inyectado	Poliuretano
REV002	Lana de Vidrio	Aislamiento de Lana de Vidrio	Lana de Vidrio
MES001	Mesa	Mesa para albergar el Sistema de Control de las Variables	Varios
CDC001	Caja de Madera	Caja de Control que Albergara la Instrumentación	Madera
CDC002	Rotámetro	Rotámetro Marca Omega que nos permite regular el Caudal	Acrílico
CDC003	Medidor de Temperatura	Medidor Solar de Temperatura Marca Omega (x 4)	Varios
CDC004	Caja de Control	Caja de Control Ensamblada con la Instrumentación	Varios
BMB001	Bomba	Bomba de 1/2 hp para realizar una circulación forzada	Varios
BMB002	Soporte para la Bomba	Soporte para la Bomba de 1/2 hp en tubo rectangular	Varios
BMB003	Visera	Visera para evitar que la Bomba sea afectada por la lluvia	Varios

4.2.1 SECUENCIA DE CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR SOLAR:

Lo primero que se va a construir es la caja protectora del colector solar para lo cual es necesaria la elaboración de un perfil, con tool galvanizado de 1/32", como se muestra en la figura a continuación.

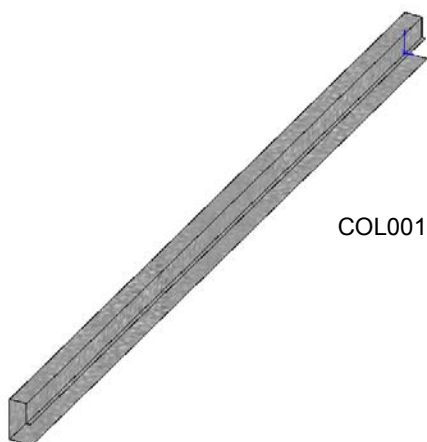


Figura 4.1 Perfil lateral del Colector Solar

Se deben realizar 4 perfiles de longitudes determinadas, detalladas en los planos, para poder realizar el armado de la caja protectora como se muestra en la figura. Se procede a unir los 4 perfiles con una suelda eléctrica utilizando electrodos AGA 6011.

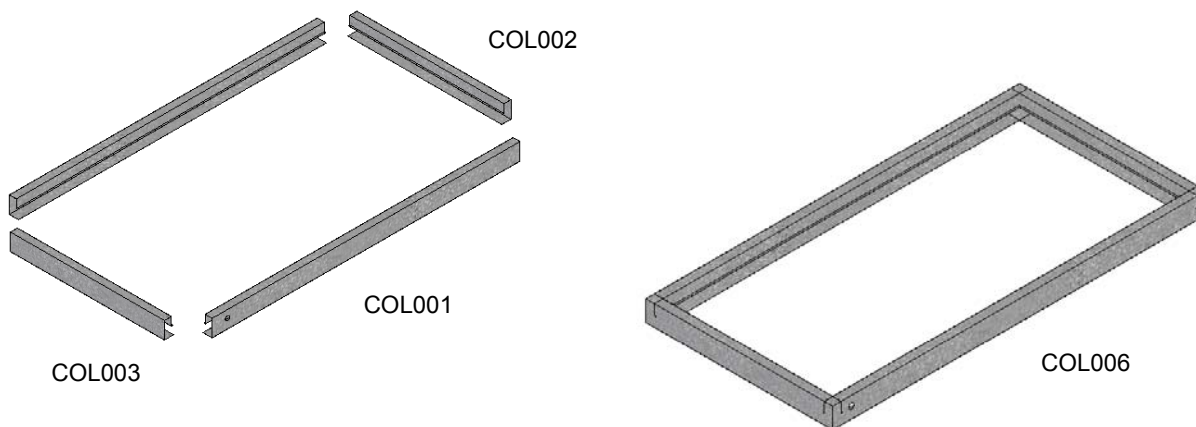


Figura 4.2 Ensamble de los perfiles.

Por último cortamos la plancha de tool galvanizado a la medida de la ceja interior inferior y la insertamos como se muestra a continuación.

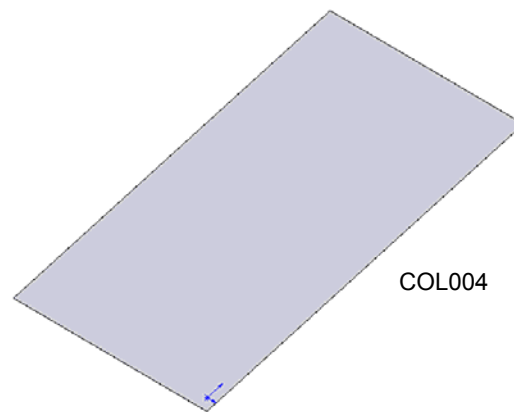


Figura 4.3 Plancha Base de la Caja Colectora

Procedemos a unir la caja protectora con la placa base con remaches

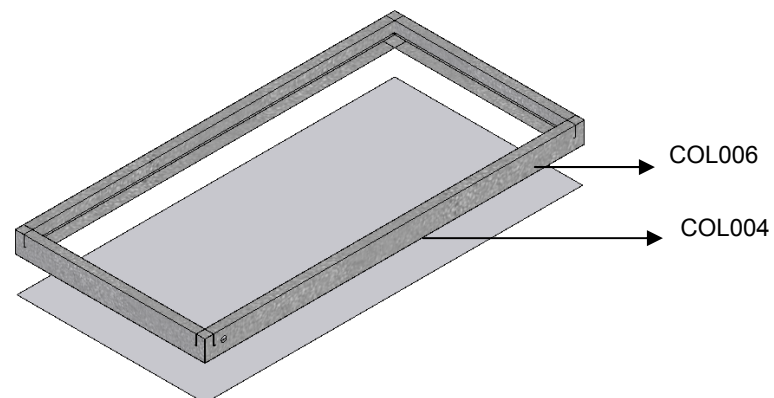


Figura 4.4 Despiece de la Caja Protectora del Colector

Procedemos a instalar la placa absorbidora, de aluminio, la cual es cortada en una cortadora de tool, y posteriormente pintada con un compresor de color negro mate ANTIOX, la cual es una pintura anticorrosiva, de alta resistencia a la temperatura. Como se muestra en la figura.

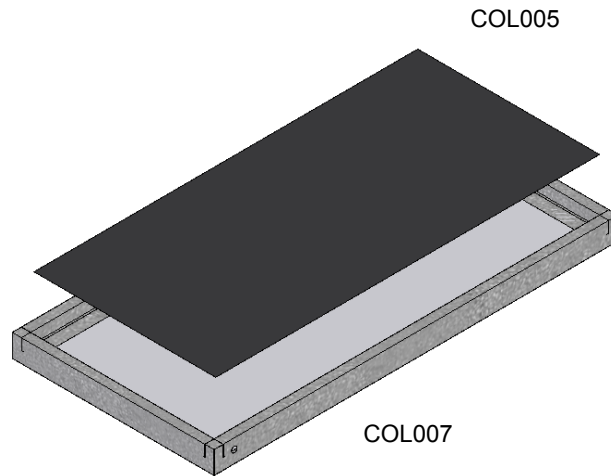


Figura 4.5 Despiece de la Caja Protectora y Placa absorbidora

Posteriormente debemos colocar la parrilla colectora de calor que es un intercambiador de calor de tubería de cobre, que transforma la radiación en calor útil que es absorbido por el agua. En su construcción se necesitaron:

- Tubería de Cobre de 1 pulg Tipo M
- Tubería de Cobre de ½ pulg Tipo M
- Varillas SP15 de Plata al 15%
- Fundente

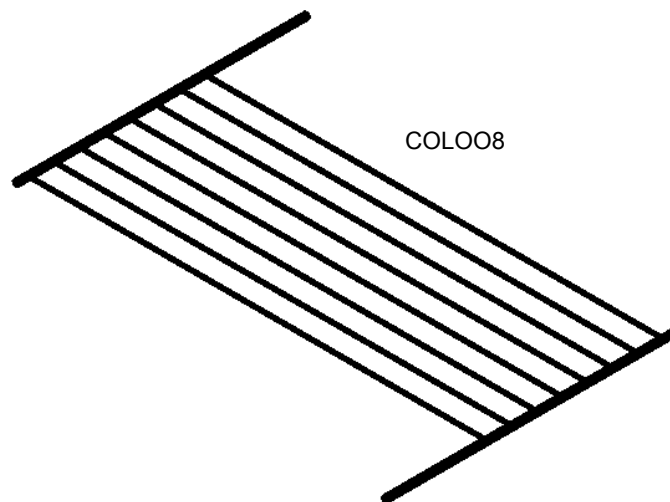


Figura 4.6 Parrilla Colectora

La parrilla colectora mencionada anteriormente fue soldada mediante suelda oxiacetilénica.

Se procede a ensamblar la estructura con la parrilla colectora.

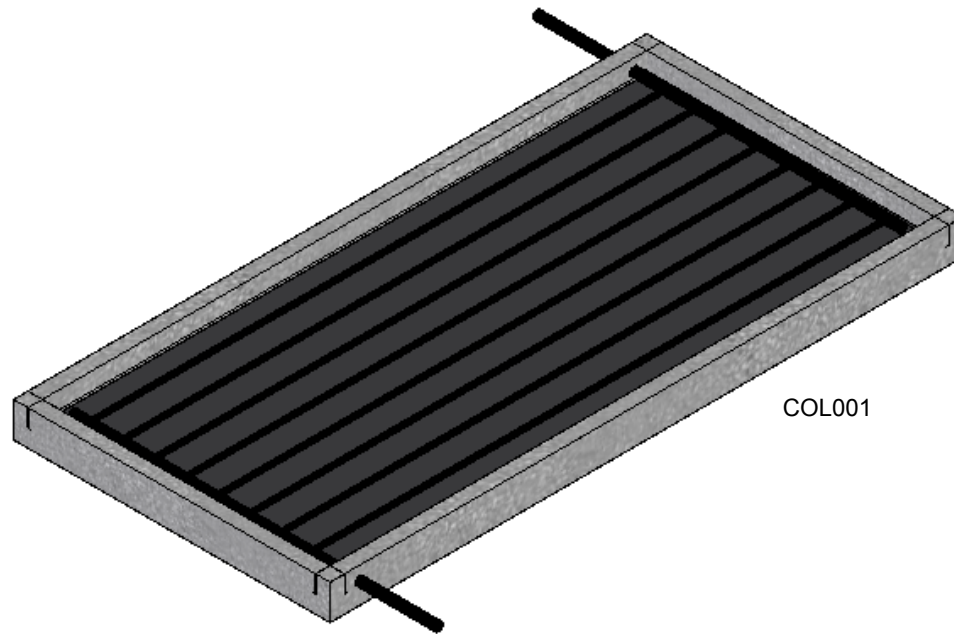


Figura 4.7 Ensamblaje de la Caja Protectora, Placa Absorbadora y Parrilla Colectora

Una vez realizado el ensamble se procede a la instalación del vidrio templado, el cual fue fabricado en la empresa INDUVIT S.A., de acuerdo a las medidas especificadas. Se utilizó Silicón transparente para asegurar la cubierta transparente y evitar pérdidas de calor por el efecto invernadero existente y evitar el ingreso de elementos externos al sistema, como puede ser agua de lluvia, polvo, etc., que afectarían a la eficiencia del colector. El Silicón Transparente debe ser colocado con una pistola de Silicón, para asegurar una aplicación homogénea y poder asegurar un sellado permanente. El tiempo de secado del Silicón Transparente es de 1 hora para que el vidrio quede inmovilizado, y dos días para que se realice un sellado permanente de tal manera que se logre el propósito deseado.

Tabla 4.2 Elementos de un Colector Solar Plano

#	Código	Elemento
1	COL004	Plancha Base
2	COL006	Armazón
3	COL005	Placa Absorbedora
4	COL008	Parrilla Colectora
5	COL009	Vidrio Templado

A continuación la grafica del despiece total del colector

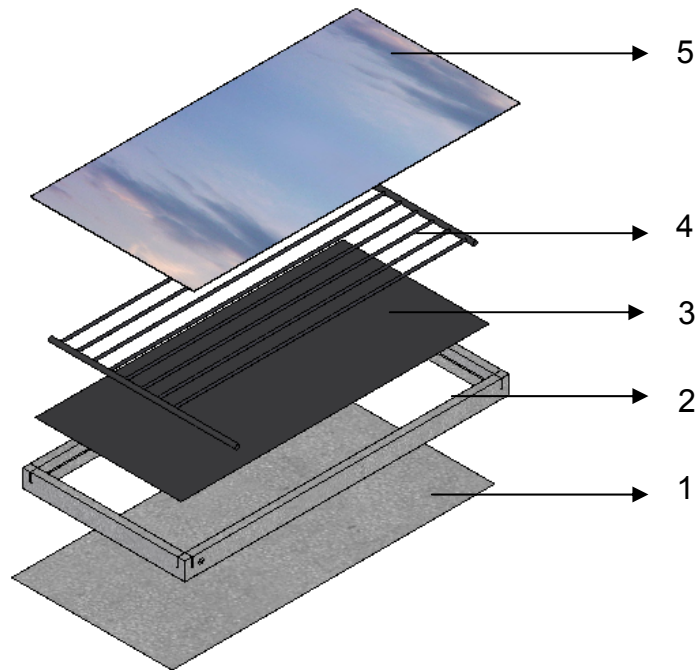


Figura 4.8 Despiece de los Elementos del Colector Solar

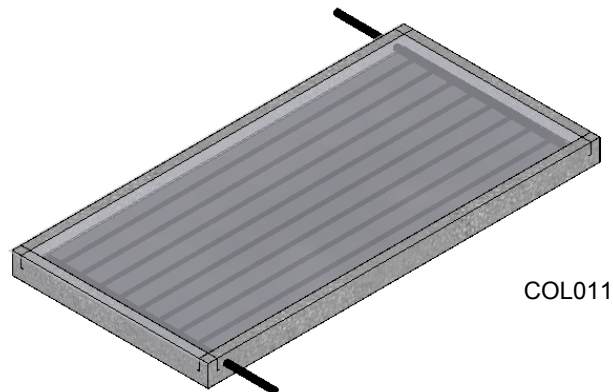


Figura 4.9 Colector Solar

4.2.2 SECUENCIA DE CONSTRUCCIÓN DEL SOPORTE DEL COLECTOR

Para la construcción del Soporte del Colector se utilizó ángulo de 20mm de acero A36. Se procede a cortar varios pedazos de las medidas que necesitemos para realizar nuestro soporte y se las soldó con varillas revestidas AGA 6011. Adicionalmente se necesito varilla cuadrada de 5mm, para darle una mayor rigidez a la estructura, quedando de la siguiente manera.

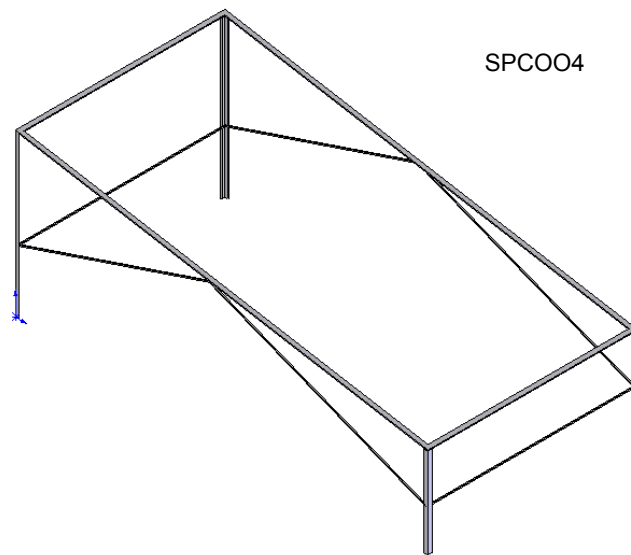


Figura 4.10 Soporte del Colector Solar

4.2.3 SECUENCIA DE CONSTRUCCIÓN DEL SOPORTE DEL TANQUE ACUMULADOR

Para la construcción del Soporte se utilizaron los siguientes materiales:

- Perfil Tubo Cuadrado de 40X40X1.2 mm.
- Platina de 40X5 mm
- Suelda eléctrica, "TransArc AC 330", de tipo SMAW. 330 A, 220V.
- Electrodo AGA 6011
- Masilla Plástica Mustang para autos.
- Pintura ANTIOX de color Gris

Para realizar la construcción procedemos a darle la forma semicircular a la platina mediante el proceso de barolado, obteniendo como resultado dos semicircunferencias de la siguiente forma:

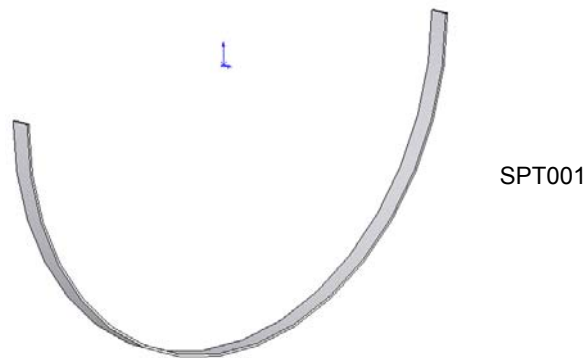


Figura 4.11 Arco de Platina 40X5 mm

Procedemos a cortar el perfil cuadrado con una sierra de arco a las medidas establecidas en los planos de diseño, la estructura es soldada con electrodos revestido AGA 6011, con la cautela de utilizar una escuadra para evitar que la estructura este descuadrada. El resultado de la estructura unida los arcos o semicircunferencias de platina es la siguiente.

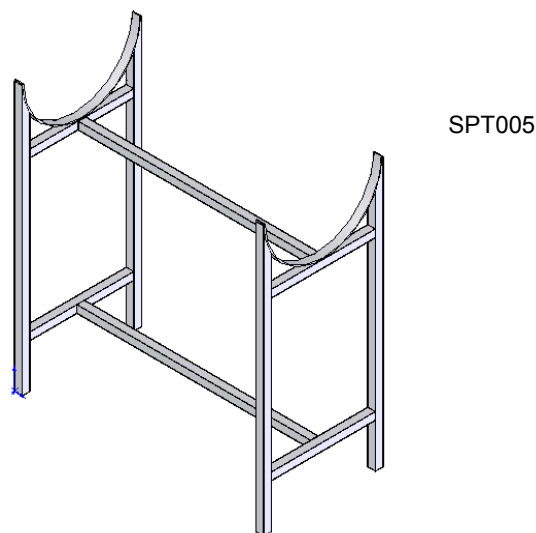


Figura 4.12 Soporte del Tanque Acumulador

Posteriormente masillamos el soporte, lijamos y pintamos con pintura plomo ANTIOX.

4.2.4 SECUENCIA DE CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE ACUMULADOR

En la construcción del tanque utilizamos:

- Plancha de Acero AISI 302
- Plancha de Tool Galvanizado
- Tubo Galvanizado de ½"
- Electrodo con revestimiento AGA 6011

Para comenzar el proceso de construcción es necesario realizar un proceso de corte de la plancha de Acero AISI 302 a la medida necesaria. Seguimos con un proceso de barolado para darle la forma cilíndrica a la plancha de Acero. Adicionalmente se procede a realizar una soldadura en la unión del cilindro con electrodo revestido AGA 6011.

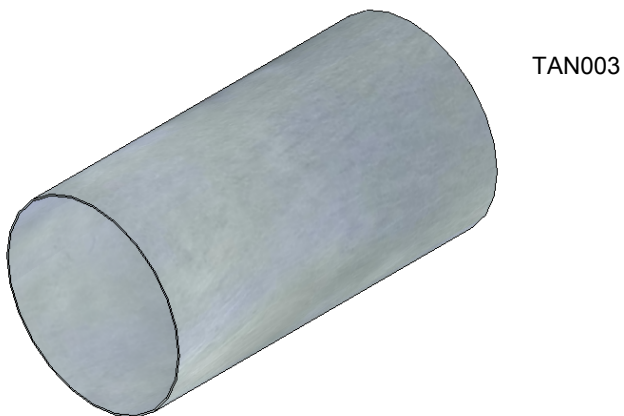


Figura 4.13 Cilindro barolado

Es necesario realizar las tapas del tanque, las cuales se realizaron mediante el proceso de prensado con una matriz obteniendo como resultado unas tapas de forma elíptica, las cuales se sueldan al resto del tanque. Se realizaron

perforaciones en las tapas con la finalidad de permitir el ingreso de las flautas de $\frac{1}{2}$ ", que nos permitirán realizar la circulación de entrada y salida del líquido.

TAN005

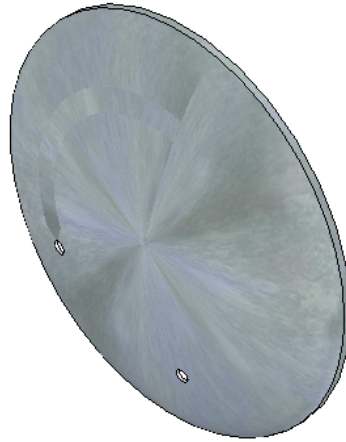


Figura 4.14 Tapa elíptica del tanque

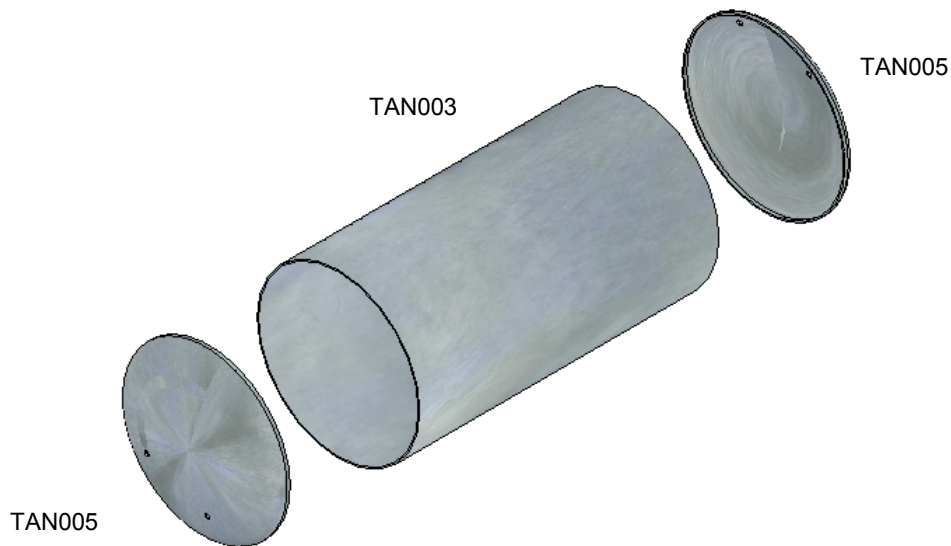


Figura 4.15 Despiece del Tanque Acumulador

Posteriormente debemos ubicar las flautas en sus posiciones indicadas y soldarlas a las tapas del tanque, para evitar que se desplacen y que existan fugas. Una flauta tiene perforaciones a lo largo de su longitud, siendo más extensa que las demás, con el fin de obtener un efecto de mezclado del líquido a lo largo de su

trayectoria. Para esto necesitamos 3 flautas de 30 cm de largo y una flauta de 50 cm de largo.

