

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE UN SISTEMA
SOLAR TÉRMICO PARA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE
SANITARIA EN UNA CLÍNICA DE FISIOTERAPIA**

PRESENTADO POR:

CAMPOS VÁSQUEZ, LUIS MIGUEL

GÓMEZ JUÁREZ, GUILLERMO ANTONIO

WIPFLI RAMÍREZ, WELF

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO DE 2018

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL :

**MSc. CRISTÓBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR :

ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO MECÁNICO

Título:

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE UN SISTEMA
SOLAR TÉRMICO PARA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE
SANITARIA EN UNA CLÍNICA DE FISIOTERAPIA**

Presentado por :

CAMPOS VÁSQUEZ, LUIS MIGUEL

GÓMEZ JUÁREZ, GUILLERMO ANTONIO

WIPFLI RAMÍREZ, WELF

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

MSc. ING. GUSTAVO SALOMÓN TORRES RIOS LAZO

SAN SALVADOR, JULIO DE 2018

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

MSc. ING. GUSTAVO SALOMÓN TORRES RIOS LAZO

CONTENIDO

RESUMEN	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
SIMBOLOGIA.....	vi
INTRODUCCION	viii
OBJETIVOS	ix
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes del uso de la energía solar térmica	1
1.1.1 Antecedentes generales.....	1
1.1.2 Antecedentes Históricos.....	1
1.1.3 Investigaciones realizadas en el área de energía solar en la Universidad de El Salvador.....	2
1.2 Proveedores de equipos de energía solar térmica	4
1.3 La Energía Solar Térmica	5
1.3.1 El Sol.....	5
1.3.2 La constante Solar.....	6
1.3.3 Radiación Solar.	6
1.4 Geometría solar.....	9
1.4.1 Distancia Tierra – Sol	9
1.4.2 Declinación solar	10
1.4.3 Ángulo horario (ω)	11
1.4.4 Ángulo cenital (θ_z).....	12
1.4.5 Altura solar (α)	13
1.4.6 Azimut solar (γ_s).....	13
1.4.7 Radiación total incidente en el colector	14
1.5 Instrumentos para la determinación de la energía solar disponible.....	19
1.5.1 Piranómetros.	19
1.5.2 Pirheliómetros.....	20
1.5.3 Heliógrafos.....	21
1.6 Colectores Solares	22
1.6.1 Colector Solar plano.	22

1.6.2 Modelo matemático del colector.....	25
1.7 Sistema de Acarreo y Acumulación.....	45
1.7.1 Pérdidas de calor en las tuberías.....	45
1.7.2 Cálculo de pérdidas en el tanque.....	47
1.8 Sistema de Control.....	50
1.8.1 Válvula termostática.....	50
1.8.2 Sensor de temperatura.....	51
1.8.3 Transductor de presión.....	52
1.8.4 Arduino Mega 2560.....	53
1.8.5 Módulo de reloj DS3231.....	54
1.8.6 Pantalla TFT 320x240 QVT.....	54
1.9 Instalaciones donde se realizará el proyecto.....	55
1.9.1 Descripción de la unidad de Fisioterapia.....	57
1.9.2 Área de Hidroterapia.....	59
1.9.3 Método F-chart para dimensionar instalaciones solares térmicas.....	64
CAPITULO II: Diseño del sistema de captación.....	68
2.1 Dimensionamiento de la instalación.....	68
2.1.1 Cálculo de la demanda de ACS.....	68
2.1.2 Cálculo del área del colector solar.....	69
2.2 Diseño del colector solar plano.....	74
2.2.1 Resultados.....	75
2.3 Diseño del tanque de almacenamiento.....	76
2.3.1 Opción 1: Tanque de acero inoxidable.....	76
2.3.2 Opción 2: Barril de polietileno de alta densidad (PE-HD).....	78
2.3.3 Selección de la opción.....	79
2.4 Diseño del sistema de acarreo.....	80
2.4.1 Tubería a utilizar.....	82
2.5 Diseño del sistema de monitoreo.....	82
2.6 Simulación del funcionamiento del sistema.....	82
2.6.1 Tanque acumulador.....	83
2.6.2 Colector solar.....	86

CAPITULO III: ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO	87
3.1 Presupuesto del proyecto	87
3.1.1 Costo de materiales.....	87
3.1.2 Costo de mano de obra	90
3.1.3 Costo total.....	91
3.2 Diferencia de costo de calentamiento de agua mediante equipo eléctrico y sistema solar térmico.	91
3.2.1 Costo de energía solar	91
3.2.2 Costo utilizando energía eléctrica	92
3.2.3 Costo combinando sistema solar térmico con sistema eléctrico:.....	94
CAPITULO IV: CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA SOLAR TÉRMICO	95
4.1 Construcción.....	95
4.2 Instalación del sistema.....	96
4.3 Validación del sistema.	99
CAPITULO V: RESULTADOS	103
5.1 Pruebas en estado estacionario	103
5.1.1 Calentamiento.....	103
5.1.2 Comportamiento del tanque durante la noche.....	104
5.2 Pruebas en operación	105
5.2.1 Calentamiento.....	106
5.2.2 Comportamiento durante la noche.....	107
5.2.3 Pruebas del sistema en operación.....	108
5.3 Resumen de los resultados.....	112
5.4 Eficiencia instantánea del colector.....	113
5.5 Comparación de resultados entre el sistema diseñado y el construido.....	114
CAPITULO VI: CONCLUSIONES.....	115
CAPITULO VII: RECOMENDACIONES	116
Referencias	117
Glosario de Términos.....	119
Anexos.....	122

A.1 Datos de referencia utilizados	122
A.3 Autorización de la Unidad de Desarrollo Físico para la instalación del equipo..	132
A.4 Planos de construcción.....	134

Índice de Figuras

<i>Figura 1:</i> Central de destilación solar en el desierto de Atacama. (2001). [Fotografía]. Fuente: www.sitiosolar.com	2
<i>Figura 2:</i> Colectores Solares en Hospital Nacional Francisco Menéndez. (2017) [Fotografía]. Fuente: La Prensa Gráfica.	4
<i>Figura 3:</i> La estructura del sol. (2006). [Esquema]. Fuente: Solar Engineering of Thermal Processes.	5
<i>Figura 4:</i> Radiación solar incidente sobre la tierra. (2008). [Esquema]. Fuente National Center for Atmospheric Research	6
<i>Figura 5:</i> Espectro de la radiación solar (2005). [Esquema]. Fuente: www.sitiosolar.com	7
<i>Figura 6:</i> Mapa de Irradiancia solar promedio anual en El Salvador. (2005). [Figura]. Fuente: SNET.....	8
<i>Figura 7:</i> Mapa de brillo solar promedio anual de El Salvador. (2005). [Figura]. Fuente: SNET	9
<i>Figura 8:</i> Representación del cambio de la distancia de la tierra con respecto al sol. (2005). [Esquema]. Fuente: www.ujen.es	9
<i>Figura 9:</i> Representación de la declinación solar. (2005). [Esquema]. Fuente: Atlas de radiación solar de Colombia.	10
<i>Figura 10:</i> Grafica de la declinación solar. (2013). [Gráfico]. Fuente: Manual Técnico de Energía Solar Térmica (2013)	11
<i>Figura 11:</i> Ángulos que describen el movimiento solar. (2013). [Esquema]. Fuente: Manual Técnico de Energía Solar Térmica	12
<i>Figura 12:</i> Representación del ángulo acimutal. (2013). [Esquema]. Fuente: Manual Técnico de Energía Solar Térmica.	13
<i>Figura 13:</i> Componentes de un piranómetro.. (2005). [Esquema]. Fuente: Procedimiento de Mantenimiento y Calibración de estación Radiométrica.....	20
<i>Figura 14:</i> Pirheliómetro. (2005). [Fotografía]. Fuente: Procedimiento de Mantenimiento y Calibración de estación Radiométrica	20
<i>Figura 15:</i> Heliógrafo. (2003). [Dibujo]. Fuente: Procedimiento de Mantenimiento y Calibración de estación Radiométrica	21
<i>Figura 16:</i> Ilustración del efecto invernadero. (2010). [Ilustración] Fuente: Guía de diseño e instalación para grandes sistemas de agua caliente sanitaria.....	23

<i>Figura 17:</i> Componentes básicos de un colector de placa plana. (2017). [Esquema]. Fuente: Los autores	24
<i>Figura 18:</i> Vista de perfil de las partes de un colector solar plano. (2013). [Dibujo]. Fuente: Manual Técnico de Energía Solar Térmica.....	26
<i>Figura 19:</i> Balance de energía en un colector solar. (2003). [Esquema]. Fuente: Diseño de colectores solares, Sixto Guevara Vásquez.	27
<i>Figura 20:</i> Representación del circuito térmico de un colector solar plano. (2003). [Dibujo]. Fuente: Diseño de colectores solares, Sixto Guevara Vásquez.	30
<i>Figura 21:</i> Circuito térmico equivalente. (2003). [Dibujo]. Fuente: Diseño de colectores solares, Sixto Guevara Vásquez.	31
<i>Figura 22:</i> Ilustración Geometría transversal de la placa colectora. (2003). [Ilustración]. Fuente: Diseño de colectores solares, Sixto Guevara Vásquez.....	36
<i>Figura 23:</i> Esquema de la placa colectora. (2003). [Esquema]. Fuente: Diseño de colectores solares, Sixto Guevara Vásquez.....	36
<i>Figura 24:</i> Elemento diferencial de la placa colectora (2003). [Esquema]. Fuente: Diseño de colectores solares, Sixto Guevara Vásquez.	37
<i>Figura 25:</i> Distribución de temperaturas entre dos tubos en la placa colectora. (2003). [Esquema]. Fuente: Diseño de colectores solares, Sixto Guevara Vásquez.	39
<i>Figura 26:</i> Balance de energía en un elemento diferencial dentro de la tubería. (2003). [Esquema]. Fuente: Diseño de colectores solares, Sixto Guevara. Vásquez.	41
<i>Figura 27:</i> Representación del efecto termosifón. (2003). [Ilustración]. Fuente: Diseño de colectores solares, Sixto Guevara Vásquez.	44
<i>Figura 28:</i> Ubicación del tanque con respecto al colector solar. (2003). [Esquema]. Fuente: Diseño de colectores solares, Sixto Guevara Vásquez.....	45
<i>Figura 29:</i> Distribución típica de temperatura dentro del colector solar. (2008). [Ilustración]. Fuente:www.sitioslar.com.	45
<i>Figura 30:</i> Representación de las resistencias térmicas en la tubería de acarreo. (2017). [Ilustración]. Fuente: Los autores.....	46
<i>Figura 31:</i> Partes del tanque acumulador. (2017). [Esquema]. Fuente: Los autores. ...	47
<i>Figura 32:</i> Resistencias térmicas representando pérdidas en el tanque. (2017). [Ilustración]. Fuente: Los autores	48
<i>Figura 33:</i> Válvula termostática. (2017). [Fotografía]. Fuente: Los autores.	50
<i>Figura 34:</i> Sensor de temperatura DS18B20. (2017). [Fotografía]. Fuente: Los autores.	51
<i>Figura 35:</i> Transductor de presión. (2017). [Fotografía]. Fuente: Los autores.	53
<i>Figura 36:</i> Arduino Mega 2560. (2017). [Fotografía]. Fuente: www.arduino.com	54
<i>Figura 37:</i> Módulo de reloj DS3231. (2017). [Fotografía]. Fuente:www.PotentialLabs.com	54
<i>Figura 38:</i> Pantalla QVT 320x240 y módulo de conexión. (2017). [Fotografía]. Fuente:www.ArduinoLearning.com	55