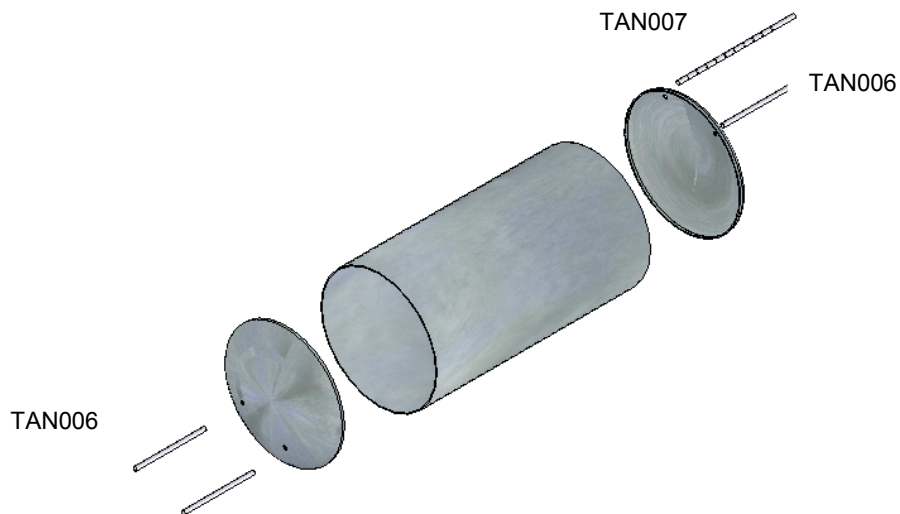


Figura 4.16 Despiece del Tanque Acumulador y Flautas

El resultado que obtenemos de todo esto es el siguiente:

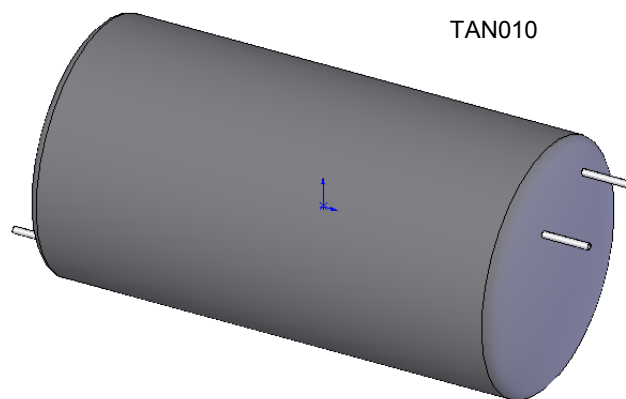


Figura 4.17 Tanque Acumulador

Se realizo una prueba hidráulica en el tanque con una presión de 100 Psi, para comprobar que no existiesen fugas de agua en el tanque.

Adicionalmente se realiza otro tanque, en acero galvanizado de 1/32", con medidas más grandes, y en sus uniones se utilizara remaches.

Las cabezas elípticas se realizaron mediante el proceso de repujado, debido a que no es posible su realización mediante el proceso de prensado por el poco espesor que tienen.

El tanque de tool Galvanizado recubrirá al tanque de Acero AISI 302, y en su intermedio se inyectara el aislante térmico, Poliuretano, encargado de proteger el sistema de pérdidas de calor.

4.3 PLANOS

Los planos concernientes a la construcción del sistema de homologación térmica se encuentran en el anexo B

4.4 DIAGRAMAS DE MONTAJE

El montaje se realizara por partes, y se detalla a continuación:

4.4.1 MONTAJE DEL COLECTOR SOLAR

Se realiza el montaje del Colector Solar, de la siguiente manera: Se ubica el Soporte del Colector Solar en el lugar en el cual será utilizado, siendo este lugar el Laboratorio de Energías Renovables del DECEM, ubicado en el tercer piso, la terraza, del edificio de Maquinas y Herramientas, y sobre este se coloca el Colector Solar. Como se muestra en las siguientes figuras:

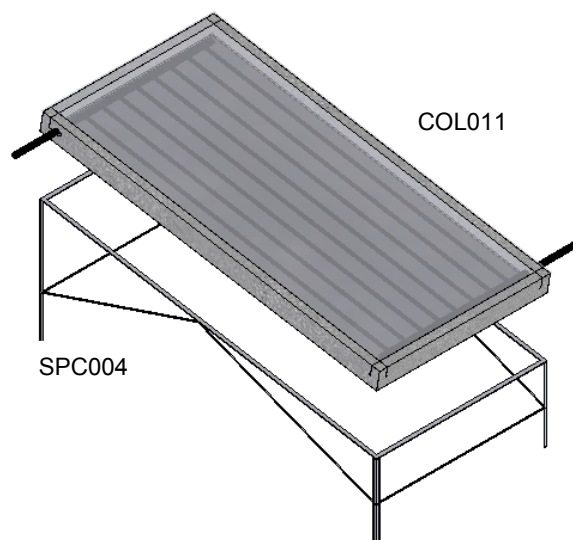


Figura 4.18a Montaje del Colector Solar en Proceso

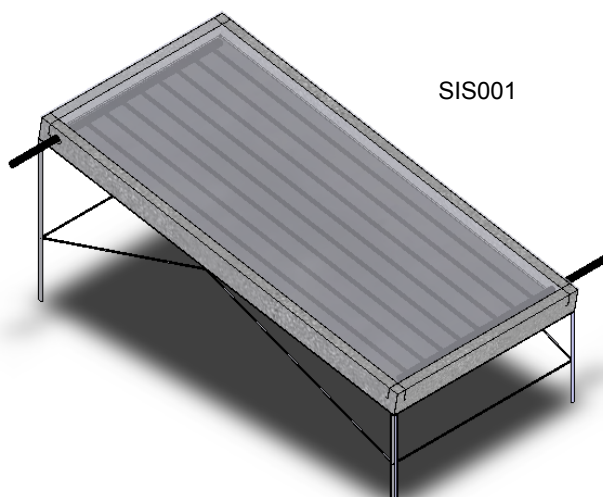


Figura 4.18b Colector Solar Terminado

4.4.2 MONTAJE DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Se procede a realizar el montaje del Tanque de Almacenamiento, para lo cual debemos ubicar el Soporte en el lugar en el cual será utilizado, siendo este lugar el Laboratorio de Energías Renovables del DECEM, ubicado en el tercer piso, la terraza, del edificio de Maquinas y Herramientas. A continuación ubicamos el Tanque de Almacenamiento vacío, sobre el soporte y lo colocamos en el soporte cuidando la alineación de dicho tanque. Como se detalla a continuación.

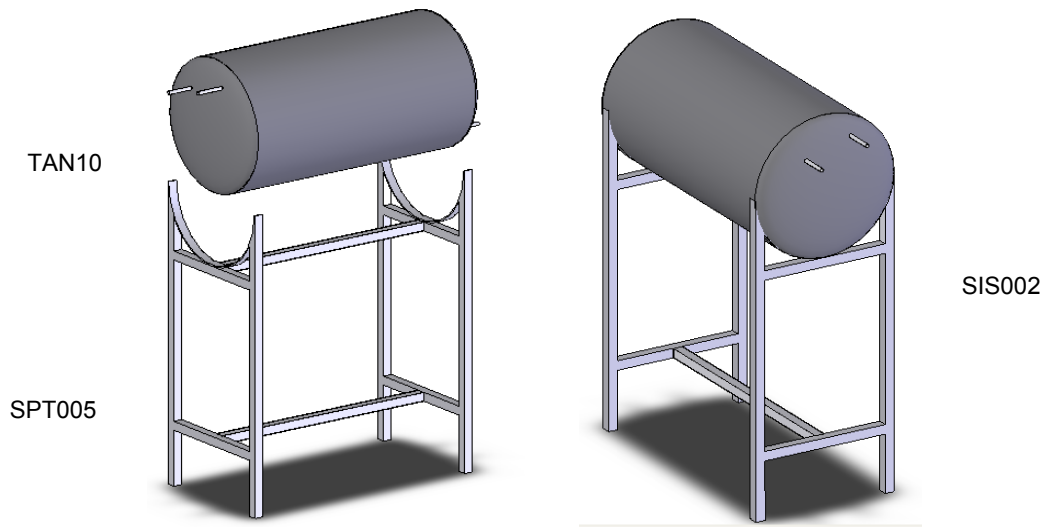


Figura 4.19a y 4.19b Montaje del Tanque Térmico

4.4.3 MONTAJE DEL SISTEMA DE CONTROL

El sistema de Control está compuesto de una mesa y una Caja de Control. La Caja de Control incluye 4 sensores digitales solares de temperatura y un Rotámetro. Se escogió esta disposición debido al alto costo de los equipos de instrumentación, razón por la cual se decidió que el sistema de instrumentación sea removible, como se indica a continuación

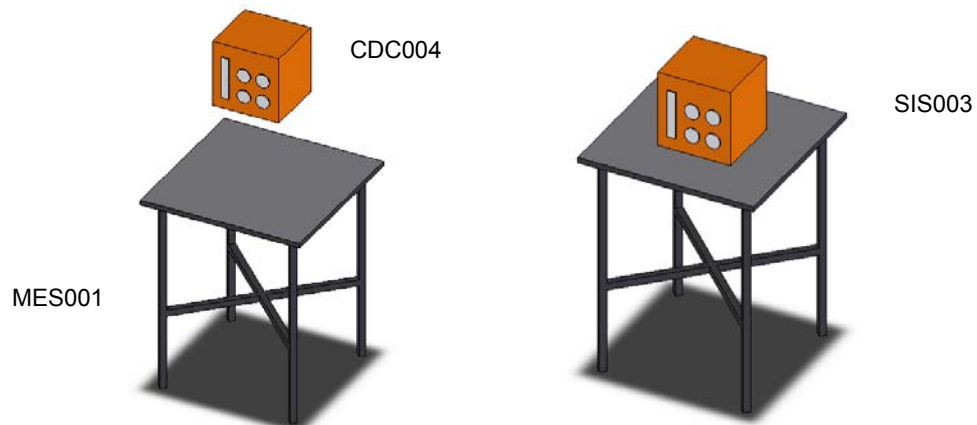


Figura 4.20a y 4.20b Montaje del Sistema de Control

4.4.4 MONTAJE DEL SISTEMA

Procedemos a ubicar los distintos elementos en sus posiciones como se detalla a continuación

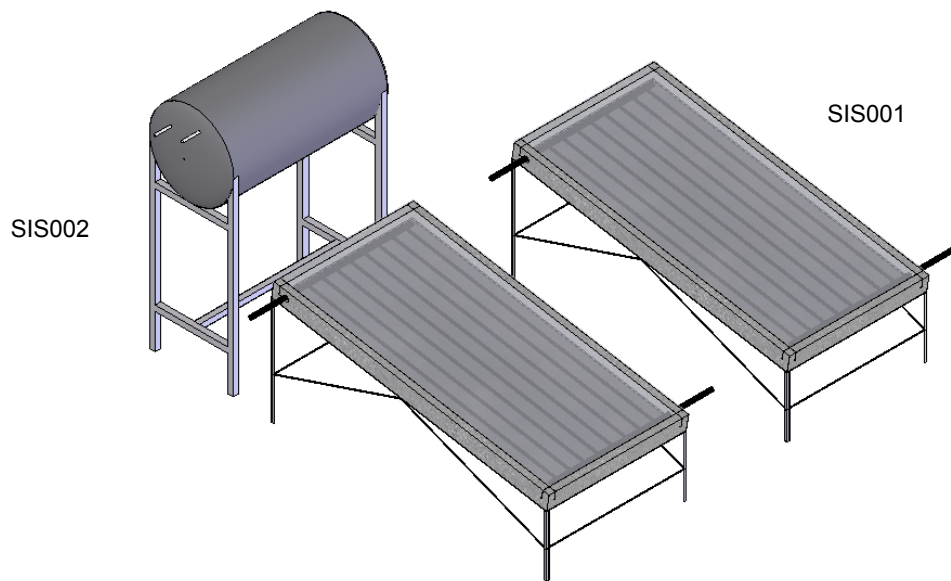


Figura 4.21 Emplazamiento de los Colectores y Tanque Acumulador

Agregamos el Soporte de la Bomba y la Bomba, como se detalla a continuación:



Figura 4.22 Ubicación y Montaje de la Bomba y su Soporte.

Agregamos el sistema de Control que contiene los sensores de temperatura y caudal, como se muestra a continuación:

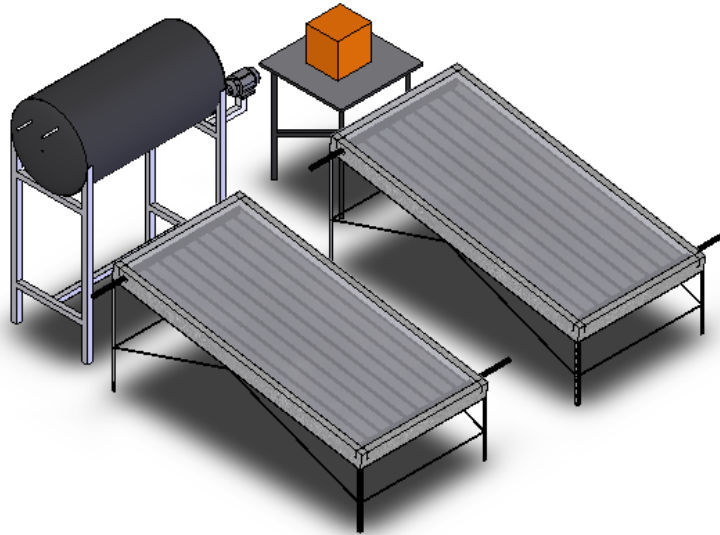


Figura 4.23 Emplazamiento del Sistema de Control

Por último procedemos a instalar el sistema hidráulico:

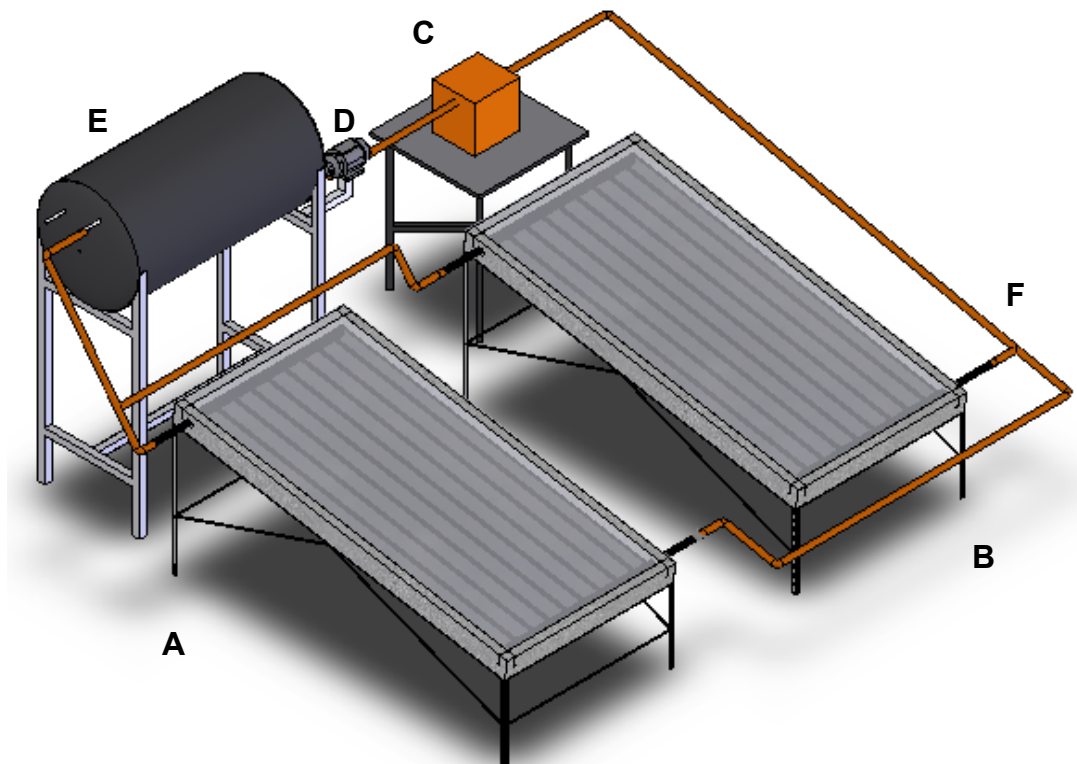


Figura 4.24 Montaje del Sistema Hidráulico

Tabla 4.3 Descripción de Partes del Sistema

Parte	Código	Descripción
A	SIS001	Colector Solar con Aislamiento Térmico de Poliuretano y Soporte
B	SIS001	Colector Solar con Aislamiento Térmico de Lana de Vidrio y Soporte
C	SIS003	Sistema de Control
D	BMB001	Bomba de Agua
E	SIS002	Tanque Completo y Soporte
F	SIS004	Sistema Hidráulico

4.5 IMPLEMENTACION DE LA INSTRUMENTACION

La Instrumentación del sistema está compuesta por un flujómetro FI-2068 de la marca Omega, el cual fue detallado en la sección 3.2.1, fotografía 3.1 (Pág. 63 – 64), y 4 Termómetros Digitales DP752C-96-SLR, los cuales han sido detallados en la sección 3.2.2, fotografía 3.2 (Pág. 64 – 65), habiendo sido debidamente calibrados en el laboratorio de Termodinámica con el banco de Temperaturas.

Estos sensores fueron colocados en la Caja de Control CDC004, y se utilizó un sistema que nos permita retirar los sensores con facilidad, debido a que el equipo es susceptible a robo por su ubicación, protegiendo así los intereses de la Escuela Politécnica del Ejército.

El montaje del Equipo mencionado se encuentra detallado en la sección 4.4.3, figura 4.20a y 4.20b (Pág. 103), correspondiente a “Montaje del Sistema de Control”.

CAPITULO 5.

PRUEBAS

5.1 DATOS

La toma de datos se lo realizo en la temporada de invierno específicamente del martes 23 al 31 de Octubre del 2007.

5.1.1 DATOS DE IRRADIACIÓN

Se efectúo la toma en estos días porque las horas de radiación directa son escasas en invierno debido a que las nubes oscuras no permiten el paso de la radiación, disminuyendo la eficiencia en los colectores. Es importante mencionar que en días no claros los colectores solares también actúan debido a la radiación difusa, la cual va en todas direcciones, como consecuencia del reflejo con las nubes, y el albedo que es el reflejo con los objetos de la tierra.

Tabla 5.1 Amperaje e Irradiancia

	MARTES 23		MIÉRCOLES 24	
TIEMPO	AMPERAJE	IRRADIANCIA	AMPERAJE	IRRADIANCIA
(HORA)	(A)	W/m ²	(A)	W/m ²
9:00	1,48	453,99	2,93	898,77
9:10	2,92	895,71	3,13	960,12
9:20	3,17	972,39	3,01	923,31
9:30	3,12	957,06	3,29	1009,20
9:40	3,52	1079,75	3,32	1018,40
9:50	3,51	1076,69	3,00	920,25
10:00	3,49	1070,55	3,66	1122,70
10:10	3,50	1073,62	3,76	1153,37
10:20	3,56	1092,02	3,56	1092,02

Tabla 5.1 Continuación

10:30	3,63	1113,50	3,58	1098,16
10:40	3,84	1177,91	3,00	920,25
10:50	4,04	1239,26	1,76	539,88
11:00	4,21	1291,41	4,28	1312,88
11:10	4,21	1291,41	3,01	923,31
11:20	4,31	1322,09	3,69	1131,90
11:30	0,85	260,74	3,14	963,19
11:40	0,56	171,78	3,16	969,33
11:50	0,17	52,15	0,97	297,55
12:00	0,11	33,74	0,76	233,13
12:10			0,74	226,99

Tabla 5.1 Continuación

	JUEVES 25		VIERNES 26	
TIEMPO	AMPERAJE	IRRADIANCIA	AMPERAJE	IRRADIANCIA
(HORA)	(A)	W/m ²	(A)	W/m ²
9:00	1,48	453,99	2,81	861,96
9:10	1,11	340,49	2,92	895,71
9:20	2,99	917,18	3,00	920,25
9:30	2,91	892,64	3,08	944,79
9:40	2,91	892,64	3,14	963,19
9:50	3,00	920,25	3,24	993,87
10:00	3,23	990,80	3,28	1006,13
10:10	3,09	947,85	3,34	1024,54
10:20	3,12	957,06	3,36	1030,67
10:30	3,22	987,73	3,38	1036,81
10:40	3,02	926,38	3,41	1046,01
10:50	3,11	953,99	3,44	1055,21
11:00	2,75	843,56	3,44	1055,21
11:10	2,84	871,17	3,46	1061,35
11:20	3,63	1113,50	3,53	1082,82
11:30	3,62	1110,43	3,53	1082,82
11:40	3,57	1095,09	3,45	1058,28
11:50	3,60	1104,29	3,51	1076,69
12:00	3,23	990,80	3,48	1067,48

Tabla 5.1 Continuación

12:10	3,65	1119,63	3,33	1021,47
12:20	3,67	1125,77	3,53	1082,82
12:30	3,52	1079,75	3,43	1052,15
12:40	3,58	1098,16	3,41	1046,01
12:50	3,50	1073,62	3,33	1021,47
13:00	3,51	1076,69	3,47	1064,42
13:10	3,57	1095,09	2,36	723,93
13:20	3,49	1070,55	3,11	953,99
13:30	3,41	1046,01	3,61	1107,36
13:40	3,74	1147,24	1,09	334,36
13:50	3,80	1165,64	1,40	429,45
14:00	1,22	374,23		
14:10	2,24	687,12		
14:20	2,00	613,50		
14:30	2,46	754,60		

Tabla 5.1 Continuación

	LUNES 29		MARTES 30		MIÉRCOLES 31	
TIEMPO (HORA)	AMPERAJE (A)	IRRADIANCIA W/m ²	AMPERAJE (A)	IRRADIANCIA W/m ²	AMPERAJE (A)	IRRADIANCIA W/m ²
9:00	3,02	926,38	1,75	536,81	1,00	306,75
9:10	3,04	932,52	2,00	613,50	0,97	297,55
9:20	3,17	972,39	1,25	383,44	1,29	395,71
9:30	3,28	1006,13	1,46	447,85	1,22	374,23
9:40	3,52	1079,75	1,20	368,10	0,97	297,55
9:50	3,05	935,58	1,26	386,50	0,76	233,13
10:00	3,04	932,52	1,51	463,19	0,72	220,86
10:10	3,16	969,33	1,23	377,30	1,60	490,80
10:20	3,24	993,87	1,25	383,44	1,64	503,07
10:30	3,32	1018,40	1,35	414,11	1,63	500,00
10:40	3,28	1006,13	1,22	374,23	2,11	647,24
10:50	3,73	1144,17	1,95	598,16	2,90	889,57
11:00	3,10	950,92	2,84	871,17	1,91	585,89
11:10	0,78	239,26	2,07	634,97	1,80	552,15
11:20	1,27	389,57	2,00	613,50	1,89	579,75
11:30	3,73	1144,17	4,29	1315,95	2,27	696,32
11:40	3,57	1095,09	3,82	1171,78	2,59	794,48
11:50	3,69	1131,90	4,04	1239,26	3,19	978,53

Tabla 5.1 Continuación

12:00	1,28	392,64	2,37	726,99	2,23	684,05
12:10	3,56	1092,02	1,71	524,54	1,55	475,46
12:20	3,49	1070,55	1,01	309,82	1,16	355,83
12:30	3,47	1064,42	0,84	257,67	1,13	346,63
12:40	0,89	273,01	0,72	220,86	1,16	355,83
12:50	3,17	972,39	0,77	236,20		
13:00	3,16	969,33				
13:10	0,56	171,78				

En los datos obtenidos en la tabla 5.1, se presentan diversos valores, hasta diversas horas dependiendo del día, en los cuales la hora de finalización variaba debido a la presencia de factores externos que evitaban la toma de datos, como por ejemplo la lluvia.

Para la toma de datos de la Irradiancia se utilizó un equipo, facilitado por el Laboratorio de Energías No Convencionales del DECEM, llamado Célula Fotovoltaica, el cual nos permite convertir la Energía Solar en Energía Eléctrica Continua, de tal manera que podemos medir el amperaje continuo de dicha maquina, y a partir de esto mediante un simple cálculo podemos saber la irradiancia del sol, como se indica en el ejemplo de cálculo siguiente:



Fotografía 5.1 Modulo Fotovoltaico

$$1000\text{w/m}^2 = 3,26\text{A}$$

$$Irradiancia = \frac{1,90}{3,26} * 1000 = 582.82 \left(\frac{W}{m^2}\right) \quad (5.1)$$

En la Figura 5.1 podemos ver el equipo facilitado por el Laboratorio de Energías No Convencionales del DECEM, el cual presenta una inclinación regulable, establecida en un valor de inclinación paralela a la de los colectores solares planos (aprox. 10°), para poder tomar un dato más exacto.

Para los cálculos que se realizaran próximamente se utilizara un valor promedio de irradiancia puntuales con el fin de tener cálculos más exactos

$$I = 813,55 \frac{W}{m^2}$$



Fotografía 5.2 Multímetro Omegaette Marca Omega

En la figura 5.2 nos encontramos con un “Multímetro Digital Omegaette” de la Marca Omega, que nos presenta valores puntuales de Amperaje Instantáneos, los cuales tomamos cada 10 minutos.

5.1.2 DATOS DE TEMPERATURA Y CAUDAL

El proceso de recolección de datos de temperatura y caudal se lo realizo con intervalos de tiempo de 10min y va acompañada con la recolección de datos de Irradiación. Los días que no tienen muchos datos fueron porque las condiciones ambientales como frio, días nublados e inicio de lluvia no permitieron concluir con la recolección de datos.

Las temperaturas que intervinieron en la toma de datos son los siguientes:

- Temperatura Ambiente
- Temperatura de entrada en los colectores
- Temperatura de salida en los colectores
- Caudal

Tabla 5.2 Datos de Temperatura y Caudal

ITEM	HORA	CAUDAL	TEMP. AMBIENTE	TEMP. ENTRADA COLECTOR	TEMP. SALIDA POLIURETANO	TEMP. SALIDA LANA DE VIDRIO
N°	H:min	L/min	(Ta) °C	(Te) °C	(Tp) °C	(Tv) °C
1	11:10	1,200	17,50	33,00	38	46
2	11:20	1,200	18,10	34,00	39	47
3	11:30	1,200	18,30	32,00	40	49
4	11:40	1,200	18,80	29,00	42	50
5	11:50	1,200	18,70	31,00	43	51
6	12:00	1,200	19,30	32,00	45	53
7	12:10	1,200	18,90	34,00	46	54
8	12:20	1,200	19,30	33,00	47	56
9	12:30	1,200	19,10	35,00	49	56
10	12:40	1,200	18,40	35,00	50	56
11	12:50	1,200	18,40	34,00	51	58
12	13:00	1,200	16,80	35,00	52	58

Tabla 5.2 Continuación

13	13:10	1,200	16,30	30,00	53	56
14	13:20	1,200	15,50	32,00	53	58
15	13:30	1,200	13,00	32,00	54	60

Fecha: Martes 23 de Octubre del 2007

Lugar: Laboratorio de Energías No Convencionales

Tabla 5.3 Datos de Temperatura y Caudal

ITEM	HORA	CAUDAL	TEMP. AMBIENTE	TEMP. ENTRADA COLECTOR	TEMP. SALIDA POLIURETANO	TEMP. SALIDA LANA DE VIDRIO
N°	H:min	L/min	(Ta) °C	(Te) °C	(Tp) °C	(Tv) °C
1	10:00	2,000	28,00	29	43	40
2	10:10	2,000	28,00	31	42	39
3	10:20	2,000	26,00	31	42	40
4	10:30	2,000	29,00	32	43	41
5	10:40	2,000	25,00	33	43	40
6	10:50	2,000	27,00	33	42	40
7	11:00	2,000	29,00	35	47	43
8	11:10	2,000	28,00	36	49	45
9	11:20	2,000	29,00	36	51	46
10	11:30	2,000	30,00	37	56	50
9	11:40	2,000	30,00	35	55	49
10	11:50	2,000	29,00	34	56	49
11	12:00	2,000	30,00	34	55	48
12	12:32	2,000	25,00	34	56	50
4	13:10	2,000	22,00	35	58	54
5	13:20	2,000	25,00	36	58	55
6	13:30	2,000	28,00	37	59	56
7	13:40	2,000	37,00	37	59	57
8	13:50	2,000	36,00	39	60	57
9	14:00	2,000	34,00	40	62	58

Fecha: Miércoles 24 de Octubre del 2007

Lugar: Laboratorio de Energías No Convencionales

Tabla 5.4 Datos de Temperatura y Caudal

ITEM	HORA	CAUDAL	TEMP. AMBIENTE	TEMP. ENTRADA COLECTOR	TEMP. SALIDA POLIURETANO	TEMP. SALIDA LANA DE VIDRIO
N°	H:min	L/min	(Ta) °C	(Te) °C	(Tp) °C	(Tv) °C
1	9:00	2,00	19,00	24	33	23
2	9:10	2,00	19,00	24	31	23
3	9:20	2,00	22,00	26	36	26
4	9:30	2,00	23,00	28	38	28
5	9:40	2,00	25,00	29	39	29
6	9:50	2,00	25,00	30	41	30
7	10:00	2,00	23,00	28	39	29
8	10:10	2,00	24,00	30	44	32
9	10:20	2,00	28,00	31	45	33
10	10:30	2,00	29,00	32	46	34
11	10:40	2,00	28,00	31	48	30
12	10:50	2,00	27,00	31	50	46
13	11:00	2,00	29,00	35	47	42
14	11:10	2,00	28,00	30	49	46
15	11:20	2,00	25,00	31	52	48
16	11:30	2,00	30,00	32	55	50
17	11:40	2,00	32,00	33	58	53
18	11:50	2,00	27,00	34	58	53
19	12:00	2,00	30,00	35	58	54
20	12:10	2,00	30,00	35	60	55
21	12:20	2,00	33,00	35	63	57
22	12:30	2,00	28,00	36	65	57
23	12:40	2,00	27,00	35	66	60
24	12:50	2,00	30,00	37	66	60
25	13:00	2,00	28,00	37	67	60
26	13:10	2,00	33,00	39	70	61
27	13:20	2,00	31,00	40	75	60
28	13:30	2,00	32,00	41	75	62
29	13:40	2,00	32,00	42	78	64
30	13:50	2,00	34,00	43	78	66
31	14:00	2,00	26,00	39	70	58
32	14:10	2,00	28,00	38	70	61
33	14:20	2,00	28,00	38	70	59
34	14:30	2,00	28,00	39	70	60

Fecha: Jueves 25 de Octubre del 2007

Lugar: Laboratorio de Energías No Convencionales

Tabla 5.5 Datos de Temperatura y Caudal

ITEM	HORA	CAUDAL	TEMP. AMBIENTE	TEMP. ENTADA COLECTOR	TEMP. SALIDA POLIURETANO	TEMP. SALIDA LANA DE VIDRIO
N°	H:min	L/min	(Ta) °C	(Te) °C	(Tp) °C	(Tv) °C
1	9:50	2,00	26,00	27	61	64
2	10:00	2,00	30,00	29	44	46
3	10:10	2,00	30,00	27	39	40
4	10:20	2,00	32,00	28	41	42
5	10:30	2,00	32,00	33	42	43
6	10:40	2,00	29,00	35	43	45
7	10:50	2,00	32,00	36	44	46
8	11:00	2,00	33,00	38	46	48
9	11:10	2,00	34,00	39	47	49
10	11:20	2,00	32,00	40	49	50
11	11:30	2,00	29,00	42	50	51
12	11:40	2,00	31,00	43	51	52
13	11:50	2,00	32,00	45	53	54
14	12:00	2,00	34,00	46	54	55
15	12:10	2,00	33,00	47	56	57
16	12:20	2,00	35,00	49	56	57
17	12:30	2,00	35,00	50	56	59
18	12:40	2,00	34,00	51	58	59
19	12:50	2,00	35,00	52	58	59
20	13:00	2,00	30,00	53	56	57
21	13:10	2,00	32,00	53	58	60
22	13:20	2,00	32,00	54	60	61
23	13:30	2,00	33,00	55	66	60
24	13:40	2,00	35,00	57	69	62
25	13:50	2,00	34,00	58	70	64
26	14:00	2,00	34,00	58	68	62
27	14:10	2,00	36,00	59	69	64
28	14:20	2,00	29,00	60	68	63
29	14:30	2,00	27,00	60	63	58
30	14:40	2,00	26,00	59	62	56

Fecha: Viernes 26 de Octubre del 2007

Lugar: Laboratorio de Energías No Convencionales

Tabla 5.6 Datos de Temperatura y Caudal

ITEM	HORA	CAUDAL	TEMP. AMBIENTE	TEMP. ENTADA COLECTOR	TEMP. SALIDA POLIURETANO	TEMP. SALIDA LANA DE VIDRIO
N°	H:min	L/min	(Ta) °C	(Te) °C	(Tp) °C	(Tv) °C
1	10:10	6,000	29,00	25	30	30
2	10:20	6,000	29,00	26	30	30
3	10:30	6,000	30,00	28	33	32
4	10:40	6,000	32,00	30	33	33
5	10:50	6,000	33,00	31	34	34
6	11:00	6,000	31,00	32	35	35
7	11:10	6,000	33,00	33	37	36
8	11:20	6,000	34,00	35	38	38
9	11:30	6,000	36,00	36	40	39
10	11:40	6,000	32,00	38	41	40
11	11:50	6,000	36,00	39	43	42
12	12:00	6,000	37,00	41	44	43
13	12:10	6,000	36,00	42	46	45
14	12:20	6,000	31,00	43	43	42
15	12:30	6,000	28,00	43	42	42
16	12:40	6,000	34,00	44	46	46
17	12:50	6,000	35,00	45	48	48
18	13:00	6,000	37,00	47	49	49
19	13:10	6,000	36,00	48	49	50
20	13:20	6,000	37,00	49	51	51
21	13:30	6,000	39,00	50	52	52
22	13:40	6,000	38,00	52	54	54
23	13:50	6,000	32,00	52	52	52
24	14:00	6,000	31,00	52	52	52
25	14:10	6,000	31,00	53	53	54
26	14:20	6,000	25,00	53	50	54

Fecha: Lunes 29 de Octubre del 2007

Lugar: Laboratorio de Energías No Convencionales

Se empezó con valores de caudal de 1.2 L/min, pero se presentaron problemas porque los medidores de temperaturas obtenidos ofrecían rangos de 0 a 70°C, y

mencionado caudal alcanza el rango de temperatura y no se podía obtener valores de temperatura más altos, por lo tanto se procedió a aumentar el caudal hasta un valor de 6 litros por minutos

Tabla 5.7 Datos de Temperatura y Caudal

ITEM	HORA	CAUDAL	TEMP. AMBIENTE	TEMP. ENTADA COLECTOR	TEMP. SALIDA POLIURETANO	TEMP. SALIDA LANA DE VIDRIO
N°	H:min	L/min	(Ta) °C	(Te) °C	(Tp) °C	(Tv) °C
1	9:30	3,000	24,00	25	29	27
2	9:40	3,000	25,00	25	28	27
3	9:50	3,000	24,00	26	28	26
4	10:00	3,000	22,00	26	26	25
5	10:10	3,000	24,00	27	26	24
6	10:20	3,000	22,00	28	25	24
7	10:30	3,000	22,00	28	25	25
8	10:40	3,000	24,00	29	26	25
9	10:50	3,000	24,00	29	26	25
10	11:00	3,000	24,00	30	26	25
11	11:10	3,000	25,00	31	30	29
12	11:20	3,000	26,00	32	29	28
13	11:30	3,000	28,00	32	29	28
14	11:40	3,000	29,00	33	32	30
15	11:50	3,000	30,00	34	33	29
16	12:00	3,000	29,00	35	51	40
17	12:10	3,000	34,00	36	61	50
18	12:20	3,000	34,00	37	65	53
19	12:30	3,000	34,00	39	59	57
20	12:40	3,000	31,00	39	51	50
21	12:50	3,000	28,00	40	47	46
22	13:00	3,000	26,00	40	44	43
23	13:10	3,000	24,00	41	42	41
24	13:20	3,000	25,00	41	41	40

Fecha: Martes 30 de Octubre del 2007

Lugar: Laboratorio de Energías No Convencionales

Tabla 5.8 Datos de Temperatura y Caudal

ITEM	HORA	CAUDAL	TEMP. AMBIENTE	TEMP. ENTADA COLECTOR	TEMP. SALIDA POLIURETANO	TEMP. SALIDA LANA DE VIDRIO
N°	H: min	L/min	(Ta) °C	(Te) °C	(Tp) °C	(Tv) °C
1	9:20	1,50	17,00	24	26	31
2	9:30	1,50	17,00	24	24	27
3	9:40	1,50	19,00	24	27	28
4	9:50	1,50	19,00	24	28	28
5	10:00	1,50	18,00	25	28	28
6	10:10	1,50	19,00	25	27	27
7	10:20	1,50	19,00	25	27	27
8	10:30	1,50	18,00	25	27	27
9	10:40	1,50	21,00	26	33	32
10	10:50	1,50	20,00	26	33	32
11	11:00	1,50	26,00	27	37	37
12	11:10	1,50	23,00	28	41	40
13	11:20	1,50	24,00	29	41	41
14	11:30	1,50	28,00	30	48	47
15	11:40	1,50	22,00	31	41	41
16	11:50	1,50	25,00	31	41	40
17	12:00	1,50	27,00	33	44	43
18	12:10	1,50	26,00	34	50	49
19	12:20	1,50	27,00	35	48	48
20	12:30	1,50	23,00	35	44	42
21	12:40	1,50	22,00	36	41	40
22	12:50	1,50	21,00	36	39	39
23	13:00	1,50	21,00	36	38	38

Fecha: Miércoles 31 de Octubre del 2007

Lugar: Laboratorio de Energías No Convencionales

El último día de datos se procedió a bajar el caudal porque las condiciones ambientales como frío y nubes oscuras no permitieron tomar los datos.

No se pudo obtener una hora exacta de toma de datos debido a que los colectores solares no aumentaban la temperatura o permanecía constante por la falta de radiación

5.2 ANÁLISIS DE DATOS

El rendimiento de un colector solar térmico viene dado por la expresión matemática que tiene la forma de una recta inclinada de pendiente negativa, y depende de la temperatura de trabajo, temperatura ambiente, intensidad de radiación, y de las características físicas y constructivas de los elementos que la componen.

Para el análisis del rendimiento real del colector solar se va a realizar una serie de cálculos que se muestran a continuación.

Tabla 5.9 Cálculo de Rendimiento

ITEM	$(T_p+T_v)/2$	$(T_s-T_a)/I$	IRADIACION	CALOR UTIL	CALOR RADIACION	EFICIENCIA
N°	(T_s) °C	°C*m ² /W	W/m ²	W	W/m ²	%
1	42,00	0,0301	813,55	811,53	1372,46	59,13
2	43,00	0,0306	813,55	807,19	1372,46	58,81
3	44,50	0,0322	813,55	793,09	1372,46	57,79
4	46,00	0,0334	813,55	782,24	1372,46	57,00
5	47,00	0,0348	813,55	770,31	1372,46	56,13
6	49,00	0,0365	813,55	755,13	1372,46	55,02
7	50,00	0,0382	813,55	739,95	1372,46	53,91
8	51,50	0,0396	813,55	728,02	1372,46	53,04
9	52,50	0,0411	813,55	715,00	1372,46	52,10
10	53,00	0,0425	813,55	701,99	1372,46	51,15
11	54,50	0,0444	813,55	685,72	1372,46	49,96
12	55,00	0,0470	813,55	662,94	1372,46	48,30
13	54,50	0,0470	813,55	662,94	1372,46	48,30
14	55,50	0,0492	813,55	643,42	1372,46	46,88
15	57,00	0,0541	813,55	600,04	1372,46	43,72
					η_{prom}	52,75

Fecha: Martes 23 de Octubre del 2007

Lugar: Laboratorio de Energías No Convencionales

Tabla 5.10 Cálculo de Rendimiento (Miércoles 24)

ITEM	$(T_p+T_v)/2$	$(T_s-T_a)/I$	IRRADIANCIA	CALOR UTIL	CALOR POR IRADIANCIA	EFICIENCIA
N°	(Ts) °C	°C*m ² /W	W/m ²	W	W/m ²	%
1	41,50	0,0166	813,55	930,82	1372,46	67,82
2	40,50	0,0154	813,55	941,67	1372,46	68,61
3	41,00	0,0184	813,55	914,56	1372,46	66,64
4	42,00	0,0160	813,55	936,25	1372,46	68,22
5	41,50	0,0203	813,55	898,29	1372,46	65,45
6	41,00	0,0172	813,55	925,40	1372,46	67,43
7	45,00	0,0197	813,55	903,71	1372,46	65,85
8	47,00	0,0234	813,55	871,18	1372,46	63,48
9	48,50	0,0240	813,55	865,75	1372,46	63,08
10	53,00	0,0283	813,55	827,79	1372,46	60,31
11	52,00	0,0270	813,55	838,64	1372,46	61,10
12	52,50	0,0289	813,55	822,37	1372,46	59,92
13	51,50	0,0264	813,55	844,06	1372,46	61,50
14	53,00	0,0344	813,55	773,57	1372,46	56,36
15	56,00	0,0418	813,55	708,49	1372,46	51,62
16	56,50	0,0387	813,55	735,61	1372,46	53,60
17	57,50	0,0363	813,55	757,30	1372,46	55,18
18	58,00	0,0258	813,55	849,48	1372,46	61,90
19	58,50	0,0277	813,55	833,22	1372,46	60,71
20	60,00	0,0320	813,55	795,26	1372,46	57,94
					η_{prom}	61,84

Fecha: Miércoles 24 de Octubre del 2007

Lugar: Laboratorio de Energías No Convencionales

Tabla 5.11 Cálculo de Rendimiento

ITEM	$(T_p+T_v)/2$	$(T_s-T_a)/I$	IRRADIANCIA	CALOR UTIL	CALOR POR RADIACION	EFICIENCIA
N°	(Ts) °C	°C*m ² /W	W/m ²	W	W/m ²	%
1	28,00	0,0111	813,55	979,63	1372,46	71,38
2	27,00	0,0098	813,55	990,47	1372,46	72,17

Tabla 5.11 Continuación

3	31,00	0,0111	813,55	979,63	1372,46	71,38
4	33,00	0,0123	813,55	968,78	1372,46	70,59
5	34,00	0,0111	813,55	979,63	1372,46	71,38
6	35,50	0,0129	813,55	963,36	1372,46	70,19
7	34,00	0,0135	813,55	957,94	1372,46	69,80
8	38,00	0,0172	813,55	925,40	1372,46	67,43
9	39,00	0,0135	813,55	957,94	1372,46	69,80
10	40,00	0,0135	813,55	957,94	1372,46	69,80
11	39,00	0,0135	813,55	957,94	1372,46	69,80
12	48,00	0,0258	813,55	849,48	1372,46	61,90
13	44,50	0,0191	813,55	909,13	1372,46	66,24
14	47,50	0,0240	813,55	865,75	1372,46	63,08
15	50,00	0,0307	813,55	806,10	1372,46	58,73
16	52,50	0,0277	813,55	833,22	1372,46	60,71
17	55,50	0,0289	813,55	822,37	1372,46	59,92
18	55,50	0,0350	813,55	768,14	1372,46	55,97
19	56,00	0,0320	813,55	795,26	1372,46	57,94
20	57,50	0,0338	813,55	778,99	1372,46	56,76
21	60,00	0,0332	813,55	784,41	1372,46	57,15
22	61,00	0,0406	813,55	719,34	1372,46	52,41
23	63,00	0,0443	813,55	686,80	1372,46	50,04
24	63,00	0,0406	813,55	719,34	1372,46	52,41
25	63,50	0,0436	813,55	692,23	1372,46	50,44
26	65,50	0,0399	813,55	724,76	1372,46	52,81
27	67,50	0,0449	813,55	681,38	1372,46	49,65
28	68,50	0,0449	813,55	681,38	1372,46	49,65
29	71,00	0,0479	813,55	654,27	1372,46	47,67
30	72,00	0,0467	813,55	665,11	1372,46	48,46
31	64,00	0,0467	813,55	665,11	1372,46	48,46
32	65,50	0,0461	813,55	670,54	1372,46	48,86
33	64,50	0,0449	813,55	681,38	1372,46	49,65
34	65,00	0,0455	813,55	675,96	1372,46	49,25
					η_{prom}	59,78

Fecha: Jueves 25 de Octubre del 2007

Lugar: Laboratorio de Energías No Convencionales

Tabla 5.12 Cálculo de Rendimiento

ITEM	$(T_p+T_v)/2$	$(T_s-T_a)/I$	IRRADIANCIA	CALOR UTIL	CALOR POR IRRADIANCIA	EFICIENCIA
N°	(Ts) °C	°C*m ² /W	W/m ²	W	W/m ²	%
1	62,50	0,0449	813,55	681,38	1372,46	49,65
2	45,00	0,0184	813,55	914,56	1372,46	66,64
3	39,50	0,0117	813,55	974,21	1372,46	70,98
4	41,50	0,0117	813,55	974,21	1372,46	70,98
5	42,50	0,0129	813,55	963,36	1372,46	70,19
6	44,00	0,0184	813,55	914,56	1372,46	66,64
7	45,00	0,0160	813,55	936,25	1372,46	68,22
8	47,00	0,0172	813,55	925,40	1372,46	67,43
9	48,00	0,0172	813,55	925,40	1372,46	67,43
10	49,50	0,0215	813,55	887,44	1372,46	64,66
11	50,50	0,0264	813,55	844,06	1372,46	61,50
12	51,50	0,0252	813,55	854,91	1372,46	62,29
13	53,50	0,0264	813,55	844,06	1372,46	61,50
14	54,50	0,0252	813,55	854,91	1372,46	62,29
15	56,50	0,0289	813,55	822,37	1372,46	59,92
16	56,50	0,0264	813,55	844,06	1372,46	61,50
17	57,50	0,0277	813,55	833,22	1372,46	60,71
18	58,50	0,0301	813,55	811,53	1372,46	59,13
19	58,50	0,0289	813,55	822,37	1372,46	59,92
20	56,50	0,0326	813,55	789,83	1372,46	57,55
21	59,00	0,0332	813,55	784,41	1372,46	57,15
22	60,50	0,0350	813,55	768,14	1372,46	55,97
23	63,00	0,0369	813,55	751,88	1372,46	54,78
24	65,50	0,0375	813,55	746,45	1372,46	54,39
25	67,00	0,0406	813,55	719,34	1372,46	52,41
26	65,00	0,0381	813,55	741,03	1372,46	53,99
27	66,50	0,0375	813,55	746,45	1372,46	54,39
28	65,50	0,0449	813,55	681,38	1372,46	49,65
29	60,50	0,0412	813,55	713,92	1372,46	52,02
30	59,00	0,0406	813,55	719,34	1372,46	52,41
					η_{prom}	60,21

Fecha: Viernes 26 de Octubre del 2007

Lugar: Laboratorio de Energías No Convencionales

Tabla 5.13 Cálculo de Rendimiento

ITEM	$(T_p+T_v)/2$	$(T_s-T_a)/I$	IRRADIANCIA	CALOR UTIL	CALOR POR IRRADIANCIA	EFICIENCIA
N°	(Ts) °C	°C*m ² /W	W/m ²	W	W/m ²	%
1	30	0,0012	813,55	1066,39	1372,46	77,70
2	30	0,0012	813,55	1066,39	1372,46	77,70
3	32,5	0,0031	813,55	1050,12	1372,46	76,51
4	33	0,0012	813,55	1066,39	1372,46	77,70
5	34	0,0012	813,55	1066,39	1372,46	77,70
6	35	0,0049	813,55	1033,86	1372,46	75,33
7	36,5	0,0043	813,55	1039,28	1372,46	75,72
8	38	0,0049	813,55	1033,86	1372,46	75,33
9	39,5	0,0043	813,55	1039,28	1372,46	75,72
10	40,5	0,0104	813,55	985,05	1372,46	71,77
11	42,5	0,0080	813,55	1006,74	1372,46	73,35
12	43,5	0,0080	813,55	1006,74	1372,46	73,35
13	45,5	0,0117	813,55	974,21	1372,46	70,98
14	42,5	0,0141	813,55	952,52	1372,46	69,40
15	42	0,0172	813,55	925,40	1372,46	67,43
16	46	0,0148	813,55	947,09	1372,46	69,01
17	48	0,0160	813,55	936,25	1372,46	68,22
18	49	0,0148	813,55	947,09	1372,46	69,01
19	49,5	0,0166	813,55	930,82	1372,46	67,82
20	51	0,0172	813,55	925,40	1372,46	67,43
21	52	0,0160	813,55	936,25	1372,46	68,22
22	54	0,0197	813,55	903,71	1372,46	65,85
23	52	0,0246	813,55	860,33	1372,46	62,69
24	52	0,0258	813,55	849,48	1372,46	61,90
25	53,5	0,0277	813,55	833,22	1372,46	60,71
26	52	0,0332	813,55	784,41	1372,46	57,15
					η_{prom}	70,53