<i>Figura 39:</i> Vistas del módulo Bluetooth HC-06 compatible con Arduino. (2017) [Fotografía] Fuente: www.ArduinoLearning.com	55
<i>Figura 40:</i> Imagen satelital de la ubicación del proyecto. (2017). [Fotografía]. Fuente: Google Maps.....	56
<i>Figura 41:</i> Áreas posibles donde se puede ubicar el sistema solar térmico. (2017). [Fotografía]. Fuente: Los autores	57
<i>Figura 42:</i> Tanque para hidroterapia capacidad de 90 litros. (2017). [Fotografía]. Fuente: Catálogo de equipos Thermolator.....	59
<i>Figura 43:</i> Tanque para compresas calientes. (2017). [Fotografía]. Fuente: Catálogo de productos Thermolator.....	60
<i>Figura 44:</i> Instalación en el techo, representación de secciones de tubería de acarreo. (2017). [Esquema]. Fuente: Los autores.....	80
<i>Figura 45:</i> Tramo de descenso desde el techo hasta la ventana de zona de Hidroterapia. (2017). [Esquema]. Fuente: Los autores.....	81
<i>Figura 46:</i> Esquema del tramo al interior de hidroterapia. (2017). [Esquema]. Fuente: Los autores.....	81
<i>Figura 47:</i> Modelo en tres dimensiones del acumulador térmico. (2018). [Ilustración]. Fuente: Los autores.....	83
<i>Figura 48:</i> Temperatura fluido al inicio de la simulación. (2017). [Ilustración]. Fuente: Los autores.....	84
<i>Figura 49:</i> Temperatura fluido en un tiempo $t/4$. (2017). [Ilustración]. Fuente: Los autores.....	84
<i>Figura 50:</i> Temperatura fluido en un tiempo $t/2$. (2017). [Ilustración]. Fuente: Los autores.....	84
<i>Figura 51:</i> Temperatura fluido en un tiempo $0.75t$. (2017). [Ilustración]. Fuente: Los autores.....	85
<i>Figura 52:</i> Temperatura fluido al final de la simulación. (2017). [Ilustración]. Fuente: Los autores.....	85
<i>Figura 53:</i> Colector solar plano utilizado para la simulación. (2017). [Dibujo]. Fuente: Los autores.....	86
<i>Figura 54:</i> Imagen térmica del fluido dentro de las tuberías del colector. (2017). [Ilustración]. Fuente: Los autores.....	87
<i>Figura 55:</i> Colector solar plano construido. (2018). [Fotografía]. Fuente: Los autores..	95
<i>Figura 56:</i> Tanque acumulador construido. (2018). [Fotografía]. Fuente: Los autores..	95
<i>Figura 57:</i> Instalación de los polines de soporte. (2018). [Fotografía]. Fuente: Los autores.....	96
<i>Figura 58:</i> Montaje de las estructuras. (2018). [Fotografía]. Fuente: Los autores.....	97
<i>Figura 59:</i> Instalación de tuberías y accesorios. (2018). [Fotografía]. Fuente: Los autores.....	97
<i>Figura 60:</i> Instalación de cableado. (2018). [Fotografía]. Fuente: Los autores.....	98

<i>Figura 61:</i> Instalación sistema de monitoreo. (2018). [Fotografía]. Fuente: Los autores.	98
<i>Figura 62:</i> Elementos de la pantalla del sistema de monitoreo de temperaturas del sistema solar térmico. (2018). [Fotografía]. Fuente: Los autores.	98
<i>Figura 63:</i> Posición de los sensores en el tanque (medidas en metros). (2018). [Ilustración]. Fuente: Los autores.	101
<i>Figura 64:</i> Sensores a la entrada y salida del colector solar. (2018). [Fotografía]. Fuente: Los autores.	101
<i>Figura 65:</i> Instalación del sistema en la estación meteorológica. (2018). [Fotografía]. Fuente: Los autores.	102
<i>Figura 66:</i> Instalación del equipo en la clínica. (2018). [Fotografía]. Fuente: Los autores.	102
<i>Figura 67:</i> Hidroterapia realizada con ACS. (2018). [Fotografía]. Fuente: Los autores.	103
<i>Figura 68:</i> Calentamiento del agua en el tanque (2018). [Gráfico]. Fuente: Los Autores	104
<i>Figura 69:</i> Comportamiento de agua en el tanque durante la noche. (2018). [Gráfico]. Fuente: Los Autores.	105
<i>Figura 70:</i> Tubería interna al tanque de transporte de agua de la salida del colector. (2018). [Fotografía]. Fuente: Los Autores	106
<i>Figura 71:</i> Comportamiento del agua en el tanque para el día 16 de Junio de 2018. (2018). [Gráfico]. Fuente: Los Autores	107
<i>Figura 72:</i> Comportamiento durante la noche del agua dentro del tanque para los días 19 y 20 de Junio de 2018. (2018). [Gráfico]. Fuente: Los autores.	108
<i>Figura 73:</i> Comportamiento del agua en el tanque para el día 21 de mayo de 2018. (2018). [Gráfico]. Fuente: Los autores.	109
<i>Figura 74:</i> Calentamiento del agua en el tanque 18 de Junio de 2018. (2018). [Gráfico]. Fuente: Los autores.	110
<i>Figura 75:</i> Temperatura en el colector para el 18 de Junio de 2018. (2018). [Gráfico]. Fuente: Los autores	111
<i>Figura 76:</i> Relación entre la temperatura de la placa y la irradiancia. (2018). [Gráfico]. Fuente: Los autores	112

Índice de Tablas

<i>Tabla 1:</i> Valores de r_0 , r_1 y r_k para cada tipo de clima. (2010) Fuente: Diseño, construcción y evaluación teórico experimental de la eficiencia de un colector solar de placa plana en Costa Rica.	15
<i>Tabla 2:</i> Albedo para superficies comunes. (2010). Fuente: Diseño, construcción y evaluación teórico experimental de la eficiencia de un colector solar de placa plana en Costa Rica.	17

<i>Tabla 3:</i> Puntos de georreferenciación de la Clínica de Bienestar Universitario. (2017). Fuente: Los autores.	56
<i>Tabla 4:</i> Temperatura del agua para hidroterapia. (2005) Fuente: Información recibida en Clínica de Fisioterapia de Bienestar Universitario, Universidad de El Salvador	63
<i>Tabla 5:</i> Costo de los servicios brindados en unidad de fisioterapia. (2017). Fuente: Información recibida en Clínica de Fisioterapia de Bienestar Universitario, Universidad de El Salvador.....	64
<i>Tabla 6:</i> Número de atenciones en el área de hidroterapia mensual y diaria. (2017). Fuente: Información recibida en Clínica de Fisioterapia de Bienestar Universitario, Universidad de El Salvador.....	69
<i>Tabla 7:</i> Proporción de mezcla de agua para diferentes temperaturas. (2017). Fuente: Los autores.....	69
<i>Tabla 8:</i> Energía Solar incidente sobre superficie horizontal en kWh/m ² .día.....	71
<i>Tabla 9:</i> Factor de corrección para superficies inclinadas según la latitud. (1985). Fuente:www.cleaneregysolar.com.....	72
<i>Tabla 10:</i> Energía total requerida por el sistema al mes. (2017). Fuente: Los autores .	73
<i>Tabla 11:</i> Energía total disponible por mes. (2017). Fuente: Los autores.....	74
<i>Tabla 12:</i> Parámetros de diseño del colector plano. (2017). Fuente: Los autores.	75
<i>Tabla 13:</i> Resultados obtenidos en el colector. (2017). Fuente: Los autores.	75
<i>Tabla 14:</i> Propiedades térmicas del acero inoxidable. (2018). Fuente: www.goodfellow.com	76
<i>Tabla 15:</i> Propiedades térmicas del PE-HD. (2005). Fuente: Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad.....	78
<i>Tabla 16:</i> Longitudes de tramos de tubería de acarreo. (2017). Fuente: Los autores..	81
<i>Tabla 17:</i> Descripción y costo de los materiales utilizados. (2017). Fuente: Los autores.	88
<i>Tabla 18:</i> Costos de mano de obra. (2018). Fuente: Los autores	90
<i>Tabla 19:</i> Costo total del proyecto. (2018). Fuente: Los autores.....	91
<i>Tabla 20:</i> Comparativa de los costos por uso de energía. (2018). Fuente: Los autores.	94
<i>Tabla 21:</i> Nombres de los sensores y su ubicación. (2018). Fuente: Los autores.	103
<i>Tabla 22:</i> Resumen de datos obtenidos con el sistema construido. (2018). Fuente: Los Autores	112
<i>Tabla 23:</i> Eficiencia instantánea del colector. (2018). Fuente: Los autores.....	113
<i>Tabla 24:</i> Comparación de resultados entre el sistema diseñado y el construido. (2018). Fuente: Los autores.	114

RESUMEN

La posición geográfica de El Salvador lo hace un país privilegiado en cuanto a la cantidad de energía solar que puede recibir durante el año, sin embargo hasta en los últimos años donde se ha comenzado a apostarle a este recurso para la generación de energía eléctrica.

Pero el aprovechamiento de la energía solar no se debe limitar únicamente a la generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos. Existen muchas aplicaciones en las diferentes industrias donde se puede aprovechar la energía térmica del sol para calentar agua, aire u otro gas y luego utilizar la energía almacenada en un proceso específico.

En la Universidad de El Salvador se tienen muchas áreas donde se puede utilizar agua calentada por medio del sol. Uno de estos lugares es la clínica de Bienestar Universitario. Su arquitectura permite que en un futuro se puedan incluir elementos para el aprovechamiento de la energía solar ya sea fotovoltaica como energía solar térmica.