Fecha: Lunes 29 de Octubre del 2007

Lugar: Laboratorio de Energías No Convencionales

Tabla 5.14 Cálculo de Rendimiento

ITEM	$(T_p+T_v)/2$	$(T_s-T_a)/I$	IRRADIANCIA	CALOR UTIL	CALOR POR IRRADIANCIA	EFICIENCIA
N°	(Ts) °C	°C*m ² /W	W/m ²	W	W/m ²	%
1	28,0	0,0049	813,55	1033,86	1372,46	75,33
2	27,5	0,0031	813,55	1050,12	1372,46	76,51
3	27,0	0,0037	813,55	1044,70	1372,46	76,12
4	25,5	0,0043	813,55	1039,28	1372,46	75,72
5	25,0	0,0012	813,55	1066,39	1372,46	77,70
6	24,5	0,0031	813,55	1050,12	1372,46	76,51
7	25,0	0,0037	813,55	1044,70	1372,46	76,12
8	25,5	0,0018	813,55	1060,97	1372,46	77,30
9	25,5	0,0018	813,55	1060,97	1372,46	77,30
10	25,5	0,0018	813,55	1060,97	1372,46	77,30
11	29,5	0,0055	813,55	1028,43	1372,46	74,93
12	28,5	0,0031	813,55	1050,12	1372,46	76,51
13	28,5	0,0006	813,55	1071,81	1372,46	78,09
14	31,0	0,0025	813,55	1055,55	1372,46	76,91
15	31,0	0,0012	813,55	1066,39	1372,46	77,70
16	45,5	0,0203	813,55	898,29	1372,46	65,45
17	55,5	0,0264	813,55	844,06	1372,46	61,50
18	59,0	0,0307	813,55	806,10	1372,46	58,73
19	58,0	0,0295	813,55	816,95	1372,46	59,52
20	50,5	0,0240	813,55	865,75	1372,46	63,08
21	46,5	0,0227	813,55	876,60	1372,46	63,87
22	43,5	0,0215	813,55	887,44	1372,46	64,66
23	41,5	0,0215	813,55	887,44	1372,46	64,66
24	40,5	0,0191	813,55	909,13	1372,46	66,24
					η_{prom}	71,58

Fecha: Martes 30 de Octubre del 2007

Lugar: Laboratorio de Energías No Convencionales

Tabla 5.15 Cálculo de Rendimiento

ITEM	$(T_p+T_v)/2$	$(T_s-T_a)/I$	IRRADIANCIA	CALOR UTIL	CALOR POR IRRADIANCIA	EFICIENCIA
N°	(Ts) °C	°C*m ² /W	W/m ²	W	W/m ²	%
1	28,5	0,0141	813,55	952,52	1372,46	69,40
2	25,5	0,0104	813,55	985,05	1372,46	71,77
3	27,5	0,0104	813,55	985,05	1372,46	71,77
4	28	0,0111	813,55	979,63	1372,46	71,38
5	28	0,0123	813,55	968,78	1372,46	70,59
6	27	0,0098	813,55	990,47	1372,46	72,17
7	27	0,0098	813,55	990,47	1372,46	72,17
8	27	0,0111	813,55	979,63	1372,46	71,38
9	32,5	0,0141	813,55	952,52	1372,46	69,40
10	32,5	0,0154	813,55	941,67	1372,46	68,61
11	37	0,0135	813,55	957,94	1372,46	69,80
12	40,5	0,0215	813,55	887,44	1372,46	64,66
13	41	0,0209	813,55	892,87	1372,46	65,06
14	47,5	0,0240	813,55	865,75	1372,46	63,08
15	41	0,0234	813,55	871,18	1372,46	63,48
16	40,5	0,0191	813,55	909,13	1372,46	66,24
17	43,5	0,0203	813,55	898,29	1372,46	65,45
18	49,5	0,0289	813,55	822,37	1372,46	59,92
19	48	0,0258	813,55	849,48	1372,46	61,90
20	43	0,0246	813,55	860,33	1372,46	62,69
21	40,5	0,0227	813,55	876,60	1372,46	63,87
22	39	0,0221	813,55	882,02	1372,46	64,27
23	38	0,0209	813,55	892,87	1372,46	65,06
					η_{prom}	67,13

Fecha: Miércoles 31 de Octubre del 2007

Lugar: Laboratorio de Energías No Convencionales

Los datos de eficiencia mostrados en las tablas anteriores son eficiencias puntuales y eficiencias promedios de cada día.

Como se puede apreciar en las tablas de datos las temperaturas varían y por consecuencia su eficiencia puntual, la razón de esta variación es porque el agua que circula dentro de los colectores solares tiene que cumplir un cierto tiempo de circulación, durante este intervalo de tiempo el calentamiento del agua depende de las condiciones ambientales, situación que no es constante ni tampoco aumenta proporcionalmente, más bien hay momentos que la temperatura ambiente baja notablemente y luego vuelve a subir.

Lo anteriormente mencionado se lo puede analizar mediante una grafica la cual nos permite analizar el rendimiento del colector en función de los parámetros principales de operación.

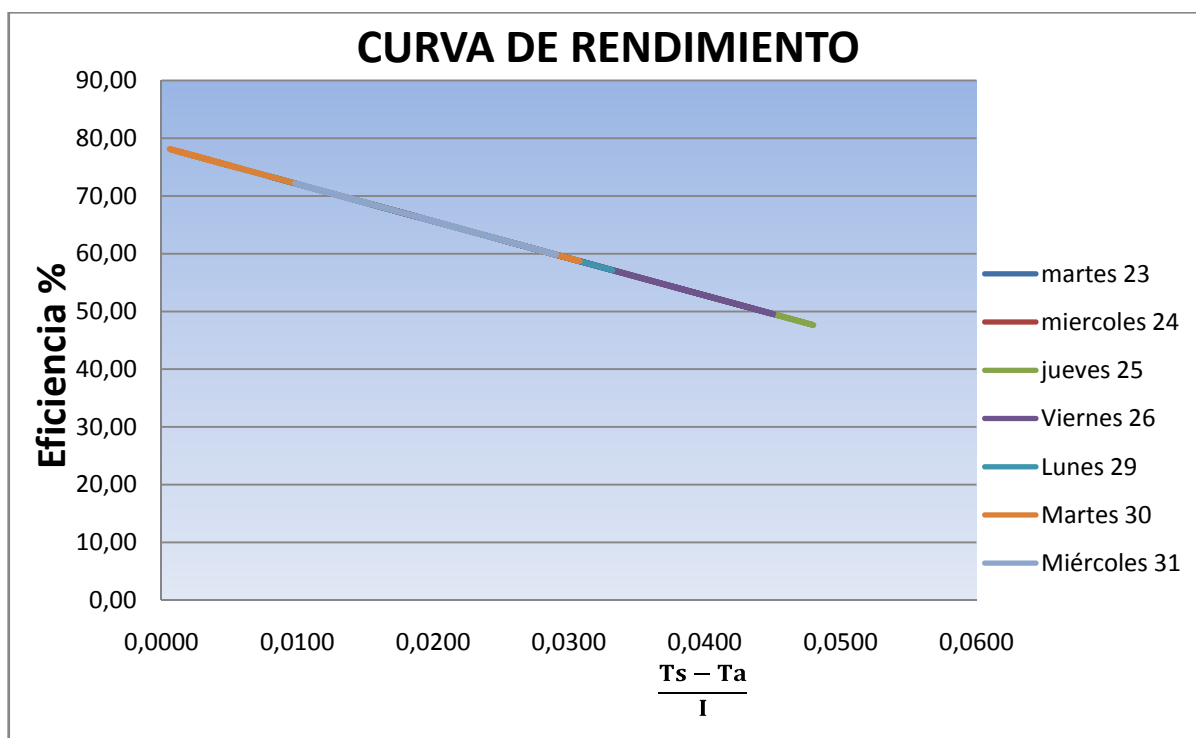


Figura 5.3 Curva de Rendimiento del Colector Solar

El grafico mostrado indica que a medida aumenta la temperatura del agua en el interior su eficiencia disminuye, la razón de esto es porque también va aumentando las pérdidas de calor al medio ambiente.

Como es de interés encontrar un valor de eficiencia real del colector solar, se procede a realizar un promedio de todas las eficiencias puntuales.

Por lo tanto la eficiencia del colector solar es el siguiente:

$$\eta_{\text{colector}} = 64.58\%$$

Cabe mencionar que el análisis se debe realizar mientras el colector solar gana calor porque el interés es conocer el comportamiento de su eficiencia cuando tiende a ganar calor

5.2.1 EJEMPLO DE CÁLCULOS

a. Temperatura de salida

Por motivos de costos y facilidad de compra se opto por inyectar poliuretano en un colector, mientras que el segundo colector se coloco lana de vidrio ya que dicho material fue facilitado por el laboratorio de Energías Renovables.

$$T_s = \frac{T_p + T_v}{2} \quad (5.2)$$

Donde:

T_p = Temperatura de salida del colector solar con aislante de poliuretano

T_v = Temperatura de salida del colector solar con aislante de lana de vidrio

T_s = Temperatura promedio de los colectores

$$T_s = \frac{26 + 31}{2}$$

$$T_s = 28.5^\circ\text{C}$$

b. Variable horizontal de la gráfica de rendimiento

$$T_h = \frac{T_s - T_a}{I} \quad (5.3)$$

T_h = Variable horizontal de la grafica de rendimiento

T_s = Temperatura de salida del colector solar

T_a = Temperatura ambiente

I = Irradiación

$$T_h = \frac{28.5 - 17}{813.55} \left(\frac{^{\circ}\text{C} * \text{m}^2}{\text{W}} \right)$$

c. Calor Útil

$$Q_u = A_c * F_r (I * K_{\alpha} - U_L (T_s - T_a)) \quad (5.4)$$

A_c = Área de la placa absorbadora

F_r = Factor de Remoción de calor

K_{α} = Coeficiente de modificación del ángulo de incidencia

U_L = Pérdidas totales de calor

$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$

$^{\circ}\text{K} = 28,5 + 273,15$

$T_s = 301.65^{\circ}\text{K}$

$$Q_u = 1.687 * 0.896 (813.55 * 0.876 - 7.175 (301.65 - 290.15))$$

$$Q_u = 952.52 \text{ W}$$

d. Calor por irradiación

El calor por la radiación no es otra cosa que la cantidad de calor que proporciona cada colector por metro cuadrado.

$$Q_r = 1.687 * I \quad (5.5)$$

$$Q_r = 1372.46 \frac{W}{m^2}$$

e. Eficiencia Puntual del Colector Solar

$$\eta_{COlector} = \frac{Q_u}{Q_r} \quad (5.6)$$

$$\eta_{COlector} = 69.40\%$$

5.4 HOJA DE PRUEBAS

La hoja de datos mostrada en la tabla 5.16, muestra las variables que van a ser motivo de recopilación y registro.

Para una mejor exactitud en los cálculos es recomendable tomar los datos cada diez minutos, y en el caso de la temporada de invierno es recomendable tomar los datos hasta cuando la temperatura ambiente disminuya o también cuando la radiación disminuya.

Se recomienda trabajar con un caudal de 1.5 a 3 L/min, en las temporadas de invierno, y de 3 a 6 L/min en las temporadas de verano, ya que con un caudal de 3L/min en la temporada de verano los medidores de temperatura superan el rango de temperatura (70°C).

Antes de la toma de datos deje funcionando el equipo de 15 a 20 minutos con el fin de estabilizar el sistema térmico.

Tabla 5.16 Hoja de Datos

PRACTICA DE LA EFICIENCIA DEL COLECTOR SOLAR							
GRUPO N°:				INTEGRANTES:			
FECHA:				1.			
OBSERVACIONES:				2.			
				3.			
				4.			
				5.			
ITEM	HORA	CAUDAL	TEMP. AMBIENTE	TEMP. ENTADA COLECTOR	TEMP. SALIDA POLIURETANO	TEMP. SALIDA LANA DE VIDRIO	AMPERAJE
N°	H:min	L/min	(Ta) °C	(Te) °C	(Tp) °C	(Tv) °C	(A)
1	9:00						
2	9:10						
3	9:20						
4	9:30						
5	9:40						
6	9:50						
7	10:00						
8	10:10						
9	10:20						
10	10:30						
11	10:40						
12	10:50						
13	11:00						
14	11:10						
15	11:20						
16	11:30						
17	11:40						
18	11:50						
19	12:00						
20	12:10						
21	12:20						
22	12:30						
23	12:40						
24	12:50						
25	13:00						
26	13:10						
27	13:20						
28	13:30						
29	13:40						
30	13:50						
31	14:00						

5.4 HOMOLOGACIÓN

Las curvas f son uno de los métodos más usados para calcular prestaciones de servicios en los sistemas solares de baja temperatura, especialmente en colectores solares planos. Se desarrolló en la Universidad de Wisconsin (Beckman, Klein y Duffie, 1977). Estas curvas consisten en verificar mediante una relación porcentual, la cantidad de agua que se puede calentar con la utilización de estos colectores solares y la complementación del mismo con calefones tomando como referencia una temperatura de 100 C.

El método aporta la fracción solar a partir de dos parámetros adimensionales que se calculan a partir de las características técnicas de los componentes utilizados, la demanda de energía y las condiciones meteorológicas y de operación

5.4.1 DEFINICIÓN DEL MÉTODO

Siendo f la cobertura o la fracción solar porcentual (porcentaje de la demanda que cubre el sol), se utiliza una función de tipo:

$$f=f(x, y)$$

Siendo las variables de diseño:

- Área de la captación
- Capacidad de almacenamiento
- Caudales de fluido
- Prestaciones del intercambiador, etc.

Los tipos de sistemas que pueden evaluarse con el sistema son:

- Calefacción y ACS, donde el sistema de captación es de líquido o de aire
- Producción de ACS, tanto con sistemas de captación líquido o aire

Los parámetros adimensionales utilizados son:

$$X = \frac{\text{Perdidas del Captador}}{\text{Demanda}} = \frac{A_c * F_R * U_L (T_{ref} - T_a)}{L} \quad (5.7)$$

$$Y = \frac{\text{Energía Absorbida}}{\text{Demanda}} = \frac{A_c * F_R * (\tau\alpha) * I_J}{L} \quad (5.8)$$

Siendo:

A_c : Área de captación

F_R : Factor de Remoción de Calor

U_L : Coeficiente Global de Pérdidas de Calor en el Colector Solar

Δ_t : Tiempo total diario

T_a : Temperatura Ambiente

T_{ref} : Temperatura de Referencia

L : Demanda de Energía

I_J : Radiación Media Diaria

$\tau\alpha$: Coeficiente de modificación del ángulo de incidencia

La expresión que da la cobertura solar en función de los parámetros definidos es:

$$f = 1,029Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,0018X^2 + 0,0215Y^3 \quad (5.9)$$

5.4.2 ANÁLISIS DE COBERTURA SOLAR

Para el análisis de la cobertura solar vamos a encontrar primeramente los valores de la demanda energética diaria.

Demanda Energética Diario

$$V_{\text{dia}} := 200 \quad \text{L}$$

$$V_{\text{diam}} := 0.2 \quad \text{m}^3$$

Calor Especifico del Agua

$$C_p := 4190 \quad \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}}$$

Temperatura del agua Fría 12°C

$$T_{\text{afr}} := 285.15 \quad \text{K}$$

Temperatura de Salida 50°C

$$T_s := 323.15 \quad \text{K}$$

Densidad del Agua

$$\delta_{\text{agua}} := 1000 \quad \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Factor de Remoción de Calor

$$F_r := 0.896$$

Área de la placa absorbidora

$$A_c := 1.687 \cdot 2 \quad \text{m}^3$$

$$A_c = 3.374$$

Pérdidas Totales de Calor

$$U_L := 7.175 \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Coefficiente de Modificación del Angulo de Incidencia

$$\tau_{\alpha} := 0.876$$

Irradiación Promedio

$$I := 813.55 \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Número de Horas de Radiación

$$t := 4$$

Irradiación Promedio Diario En $\frac{\text{J}}{\text{m}^2}$

$$I_J := I \cdot 3600 \cdot t \quad \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$$

$$I_J = 1.172 \times 10^7$$

Tiempo Total del mes

$$\Delta_t := 14400 \quad \text{s}$$

Demanda Diaria

$$Q := [V_{\text{diam}} \cdot \delta_{\text{agua}} \cdot C_p \cdot (T_s - T_{\text{afr}})]$$

$$Q = 31844000 \quad \text{J}$$

Parámetros Adimensionales

$$X := \frac{A_c \cdot F_R \cdot U_L \cdot (T_{\text{ref}} - T_a) \cdot \Delta_t}{Q}$$

$$X = 0.702$$

$$Y := \frac{A_c \cdot F_R \cdot \tau_\alpha \cdot I_J}{Q}$$

$$Y = 0.974263$$

Cobertura Solar

$$f := 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3$$

$$f = 0.745$$

La cobertura anteriormente encontrada nos indica que se puede instalar el 75% de colectores solares planos y 25% de calefones para tener una temperatura de referencia de 100°C

CAPITULO 6.

ANALISIS ECONOMICO-FINANCIERO

6.1 ANÁLISIS ECONÓMICO

6.1.1 DETERMINACIÓN DE COSTOS

En el presente proyecto de grado, se adquirieron diversos materiales y herramientas para su implementación y puesta en funcionamiento. Los costos de estas adquisiciones se encuentran presentados a continuación subdivididos en costos de materiales, mano de obra y otros costos.

6.1.2 MATERIALES

A continuación se presentan los costos de los materiales que se utilizaron en el desarrollo del proyecto.

En la Construcción de los Colectores Solares Planos se utilizaron los siguientes materiales:

Tabla 6.1 Materiales utilizados en la construcción de los colectores

ITEM	DETALLE	CANTIDAD	VALOR C/U	TOTAL
1	Adaptador Cobre H SO-HI 1"	4	4.40	17.61
2	Alambre Galvanizado 18 2Lb	2	0.66	1.33
3	Antioxidante Mate negro 1/4GL	1	3.02	3.02
4	Electrodos 6011 AGA 1/8 17Unidades = 1lb	1	1.16	1.16
5	Lana de Vidrio	1	44.64	44.64
6	Pistola para silicona	1	0.88	0.88
7	Plancha de Aluminio Liso 2X1 m	2	42.45	84.90
8	Inyección de Poliuretano	1	22.32	22.32

Tabla 6.1 Continuación

9	Poliuretano (material para inyectar 12kg)	1	65.00	65.00
10	Remache Pop 5/32X5/16	100	0.02	2.00
11	Sikasil E Transparente 300 ml	2	2.95	5.89
12	Thiñer Laca cóndor 4 LT	4	1.15	4.60
13	Tool Galvanizado 244X122X0.70 (1/32)	2	22.26	44.52
14	Tubo Cobre M 1/2"	6	20.02	120.12
15	Tubo Cobre M 1"	1	47.97	47.97
16	Varillas de Plata	10	3.48	34.80
17	Vidrio Templado Claro de 4mm 2x1m	2	45.02	90.03
18	Waype	6	0.13	0.80
			Subtotal	591.59
			IVA	70.99
			Total	662.58

El valor total mencionado en la tabla anterior se refiere a la construcción de dos Colectores Solares Planos con un Valor de 662.58.

En la construcción del Tanque de Almacenamiento se utilizaron los siguientes materiales:

Tabla 6.2 Materiales utilizados en la construcción del tanque de almacenamiento

ITEM	DETALLE	CANTIDAD	VALOR	TOTAL
1	Adaptación de matriz Para proceso de repujado	1	35.00	35.00
2	Antioxidante Mate negro 1/4GL	1	3.21	3.21
3	Electrodos 6011 AGA 1/8 17Unidades = 1lb	3	1.16	3.47
4	Madera tablonc de laurel para cabezas	2	5.00	10.00
5	Matriz de madera cabezas elípticas	1	20.00	20.00
6	Mecanizado Proceso de barolado cilindro	2	10.00	20.00
7	Mecanizado Proceso prensado de cabezas	2	17.50	35.00
8	Mecanizado Proceso Repujado de cabezas	2	7.00	14.00
9	Neplo H3 1/2" x 30 cm	3	2.80	8.40
10	Neplo H3 1/2" X 50 cm	1	5.00	5.00
11	Plancha de Acero AISI 302	1	66.00	66.00
12	Plancha de Tool Galvanizado 244X122X0.70 (1/32)	2	22.26	44.52
13	Remache Pop 5/32X5/16	150	0.02	3.00
14	Tapones 1/2	4	0.75	3.00
15	Thiñer Laca cóndor 4 LT	4	1.15	4.60

Tabla 6.2 Continuación

16	Tol Galvanizado 244X122X0.70 (1/32)	1	22.26	22.26
17	Waype	6	0.13	0.80
			Subtotal	298.26
			Iva	35.79
			Total	334.05

El valor total mencionado en la tabla 6.2 se refiere a la construcción del Tanque dando un valor de 334.05 dólares.

En la construcción de los 2 Soportes para los Colectores Solares Planos, se utilizaron los siguientes materiales:

Tabla 6.3 Materiales utilizados en la construcción de los soportes para los colectores solares planos

DETALLE	CANTIDAD	VALOR C/U	TOTAL	
Perfil Angulo ADELCA 3/4X1/8	3	4.14	12.42	
Waype	2	0.32	0.64	
Thiñer Laca cóndor 4 LT	1	1.15	1.15	
Pintura Gris ANTIOX 1/4GL	1	3.21	3.21	
Varilla Cuadrada ADELCA 9X16	2	2.82	5.63	
Electrodos 6011 AGA 1/8 17Unidades = 1lb	1	1.16	1.16	
			Subtotal	24.21
			Iva	2.91
			Total	27.12

De esta manera tenemos que el costo por la construcción de los 2 soportes nos da un total de 27.12 dólares.

En la construcción del Soporte del Tanque, se utilizaron los siguientes materiales:

Tabla 6.4 Materiales utilizados en la construcción del soporte para el tanque de almacenamiento

ITEM	DETALLE	CANTIDAD	VALOR	TOTAL
1	Antioxidante Gris 1/4GL	1	3.21	3.21
2	Barolado Platina	2	2.00	4.00
3	Electrodos 6011 AGA 1/8 17Unidades = 1lb	1	1.16	1.16

Tabla 6.4 Continuación

4	Masilla Mustang cóndor 1/4 GL	1	4.54	4.54
5	Perfil de tubo Cuadrado 40X40X1.2mm	2	9.89	19.78
6	Perno C/EXAG 1/4X1	4	0.05	0.20
7	Perno C/EXAG 1/4X2	4	0.06	0.24
8	Platina	2	2.00	4.00
9	Soporte de la Bomba y Visera	1	26.79	26.79
10	Thiñer Laca cóndor 4 LT	4	1.15	4.60
11	Waype	6	0.13	0.80
			Subtotal	63.92
			Iva	7.67
			Total	71.59

Tenemos que el costo por la construcción del soporte del Tanque de Almacenamiento nos da un total de 71.59 dólares.