Conociendo los autores que dentro de los servicios que se brindan a los pacientes de la clínica se encuentra el área de hidroterapia y que no contaba con el equipo para calentar agua y dar terapias a los pacientes con agua a una temperatura diferente del ambiente, se desarrolló el trabajo de investigación para suplir esa demanda.

Con la elaboración de este trabajo se aplicaron los métodos aprendidos durante el proceso de formación para llegar a la construcción de un sistema solar térmico que permite producir agua caliente sanitaria que será utilizada en las terapias que así lo requieran.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las autoridades de la clínica de Bienestar Universitario por darnos la oportunidad de realizar este trabajo de graduación en sus instalaciones, darnos la confianza y el apoyo cuando fue necesario.

A las autoridades de la Universidad de El Salvador que respondieron cuando se solicitó de su ayuda para las diferentes gestiones necesarias para que el proyecto pudiera ejecutarse y terminarse de manera exitosa.

A los encargados de la Unidad de Fisioterapia por abrirnos las puertas y permitir que desarrolláramos nuestro trabajo, incluso cuando existía falta de espacio por la atención a otros pacientes.

A los miembros de la Unidad Productiva de la Escuela de Ingeniería Mecánica por los consejos recibidos durante la etapa constructiva.

A la Asociación de Estudiantes de Ingeniería Mecánica (ASEIM), por su apoyo incondicional cuando fue necesario con el préstamo de herramientas, así como por prestar el espacio para guardar parte del equipo mientras estaba en construcción.

A los compañeros que ayudaron cuando se solicitó colaboración para movilizar el equipo para su instalación.

Gracias a todos, sin su apoyo el trabajo no hubiera sido posible culminarlo con éxito.

Luis Miguel Campos Vásquez

Guillermo Antonio Gómez Juárez

Welf Wipfli Ramírez

Primeramente, agradecer a Dios, por la oportunidad de vivir, la fortaleza y la bendición de haberme rodeado con las personas que en una u otra medida me han servido de apoyo, en lo que he podido vivir hasta hoy.

Agradezco a mí familia, en especial a mí Madre Mirian Vásquez, por su apoyo incondicional y todo el esfuerzo brindado, a mis hermanas Carmencita y Marielos por su cariño y motivación. A mí Tía Luz Vásquez y a Juanita Garay, que han sido como mí segunda madre en la tapa final de mí carrera y desde muy temprana edad.

Agradezco a la Universidad de El Salvador, por la formación profesional y personal, principalmente a la escuela de Ingeniería Mecánica y todos sus docentes que compartieron su conocimiento conmigo a lo largo de este trayecto. En especial a mí asesor de tesis, el Ingeniero Salomón Torres, por su conocimiento, dirección, apoyo, orientación y consejos para mi vida profesional y personal.

Y por último, agradezco a mis compañeros de tesis por haberme brindado la oportunidad de compartir algo tan significativo en el ámbito profesional, por todos los momentos vividos y deseándoles éxito y bendiciones en sus vidas.

Luis Miguel Campos Vásquez

Agradezco a mi familia por el apoyo constante brindado durante los años de estudio, a mi madre María, gracias por estar siempre a mi lado, en los buenos y malos momentos que como estudiante afronté, por ser no solo una profesora en el aula, sino también en el día a día y enseñarme siempre a ser mejor; a mi hermano Cesar, por ser un ejemplo de buen estudiante que me motivó en el transcurso de la carrera, por sus consejos como mi mejor amigo y por creer en mí.

A José Antonio, mi padre, un gran ejemplo de superación, quien con su consejo me motivó a seguir siempre hacia adelante a pesar de todo.

A Saraí Muñoz, mi novia, por sus valiosos consejos, por ayudarme a enfocarme en los estudios, y a dar lo mejor de mí siempre, gracias por confiar y hacerme confiar en mí.

A Guillermo Omar, mi tío, quien, con sus ideas propias de años futuros, impulsó mi visión a elegir esta carrera, gracias por la motivación a mirar más allá, hacia el futuro.

Al Ingeniero Salomón Torres, que no solo ha sido un excelente docente, también una persona de bien, que con sus consejos ha hecho posible finalizar mi educación universitaria, gracias por su apoyo, seguiremos en contacto como profesionales.

A todos los docentes de la UES que brindaron su enseñanza para volverme un profesional.

A mis compañeros de tesis, Welf y Luis Miguel, ha sido un honor finalizar esta carrera trabajando juntos, y que muchos éxitos les deparen en el futuro.

A todas las personas que conocí en este periodo de estudios, que de una u otra manera me brindaron su apoyo y motivación.

Agradezco a Dios grandemente porque ha sido por su obra que todos ustedes han estado cerca, que les dé muchas bendiciones, salud y éxitos siempre, también por brindarme las capacidades para finalizar mis estudios, que ahora debo retribuir como una persona de bien.

Guillermo Antonio Gómez Juárez

Agradezco a Dios por haberme dado la posibilidad de vivir y permitirme cumplir esta meta.

A mis padres por apoyarme durante mi formación en la universidad, por sus consejos y todo lo que hicieron por mí para obtener este resultado.

A mi hermano por confiar en mí, y por su motivación a lo largo de la carrera.

A todos los compañeros que conocí durante el proceso de formación en la Universidad de El Salvador.

A mis compañeros de Tesis por la confianza durante el periodo de trabajo de este proyecto.

Al Ingeniero Salomón Torres por sus consejos para ser una mejor persona tanto en el aspecto profesional como lecciones para la vida.

A todos los docentes que fueron parte de mi formación como profesional, así como a la Universidad de El Salvador por ser fuente de conocimiento y despertar el deseo de regresar a la sociedad lo que me ha brindado.

A mis amigos que siempre me alentaron a seguir adelante a pesar de las dificultades que se presentaban durante el proceso de formación.

Welf Wipfli Ramírez

SIMBOLOGIA

A	Área, m^2
A_e	Área efectiva de captación de la placa, m^2
A_c	Superficie de captación, m^2
A_{CS}	Área del colector solar, m^2
A	Absorbitancia del material
B	Ángulo de inclinación del colector, grados
C	Relación entre el coeficiente U_L y la conductividad de la placa k ,
C_P	Capacidad calorífica del agua, $kJ/(kg \cdot K)$
D	Diámetro externo de la tubería de calentamiento, m
D_1	Relación de energía absorbida por el captador y la carga calorífica de calentamiento en un mes (Adimensional)
D_2	Relación entre pérdidas de energía en el captador y la carga calorífica de calentamiento en un mes (Adimensional)
δ	Espesor de la placa absorbidora, m
Δx	Elemento del ancho de la placa de absorción, m
E_R	Demanda energética total de la resistencia, KWh
$E_{R'}$	Demanda energética para el sistema combinado, KWh
ε_c	Emisividad de las cubiertas en el infrarrojo (adimensional)
F	Relación entre energía aportada por el sistema solar térmico y la demanda energética relativa al consumo de ACS (adimensional)
F	Eficiencia geométrica de una superficie plana (Adimensional)
F_r	Factor de remoción de calor (Adimensional)
H_T	Irradiancia global (W/m^2)
h_v	Coefficiente de transferencia de calor por convección entre el aire y el colector, $W/(m^2 \cdot K)$
H	Altura del colector solar, m
I	Corriente, amperios
k_1	Factor de corrección por almacenamiento
k_2	Factor de corrección de relación de t_{ACS} , t_{mred} , t_{amb}
K	Coefficiente de conductividad térmica de la placa de absorción, $W/(m \cdot K)$
k_a	Conductividad del aislante inferior, $W/(m \cdot K)$
$K_{a'}$	Conductividad del aislante lateral, $W/(m \cdot K)$
L	Longitud del colector solar, m
l'	Espesor del aislante por los lados, m
M	Masa del agua, Kg
\dot{m}	Flujo másico del agua en el calentador, kg/s
η_c	Eficiencia del calentador (adimensional)
N	Número de días del mes, días
N	Número de cubiertas en el colector, número
P	Perímetro del colector solar, m

ΔP	Diferencia de presión entre dos puntos, m.c.a
$Q_{75\text{Litros}}$	Calor suministrado al volumen de agua del tanque de remolino, KJ
q_{util}	Calor utilizable para calentar el fluido de trabajo, W/ m ²
q_{cs}	Calor disipado al ambiente por el colector solar, W/ m ²
q_{cx}	Calor disipado por las conexiones, W/ m ²
q_{da}	Calor disipado por el depósito de almacenamiento, W/ m ²
q_{pe}	Calor perdido por efecto de convección, conducción y radiación, W/ m ²
q_{cal}	Calor aportado para el calentamiento del agua, W/ m ²
q'_{cond}	Calor de conducción de la placa al tubo, W/ m ²
q'_{rad}	Calor aportado por radiación al tubo, W/ m ²
q''	Calor por unidad de área que fluye por conducción de la placa de absorción hacia el tubo, W/ m ²
R_1	Resistencia térmica por convección entre la parte inferior del colector y el ambiente, m ² °C/ W.
R_2	Resistencia térmica por conducción inferior m ² °C/ W.
R_3	Resistencia térmica por convección dentro del colector m ² °C/ W.
R_4	Resistencia térmica por conducción en el material transparente m ² °C/ W.
R_5	Resistencia térmica por convección entre el material transparente y el ambiente, m ² °C/ W.
S	Potencia de radiación total que entra al colector
T	Temperatura del elemento diferencial, °C
T_i	Temperatura del agua de la red, °C
T_f	Temperatura final en el tanque acumulador, °C
T_p	Temperatura promedio de la placa de absorción, °C
T_a	Temperatura ambiental, °C
T_{fe}	Temperatura del fluido a la entrada del colector, °C
T_{fs}	Temperatura del fluido a la salida del colector, °C
Δt	Tiempo de calentamiento del agua, s
τ	Transmitancia del material
U_L	Coefficiente total de transferencia de calor
U_{sup}	Conductancia en la parte superior del colector
U_{fo}	Conductancia en la parte inferior del colector,
V_{SM}	Voltaje del sistema de monitoreo, Voltio
V_R	Voltaje de la resistencia eléctrica, Voltio
V_v	Velocidad del viento, m/s
W	Separación entre centros de cada tubo en la placa absorbidora, m
W_e	Trabajo eléctrico realizado por la resistencia, KJ

INTRODUCCION

La ubicación geográfica de El Salvador es favorable para el aprovechamiento de la energía solar térmica, sin embargo todavía no se aprovecha al máximo este recurso, incluso teniendo trabajos de investigación desarrollados por la academia, debido a factores como la falta de visión e inversión por parte de las autoridades gubernamentales y de la industria.

El desarrollo de equipo para el aprovechamiento de esta energía debe ser un punto importante en la búsqueda de soluciones al problema energético nacional.

La energía solar térmica de baja temperatura tiene muchas aplicaciones que mejoran la calidad de vida de las personas, o permiten el ahorro de energía en la industria, al aprovechar la radiación proveniente del sol y utilizarlo para calentar diferentes fluidos (agua, aire, etc).

En el ámbito de aplicaciones en el área hospitalaria sobresale el calentamiento de agua para brindar atención a pacientes en proceso de recuperación física, especialmente en el área de hidroterapia, mejorando los efectos de la terapia en los pacientes.

Conociendo que la Clínica de Bienestar Universitario de la Universidad de El Salvador, ofrece el servicio de hidroterapia en la unidad de fisioterapia, y actualmente no dispone de agua caliente para realizar los tratamientos, se diseñó y construyó un sistema solar térmico para satisfacer la demanda de agua caliente sanitaria.

Para hacer el diseño del colector solar plano es importante conocer las características de los materiales a utilizar, de igual forma es importante hacer la geolocalización del lugar para realizar el cálculo de la radiación disponible.

Otro dato importante es la cantidad de energía requerida para el calentamiento del volumen de agua que se ocupa diariamente en las atenciones brindadas.

OBJETIVOS

General

Instalar un sistema de captación de energía solar mediante colector plano para la producción de agua caliente sanitaria para ser utilizada en el área de hidroterapia ubicada en la unidad de fisioterapia de la clínica de Bienestar Universitario

Objetivos Específicos

Diseñar los componentes del sistema de captación solar de manera que se aproveche al máximo el recurso solar.

Construir los componentes del sistema de captación solar con materiales disponibles en el mercado nacional.

Validar el funcionamiento del sistema de captación solar

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes del uso de la energía solar térmica

1.1.1 Antecedentes generales

Es difícil precisar el momento en que el hombre empezó a aprovechar para su beneficio la energía solar térmica. La radiación solar, ha sido un elemento cotidiano, empleado por el hombre desde la prehistoria. Acciones tan sencillas como secar la ropa o simplemente calentarse exponiéndose a los rayos solares son actividades que implican el aprovechamiento solar térmico.

También desde tiempos muy tempranos se dispusieron vegetales, hortalizas, frutas, cereales, flores y hojas bajo los ardientes rayos solares con el fin de deshidratarlos. Este acto permitía una mejor conservación de estos alimentos, además de un menor peso, con lo que se facilitaba su transporte.

1.1.2 Antecedentes Históricos

Arquímedes durante el sitio de Siracusa por los Romanos entre los años 213-211 A.C. hizo uso “del rayo de calor” para destruir las naves romanas que atacaban la ciudad. Utilizando una serie de espejos dispuestos en las murallas de la ciudad logró concentrar la radiación del sol sobre las galeras romanas enemigas, provocando que estas se incendiaran.

Leonardo da Vinci, también mostró su interés en la capacidad calorífica del sol. Se dice que conocía los modelos primitivos de concentradores, y basándose en ellos inició un proyecto para producir vapor y calor industrial, a partir del sol, dicho proyecto no concluyó y sólo quedaron breves registros.

Horacio de Saussure en 1767, inventó lo que él denominó una “caja caliente”, basándose en el principio del efecto invernadero dispuso una caja tapada con un vidrio y el interior pintado de negro todas las caras, excepto el

vidrio. Contaban con una capa de aislante que retenía el calor; logró alcanzar temperaturas de hasta 109 °C.

Tras este invento, se propició el desarrollo de los calentadores solares que hasta hoy en día tienen una gran utilidad.

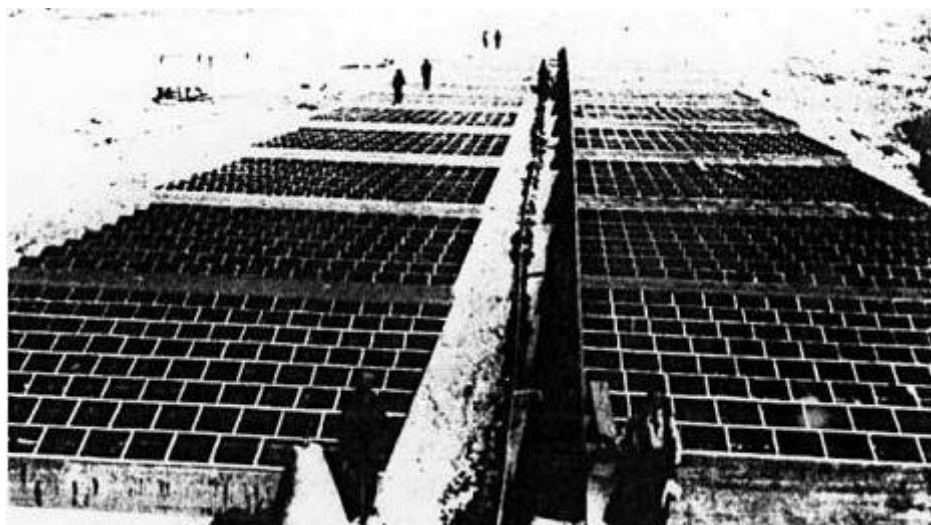


Figura 1: Central de destilación solar en el desierto de Atacama. (2001). [Fotografía].
Fuente: www.sitiosolar.com

En 1891 cuando Clarence Kemp sacó al mercado en Estados Unidos el calentador de agua “Clímax”, el cual combinaba el modelo de los tanques expuestos al sol con el principio de la caja caliente. Así se calentaba más agua, a mayores temperaturas y se almacenaba por más tiempo.

1.1.3 Investigaciones realizadas en el área de energía solar en la Universidad de El Salvador

Realizando una investigación en el tesario de la Universidad de El Salvador se puede constatar que uno de los primeros trabajos de graduación relacionado con el tema del aprovechamiento de la energía solar térmica es del año 1983 realizado por el Ing. Ernesto Ramírez Sigüenza cuyo tema es “Diseño y construcción de un colector solar de concentración, de canal parabólico para usos experimentales”.

Para el año de 1986 el departamento de Física de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura lleva a cabo la determinación del potencial energético en el proyecto Solarimetría cuya duración fue de un año, publicando los resultados en el año de 1989, dicho proyecto fue financiado por la Organización de Estados Americanos.

A partir de entonces se llevaron a cabo trabajos de graduación en el área de la Energía Solar Térmica, sin embargo no han tenido mayor impacto debido a la falta de difusión de estos proyectos.

1.1.4 Utilización de Energía Solar en El Salvador

La posición geográfica de El Salvador favorece a que la Irradiación solar tenga un valor superior en comparación con Alemania y Japón ($3.3 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{día}$). Solamente en la región central de San Salvador el promedio anual es de ($5.0 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{día}$). (SNET, 2006)

La mayor parte de energía solar que se aprovecha en el país se hace mediante el uso de sistemas fotovoltaicos, actualmente se ha incrementado el número de campos fotovoltaicos que inyectan energía a la red produciendo un aproximado de 400 MW de energía eléctrica, este dato es del mes de abril del año 2018.

Han existido investigaciones por parte de LaGEO e INE para la posible construcción de una planta de aprovechamiento de energía solar térmica mediante concentradores, sin embargo estos no tuvieron el seguimiento necesario, disminuyendo las posibilidades de implementar una planta de este tipo en los próximos años.

Actualmente el aprovechamiento de la energía solar térmica para producción de agua caliente sanitaria mediante colectores solares se encuentra limitado al sector de hoteles, algunos hospitales como por ejemplo los hospitales San Juan de Dios en Santa Ana, el Hospital Nacional Francisco Menéndez en Ahuachapán, el Hospital Nacional de la Unión, y algunos hospitales privados.



Figura 2: Colectores Solares en Hospital Nacional Francisco Menéndez. (2017) [Fotografía]. Fuente: La Prensa Gráfica.

En el sector residencial todavía no se tiene un mayor crecimiento, debido a que la inversión inicial es considerable y de igual forma los usuarios no tienen mayor conocimiento de la durabilidad de los equipos y que podrían recuperar la inversión en poco tiempo.

1.2 Proveedores de equipos de energía solar térmica

La mayoría de empresas que están en el rubro de la energía solar en El Salvador ofrecen equipos para aprovechar la energía fotovoltaica dado a que estos tienen mayor demanda en el mercado. Los sistemas de captación de energía solar térmica son poco demandados por los clientes, al mismo tiempo que son importados cuando se hace la venta de uno de estos.

Un factor muy importante que incide en el poco aprovechamiento de la energía solar térmica en nuestro país es la falta de una normativa que regule su uso, así como de incentivos a quienes invierten en proyectos para el aprovechamiento de este tipo de energía.

El aprovechamiento de este recurso energético debe ser difundido para que en el futuro se aumente el número de empresas, hospitales y residencias que aprovechen este recurso, que puede considerarse inagotable, con un costo muy bajo, poco contaminante, y que se tiene en abundancia gracias a la ubicación geográfica que tiene El Salvador.

1.3 La Energía Solar Térmica

1.3.1 El Sol

Es una esfera mayoritariamente conformada por gases calientes, y puede considerarse un reactor de fusión termonuclear continuo, constituido por diferentes gases retenidos por fuerzas gravitatorias. Desde el punto de vista de las aplicaciones de conversión fototérmica y fotovoltaica puede adoptarse un modelo mucho más simple. Así, el sol puede ser considerado como un cuerpo negro que radiará a la temperatura de 5762 Kelvin (K), ya que la distribución de energía para cada longitud de onda de la radiación solar es básicamente la misma que la de dicho cuerpo negro.