En la realización del Sistema Hidráulico se utilizaron los siguientes materiales:

Tabla 6.5 Materiales utilizados en la implementación del sistema hidráulico

ITEM	DETALLE	CANTIDAD	VALOR	TOTAL
1	Adaptador Flex de 1/2"	1	0.19	0.19
2	Bomba Agua Eléctrica Paolo 1/2 HP - Diam 1 H 34 mt	1	27.75	27.75
3	Bushing 1" a 3/4"	4	0.68	2.71
4	Bushing H3 1 a 1/2 (u)	1	0.62	0.62
5	Bushing H3 1 a 3/4 (u)	1	0.62	0.62
6	Bushing H3 3/4 a 1/2 (u)	2	0.29	0.58
7	Cinta Teflón	12	0.29	3.48
8	Codo H3 3/4" 90°	9	0.40	3.60
9	Codo H3 3/4" 90°	3	0.70	2.10
10	Ducha C/Brazo 45° Blanca	1	1.95	1.95
11	Llave de Paso FV Liviana - Granal 1/2" E471.13	1	4.22	4.22
12	Llave de paso pesada 3/4	2	6.60	13.20
13	Manguera PVC 22m	1	25.00	25.00
14	Neplo H3 1/2" 6cm	1	0.31	0.31
15	Neplo H3 1/2" Corrido (u)	2	0.38	0.76
16	Neplo H3 3/4" 6 cm	7	0.59	4.12
17	Neplo H3 3/4" cm Corrido	18	0.36	6.48
18	Neplo RM PP	4	0.45	1.80

Tabla 6.5 Continuación

19	Tapón H3 M 3/4"	1	0.34	0.34
20	Tapón Polipropileno H 1/2"	1	0.24	0.24
21	Tapón Polipropileno H 3/4"	8	0.28	2.21
22	Tapón Roscable H3 1/2"	1	0.10	0.10
23	Tee H3 3/4"	6	0.60	3.59
24	Tee H3 1/2"	1	0.40	0.40
25	Tee H3 3/4" (u)	2	1.22	2.45
26	Tubo marca polimex 3/4" X 6m	1	9.77	9.77
27	Tubo de PVC 3/4"	1	8.43	8.43
28	Unión H3 1/2"	2	0.40	0.80
29	Unión H3 3/4"	1	0.55	0.55
30	Unión H3 Reducción 3/4" a 1/2"	2	0.62	1.23
31	Unión Universal 1	2	1.23	2.46
32	Universal H3 1/2"	1	1.07	1.07
33	Universal H3 3/4"	5	2.18	10.92
34	Universal IPS 3/4" (HIDRO 3)	1	1.68	1.68
			SUBTOTAL	145.74
			IVA	17.49
			TOTAL	163.23

Para poder realizar la instalación hidráulica se obtuvo un total de 163.23 dólares.
En la implementación del Sistema de Control se obtuvieron los siguientes gastos:

Tabla 6.6 Gastos del sistema de control sin sensores

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UNIT	TOTAL
1	Manguera Abasto FV Lav LL. Paso 40 cm - 16"	2	3.61	7.23
2	Reducción Cobre 1/2 * 1/4 REF 09693	2	0.65	1.30
3	Reducción Cobre 3/4 * 1/2 REF 09625	2	1.60	3.20
4	Vidrio de Bronce 60 x 60 cm 6 líneas	1	10.71	10.71
5	Caja de Madera para Sistema de Control	1	13.39	13.39
6	Mesa	1	13.39	13.39
			SUBTOTAL	49.23
			IVA	5.91
			TOTAL	55.13

Tabla 6.7 Sensores para el sistema de control

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UNIT	TOTAL
1	Acrylic Meter .8-9 LPM Water	1	99.00	99.00
2	DP752C-96 SLR 2" ROUND SOLAR POWER	4	40.00	160.00
3	Envío desde USA	1	39.00	39.00
4	Tramite de Nacionalización DHL Express	1	69.55	69.55
5	Declaración Aduanera Única Impuestos	1	72.23	72.23
			TOTAL	439.78

Lo cual nos da un total de 494.91

6.1.3. MANO DE OBRA

Tabla 6.8 Costos de mano de obra

ITEM	DETALLES	VALOR	
1	Construcción Colectores y Soportes	100.00	
2	Construcción Tanque Almacenamiento y Soporte	50.00	
3	Instalación Hidráulica	50.00	
4	Instalación Eléctrica	10.00	
		TOTAL	210.00

6.1.4. OTROS COSTOS

Tabla 6.9 Costos diversos

ITEM	DETALLES	VALOR	
1	Transporte	50.00	
2	Útiles de Oficina	30.00	
3	Asesoría Director de Tesis	400.00	
4	Asesoría Codirector de Tesis	400.00	
5	Aporte Alumno 1	850.00	
6	Aporte Alumno 2	850.00	
		TOTAL	2580.00

Tabla 6.10 Extras no tomados en cuenta

ITEM	DESCRIPCION	CANT	VALOR	TOTAL
1	Cable para Conexión Eléctrica 20 m	1	25.00	25.00
2	Cinta Aislante Taipe	1	0.26	0.26
3	Enchufe Blindado	1	1.78	1.78
4	Switch para Ducha	1	6.00	6.00
5	Brocha Cabo Blanco 2 (u)	1	1.00	1.00
6	Lija Fandeli Agua 120 (u)	6	0.33	1.99
7	Extras para Diseño Computacional	1	7.14	7.14
8	Copias	1	17.86	17.86
9	Sierra P/Arco Sanflex 12"X24DPP	1	\$1.34	1.34
10	Vidrio Templado Claro de 4mm 2x1m	1	45.93	45.93
			SUBTOTAL	108.29
			IVA	13.00
			TOTAL	121.29

6.2. ANALISIS FINANCIERO

El presente proyecto tiene una finalidad didáctica. La viabilidad del mismo está basada en el costo cuantificable del aprendizaje, y en la utilización de la energía renovable, que nos llevara a una cultura de preservación de los recursos naturales, generando una conciencia social sobre el cuidado del medio ambiente.

El costo total del proyecto se resume a continuación:

Tabla 6.11 Costo total de Implementación del Sistema

DETALLE	COSTO
Materiales	1874.76
Mano de Obra	2790.00
TOTAL	4664.76

Tenemos así que se realizaran diversas prácticas de Laboratorio con el presente proyecto para el aprendizaje en el Laboratorio de Energías No Convencionales.

6.2.1 FLUJO DE CAJA

Para la realización del flujo de caja es necesario tomar en cuenta algunos valores del mercado.

Para calcular el consumo de Energía Eléctrica, se deben tomar en cuenta las tarifas vigentes en el mercado. Se tomo un acercamiento pesimista para suponer el peor de los casos, donde se aplica una tarifa de Abonados Comerciales sin Demanda y Entidades Oficiales sin demanda cuya potencia contratada o demanda facturable sea de hasta 10 KW. El cargo por Kw/h es de 0.084 USD, además se toma en cuenta un recargo de 1.414 USD por planilla, 2.55 USD de contribución para el Cuerpo de Bomberos y un recargo porcentual de 8.7% del valor de la planilla por consumo, en concepto de Alumbrado Público y un 10% del valor de la planilla de consumo, en concepto de la Tasa de Recolección de Basura. Estos datos se obtuvieron de la Pagina Oficial de la Empresa Eléctrica Quito S.A., <http://www.eeq.com.ec/upload/pliegos/20071030031238.pdf>, donde se obtienen los valores de las diversas tarifas vigentes en el mercado actual. Se obtiene una tasa referencial para el año 1, y posteriormente se establece un crecimiento de la tasa eléctrica de 1% anual.

Para calcular el consumo de Agua se consulto una planilla de Consumo de Agua de la EMAAP-Q, Empresa Municipal de Alcantarillado y Agua Potable, con el fin de realizar un acercamiento adecuado, y se obtuvo un valor de 0.59 USD por m³ de agua. Se tiene un valor referencial de 200 Litros, valor de la capacidad de nuestro tanque de Almacenamiento, que se debe vaciar y llenar para cada práctica, y se tomo un valor referencial de 36 prácticas con el presente equipo al año. Adicionalmente en las planillas de consumo de agua, existe un recargo de Administración de Clientes Mensual de 2.07 USD, y un recargo porcentual del 38.6% del consumo, para el Alcantarillado. Se obtiene una tasa referencial para el año 1, y posteriormente se establece un crecimiento de la tasa eléctrica de 1% anual.

El valor del Mantenimiento Anual de 18 USD, en el cual se debe tomar en cuenta la limpieza del equipo, corrección de Fugas, y mantenimiento preventivo de la Bomba de Agua. Este valor irá creciendo con el tiempo, debido a la inflación y otros factores como un mayor mantenimiento del sistema, por lo cual se establece un aumento de 3 USD cada año.

Además se toma un valor de depreciación del 5% anual, tomando en cuenta una vida útil del equipo de 20 años.

Los ingresos están dados, por la realización de prácticas en el presente equipo, el mismo que nos permite realizar las siguientes practicas:

- Homologación de Datos
- Análisis Térmico
- Campos de Temperatura

Estas diversas prácticas pueden ser realizadas por alumnos de POST-GRADO y de Educación Superior, teniendo los siguientes costos por práctica que se detallan a continuación:

- Tenemos 4 grupos de 5 alumnos de Post-Grado, que realizan 3 prácticas al año, con un valor de 15 USD por cada práctica, por cada alumno.
- Tenemos 20 alumnos por Semestre, que realizan 3 prácticas cada semestre, con un valor de 5 USD por cada práctica, por cada alumno.

Estos costos son recargados en la matricula de su educación. Tenemos así un ingreso de 1500 USD cada año por este concepto.

Tabla 6.12 Flujo de Caja

Año	Ingresos	Costos de Funcionamiento			Inversión	Depreciación	Flujo de Caja	Saldo Acumulado
		Mantenimiento	E. Eléctrica	Agua				
0	0.00	0.00	0.00	0.00	4664.76	0.00	-4664.76	-4664.76
1	1500.00	18.00	53.01	30.73	0.00	233.24	1398.26	-3499.74
2	1500.00	21.00	53.54	31.04	0.00	233.24	1394.42	-2338.56
3	1500.00	24.00	54.08	31.35	0.00	233.24	1390.58	-1181.22
4	1500.00	27.00	54.62	31.66	0.00	233.24	1386.72	-27.74
5	1500.00	30.00	55.17	31.98	0.00	233.24	1382.86	1121.88
6	1500.00	33.00	55.72	32.30	0.00	233.24	1378.99	2267.63
7	1500.00	36.00	56.27	32.62	0.00	233.24	1375.11	3409.50
8	1500.00	39.00	56.84	32.94	0.00	233.24	1371.22	4547.48
9	1500.00	42.00	57.41	33.27	0.00	233.24	1367.32	5681.56
10	1500.00	45.00	57.98	33.61	0.00	233.24	1363.41	6811.74
11	1500.00	48.00	58.56	33.94	0.00	233.24	1359.50	7938.00
12	1500.00	51.00	59.15	34.28	0.00	233.24	1355.57	9060.33
13	1500.00	54.00	59.74	34.62	0.00	233.24	1351.64	10178.73
14	1500.00	57.00	60.33	34.97	0.00	233.24	1347.69	11293.19
15	1500.00	60.00	60.94	35.32	0.00	233.24	1343.74	12403.69
16	1500.00	63.00	61.55	35.67	0.00	233.24	1339.78	13510.23
17	1500.00	66.00	62.16	36.03	0.00	233.24	1335.81	14612.80
18	1500.00	69.00	62.78	36.39	0.00	233.24	1331.83	15711.39
19	1500.00	72.00	63.41	36.75	0.00	233.24	1327.83	16805.98
20	1500.00	75.00	64.05	37.12	0.00	233.24	1323.83	17896.58

6.2.2 TIR y VAN

Se realizo el cálculo del TIR y el VAN

Tabla 6.13 Cálculo del TIR y el VAN

Año	Inversión	Ingresos	Egresos	Flujo de Caja	VAN
0	-4664.76	0.00	0.00	-4664.76	0.00
1	0.00	1500.00	101.74	1398.26	1331.675
2	0.00	1500.00	105.58	1394.42	1264.782
3	0.00	1500.00	109.42	1390.58	1201.232
4	0.00	1500.00	113.28	1386.72	1140.859
5	0.00	1500.00	117.14	1382.86	1083.506
6	0.00	1500.00	121.01	1378.99	1029.022
7	0.00	1500.00	124.89	1375.11	977.263
8	0.00	1500.00	128.78	1371.22	928.095
9	0.00	1500.00	132.68	1367.32	881.387
10	0.00	1500.00	136.59	1363.41	837.018
11	0.00	1500.00	140.50	1359.50	794.870
12	0.00	1500.00	144.43	1355.57	754.834
13	0.00	1500.00	148.36	1351.64	716.803
14	0.00	1500.00	152.31	1347.69	680.678
15	0.00	1500.00	156.26	1343.74	646.363
16	0.00	1500.00	160.22	1339.78	613.768
17	0.00	1500.00	164.19	1335.81	582.808
18	0.00	1500.00	168.17	1331.83	553.401
19	0.00	1500.00	172.17	1327.83	525.469
20	0.00	1500.00	176.17	1323.83	498.938

Al final del período tendremos un VAN final y un TIR de

Tabla 6.14 TIR y VAN al final del Período

VAN	\$11,788.58
TIR	29.536%

6.2.3 RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

Como se aprecia en las tablas anteriores, la inversión para la implementación de este sistema es baja. La vida útil del proyecto es prolongada y permite tener un beneficio apropiado a lo largo de la misma.

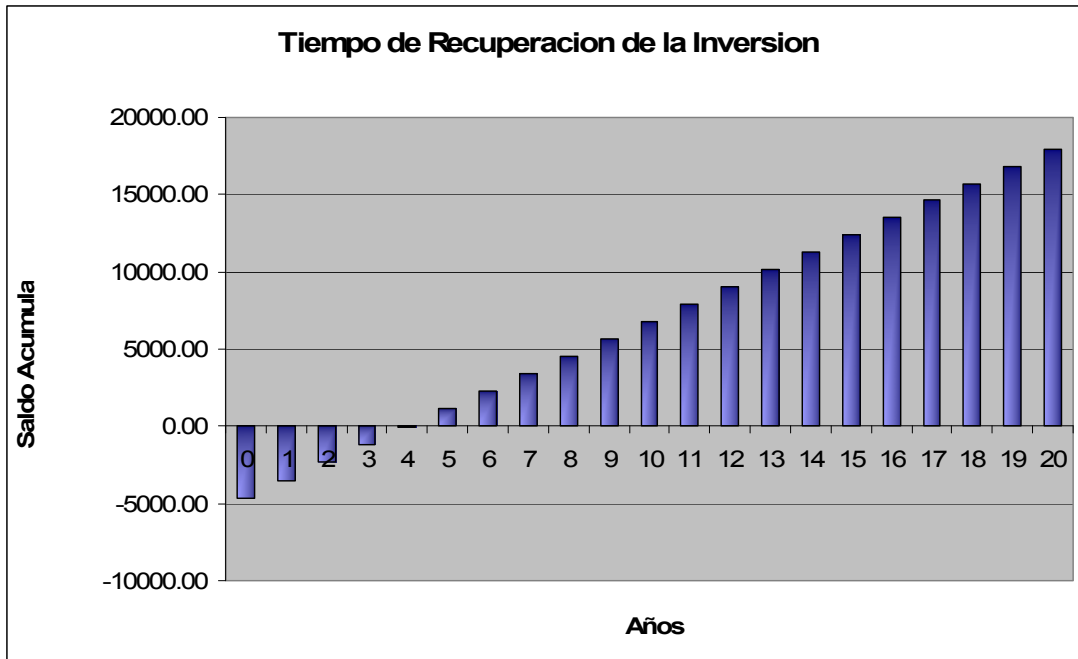


Figura 6.1 Grafico de la Recuperación de la inversión

Como se puede apreciar en la grafica, el total de la inversión se recupera al comienzo del quinto año, lo cual es apropiado para un proyecto con beneficio a mediano y largo plazo.

Costo / Beneficio	0.0924631
--------------------------	------------------

Se observa que la relación costo beneficio es menor a 1, concluyendo que el beneficio supera al costo de una manera apropiada, obteniendo como consecuencia un beneficio económico además de los beneficiar intangibles.

CAPITULO 7.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.2 CONCLUSIONES:

- Se ha logrado cumplir con el objetivo de diseñar y construir un sistema de aprovechamiento de la energía solar térmica para calentar agua, logrando grandes resultados al obtener un rendimiento del 64.58%
- También se ha logrado cumplir el objetivo de tener con un banco homologación de sistemas térmicos solares, el mismo que permite evaluar y comparar con otros afines.
- Mediante la homologación respecto al “Método de las curvas f” podemos indicar que tomando como referencia 100 C, los colectores solares nos aportan el 75% de la energía necesaria para llegar a dicha temperatura, y solo se necesitaría el aporte de un 25% de otros sistemas térmicos, que podrían ser calefones
- Al analizar la recuperación de la inversión en la grafica, podemos dar una información a la comunidad sobre los beneficios de usar este tipo de energías, en donde el gasto o inversión en un equipo como este se lo recuperaría en un período de cinco años, teniendo quince años mas de vida útil, tomando en cuenta el mantenimiento preventivo de este, y al comparar con otros sistemas de calentamiento tendríamos un gran ahorro, ya que la fuente principal es la radiación solar.
- Debido a la ubicación geográfica del Ecuador la radiación solar es muy favorable para este sistema térmico, ya que se encuentra en latitud cero, poniendo una inclinación a los colectores de 10°; en caso de que este sistema se encontrara en otro país, se debería analizar detalladamente

donde se deberían ubicar los colectores solares, con una diferencia en la inclinación

- Después de la elaboración de este trabajo podemos concluir que la energía solar es una posible solución a muchos problemas que se tienen en la generación de energías térmicas. El inconveniente de este sistema con otros es su alto costo de implantación, pero este costo se compensa con el tiempo de vida y los bajos costos de mantenimiento
- Vale la pena aclarar que un captador de este tipo, mal diseñado, construido con los materiales no apropiados seguramente no funcionaría óptimamente
- Mediante una serie de pruebas se pudo concluir que la disposición en serie está justificada para alcanzar temperaturas por encima de los 50 °C, a costa de un menor rendimiento. Y la disposición en paralelo está justificada para la obtención de mayor cantidad de agua caliente.
- Para el diseño de los colectores solares se estipularon temperaturas de entrada y salida de 18 y 50°C, con el fin de tener una eficiencia del 40 al 50%, Pero en la recolección de datos nos encontramos con temperaturas superiores a los 70°C, con una eficiencia del 64.58%, esto se debe a dos factores importantes que son: la selección de los materiales apropiados y la localización en el centro de la tierra lo cual permite tener como ventaja la radiación directa.
- Se pudo comprobar que el colector solar que está elaborado con poliuretano da diferencias de temperaturas hasta de 4°C, siendo más eficiente que el colector de lana de vidrio, esto es debido a que tiene menos pérdidas de calor al ambiente.
- Se pudo observar que el agua almacenada en el tanque térmico pierde de 4 a 6°C en el transcurso de la noche.

7.2 RECOMENDACIONES:

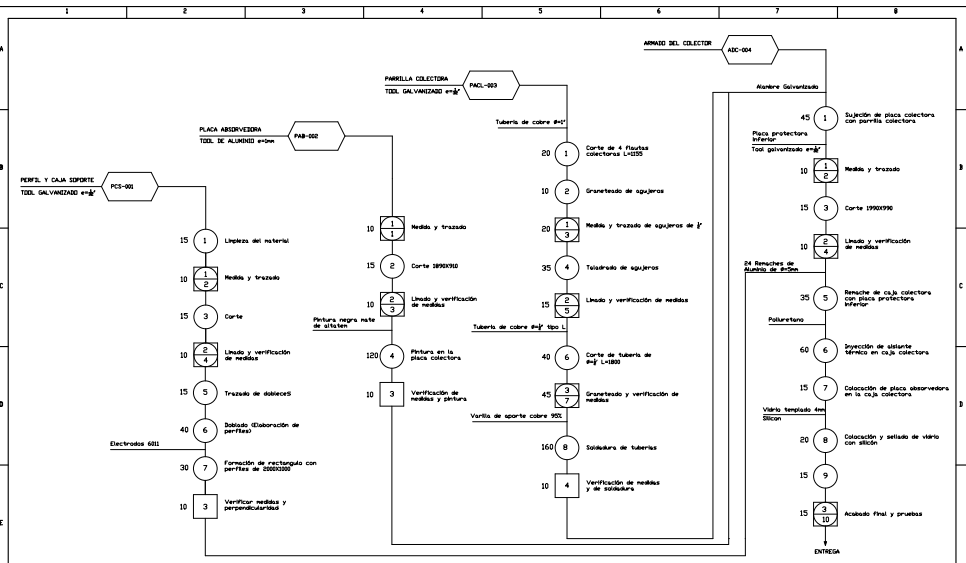
- Para un mejor funcionamiento del calentador solar, es recomendable que los colectores se ubiquen de manera tal que los rayos solares incidan perpendicularmente sobre ellos. Sin embargo, como el colector va a estar fijo a una estructura, y la inclinación de los rayos varía en el transcurso del día, es imposible que el colector este siempre perpendicular a los rayos solares. Dado que en la mayoría de los casos los colectores estarán obligatoriamente fijos, se les deberá orientar hacia el Sur para aprovechar al máximo los rayos solares durante el día. Además, se inclinarán los colectores respecto del plano horizontal, debe tener un ángulo de 10 a 15°, con el fin de aprovechar mejor la radiación solar.
- Es recomendable instalar los colectores solares con una separación de 40 a 50cm uno del otro, con el fin de tener la debida comodidad al momento de realizar el mantenimiento
- Se recomienda trabajar con un caudal de 1.5 a 3 L/min, en las temporadas de invierno, y de 3 a 6 L/min en las temporadas de verano, ya que con un caudal de 3L/min en la temporada de verano los medidores de temperatura superan el rango de temperatura (70°C).
- Para la recopilación de datos es recomendable vaciar el agua caliente del tanque térmico. Los datos obtenidos a partir del agua caliente no permitirán realizar un análisis de eficiencia térmica óptima.
- Para realizar la práctica de eficiencia es recomendable limpiar la cubierta del colector solar, ya que estas disminuyen la eficiencia del equipo.
- Realice un sangrado del sistema hidráulico en los colectores solares. La presencia de aire altera los datos, esto hace que disminuye la eficiencia del sistema.

- Al momento de construir el tanque térmico, evite disminuir gastos en materiales, más bien elija los mejores. La selección de un buen aislante térmico le permitirá tener agua caliente en las madrugadas.