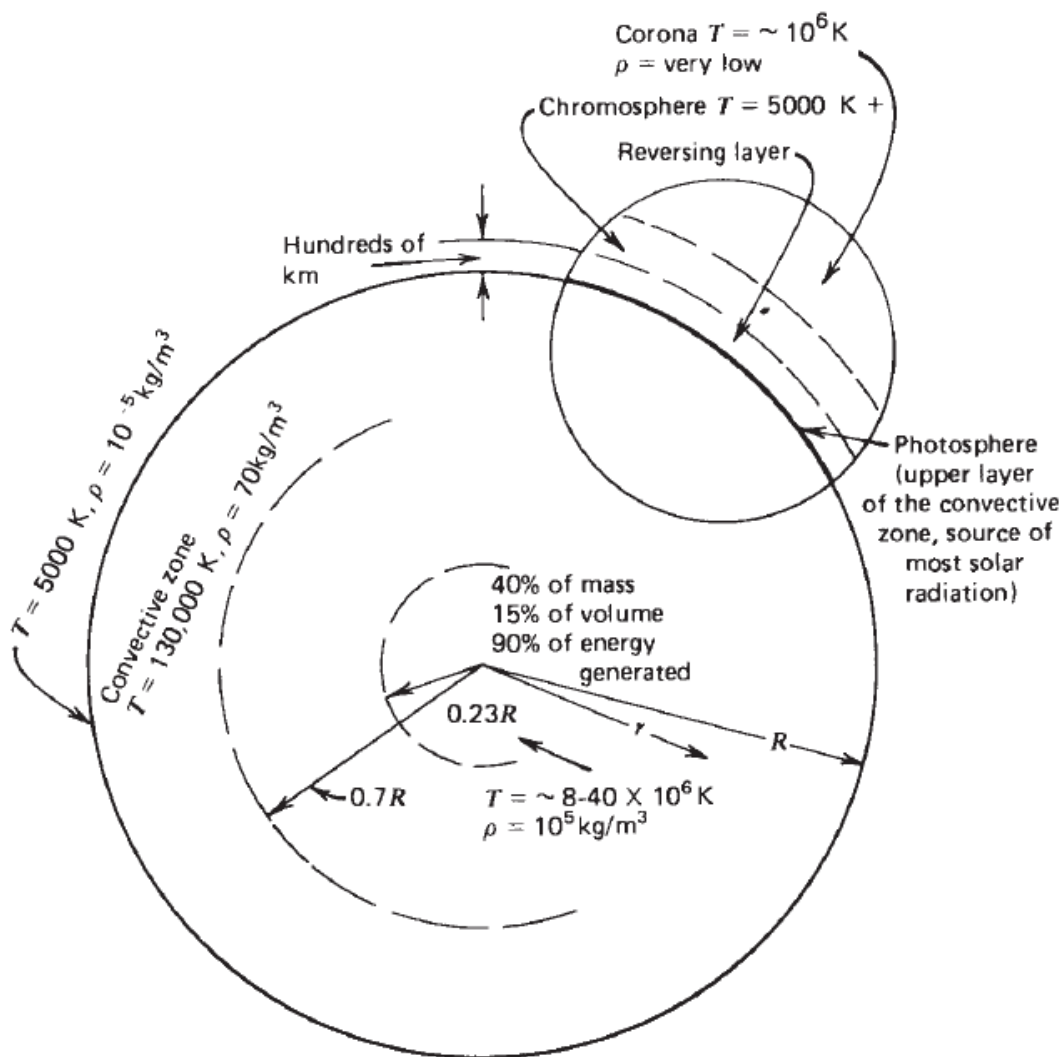


Figura 3: La estructura del sol. (2006). [Esquema]. Fuente: Solar Engineering of Thermal Processes.

1.3.2 La constante Solar.

Es el flujo de energía proveniente del Sol, que incide sobre una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar ubicada a la distancia media de la Tierra al Sol, fuera de toda atmósfera. Se acepta el valor de $G = 1367 \text{ W/m}^2$ por la NASA (Administración Aeronáutica y Espacial Nacional de Estados Unidos de América) y por investigaciones del Instituto Smithsonian. Este valor se adoptó por el Centro Mundial de Radiación (WRC por sus siglas en inglés) y tiene una incerteza en el orden del 1% (Manual Técnico de Energía Solar Térmica, 2011).

1.3.3 Radiación Solar.

Se conoce como radiación al proceso físico por medio del cual se transmite energía en forma de ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz (300000 km/s). No requiere de ningún medio de propagación.

La constante solar representa la energía media que llega a la capa más externa de la atmósfera terrestre (1367 W/m^2), pero este valor no es el que llega a la superficie del suelo, debido a que existen muchos factores que afectan la captación del 100 % de la energía radiante que proviene del sol.

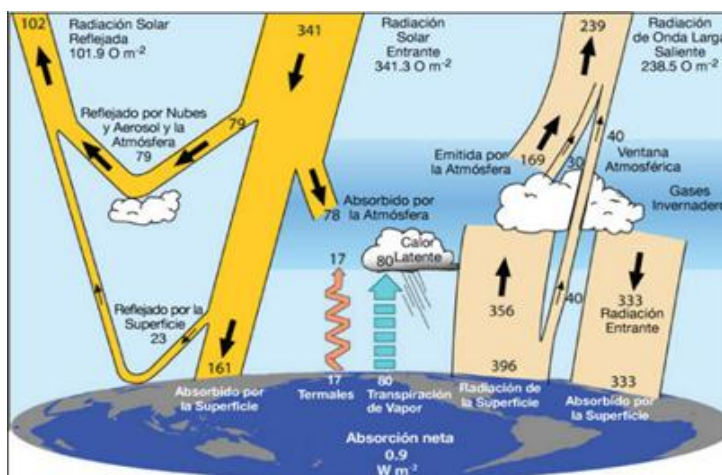


Figura 4: Radiación solar incidente sobre la tierra. (2008). IEsuemal. Fuente National Center for Atmospheric Research

A la tierra solo llega aproximadamente 1/3 de la energía total interceptada por la atmósfera, y de ella el 70% cae en el mar. Aun así, es varios miles de veces el consumo energético mundial.

1.3.3.1 Componentes de la radiación solar.

En función de cómo inciden los rayos en la tierra se distinguen tres componentes de la radiación solar: radiación directa, radiación indirecta y albedo.

Radiación Directa: Es la recibida desde el sol sin que se desvíe en su paso por la atmósfera. Fuera de la atmósfera se tiene en su totalidad radiación directa, ya que no hay presencia de cuerpos o fenómenos que modifiquen su trayectoria.

Radiación Difusa: Es la que sufre cambios en su dirección principalmente debidos a la reflexión y difusión en la atmósfera.

Albedo: Es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas.

1.3.3.2 Radiación que llega a la Tierra.

La intensidad de la radiación solar que llega a la superficie de las Tierra se reduce por factores como la absorción de la radiación, en intervalos de longitud de onda específicos, por los gases de la atmósfera (dióxido de carbono, ozono, etc.), por el vapor de agua, la difusión atmosférica, las partículas de polvo, moléculas y gotitas de agua, por reflexión de las nubes y por la inclinación del plano que recibe la radiación respecto de la posición normal de la radiación.

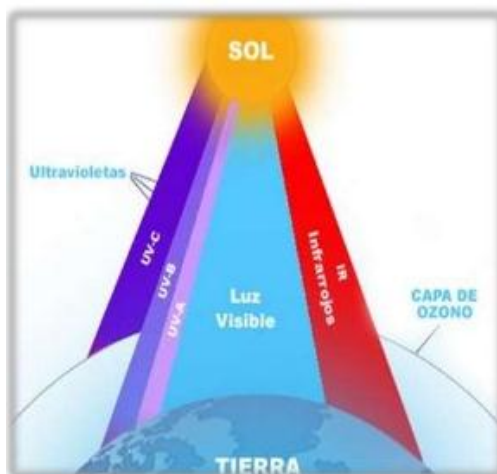


Figura 5: Espectro de la radiación solar (2005). [Esquema]. Fuente: www.sitiosolar.com

Dentro del espectro solar cabe distinguir tres tipos de radiaciones fundamentales:

a) Los rayos ultravioleta, con longitudes de onda comprendidas entre 0.1 y 0.4 micrómetros, y que transportan junto con los rayos X y los rayos gamma un 9 % de la energía total emitida por el Sol.

b) Los rayos visibles o luminosos, con longitudes de onda superiores entre 0.4 y 0.78 micrómetros que transportan aproximadamente el 41 % de la energía solar total.

c) Los rayos infrarrojos, con longitudes de onda comprendidas predominantemente entre 0.78 y 3 micrómetros (la banda correspondiente al infrarrojo próximo), y que transportan el 50 % restante de la energía solar.

1.3.3.3 Radiación total incidente en El Salvador.

El Salvador cuenta con un gran potencial energético en lo que a radiación solar se refiere, esto lo demuestra la siguiente figura, proporcionada por el SNET, identificando el promedio de incidencia solar para cada zona de El Salvador.

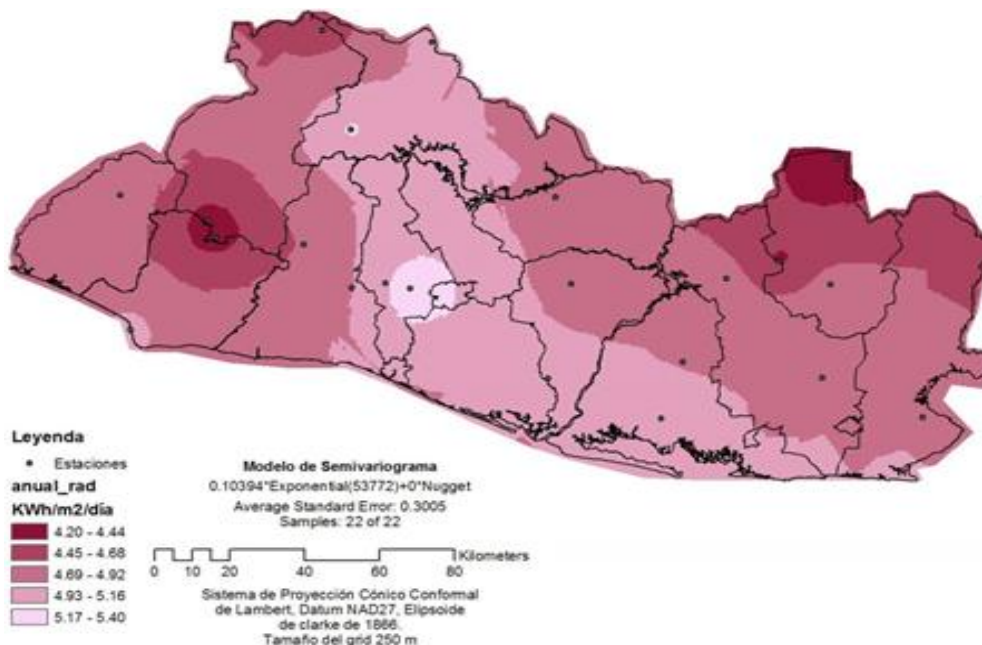


Figura 6: Mapa de Irradiancia solar promedio anual en El Salvador. (2005). [Figura]. Fuente: SNET

También es importante conocer el número de horas totales de brillo solar de las que se dispone para aprovechar el recurso solar.