ANEXOS

ANEXO A

ORGANIGRAMAS DE PROCESOS



Fecha:	Nombre:	Firma:	MATERIAL:	Cantidad:
PROYECTADO 2007-09-07	Castillo, Pilla Jo		N/A	2
DIBUJADO 2007-09-07	Castillo, Pilla Jo		CONTIENE:	Escala:
REVISADO 2007-11-05	Ing. J. Guasumba		PROCESO DE MANUFACTURA DE 1 COLECTOR	N/A
APROBADO 2007-11-05	Ing. E. Sorlo		CÓDIGO	
"ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO"			COLE-001	
Carrera De Ing. Mecánica			Sustituye a:	Hojas 1/4
			CAPITULO IV	

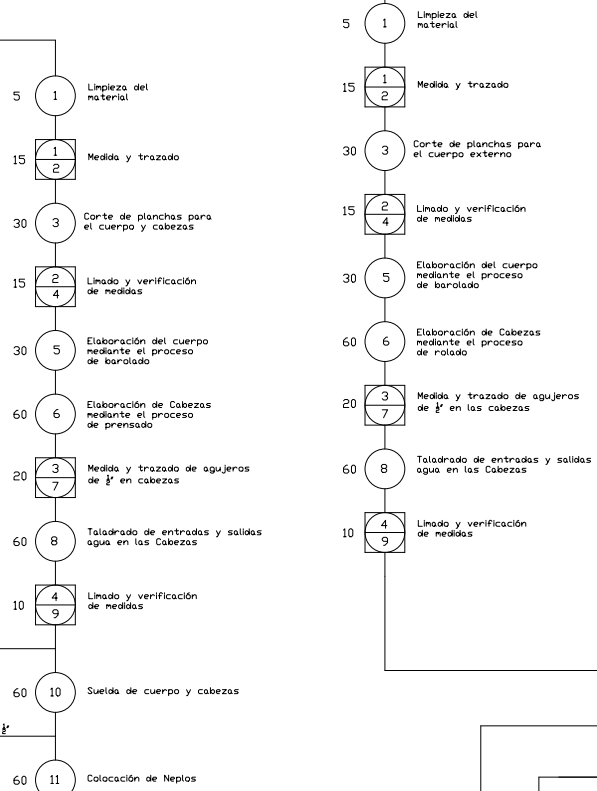
TANQUE ACUMULADOR INTERNO
AISI 302 e=4mm

TAI-004

TANQUE PROTECTOR EXTERIOR
TODL GALVANIZADO e=3/32"

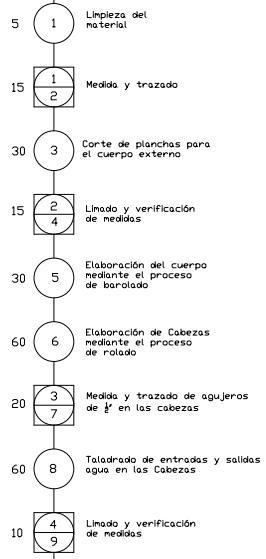
PREX-004

TANQUE ACUMULADOR
TNAC-004



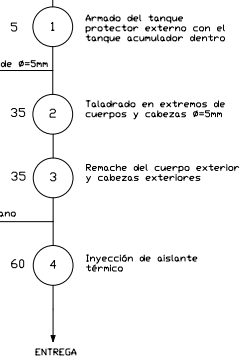
Electrodos 6011

Neoplas AISI 304 de 1/2"



Renches de aluminio de Ø=5mm

Poluretano



	Fecha:	Nombre:	Firma:	MATERIAL:	Cantidad:
PROYECTADO	2007-09-07	Castillo, PillaJo		N/A	2
DIBUJADO	2007-09-07	Castillo, PillaJo		CONTIENE: PROCESO DE MANUFACTURA DEL TANQUE ACUMULADOR	Escala:
REVISADO	2007-11-25	Ing. J. Guasumba			N/A
APROBADO	2007-11-25	Ing. E. Soria			
"ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO" Carrera De Ing. Mecánica				CÓDIGO	
				TANQ-001	
				Sustituye a:	CAPITULO IV
					Hoja: 2/4



1

2

3

4

MONTAJE HIDRÁULICO DEL SISTEMA

PISH-004

Angulo de 20X20X1.5

Electrodos E6011

360

1

Construcción de soporte para colectores

TUBO CUADRADO 40X40X5

PLATINA DE 40X5

Electrodos E6011

360

2

Construcción de tanque acumulador y soporte para bomba de agua

10

3

Ubicación de tanque acumulador y colectores

60

4

Colocación de colectores, bomba y tanque en soportes

TUBERIA HIDRO 3 #=3/4

Electrodos E6011

60

1
5

Rección y corte de tuberías

30

6

Roscado de tuberías

ACCESORIOS HIDRÁULICOS

120

7

Ensamble de la Bomba, tuberías, accesorios y equipos

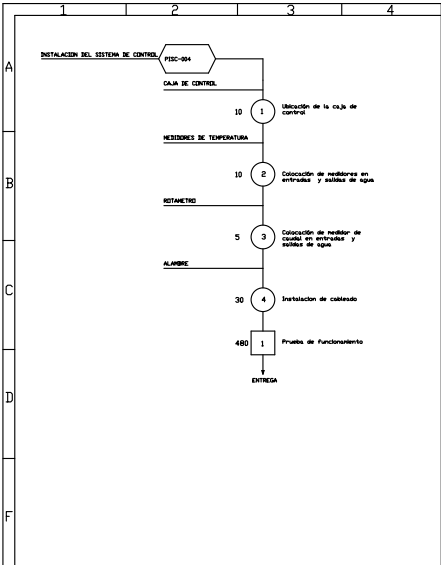
20

8

Aislamiento en tuberías

ENTREGA

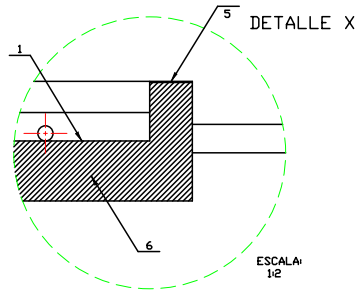
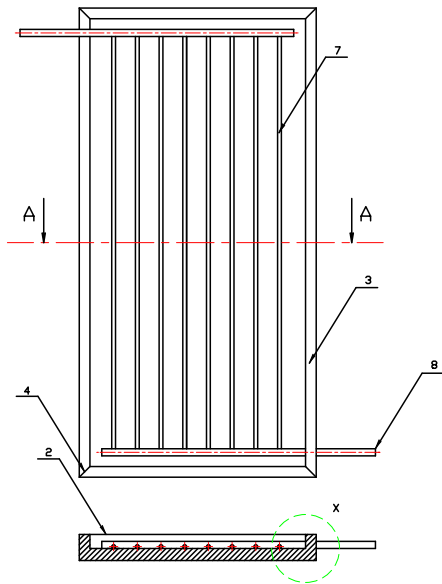
	Fecha:	Nombre:	Firma:	MATERIAL:	Cantidad:
PROYECTADO	2007-09-07	Castillo, Pila Jo		N/A	2
DIBUJADO	2007-09-07	Castillo, Pila Jo		CONTIENE: PROCESO DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO	Escala: N/A
REVISADO	2007-11-25	Ing. J. Guasumba			
APROBADO	2007-11-25	Ing. E. Sorla		CÓDIGO	
"ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO" Carrera De Ing. Mecánica				SIHC-001	
				Sustituye a:	CAPITULO IV



	Fecha:	Nombre:	Firma:	MATERIAL:	Cantidad:	
PROYECTADO	2007-09-07	Castillo, Pila Jo		N/A	2	
DIBUJADO	2007-09-07	Castillo, Pila Jo		CONTIENE: PROCESO DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.	Escala: N/A	
REVISADO	2007-11-25	Ing. J. Guasumba				
APROBADO	2007-11-25	Ing. E. Soria				
"ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO" Carrera De Ing. Mecánica				CÓDIGO	SISTC-001	
				Sustituye a:	CAPITULO IV	Hoja 4/4

ANEXO B

PLANOS



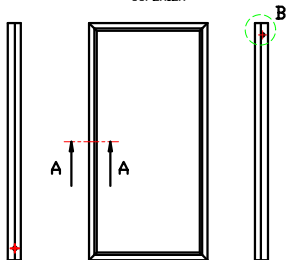
LISTA DE DETALLES

Nº	DENOMINACION	MATERIAL	CANT	DIAMETRO	ESPESOR	OBSERV.
·	Placa absorbedora negro mate	Aluminio	2		1mm	Recubrimiento pintura negro mate
·	Cubierta transparente	Vidrio	2		4mm	Templado
·	-	Foot galvanizado	2	-	$e=3/8"$	Galvanizado
·	soldada	Electrodo revestido	2	5mm	-	Electrica
·	Sellante	Silicón	2	-	$e=3/8"$	Transparente
·	Aislante	Poliuretano	2		2"	Inferior y laterales
·	Tuberia Primaria	Cobre	16	$1/2"$	-	tipo L
·	Tuberia Secundaria	Cobre	4		-	-

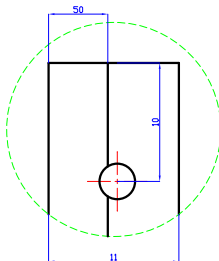
	Fecha:	Nombre:	Firma:	MATERIAL:	Cantidad:
PROYECTADO	2007-08-19	Castillo, Pilla Jo		VARIOS	2
DIBUJADO	2007-09-25	Castillo, Pilla Jo		CONTIENE:	Escala:
REVISADO	2007-10-09	Ing. J. Guasumba		PARTES DEL COLECTOR SOLAR	1:10
APROBADO	2007-10-09	Ing. E. Sorio		CÓDIGO	
'ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO'				CDL-01	
Carrera De Ing. Mecánica				Sustituye a:	
				CAPITULO IV	Hoja: 1/15



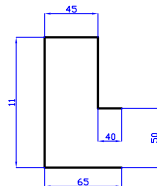
CAJA COLECTORA VISTA SUPERIOR



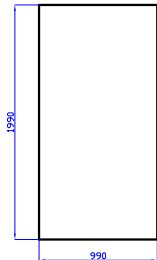
DETALLE B
ESD 1:2



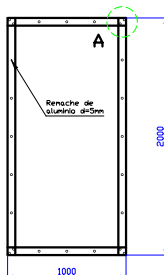
CORTE PERFIL A-A
ESD 1:2



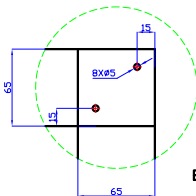
PLANCHA BASE DE CAJA COLECTORA



CAJA COLECTORA VISTA INFERIOR

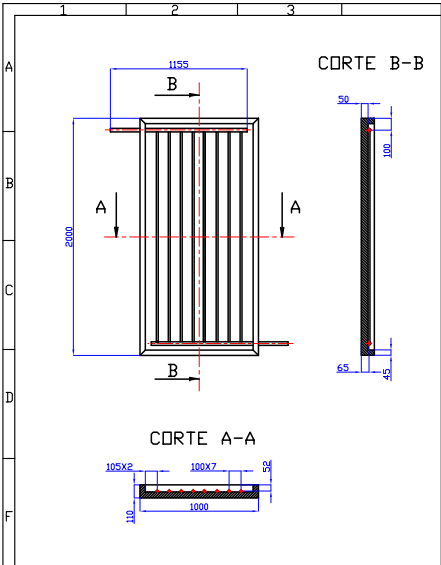



DETALLE A



ESC: 1:2

	Fecha:	Nombre:	Firma:	MATERIAL:	Cantidad:
PROYECTADO	2007-08-23	Castillo, Pilla Jo		TODL GALVANIZADO	2
DIBUJADO	2007-09-20	Castillo, Pilla Jo		CONTIENE:	Escala:
REVISADO	2007-10-09	Ing. J. Guasumba		CAJA PROTECTORA DEL COLECTOR SOLAR	1:20
APROBADO	2007-10-09	Ing. E. Sorlo		CODIGO	
'ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO' Carrera De Ing. Mecánica				CDL-002	
Sustituye a:				CAPITULO IV	Hoja: 2/15



	Fecha:	Nombre:	Firma:	MATERIAL:	CANTIDAD:
PROYECTADO	2007-08-29	Castillo, Pilla, Jo		VARIOS	2
DIBUJADO	2007-08-29	Castillo, Pilla, Jo		CONTIENE: COLECTOR SOLAR	ESCALA 1:10
REVISADO	2007-10-25	Ing. J. Guasumba			
APROBADO	2007-10-25	Ing. E. Sorla			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA				CODIGO: COL-003	 3/15
				SUSTITUYE A:	

1

2

3

A

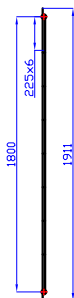
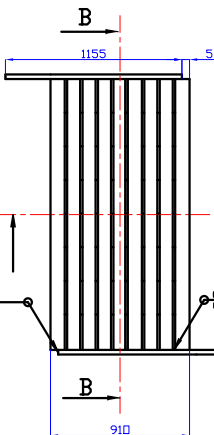
B

C

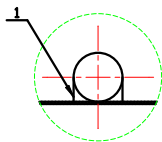
D

F

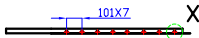
CORTE B-B

Aluminio
15%Aluminio
15%

DETALLE X

ESCALA
1:1

CORTE A-A

TOLERANCIA GENERAL $\pm 1\text{mm}$

1 : Alambre galvanizado 18

Fecha: Nombre: Firma:

MATERIAL:

CANTIDAD:
2

VARIOS

PROYECTADO

2007-08-19

Castillo, Pilla, Jo

DIBUJADO

2007-09-23

Castillo, Pilla, Jo

CONTIENE:

ESCALA
1:10

COLECTOR SOLAR

REVISADO

2007-10-29

Ing. J. Guasumba

APROBADO

2007-10-29

Ing. E. Sorla

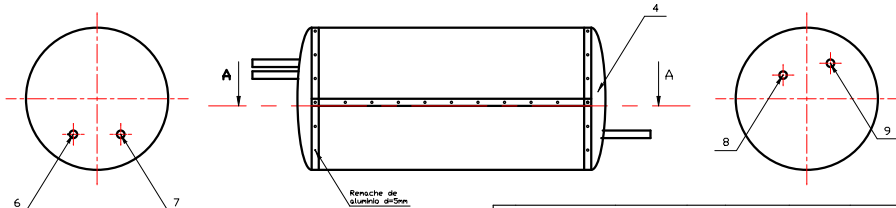
CODIGO:

COL-004

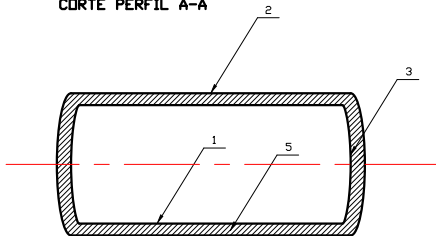
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

SUSTITUYE A:

4/15



CORTE PERFIL A-A



LISTA DE DETALLES

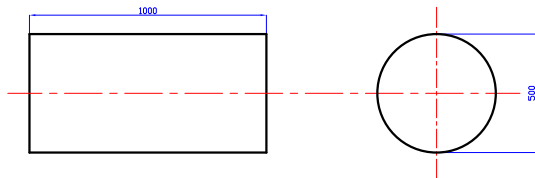
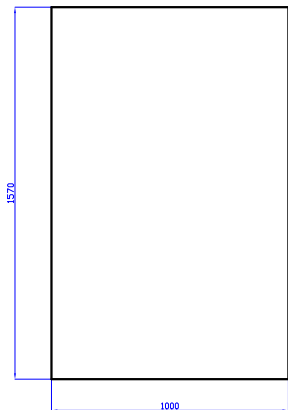
Nº	DENOMINACION	MATERIAL	CANT	DIAMETRO	ESPESOR	OBSERV.
-	Tanque Interno	AISI 302	1	-	4mm	Proceso de manufactura varolado
-	Tanque Externo	Tool galvanizado	1	-	4	Proceso de manufactura varolado
-	-	AISI 302	2	-	4mm	Proceso de manufactura prensado
-	Cabeza Elipsoidal	Tool Galvanizado	2	500mm	4	Proceso de manufactura rolado
-	Aislante térmico	Poliuretano	1	----	2"	Proceso de llenado inyección
-	Entrada de agua Fria	Agua	1	----	----	Agua de la EMAP
-	Salida de agua Fria	Agua	1	----	----	Retorno al Colector Solar
-	Salida de ACS	Agua	1	----	----	Agua para utilizar
9	Entrada de agua caliente al tanque	Agua	1	----	----	Agua caliente a 35°

PROYECTADO	2007-08-10	Castillo, Pilla Jo	Firma:	MATERIAL:	VARIOS	Cantidad:	1
DIBUJADO	2007-09-20	Castillo, Pilla Jo		CONTIENE:	TANQUE PARA ALMACENAMIENTO	Escala:	1:10
REVISADO	2007-09-20	Ing. J. Guasumba		CÓDIGO	CDL-005		
APROBADO	2007-10-09	Ing. E. Sorlo		Sustituye a:	CAPITULO IV		

'ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO'
Carrera De Ing. Mecánica

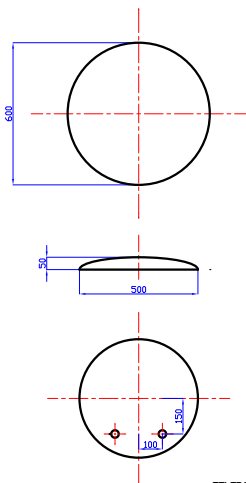


DESARROLLO RECTANGULAR PARA EL BARDADO




	Fecha:	Nombre:	Firma:	MATERIAL:	Cantidad:
PROYECTADO	2007-08-17	Castillo, Pilla Jo		TODL NEGRO 3mm AISI 302	1
DIBUJADO	2007-09-20	Castillo, Pilla Jo		CONTIENE: DESARROLLO DEL TANQUE INTERNO	Escala:
REVISADO	2007-10-09	Ing. J. Guasumba			1:10
APROBADO	2007-10-09	Ing. E. Sorlo		CÓDIGO	
'ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO' Carrera De Ing. Mecánica				TAN-001	
				Sustituye a:	CAPITULO IV

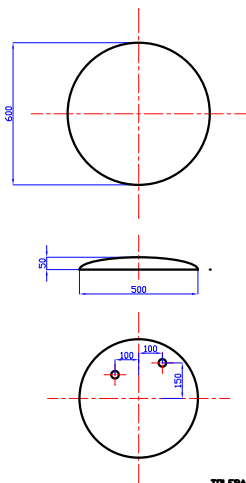
DESARROLLO CIRCULAR PARA EL PRENSADO



TOLERANCIA GENERAL $\pm 1\text{mm}$

	Fecha:	Nombre:	Firma:	MATERIAL:	CANTIDAD:
PROYECTADO	2007-08-28	Castillo, Pila Jo		TDDL NEGRO e=3mm AISI 302	1
DIBUJADO	2007-09-28	Castillo, Pila Jo			
REVISADO	2007-10-29	Ing. J. Guasumba		CONTIENE: CABEZA ELIPSOIDAL 3 TANQUE INTERNO	ESCALA 1:10
APROBADO	2007-10-29	Ing. E. Soria			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA				CODIGO: CAB-001	
				SUSTITUYE A:	

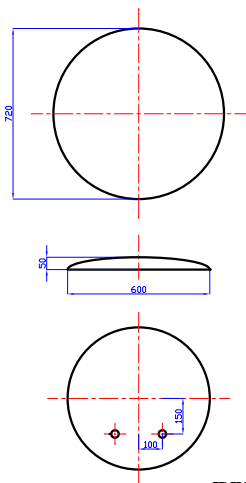
**PLANCHA CIRCULAR PARA
EL PENSADO**



TOLERANCIA GENERAL $\pm 1\text{mm}$

	Fecha:	Nombre:	Firma:	MATERIAL:	CANTIDAD:
PROYECTADO	2007-08-2	Castillo, Pila,Jo		TOOL NEGRO e=3mm AISI 302	1
DIBUJADO	2007-09-23	Castillo, Pila,Jo			
REVISADO	2007-10-29	Ing.J. Guasumba		CONTIENE: CABEZA ELIPSOIDAL 4 TANQUE INTERNO	ESCALA 1/10
APROBADO	2007-10-29	Ing.E. Soria			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA				CODIGO: CAB-002	⊕
				SUSTITUYE A:	

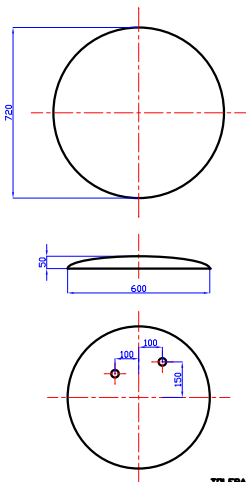
DESARROLLO CIRCULAR PARA EL Prensado



TOLERANCIA GENERAL $\pm 1\text{mm}$

	Fecha:	Nombre:	Firma:	MATERIAL:	CANTIDAD:	
PROYECTADO	2007-08-28	Castillo, Pila Jo		TODL GALVANIZADO e=3mm	1	
DIBUJADO	2007-09-23	Castillo, Pila Jo				
REVISADO	2007-10-29	Ing. J. Guasumba		CONTIENE:	ESCALA	
APROBADO	2007-10-29	Ing. E. Soria		CABEZA ELIPSOIDAL 1	1:10	
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA				CODIGO:	CAB - 003	\odot
				SUSTITUYE A:		9/15

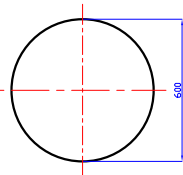
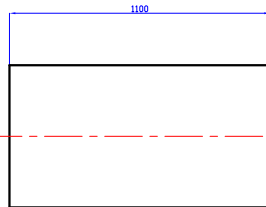
**PLANCHA CIRCULAR PARA
EL PENSADO**




TLERANCIA GENERAL $\pm 1\text{mm}$

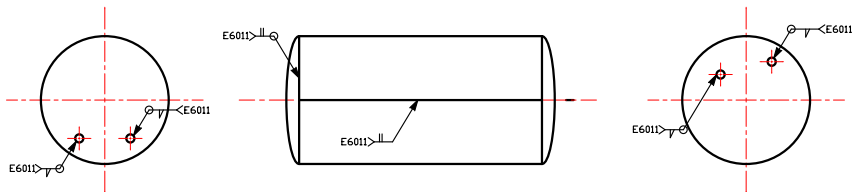
	Fecha:	Nombre:	Firma:	MATERIAL:	CANTIDAD:
PROYECTADO	2007-08-22	Castillo, Pila Jo		TDL GALVANIZADO e=3mm	1
DIBUJADO	2007-09-23	Castillo, Pila Jo		CONTIENE: CABEZA ELIPSOIDAL 2	ESCALA 1:10
REVISADO	2007-10-29	Ing. J. Guasumba			
APROBADO	2007-10-29	Ing. E. Sorla		CODIGO: CAB-002	\varnothing
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA				SUSTITUYE A:	10/15

DESARROLLO RECTANGULAR PARA EL BARDADO

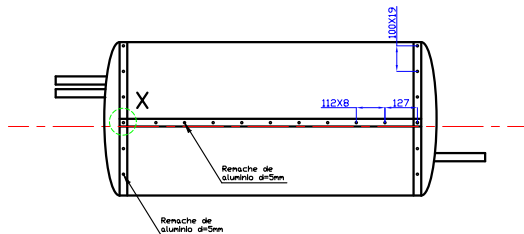


	Fecha:	Nombre:	Firma:	MATERIAL:	Cantidad:
PROYECTADO	2007-08-28	Castillo, Pila Jo		TOOL GALVANIZADO	1
DIBUJADO	2007-09-28	Castillo, Pila Jo		CONTIENE:	Escala:
REVISADO	2007-10-29	Ing. J. Guasumba		DESARROLLO DEL TANQUE EXTERNO	1:10
APROBADO	2007-10-29	Ing. E. Soris			
'ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO' Carrera De Ing. Mecánica				CÓDIGO CIL-001	
				Sustituye a:	