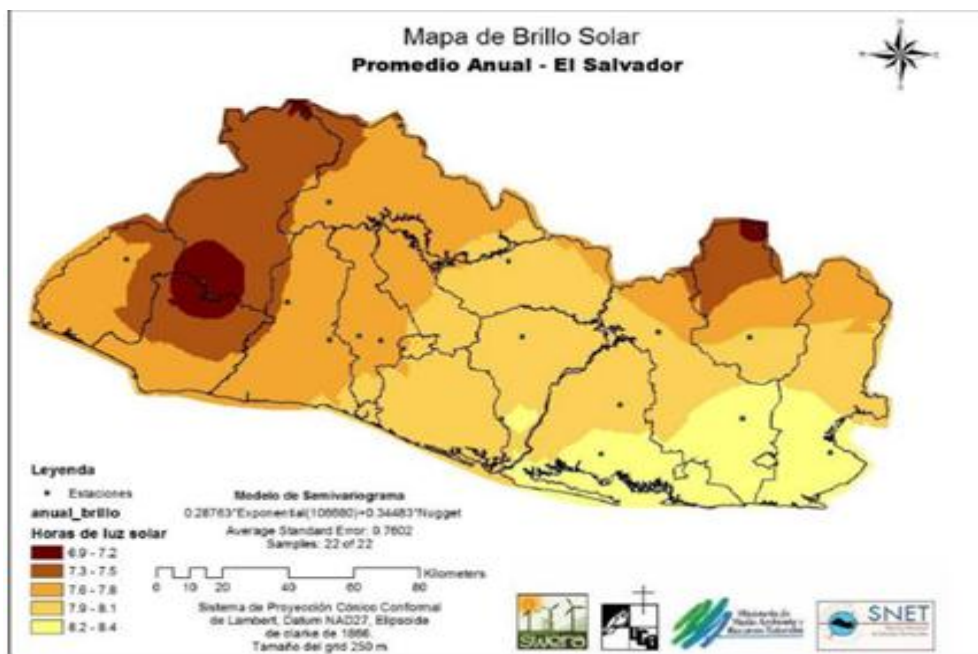


Figura 7: Mapa de brillo solar promedio anual de El Salvador. (2005). [Figura]. Fuente: SNET

1.4 Geometría solar

1.4.1 Distancia Tierra – Sol

Determinar la distancia de la tierra con respecto al sol es de suma importancia debido a que la cantidad de radiación que llega a la tierra es inversamente proporcional al cuadrado de esta distancia. La máxima distancia que se puede encontrar es aproximadamente 1.017 U.A y la mínima es 0.983 U.A. (1 Unidad Astronómica = 1.496×10^8 km).

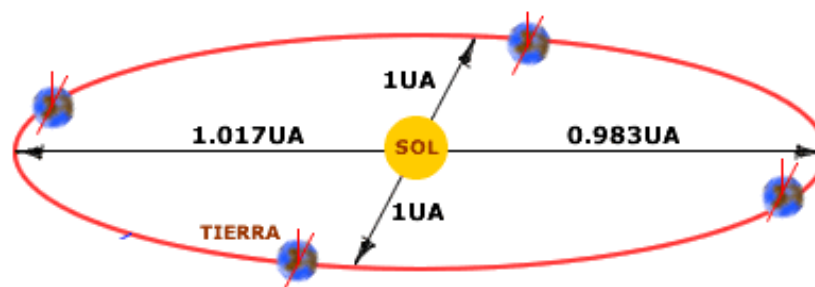


Figura 8: Representación del cambio de la distancia de la tierra con respecto al sol. (2005). [Esquema]. Fuente: www.ujae.es

1.4.2 Declinación solar

La declinación solar es el ángulo formado por los rayos procedentes del sol y el plano ecuatorial de la tierra, este ángulo es consecuencia de la oblicuidad de la eclíptica o inclinación de 23.45° que el eje terrestre mantiene constantemente sobre el plano de la eclíptica solar.

Este ángulo varía durante el año por el movimiento de la Tierra alrededor del sol, siendo en el solsticio de verano $+23.45^\circ$ y en el solsticio de invierno -23.45° , los trópicos de Cáncer (23.45° Norte) y de Capricornio (23.45° Sur) corresponden a los lugares extremos de latitud tal que el sol se sitúa en la perpendicular al plano del horizonte un instante al año, el signo corresponde al lugar donde incide perpendicularmente el sol (+) para el hemisferio norte o (-) para el hemisferio sur, el ángulo de declinación es cero cuando el sol pasa por el Ecuador terrestre (equinoccio).

Este movimiento está caracterizado por la ecuación 1.1 y se puede representar de manera gráfica de la siguiente manera como se observa en la Figura 9.

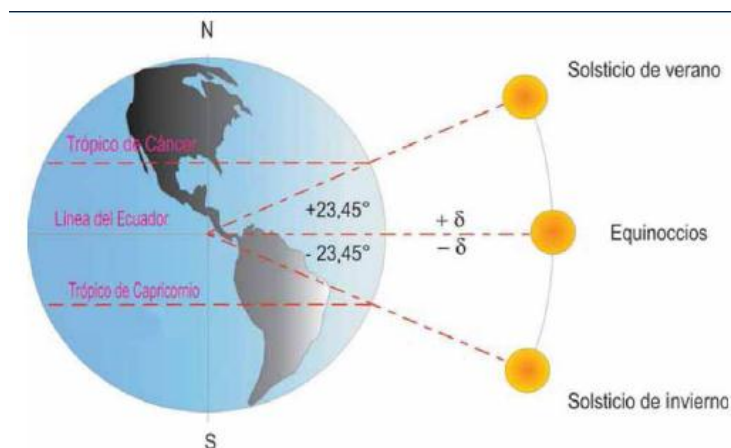


Figura 9: Representación de la declinación solar. (2005). [Esquema].
Fuente: Atlas de radiación solar de Colombia.

El error en esta expresión aproximada puede llegar a casi 1° , por lo que no se recomienda su uso, salvo para cálculos rápidos.

$$\delta \cong \delta_0 \left[2\pi \left(\frac{284 + n}{365} \right) \right]$$

Ecuación 1.1

La siguiente expresión, debida a Spencer (Spencer, 1971) es más precisa y es la recomendada para hacer cálculos.

$$\delta \cong 0.006918 - 0.399912 \cos(\Gamma) + 0.070257 \sin(\Gamma) - 0.006758 \cos(2\Gamma) + 0.000907 \sin(2\Gamma) - 0.002697 \cos(3\Gamma) + 0.00148 \sin(3\Gamma)$$

Ecuación 1.2

Donde δ está en radianes y $\Gamma = 2\pi(n - 1)/365$. Esta expresión tiene un error máximo de 6×10^{-4} radianes (0.03°).

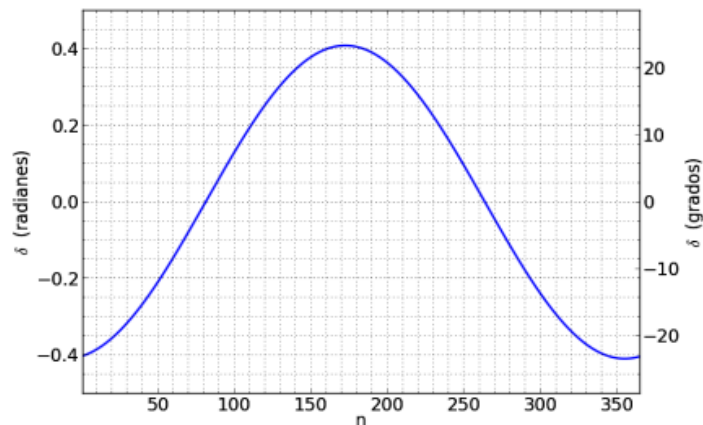


Figura 10: Gráfica de la declinación solar. (2013). [Gráfico].
Fuente: Manual Técnico de Energía Solar Térmica (2013)

1.4.3 Ángulo horario (ω)

El ángulo horario, ω , indica el desplazamiento angular aparente del sol, de este a oeste, a una tasa de 15 grados/hora. Esta tasa, debida a la rotación de la Tierra sobre su eje, corresponde a 360 grados/24 horas ($\pi/12$ ' 0.2618 rad/h). Por convención, el ángulo horario ω es nulo a mediodía solar, negativo en la mañana y positivo en la tarde. Este ángulo se define sobre el plano del ecuador, como el ángulo entre los meridianos del Sol y del observador.

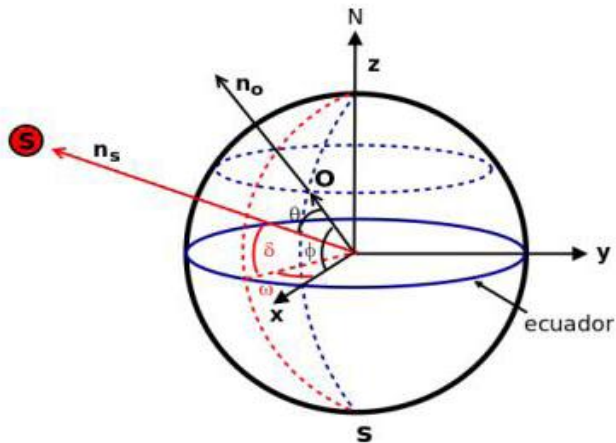


Figura 11: Ángulos que describen el movimiento solar. (2013). [Esquema]. Fuente: Manual Técnico de Energía Solar Térmica

El ángulo horario varía entre dos valores extremos ($-\omega_s$, $+\omega_s$) correspondientes al amanecer y atardecer, respectivamente. En la Ec. 1.3 se da una expresión para calcular estos ángulos extremos en el caso de horizonte plano y despejado. Este ángulo define un tiempo solar, donde t_s se mide en horas y fracción decimal y ω está expresado en radianes.

$$t_s = 12h \left(1 + \frac{\omega}{\pi}\right)$$

Ecuación 1.3

1.4.4 Ángulo cenital (θ_z)

El ángulo cenital es el ángulo formado por la dirección Tierra-Sol y la vertical local del observador y se representa por θ_z . Vea la Figura 11 Este ángulo varía entre $\pi/2$ (a la salida o puesta del Sol, en terreno plano) y 0 a mediodía solar (sólo para latitudes entre los Trópicos, ver discusión más adelante). Se puede expresar en términos del ángulo horario, latitud y declinación solar, como:

$$\cos\theta_z = \sin\delta\sin\phi + \cos\delta\cos\omega$$

Ecuación 1.4

Donde ϕ es la latitud del observador con la convención usual: negativa para el Hemisferio Sur y positiva para el Hemisferio Norte.

Por lo tanto, el ángulo cenital depende de:

- La hora del día
- La ubicación del observador
- El día del año, a través de la declinación solar.

1.4.5 Altura solar (α)

El ángulo complementario ($\alpha_s + \theta_z = \pi/2$) del ángulo cenital es la altura solar, α_s . Este ángulo se indica en la Figura 11. Se puede calcular simplemente a partir de la Ec. 1.5.

$$\sin \alpha_s = \cos \theta_z$$

Ecuación 1.5

1.4.6 Azimut solar (γ_s)

El azimut solar es el segundo ángulo de interés (junto a la altura solar) para describir la posición aparente del Sol. El azimut describe el desplazamiento angular de la proyección de la línea Tierra-Sol sobre el plano horizontal del observador.

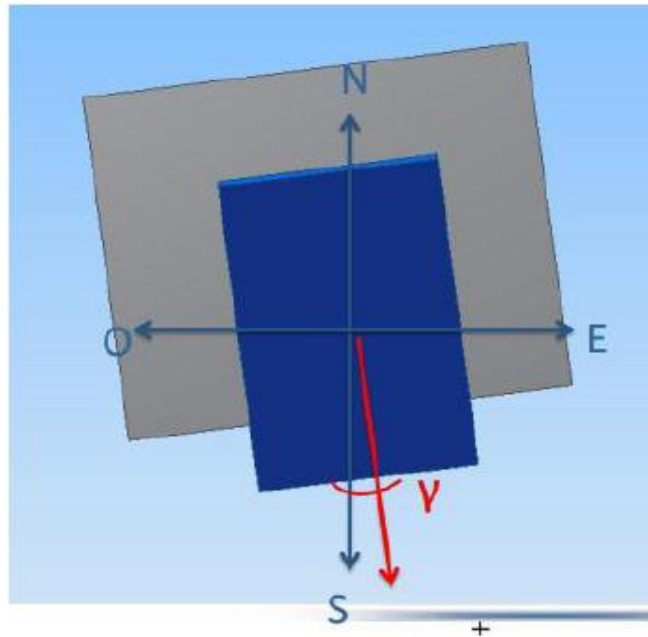


Figura 12: Representación del ángulo acimutal. (2013). [Esquema]. Fuente: Manual Técnico de Energía Solar Térmica.

El azimut solar se relaciona con la declinación, el ángulo horario y la altura solar de la siguiente forma:

$$\sin\gamma_s = \frac{\cos\delta \sin\omega}{\cos\alpha_s}$$

Ecuación 1.6

1.4.7 Radiación total incidente en el colector

La ubicación del colector es determinante para obtener un aprovechamiento mejor del recurso solar, por lo tanto se requiere tomar en cuenta todos los aspectos que pueden afectar la cantidad de radiación que llega al colector.

1.4.7.1 Radiación Solar Directa

Para encontrar la ecuación que permita calcular la cantidad de radiación sobre una superficie inclinada, se procede a utilizar el “Método de Hottel”.

Este método permite calcular la radiación para condiciones de un día claro utilizando parámetros geométricos, geográficos y características climáticas del sitio para el cual se desea calcular la radiación.

Este modelo define la transmitancia directa de la radiación (porcentaje de la radiación solar extraterrestre que se ve absorbida por la atmósfera terrestre) usando un modelo de gas negro-gris-claro que arroja la siguiente relación.

$$\tau_b = a_0 + a_1 e^{-k/\cos\theta}$$

Ecuación 1.7

Los parámetros a_0 , a_1 , y k son adimensionales y deben ser ajustados dado que la altitud a la que se encuentra el punto donde se desea conocer la radiación introduce un error, mismo que se corrige usando las siguientes ecuaciones cuadráticas para una visibilidad de 23 km en un día claro (Hottel, 1976).

h_{nm} = Altura sobre el nivel del mar en km.

$$a_0^* = 0.4237 - 0.00821(6 - h_{nm}^2)$$

Ecuación 1.8

$$a_1^* = 0.5055 - 0.00595(6.5 - h_{nm}^2)$$

Ecuación 1.9

$$k^* = 0.2711 - 0.001858(2.5 - h_{nm}^2)$$

Ecuación 1.10

Finalmente estos valores deben ser corregidos nuevamente para mostrar el efecto que produce el tipo de clima sobre la cantidad de radiación incidente.

Definiendo las siguientes proporciones: $r_0=a_0/a_0$, $r_1=a_1/a_1$ y $r_k=a_0/a_1$, donde los valores de cada término se resumen en la Tabla 1.1 para distintos tipos de clima.

Tabla 1: Valores de r_0 , r_1 y r_k para cada tipo de clima. (2010) Fuente: Diseño, construcción y evaluación teórico experimental de la eficiencia de un colector solar de placa plana en Costa Rica.

Tipo de clima	r_0	r_1	r_k
Tropical	0.95	0.98	1.02
Verano, latitud media	0.97	0.99	1.02
Verano- sub-ártico	0.99	0.99	1.01
Invierno, latitud media	1.03	1.01	1.00

Utilizando los factores de corrección se tiene:

$$a_0 = r_0 \left(0.4237 - 0.00821(6 - h_{nm}^2) \right)$$

Ecuación 1.11

$$a_1 = r_1 \left(0.5055 + 0.00595(6.5 - h_{nm}^2) \right)$$

Ecuación 1.12

$$k = r_k \left(0.2711 - 0.001858(2.5 - h_{nm}^2) \right)$$

Ecuación 1.13

Conociendo los valores anteriores es posible calcular la transmitancia solar directa utilizando la ecuación 1.7.

Para obtener la radiación incidente sobre la superficie terrestre, es necesario multiplicar la radiación extraterrestre definida como constante solar (1367 W/m^2), por el valor de transmitancia obtenido anteriormente.

Como se mencionó anteriormente, la órbita de la Tierra es elíptica y la distancia entre el Sol y la Tierra varía a lo largo del año, por lo que el valor de radiación se verá afectado por esta distancia. Se debe utilizar la ecuación 1.14 para corregir el valor de la radiación.

$$G_b = \tau_b * G * \rho^2 * \cos\theta_s$$

Ecuación 1.14

G_b : Radiación solar directa sobre la superficie terrestre (Wm^{-2}).

τ_b : Transmitancia directa de la radiación solar.

$\cos \Theta_s$: Componente perpendicular a la superficie.

G : Radiación solar extraterrestre (1366 W m^2)

ρ^2 : Factor de corrección debido a la traslación terrestre

$$\rho^2 = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = 1 + 0.033 \cos \frac{2\pi d_j}{365}$$

1.4.7.2 Radiación solar difusa.

La componente difusa de la radiación se define como “la radiación solar recibida desde el Sol luego que su dirección ha sido cambiada por reflexión y dispersión en la atmósfera”.

Para determinar el valor de la componente difusa de la radiación se utilizara la ecuación propuesta por Liu & Jordan (1960), la cual define un valor de transmitancia difusa para una atmosfera clara basándose en curvas teóricas y experimentales obteniendo la siguiente ecuación:

$$\tau_d = 0.2710 + 0.2939\tau_b$$

Ecuación 1.15

De forma similar a la ecuación 1.14, la componente difusa de la radiación finalmente viene dada por:

$$G_d = \tau_d * G * \rho^2 * \cos\theta_s$$

Ecuación 1.16

1.4.7.3 Albedo

El albedo es la fracción de la radiación, que proviene luego de reflejarse contra las paredes y otras superficies. La capacidad de las superficies mismas de reflejar la energía se denomina coeficiente de albedo (a).

En la siguiente tabla se presentan los valores del porcentaje de albedo para algunas superficies.

Tabla 2: Albedo para superficies comunes. (2010). Fuente: Diseño, construcción y evaluación teórico experimental de la eficiencia de un colector solar de placa plana en Costa Rica.

Superficie	Albedo
Nieve Fresca	0.9
Nieve vieja	0.6
Suelo cubierto de nieve	0.7
Suelo sin nieve	0.2
Suelo mojado	0.17
Suelo limpio	0.15-0.25
Pradera	0.25-0.75
Césped o hierba verde	0.26
Suelo cubierto de hojas	0.3
Mar (verano)	0.05
Mar (invierno)	0.1

El albedo es una fracción de la radiación global o total que llega a la tierra ($q_{rad}=G_d+G_b$) por lo que la radiación que recibe una superficie inclinada debido al albedo estará dada por la siguiente expresión:

$$G_a = q_{rad} \frac{1 - \cos(\theta - s)}{2} a$$

Ecuación 1.16

G_a = Radiación solar debido al albedo

Con estas ecuaciones se puede calcular la radiación solar incidente sobre una placa horizontal, pero como los colectores no se instalan en dicha posición, hay que corregir estos valores debido a la posición del colector con respecto a la horizontal, para la componente directa Duffie & Beckman (1974) proponen la siguiente relación geométrica:

$$R_b = \frac{\cos\theta_T}{\cos\theta_S}$$

Ecuación 1.17

Para la componente difusa la situación es un poco más complicada, dado que esta depende de la distribución de la radiación sobre el cielo y esta misma normalmente no se conoce ya que se distribuye en todas direcciones.

Debido a la dificultad para determinar una relación sencilla como en el caso de la componente directa, Duffie & Beckman (1974) proponen las siguientes suposiciones para determinar la corrección angular para la componente difusa:

- Se asume que la mayoría de la radiación difusa que llega al colector viene de un punto común muy cercano a la posición del Sol, esto es que la dispersión de la radiación es una dispersión fundamentalmente orientada. Esta aproximación es mejor en días claros.
- Se asume que la radiación difusa está uniformemente distribuida en el firmamento y además es bastante mayor que la componente reflejada por otras superficies (albedo) por lo que se desprecia la corrección para la radiación difusa.

Bajo estas suposiciones y la corrección que ya se mencionó en la ecuación 1.16 para la componente directa de la radiación, el valor total de la radiación incidente sobre un colector solar de placa plana inclinado viene dado por la suma de la componente difusa más la componente directa corregida por la inclinación.

$$q_{rad} = R_b G_b + G_d$$

Ecuación 1.18

1.5 Instrumentos para la determinación de la energía solar disponible.

Para calcular la disponibilidad de energía en un lugar existen varias medidas que se pueden realizar evaluando la meteorología o la disponibilidad energética.

Pueden ser variables radiométricas, tales como radiación global, térmica, ultravioleta o pueden ser variables que den cuenta de las características meteorológicas de un lugar, como puedan ser la temperatura, velocidad del viento, humedad entre otras..

Para la medida de radiación solar se utilizan los radiómetros, los cuales pueden ser de dos tipos: piranómetros y pirheliómetros.