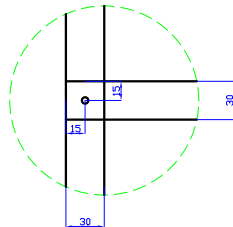
TANQUE INTERNO



TANQUE EXTERNO

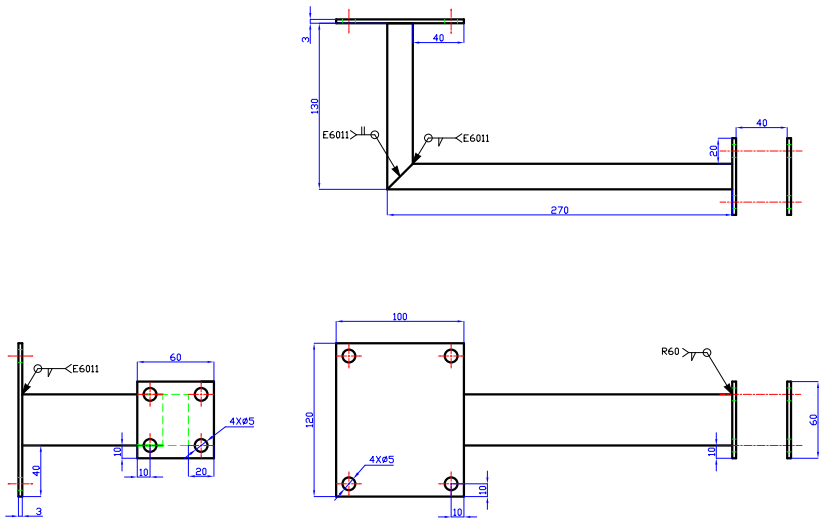


DETALLE X



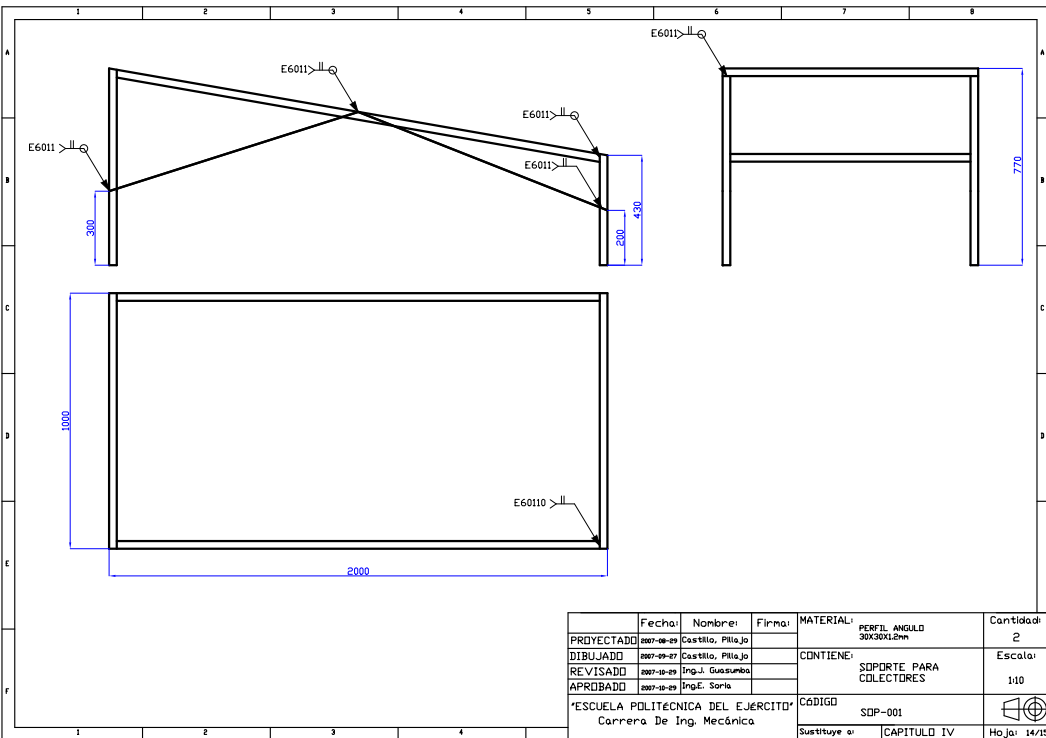
TOLERANCIA GENERAL $\pm 1mm$


	Fecha:	Nombre:	Firma:	MATERIAL:	Cantidad:
PROYECTADO	2007-08-09	Castillo, Pila Jo		TOL. NEGRO 3mm TOL. GALVANIZADO 1/32	1
DIBUJADO	2007-09-27	Castillo, Pila Jo		CONTIENE:	Escala:
REVISADO	2007-10-09	Ing. J. Guasumba		SOLDADURA Y REMACHE EN EL TANQUE	1:10
APROBADO	2007-10-09	Ing. E. Sorla			
"ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO" Carrera De Ing. Mecánica				CÓDIGO	
				TAN-002	
				Sustituye a:	
				CAPITULO IV	
					Hoja: 12/15

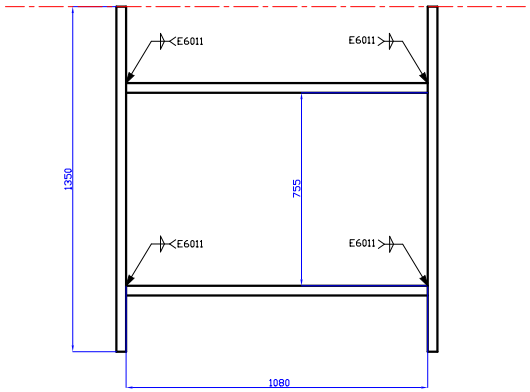
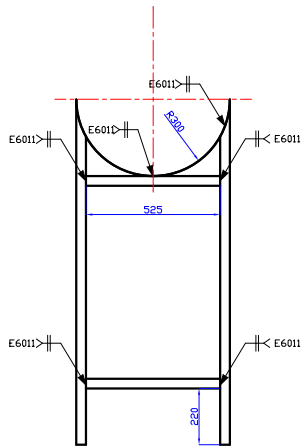


TOLERANCIA GENERAL ± 1mm


	Fecha:	Nombre:	Firma:	MATERIAL:	Cantidad:
PROYECTADO	2007-09-20	Castillo, Pilojo		AISI 302	1
DIBUJADO	2007-10-10	Castillo, Pilojo		CONTIENE:	Escala:
REVISADO	2007-10-29	Ing. J. Guasumba		SOPORTE PARA BOMBA DE AGUA	1:2
APROBADO	2007-10-29	Ing. E. Sarlo		Código	
"ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO" Carrera De Ing. Mecánica				SOP-003	
				Sustituye a:	Hoja:
				CAPITULO IV	13/15



	Fecha:	Nombre:	Firma:	MATERIAL:	Cantidad:
PROYECTADO	2007-08-29	Castillo, Pilla Jo		PERFIL ANGULO 30X30X1,2mm	2
DIBUJADO	2007-09-27	Castillo, Pilla Jo		CONTIENE:	Escala:
REVISADO	2007-10-29	Ing. J. Guasumba		SOPORTE PARA COLECTORES	1:10
APROBADO	2007-10-29	Ing. E. Sorla		Código	
'ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO' Carrera De Ing. Mecánica				SDP-001	
				Sustituye a:	Hoja:
				CAPITULO IV	14/15



TOLERANCIA GENERAL $\pm 1mm$

	Fecha:	Nombre:	Firma:	MATERIAL:	Cantidad:
PROYECTADO	2007-08-09	Castillo, Pila Jo		PERFIL CUADRADO 40X40X1,2mm PLATINA DE 40X5mm	1
DIBUJADO	2007-09-27	Castillo, Pila Jo		CONTIENE:	Escala:
REVISADO	2007-10-09	Ing. J. Guasumba		SDPORTE DEL TANQUE	1:10
APROBADO	2007-10-09	Ing. E. Sorla		Código	
'ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO' Carrera De Ing. Mecánica				SDP-002	
				Sustituye a:	Hoja:
				CAPITULO IV	15/15

ANEXO C

ESPECIFICACION DE LOS ELEMENTOS DE CONTROL



SERIES FL-2000 – FL-2069
FLOWMETERS



M3231 / 0505

Shop online at: omega.com e-mail: info@omega.com
For latest product manuals: omegamanual.info

INSTALLATION & OPERATION INSTRUCTIONS
FL-2000 – FL-2069

Acrylic block flowmeters are available in various sizes and ranges, with direct reading scales in both SAE and SI units for air and water (see charts on other side). For other gases or liquids, special scales can be provided. If you use this meter with fluids other than air or water, please consult chemical compatibility data for possible effects on the meter. These meters are manufactured of durable acrylic and if properly installed and maintained, will provide long-term trouble-free operation.

SPECIFICATIONS	
ACCURACY:	FL-2001 to FL-2025 • ± 5% Full Scale FL-2031 to FL-2069 • ± 3% Full Scale
FLOATS:	Black Glass, Stainless Steel, Aluminum or Black Delrin
METER BODY:	Clear Acrylic
FITTINGS:	Brass or Stainless Steel
ELASTOMERS:	• Buna-N with Brass Fittings • Viton O-rings with Stainless Steel fittings
VALVES:	Brass or Stainless Steel Cartridge Type (Optional)
MOUNTING INSERTS:	10-32 UNF
MAXIMUM TEMPERATURE:	150°F (65 °C)
MAXIMUM PRESSURE:	100 PSIG (690 kPa)

UNPACKING

Precautions have been taken to prevent any damage from occurring during shipment. However, if the

meter is received damaged, *report it to the carrier immediately*. Before installing, verify that you have the model and flow range required.

ACHIEVING ACCURATE FLOWRATES

To obtain an accurate flowrate, the float must be read at the position indicated on the meter. If the meter uses a ball float, the flowrate is determined by reading the center of the ball. Additionally, the flowmeter should be installed in a manner, which minimizes both external vibrations and internal flow variations. Special care should be taken so that the connections to the meter's inlet and outlet fittings do not overly restrict the liquid or gas flow being metered. This could result in a reduced flow volume, preventing the meter from reaching its maximum flowrate. Furthermore, internal pressures could be affected, which can cause inaccurate flow readings. On start-up, slowly purge any fluid trapped in the meter.

INSTALLATION

These meters are supplied with 5/8" or 7/8" hex's on the inlet and outlet fittings. When installing 1/8-27 MNPT or 1/4-18 MNPT fittings into the meter, **place the appropriate size wrench on the hex to prevent the inlet/outlet fitting from rotating. Torque only to 60 in-lbs.** Failure to do so will cause the fitting to rotate, and may damage the meter body, causing leaks and/or meter failure. Use pipe thread sealant or Teflon® tape to ease installation and provide a better seal. This meter is supplied with #10-32 threaded inserts for mounting. When installing, use slotted screws and torque to a maximum of 35 in-lbs. Mounting dimensions are shown in Figure 1.

CAUTION

THIS FLOWMETER IS DESIGNED FOR USE WITH NON-HAZARDOUS FLUIDS AT PRESSURES UP TO 100 PSI (690 KPA) AND TEMPERATURES UP TO 150 °F (65 °C). DO NOT USE HAZARDOUS FLUIDS AND DO NOT EXCEED TEMPERATURE OR PRESSURE LIMITS. USE WITH HAZARDOUS FLUIDS OR EXCEEDING THE PRESSURE AND TEMPERATURE LIMITS MAY CAUSE FAILURE WHICH COULD RESULT IN INJURY.

CLEANING AND DISASSEMBLY

Occasional cleaning may be required if dirt appears in the flow tube or if float movement becomes restricted. To clean, remove the top plug and remove the float. Wash the tapered hole and top plug with a mild liquid detergent and soft brush. Rinse all parts with clean water and dry thoroughly with clean air or nitrogen. **Do not use solvents to clean this meter** as they will attack the acrylic and destroy the meter.

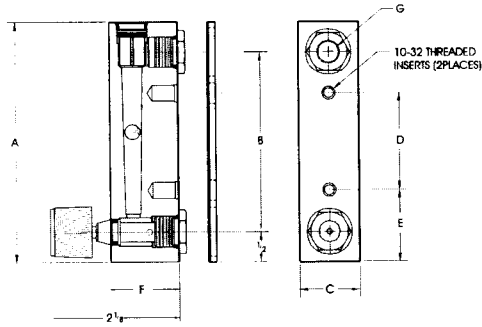
RE-ASSEMBLY

Check to make sure that all parts are clean and dry. To lubricate the o-rings, apply a small amount of halocarbon grease prior to re-assembly. If applicable, reinstall the rod guide assembly into the flowmeter body. Make sure the rod guide is seated firmly in the body of the meter. Reinstall the top plug, making sure that the rod guide is properly aligned. Tighten top plug until it's flush with top of acrylic body. Exceeding this may damage the meter body. If you have any questions regarding the installation, maintenance or use of this flowmeter, please call the Customer Service Department.

DIMENSIONS		FL-2001 to FL-2025	FL-2031 to FL-2057	FL-2060 to FL-2069
A	IN.	4	6 1/2	6 5/8
	mm	102	165	164
B	IN.	3	5 1/2	5 1/2
	mm	76.2	140	140
C	IN.	1	1 3/8	1 1/8
	mm	25.1	34.9	28.6
D	IN.	1 5/8	3 1/2	3 1/2
	mm	41.3	88.9	38.1
E	IN.	1 3/16	1 1/2	1 1/2
	mm	30.2	38.1	38.1
F	IN.	1 1/8	1 1/8	1 3/8
	mm	29.6	28.6	34.9
G	IN.	1/8-27	1/8-27	1/4-18
	mm	MNPT	MNPT	MNPT

*Does not include 1/8" backplate.

FL-2001 to FL-2025 FLOW RATES			
RANGE	MODEL	RANGE	MODEL
SCFH OF AIR	CODE	LPM OF AIR	CODE
1-1	FL-2001	.04-5	FL-2010
2-2	FL-2002	1-1	FL-2011
4-5	FL-2003	2-2.5	FL-2012
5-10	FL-2004	4-5	FL-2013
2-20	FL-2005	1-10	FL-2014
3-30	FL-2006	2-25	FL-2015
4-50	FL-2007	4-50	FL-2016
10-100	FL-2008	10-100	FL-2017
20-200	FL-2009		
		GPH OF WATER	CODE
		2-2	FL-2021
		4-5	FL-2022
		1-10	FL-2023
		2-20	FL-2024
		4-40	FL-2025



FL-2060 to FL-2069 FLOW RATES*			
RANGE	MODEL	RANGE	MODEL
SCFH OF AIR	CODE	LPM OF AIR	CODE
5-5	FL-2060	14-140	FL-2063
1-10	FL-2061	30-280	FL-2064
2-20	FL-2062	60-560	FL-2065
		GPM OF WATER	CODE
		2-2.5	FL-2066
		4-5	FL-2067
		1.5-20	FL-2068
		1.5-20	FL-2069
FL-2031 to FL-2057 FLOW RATES			
RANGE	MODEL	RANGE	MODEL
SCFH OF AIR	CODE	CCM OF WATER	CODE
4-5	FL-2031	4-50	FL-2045
1-10	FL-2032	10-120	FL-2046
2-20	FL-2033	25-225	FL-2047
4-40	FL-2034	40-400	FL-2048
10-100	FL-2035	40-660	FL-2049
14-150	FL-2036	100-1500	FL-2050
20-200	FL-2037	200-3000	FL-2051
		CCM OF AIR	CODE
		300-3700	FL-2052
		GPH WATER	CODE
		1-10	FL-2053
		2-25	FL-2054
		4-50	FL-2055
		6-60	FL-2056
		3-30	FL-2042
		SCFH OF AIR	CODE
		3-3	FL-2057
		LPM OF AIR	CODE
		4-5	FL-2039
		1-10	FL-2040
		2-20	FL-2041
		3-30	FL-2042
		4-50	FL-2043
		10-100	FL-2044

CONTINUED PRODUCT IMPROVEMENT MAY RESULT IN SPECIFICATION REVISIONS
WHEN ORDERING PARTS PLEASE INCLUDE PART DESCRIPTION, ITEM NUMBER AND TYPE OF MATERIAL REQUIRED.



OMEGAnet® Online Service omega.com	Internet e-mail info@omega.com
---------------------------------------	-----------------------------------

Servicing North America:

U.S.A.: One Omega Drive, Box 4047
Stamford, CT 06907-0047
Tel: (203) 354-1400 FAX: (203) 354-7700
e-mail: info@omega.com

Canada: c/o Bengar
Level-Quebec, HTL 5A1, Canada
Tel: (514) 856-6928 FAX: (514) 856-8886
e-mail: info@omega.ca

For immediate technical or application assistance:

U.S.A. and Canada: Sales Service: 1-800-826-6342 / 1-800-TUC-OMEGA®
Customer Service: 1-800-422-2378 / 1-800-422-BEST®
Engineering Service: 1-800-872-9436 / 1-800-USA-WHEN®

Mexico: En Español (01) 203-354-7803 e-mail: espanol@omega.com
FAX: (01) 203-354-7807 info@omega.com.mx

Servicing Europe:

Benelux: Postbus 8034, 1180 LA Amsterdam, The Netherlands
Tel: +31 (0)20 3472121 FAX: +31 (0)20 6434643
Toll Free in Benelux: (800) 0993344
e-mail: sales@omgaweb.nl

Czech Republic: Frystokská 184, 733 01 Kavečín, Czech Republic
Tel: +420 (0)59 6311899 FAX: +420 (0)59 6311114
Toll Free: (800) 1-66342 e-mail: info@omgashop.cz

France: 11, rue Jacques Cartier, 79290 Guvancourt, France
Tel: +33 (0)1 81 37 2000 FAX: +33 (0)1 20 57 5427
Toll Free in France: (800) 466 342
e-mail: sales@omega.fr

Germany/Austria: Däumlerstrasse 26, D-75392 Deckenpfronn, Germany
Tel: +49 (0)7056 93960 FAX: +49 (0)7056 939629
Toll Free in Germany: (800) 639 7678
e-mail: info@omega.de

United Kingdom: One Omega Drive, River Bend Technology Centre
Northbank, Irlam, Manchester
M14 5BD United Kingdom
Tel: +44 (0)161 777 6011 FAX: +44 (0)161 777 6022
Toll Free in United Kingdom: (800) 488 488
e-mail: sales@omega.co.uk

It is the policy of OMEGA Engineering, Inc. to comply with all worldwide safety and EMC/EMI regulations that apply. OMEGA is constantly pursuing certification of its products to the European New Approach Directives. OMEGA will add the CE mark to every appropriate device upon certification. The information contained in this document is believed to be correct, but OMEGA accepts no liability for any errors it contains, and reserves the right to alter specifications without notice.

WARNING: These products are not designed for use in, and should not be used for, human applications.

NOTE**WARRANTY/DISCLAIMER**

OMEGA ENGINEERING, INC. warrants this unit to be free of defects in materials and workmanship for a period of **13 months** from date of purchase. OMEGA's WARRANTY adds an additional one (1) month grace period to the normal **one (1) year product warranty** to cover handling and shipping time. This ensures that OMEGA's customers receive maximum coverage on each product.

If the unit malfunctions, it must be returned to the factory for evaluation. OMEGA's Customer Service Department will issue an Authorized Return (AR) number immediately upon phone or written request. Upon examination by OMEGA, if the unit is found to be defective, it will be repaired or replaced at no charge. OMEGA's WARRANTY does not apply to defects resulting from any action of the purchaser, including but not limited to mishandling, improper interfacing, operation outside of design limits, improper repair, or unauthorized modification. This WARRANTY is VOID if the unit shows evidence of having been tampered with or shows evidence of having been damaged as a result of excessive corrosion; or current, heat, moisture or vibration; improper specification; misapplication; misuse or other operating conditions outside of OMEGA's control. Components in which wear is not warranted, include but are not limited to contact points, fuses, and triacs.

OMEGA is pleased to offer suggestions on the use of its various products. However, OMEGA neither assumes responsibility for any omissions or errors nor assumes liability for any damages that result from the use of its products in accordance with information provided by OMEGA, either verbal or written. OMEGA warrants only that the parts manufactured by the company will be as specified and free of defects. OMEGA MAKES NO OTHER WARRANTIES OR REPRESENTATIONS OF ANY KIND WHATSOEVER, EXPRESSED OR IMPLIED, EXCEPT THAT OF TITLE, AND ALL IMPLIED WARRANTIES INCLUDING ANY WARRANTY OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE HEREBY DISCLAIMED. **LIMITATION OF LIABILITY:** The remedies of purchaser set forth herein are exclusive, and the total liability of OMEGA with respect to this order, whether based on contract, warranty, negligence, indemnification, strict liability or otherwise, shall not exceed the purchase price of the component upon which liability is based. In no event shall OMEGA be liable for consequential, incidental or special damages.

CONDITIONS: Equipment sold by OMEGA is not intended to be used, nor shall it be used: (1) as a "Basic Component" under 10 CFR 21 (NRC), used in or with any nuclear installation or activity; or (2) in medical applications or used on humans. Should any Product(s) be used in or with any nuclear installation or activity, medical application, used on humans, or misused in any way, OMEGA assumes no responsibility as set forth in our basic WARRANTY/DISCLAIMER language, and, additionally, purchaser will indemnify OMEGA and hold OMEGA harmless from any liability or damage whatsoever arising out of the use of the Product(s) in such a manner.

RETURN REQUESTS / INQUIRIES

Direct all warranty and repair requests/inquiries to the OMEGA Customer Service Department. **BEFORE RETURNING ANY PRODUCT(S) TO OMEGA, PURCHASER MUST OBTAIN AN AUTHORIZED RETURN (AR) NUMBER FROM OMEGA'S CUSTOMER SERVICE DEPARTMENT (IN ORDER TO AVOID PROCESSING DELAYS).** The assigned AR number should then be marked on the outside of the return package and on any correspondence.

The purchaser is responsible for shipping charges, freight, insurance and proper packaging to prevent breakage in transit.

FOR WARRANTY RETURNS, please have the following information available **BEFORE** contacting OMEGA:

1. Purchase Order number under which the product was PURCHASED,
2. Model and serial number of the product under warranty, and
3. Repair instructions and/or specific problems relative to the product.

FOR NON-WARRANTY REPAIRS, consult OMEGA for current repair charges. Have the following information available **BEFORE** contacting OMEGA:

1. Purchase Order number to cover the COST of the repair,
2. Model and serial number of the product, and
3. Repair instructions and/or specific problems relative to the product.

OMEGA's policy is to make running changes, not model changes, whenever an improvement is possible. This affords our customers the latest in technology and engineering.

OMEGA is a registered trademark of OMEGA ENGINEERING, INC.

© Copyright 2005 OMEGA ENGINEERING, INC. All rights reserved. This document may not be copied, photocopied, reproduced, translated, or reduced to any electronic medium or machine-readable form, in whole or in part, without the prior written consent of OMEGA ENGINEERING, INC.



DP752
Solar Powered and
AC Powered Thermometers
M1506/1092



DESCRIPTION

The OMEGA DP752 Solar Powered Thermometers are excellent for outdoor applications where AC power is not available and wide ambient operating temperature is required. Using a 3 volt solar cell the DP752 will operate with as little as 35 lux (a comfortably lit desk is about 300 lux.) The ability to operate in temperatures as low as -35°F, allows the user to monitor temperatures of pipelines in remote sites. Other applications include walk-in refrigerators/freezers and photographic apparatus. Since it is self-powered, the DP752 thermometers can also be used near hot tubs and pools where electrical safety is a concern.

The DP752 is also available in an AC powered model for use in applications which require an LED display and a wide ambient operating range, but limited lighting conditions prevail.

The following models are available from OMEGA Engineering, Inc.

PART NUMBER	DESCRIPTION OF THERMOMETERS
DP752F-(*)-SLR	2.31" Diameter LCD, solar powered Range of -58° to 158°F, Resolution of 1°F
DP752C-(*)-SLR	2.31" Diameter LCD, solar powered Range of -50° to 70°C, Resolution of 1°C
DP752F-(*)-110 †	2.31" Diameter LED, 110VAC power to AC transformer Range of -40° to 230°F Resolution of 1°F
DP752C-(*)-110 †	2.31" Diameter LED, 110VAC power to AC transformer Range of -40° to 110°C Resolution of 1°C

- NOTES:**
- * specify 36 or 96 inches for cable length. Special lengths are available.
 - The thermistor and cable are calibrated and matched to the display. The probes are not interchangeable.
 - † To order DP752 with 220 VAC power, change "-110" to "-220".

UNPACKING

Remove the Packing List and verify that all equipment has been received. If there are any questions about the shipment, please call the OMEGA Customer Service Department at 1-800-622-2378 or (203) 359-1660. Upon receipt of shipment, inspect the container and equipment for any signs of damage. Take particular note of any evidence of rough handling in transit. Immediately report any damage to the shipping agent.

NOTE

The carrier will not honor any claims unless all shipping material is saved for their examination. After examining and removing contents, save packing material and carton in the event reshipment is necessary.

Make sure the thermometer and manual are in the shipping box.

INSTALLATION

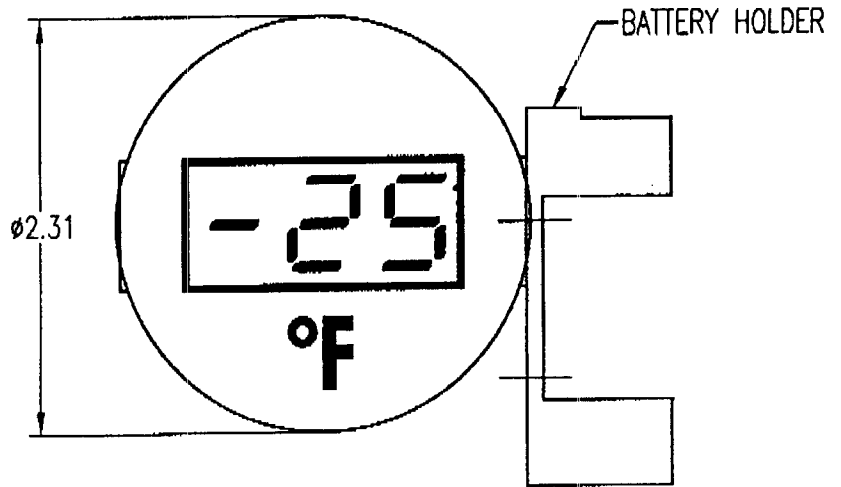
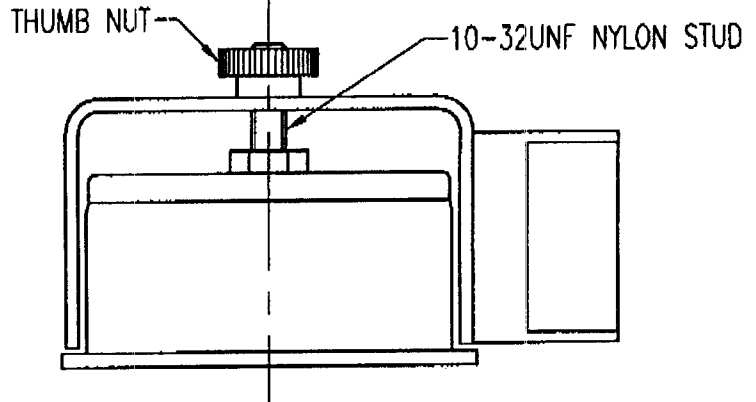
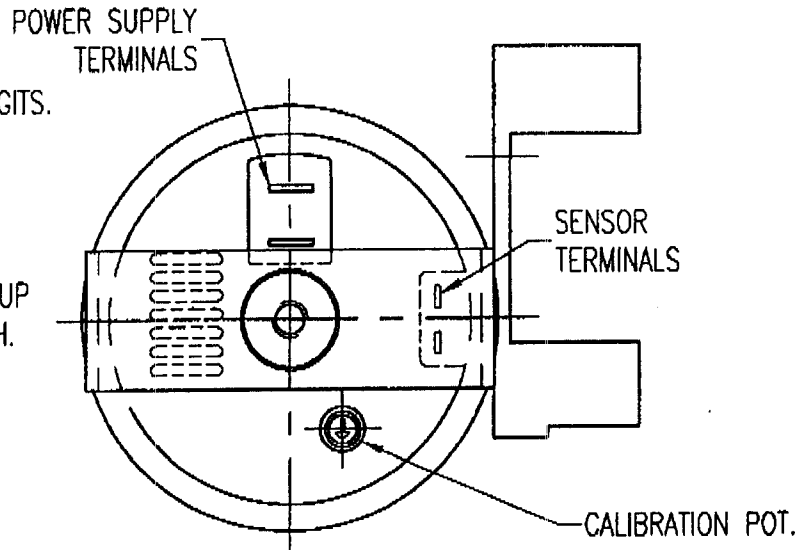
(U-CLAMP MOUNTING IN A PANEL)

1. Exterior panel hole size to be round 2.04" diameter.
2. Push sensor probe through hole from the exterior and take up slack from the interior.
3. Place the thermometer in position on the exterior and secure using U-Clamp and two thumb screws supplied. Be careful not to overtighten.
4. Secure probe and sensor wire with clips (not supplied). Use sealant to fill in interior hole.
5. Clean the temperature display (LCD) and solar panel before securing protective part number mask.
6. Peel off backing on protective part number mask and secure on front of unit being sure to press on all around to seal the mask to the case.

SPECIFICATIONS:

A	N/A	RELEASED	MC	030325
---	-----	----------	----	--------

PART NUMBER: **DP752**
RANGE: -40 TO 230°F.
CASE: UL-LISTED V-2 RATED GE LEXAN.
DISPLAY: THREE HIGH INTENSITY RED LED DIGITS.
RESOLUTION: 1°.
ACCURACY: ±2°F PER NSF STANDARD C-2.
CALIBRATION ADJUSTMENT: ±12°F THROUGH
EXTERNAL POTENTIOMETER.
POWER: 12VAC, 9V, 72 HR. BATTERY BACK-UP
AMBIENT: -35°F TO 160°F & UP TO 90% RH.
SENSOR: N5U X 60" WIRE



ANEXO D

FOTOGRAFÍAS



Fotografía 1: Equipos del Laboratorio de Energías No Convencionales



Fotografía 2: Equipos del Laboratorio de Energías No Convencionales



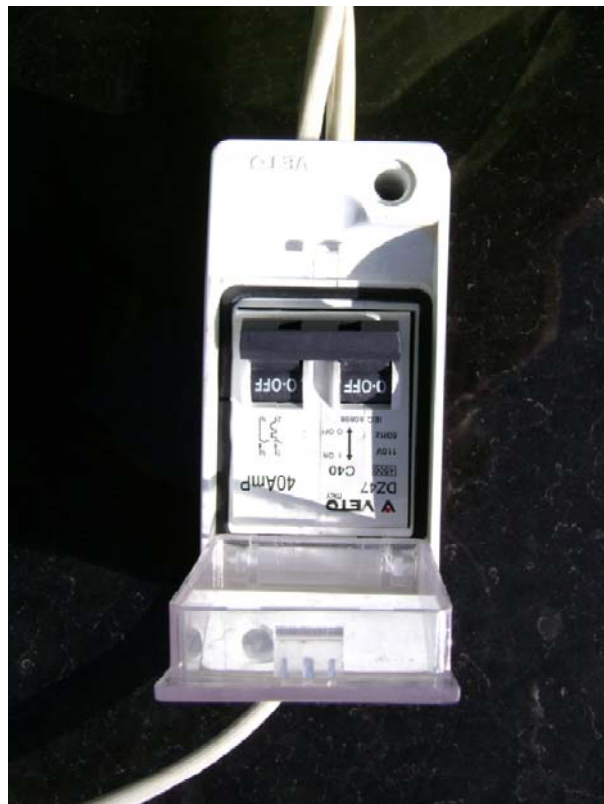
Fotografía 3: Ubicación de los Colectores Solares y Tanque Térmico



Fotografía 4: Tanque Térmico



Fotografía 5: Bomba de Agua y sistema bypass



Fotografía 6: Switch



Fotografía 7: Colectores Solares



Fotografía 8: Sistema de Control



Fotografía 9: Ubicación de los Medidores de Temperatura



Fotografía 10: Sistema Térmico e Hidráulico



Fotografía 11: Sistema Térmico Lateral

ANEXO E

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

CALENTADOR SOLAR DE AGUA

Energía Solar Térmica



1.1 Introducción

En esencia, el calentador solar es una caja plana muy bien aislada y con un vidrio en la parte frontal en cuyo interior lleva colocado tubos, por el que circula el agua, empujada por la gravedad o por una bomba.



El agua así calentada que logra temperaturas superiores al ambiente es enviada a un depósito muy bien aislado para su uso en el momento requerido. Básicamente, el calentador de agua aprovecha 3 principios físicos de gran sencillez:

1. La propiedad del color negro de atraer el calor.
2. El efecto invernadero que se crea dentro de una caja con un cristal o vidrio en la parte frontal.
3. La tendencia que tiene el agua más caliente a colocarse sobre el agua más fría.

1.2. El calentador solar

Es la energía más económica brindada por el sol. La inversión inicial que depende del tamaño del equipo ofrecerá agua caliente gratuita durante todo el año, ya sea días soleados o semisoleados este podrá aprovechará la energía del sol para tener agua caliente.

Sin ruidos ni olores, a diferencia de otros sistemas, cuidando al medio ambiente, lo que es beneficio de todos.

Con un mantenimiento prácticamente nulo por la sencilla tecnología aplicada, basada en principios físicos naturales y con mínima participación de elementos mecánicos no presenta anomalías en el funcionamiento durante su vida útil.

La Instalación del calentador solar térmico supone una inmediata recuperación económica, puesto que ofrecerá agua caliente sanitaria garantizada y gratuita a sus usuarios durante mucho tiempo, pudiendo superar sin problemas los 20 años

1.3. Preguntas Frecuentes

¿Qué es un Calentador Solar de Agua?

Es un sistema que calienta agua sólo con la energía proveniente del sol y sin consumir gas o electricidad.

¿Cuáles Son Sus Partes Principales?

Un **calentador solar de agua** consta principalmente de tres partes:

1. El colector solar plano, que se encarga de capturar la energía del sol y transferirla al agua
2. El tanque térmico, donde se almacena el agua caliente; y
3. El sistema de tuberías por donde el agua circula.

¿Cómo funciona el sistema?

Por la radiación solar, los colectores funcionan como una trampa de calor, en cuya cámara se alcanzan temperaturas de 70 hasta 90°C. Al circular agua por sus tuberías de cobre y con apoyo de la placa absorbedora, es calentada mediante un ciclo y depositada en el tanque térmico hasta alcanzar una temperatura promedio de 35 – 45 °C.

El funcionamiento de un **calentador solar de agua** es muy sencillo, el colector solar plano se instala normalmente en el techo o terrazas y orientado de tal manera que quede expuesto a la radiación del sol todo el día. Para lograr la mayor captación de la radiación solar, el colector solar plano se coloca con cierta inclinación, la cual depende de la localización de la ciudad donde sea instalado y la latitud entonces el grado de inclinación se calcula la latitud del lugar más 10 o 15°, esto ayudara a captar con más eficiencia los rayos del sol en las temporadas de invierno donde es deficiente la captura de los rayos solares.

¿Para qué nos sirve?

Para nuestro aseo personal y algunos quehaceres domésticos, requerimos agua caliente. Para ello, normalmente utilizamos un calentador, que conocemos como “boiler” y que funciona con gas, o en algunos casos utilizamos leña.

Entonces, si instalamos en nuestra casa un **calentador solar de agua** del tamaño adecuado, en épocas de mucho calor y en lugares donde hay mucho sol, todo el año servirá no sólo para bañarnos, sino para cubrir todas las necesidades de agua caliente. Incluso en los días muy nublados, el **calentador solar** servirá para calentar, parcialmente, el agua que requerimos para el aseo personal.

¿Cuáles son los beneficios?

Los beneficios del uso de los calentadores solares de agua los podemos clasificar en dos: económicos y ambientales.

Económicos.- Con la instalación de un sistema adecuado a nuestras necesidades, podemos satisfacer la mayor parte de los requerimientos de agua caliente de nuestra casa, sin tener que pagar combustible, ya que el sol no nos cuesta. Aunque el costo inicial de un calentador solar de agua es mayor que el de un calefón, con los ahorros que se obtienen por dejar de consumir gas, podemos recuperar nuestra inversión en un plazo razonable.

Ambientales.- El uso de los calentadores solares permite mejorar en forma importante nuestro entorno ambiental. ¿Cómo? Los problemas de la contaminación en las zonas urbanas no sólo son provocados por los combustibles utilizados en el transporte y en la industria, sino también por el uso de gas GLP en millones de hogares, lo cual contribuye en conjunto al deterioro de la calidad del aire y la emisión de gases de efecto invernadero.

¿Y si deseo mayor temperatura?

Si usted requiere de mayor temperatura, basta con conectar los colectores solares en serie.

¿Qué tiempo dura el equipo?

El equipo tiene una vida útil aproximada a los 20 años, siempre y cuando la manipulación de sus elementos en el mantenimiento sea cuidadosa, ya que elementos como el vidrio puede romperse

1.4. Especificaciones:

Datos de fabricación del calentador solar de agua:

El tanque térmico

Diámetro: 600mm

Largo: 1200mm

Capacidad: 200 litros

Temperatura de salida para el consumo 35°C – 45°C

Panel solar

Largo: 2000mm

Ancho: 1000mm

Espesor: 110mm

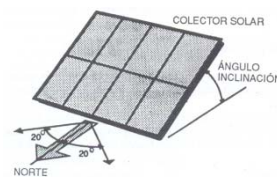
Temperatura aproximada de salida 50°C- 75°C

Eficiencia: 65%

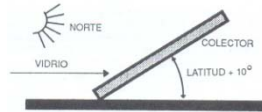
1.5. Instalación del Colector Solar

Para instalar el calentador solar de agua siga los siguientes pasos:

- 1 Lleve el calentado solar a un lugar alto si es de preferencia la azotea ya que en ese lugar recibirá la mayor cantidad de rayos solares.
- 2 Para instalar el sistema solar debe tomar en cuenta que no haya edificios o alguna cosa que lo prive de los rayos solares ya que este es el que nos provee la energía para calentar el agua.
- 3 Coloque el panel solar en la dirección Norte o sur ya que de esta manera todo el día recibirá los rayos del sol de perfil.



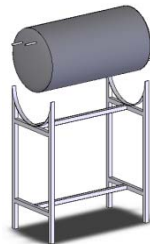
- 4 Coloque el panel solar con una inclinación de 10 - 15°, de esta forma se aprovecha de mejor manera los rayos del sol y también con ayuda de la lluvia esta limpiara el polvo o resto de objetos que trae el viento.



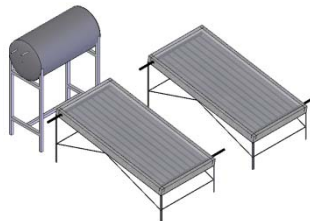
5 Coloque los colectores solares sobre los soportes



6 Coloque el tanque térmico en forma horizontal sobre el soporte del tanque.



7 Coloque el tanque térmico cerca del los colectores solares.



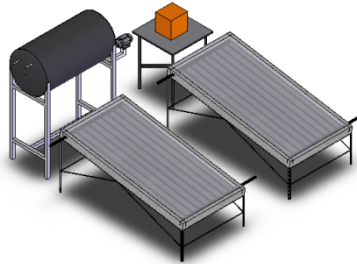
8 Coloque el soporte de la bomba y la bomba de agua en la entrada que se encuentra a la derecha del tanque como se muestra en la figura, y en la otra entrada conectarla a la línea



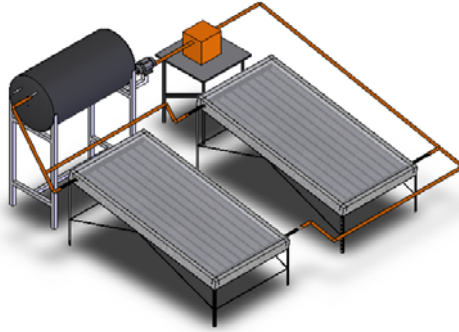
- 9 Coloque la caja sobre la mesa de control. Luego colocar los medidores de temperatura y el rotámetro en la caja de control ajustándolos a medida con las tuercas plásticas.



- 10 Coloque el sistema de control a la derecha del tanque térmico, con sentido opuesto a los colectores solares con el fin de tener una mejor lectura de los datos.



- 11 El siguiente paso es la instalación del sistema hidráulico, para lo cual los colectores solares se colocaran en paralelo, iniciando la circulación en la salida de la bomba de agua, conectándolo al rotámetro de la caja de control y luego a la entrada de los colectores. Luego de cumplir con el calentamiento de agua dentro de los colectores el agua se reúne en una tubería la cual ingresa en una de las entradas de la parte superior a la derecha del tanque térmico. La otra salida es para el consumo diario.



12 Coloque los medidores de temperatura de acuerdo a sus numeraciones. Dos medidores de temperatura en las salidas de los colectores, uno a la salida de agua de la bomba de agua, y el último déjela al medio ambiente sin tener contacto, con el fin de obtener la temperatura del mismo.

13 Por último encienda el Switch espere 10 minutos hasta que se estabilice el sistema y tome los datos.

1.6. Problemas Frecuentes

- Procure al momento de instalar no doblar las manueras ya que esta no permitirá el paso de agua.
- Si el material que usted adquirió es de plástico procure ajustar con mucho cuidado ya que pueden romperse.
- No se olvide de inclinar el panel solar 10° ya que este permite que ingrese más fácilmente los rayos solares y evita que el panel se llene de polvo.
- Tenga muy presente cual es entrada y salida de agua en el tanque, puede ocasionar un contraflujo si hay mala manipulación.
- En caso de no haber caudal en la bomba de agua, diríjase al catalogo de la bomba y siga los pasos para el sangrado.
- En caso de no haber caudal verifique que las llaves de paso estén abiertas.

- En caso de dar valores incoherentes de temperatura, deje fluir agua por los medidores de temperatura con el fin de eliminar el aire presente en las tuberías
- En caso de no haber caudal verifique el sentido del rotámetro en panel de control ya que este en sentido contrario impedirá el flujo de agua.
- En caso de no encender la bomba de agua verifique primero si no hay ausencia de energía eléctrica, y si el daño persiste verifique que no esté apagado Switch en el medidor de energía eléctrica.

1.7. Recomendaciones para el uso eficiente del Calentador Solar

Para el mejor uso y operación del calentador solar de agua, tome en cuenta estas recomendaciones:

- Se recomienda trabajar con un caudal de 1.5 a 3 L/min, en las temporadas de invierno, y de 3 a 6 L/min en las temporadas de verano, ya que con un caudal de 3L/min en la temporada de verano la temperatura del agua supera el rango de temperatura (70°C).
- Para la recopilación de datos es recomendable vaciar el agua caliente del tanque térmico. Los datos obtenidos a partir del agua caliente no permitirán realizar un análisis de eficiencia térmica óptima.
- Para realizar la práctica de eficiencia es recomendable limpiar la cubierta del colector solar, ya que estas disminuyen la eficiencia del equipo.
- Realice un sangrado del sistema hidráulico en los colectores solares. La presencia de aire disminuye la eficiencia del sistema.

2. MANTENIMIENTO

Con la finalidad de que el equipo se encuentre en óptimas condiciones, cuando el laboratorio de energías renovables lo requiera es necesario realizar un mantenimiento preventivo de los componentes a continuación indicados.

2.1. Mantenimiento Preventivo

2.1.1. Colectores Solares

El mantenimiento preventivo de los elementos de los colectores solares constituye de la siguiente manera:

- Limpieza de la cubierta transparente
- Inspección visual de las partes metálicas con el fin de revisar óxidos y corrosiones.
- Verificación de fugas de agua en las juntas soldadas y roscadas
- Verificación de soldadura y silicón en las cajas protectoras con el fin de proteger el aislante térmico.

Mencionado mantenimiento se debe realizar cada mes.

2.1.2. Tanque de Almacenamiento

El mantenimiento referente al tanque térmico consiste en:

- Vaciado del tanque para luego realizar el limpiado y lavado del mismo, con el fin de remover sedimentaciones e impurezas.
- Inspección visual de las partes metálicas con el fin de revisar óxidos y corrosiones.
- Verificación de fugas de agua en las juntas soldadas y roscadas

- Verificación de soldadura y silicón en el tanque de protección con el fin de proteger el aislante térmico.

2.1.3. Bomba de Recirculación

El mantenimiento de la bomba de circulación consiste en:

- Inspección Visual, con el fin de verificar la ausencia de fugas y anomalías en el funcionamiento del motor.
- Inspección Auditiva, con el fin de detectar ruidos extraños.
- Inspección de las Conexiones Eléctricas
- Realizar un overhaul de la bomba cada 6 meses con el propósito de tener agua caliente todo el año sin inconvenientes de daños.

2.1.4. Válvulas y Accesorios

El mantenimiento de las válvulas y accesorios consiste en:

- Limpieza de las válvulas y accesorios
- Inspección Visual con el fin de detectar fugas de agua o accesorios en mal estado ocasionado por la alta temperatura.

Mantenimiento a realizarse cada mes.

2.1.5. Sistema de Control

El mantenimiento del sistema de control consiste en:

- Procure revisar que no haya fuga de agua en las uniones del flujometro.
- Limpie la celdas de fotovoltaica de los medidores de temperatura
- Limpie óxidos en los detectores de temperatura que se encuentran en los extremos.

2.2 Mantenimiento Correctivo

En caso de ser necesario el mantenimiento correctivo, desconecte el sistema eléctrico y cierre cualquier flujo de agua, esto permitirá evitar accidentes y trabajar tranquilamente.

REFERENCIAS

BIBLIOGRAFICAS

1. CENGEL, Y. y BOLES, M., "Termodinámica", Traducido del inglés por Gabriel Nagore Cázares, 2da ed., México, McGraw Hill, 866p.
2. DUFFIE, J. y BECKMAN, W., "Solar Engineering of Thermal Processes", 2da ed., E.E.U.U., Wiley-Interscience, 919p.
3. INCROPERA, F. y DEWITT, D, "Fundamentos de Transferencia de Calor", Traducido del inglés por Ricardo Cruz, 4ta ed., México, Prentice Hall, 886p.
4. CASTRO M. y COLMENAR A., "Energía Solar Térmica de Baja Temperatura", 1ra ed., España, PROGENSA, 93p.
5. CASTRO M., COLMENAR A., CARPIO J. y GUIRADO R. "Energía Solar Térmica de Media y Alta Temperatura", 1ra ed., España, PROGENSA, 69p
6. ALMANZA SALGADO R. y MUÑOZ GUTIERREZ F., "Ingeniería de la Energía Solar", 1ra ed., 1994, México D.F., 419 p.
7. ORTEGA RODRIGUEZ M., "Energías Renovables", 1ra ed., España, Paraninfo, 322p.
8. WILSON J., "La energía solar", 1ra ed., España. Alhambra, 225p.
- 9.

TESIS

1. CIFUENTES. J. y GARZON, R., "Optimización del Sistema de Calentamiento de Agua por Energía solar con Circulación Natural, Construcción de un prototipo para el BEC-2 de la Balbina", Tesis Ing. Mec. Quito, Escuela Politécnica del Ejercito, Facultad de Ingeniería Mecánica, 1984, 143 p.
2. DUQUE. J. C. y VASQUEZ P. R., "Diseño e implementación de un sistema de aprovechamiento de la Energía Solar para el calentamiento de Agua con colectores planos, calefones y control automático para el Hotel Real Audiencia", Tesis Ing. Mec. Quito, Escuela Politécnica del Ejercito, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2004, 159 p.

DIRECCIONES DE INTERNET

1. <http://www.eeq.com.ec/clientes/pliego.php?mn=2>, Empresa Eléctrica Quito S.A.
2. <http://www.emaap-q.com.ec>, Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Quito.
3. <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/termo/Termo.html>, Conceptos Básicos de Termodinámica.
4. http://www.solisclima.com/instalacion/energia_solar.htm, Energía Solar Térmica
5. <http://www.cecua.es/campanas/medio%20ambiente/res&rue/htm/dossier/Indice.htm>, Energía Solar Térmica.
6. <http://html.rincondelvago.com/flujo-de-caja.html>, Flujo de Caja.
7. <http://www.myownbusiness.org/espanol/s7>, Flujo de Caja, TIR y VAN
8. <http://www.monografias.com>, Energía Solar Térmica.
9. <http://www.fisicaar.net>, Energía Solar.
10. <http://www.wikipedia.es>, Energías
11. <http://www.ideam.gov.co/files/atlas/radiacion.htm>
12. http://www.atmosphere.mpg.de/enid/2_Clima_urbano/-_Radiacion_3zg.html
13. <http://www.gstriatum.com>