La forma principal de actuación de estos sensores es la conversión de la energía proveniente del sol en otro tipo de energía, principalmente eléctrica, de forma que esta última pueda ser medida de una forma mucho más sencilla. Esta energía dependerá, por otra parte, de la inclinación, y en su caso de la orientación, en la que se ha situado el sensor, debido a que no es lo mismo registrar la radiación incidente en una superficie horizontal que en una vertical.

1.5.1 Piranómetros.

La Organización Meteorológica Mundial define radiación global como la radiación solar en el intervalo espectral de 0.3 a 3 μm recibida sobre una superficie plana horizontal desde un ángulo sólido de 2π sr.

La radiación global es la suma de la radiación que procede directamente del disco solar (radiación directa) y de la radiación solar dispersada a su paso por la atmósfera (radiación difusa). La medida de la radiación global se realiza por medio de piranómetros, de las palabras griegas fuego, hacia arriba y medida.

En la figura 13 se muestran las partes de un piranómetro, a continuación se enumeran sus partes: 1 termopila, 2 cúpula exterior, 3 cúpula interior, 4 cuerpo, 5 cable, 6 conector, 7 tornillos de nivelación, 8 circuito, 9 desecante, 10 tapa del desecante, 11 nivel.

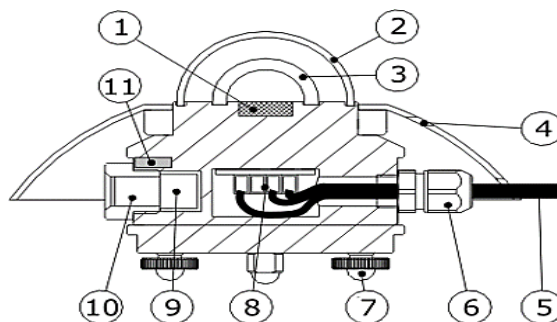


Figura 13: Componentes de un piranómetro.. (2005).
[Esquema]. Fuente: Procedimiento de Mantenimiento y
Calibración de estación Radiométrica

1.5.2 Pirheliómetros.

La medida de la radiación solar directa total se realiza con el pirheliómetro, de los términos griegos fuego, sol y medida, instrumento de tipo telescópico con una apertura de pequeño diámetro.

Las superficies receptoras del pirheliómetro deben mantenerse en todo momento perpendiculares a la dirección de la radiación solar, por lo que el uso de un sistema de seguimiento adecuado (solar tracker) es indispensable.

Las aperturas de este dispositivo están dispuestas de forma que sólo la radiación procedente del disco solar y de una estrecha franja anular en torno al mismo alcanzan el receptor.



Figura 14: Pirheliómetro. (2005). [Fotografía].
Fuente: Procedimiento de Mantenimiento y
Calibración de estación Radiométrica

1.5.3 Heliógrafos

La heliofanía está directamente relacionada con la radiación solar y, en particular, con la radiación visible. De hecho, la condición de sol brillante puede asociarse a la aparición de sombras tras objetos iluminados.

La WMO (Organización Mundial de Meteorología) (1991) define el número de horas de sol o heliofanía como la suma del subperíodo para el que la irradiancia solar directa supera $120 \text{ W}\cdot\text{m}^2$. La heliofanía tiene dimensiones de tiempo, y se mide en horas o segundos.



*Figura 15: Heliógrafo. (2003). [Dibujo].
Fuente: Procedimiento de Mantenimiento y
Calibración de estación Radiométrica*

La Organización Meteorológica Mundial establece que la heliofanía debe medirse con una incertidumbre menor o igual a $\pm 0.1 \text{ h}$ y con una resolución de 0.1 h .

La incertidumbre está principalmente condicionada por la frecuencia y la velocidad de los transitorios de la irradiancia solar directa que implican cruzar el umbral de $120 \text{ W}\cdot\text{m}^2$, siendo mayor para condiciones de cielo parcialmente cubierto, especialmente si las nubes son de los tipos cirros o altostratos, que pueden producir transitorios relativamente suaves.

1.6 Colectores Solares

El colector solar térmico es el dispositivo que transforma la radiación solar en energía térmica (calor); ésta se transfiere a un fluido caloportador aumentando su temperatura.

Es el principal componente del sistema de captación y el elemento más representativo de las instalaciones solares térmicas. El colector debe estar diseñado para soportar la continua exposición a condiciones exteriores tales como lluvia, granizo, polvo, etc. y para resistir las altas y bajas temperaturas a las que va a estar sometido.

Los sistemas basados en colector solar de placa plana, estático y sin concentración o los colectores con tubos evacuados son sencillos en construcción y operación, son adecuados para aplicaciones de baja temperatura, en particular el calentamiento de agua para uso sanitario en domicilios, clubes, hospitales y piscinas, entre otras. Se pueden utilizar también para calentamiento de aire para el secado de productos agrícolas o para el acondicionamiento térmico de viviendas donde existe la ventaja de que el potencial solar es mayor en verano cuando hay una mayor demanda de enfriamiento (Guía de diseño e instalación para grandes sistemas de agua caliente sanitaria, 2010).

1.6.1 Colector Solar plano.

De un buen colector solar se espera que maximice la energía solar absorbida en su placa colectora, minimice las pérdidas térmicas al ambiente y maximice el calor transferido al fluido de trabajo. Además, estos requerimientos deben ser satisfechos minimizando los costos de construcción e instalación, maximizando la vida útil del equipamiento y, en lo posible, utilizando capacidades tecnológicas locales.

El funcionamiento del colector solar plano está basado en el denominado “efecto invernadero”, y se corresponde con las propiedades de transmisión de la cubierta:

- De la radiación solar incidente, de longitud de onda corta (0,3-3 μm), una parte es reflejada, otro pequeño porcentaje es absorbido por la cubierta y una gran parte la atraviesa e incide sobre el absorbedor que la transforma en calor aumentando su temperatura.

- El absorbedor, al calentarse, emite radiación en una longitud de onda larga (3-30 μm), que no puede salir al exterior debido a que la cubierta es opaca frente a esa radiación, (Guía de diseño e instalación para grandes sistemas de agua caliente sanitaria, 2010).

En la figura 16 se ilustra gráficamente este efecto:

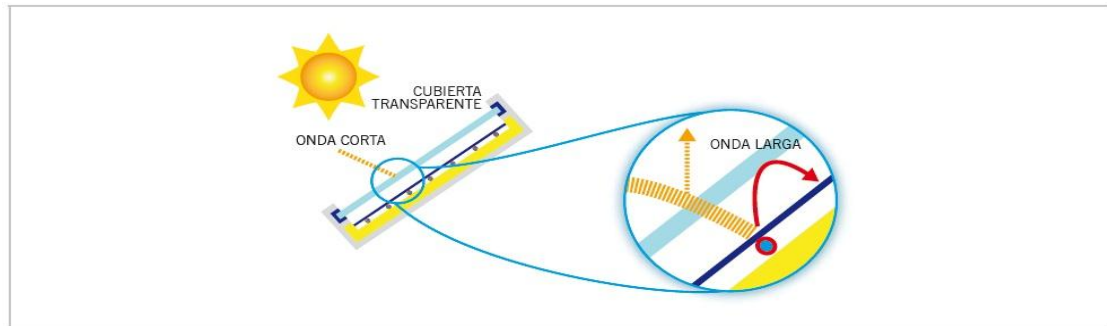


Figura 16: Ilustración del efecto invernadero. (2010). [Ilustración] Fuente: Guía de diseño e instalación para grandes sistemas de agua caliente sanitaria.

La figura 17 muestra los componentes de un colector solar típico de placa plana. Su funcionamiento en general es evidente a partir de la figura: una parte de la irradiación solar transmitida por la cubierta transparente es absorbida por la placa y una parte de este calor es transferido al fluido de trabajo, normalmente agua.

El aislamiento posterior busca minimizar las pérdidas térmicas al ambiente, pero aun en condiciones ideales hay pérdidas térmicas por radiación al entorno. La importancia de estas pérdidas aumenta con la temperatura de operación del colector.

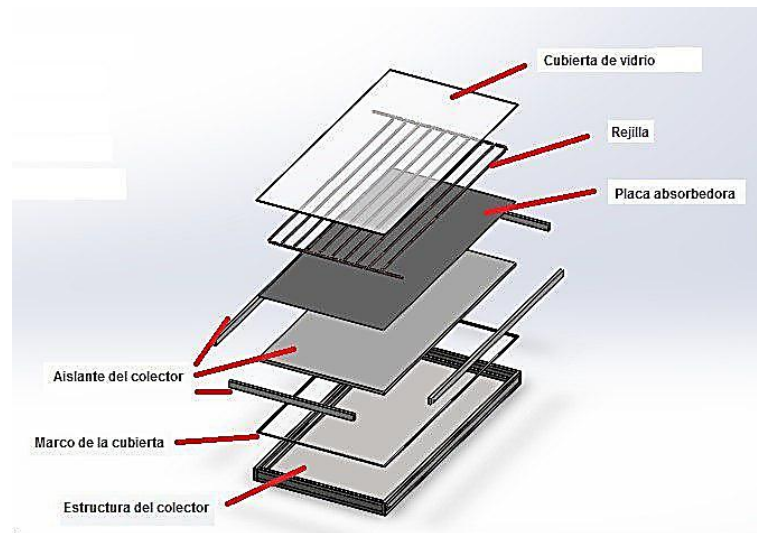


Figura 17: Componentes básicos de un colector de placa plana. (2017). [Esquema]. Fuente: Los autores

Se describen los componentes básicos de un colector de placa plana y sus principales características.

- **Cubierta transparente**

La función principal de la cubierta transparente es reducir las pérdidas convectivas de la placa absorbedora al ambiente. La cubierta debe transmitir el máximo de radiación incidente de onda corta bloqueando las pérdidas por radiación térmica. La cubierta debe favorecer un efecto invernadero que minimice las pérdidas por radiación térmica del colector. Pueden haber múltiples cubiertas pero en la práctica, el costo y la disminución de la transmitancia, limitan su número a una o a lo sumo dos cubiertas.

- **Placa absorbedora**

La placa absorbedora es un componente crítico del colector ya que es allí donde se capta la energía solar y se transfiere al fluido circulante. Se espera que la placa absorba el máximo de la radiación solar incidente, la transforme a energía térmica y la entregue al fluido de trabajo minimizando pérdidas térmicas y costos de construcción.

- **Aislamiento térmico**

El aislamiento térmico evita las pérdidas por conducción por la parte posterior de la placa colectora y por los costados del colector. Es importante que los costados estén aislados, salvo que el colector sea parte de un conjunto de colectores contiguos, en cuyo caso, deben aislarse bien los colectores en el perímetro del conjunto.

- **Tuberías**

Es por donde circula el fluido a calentar, se debe utilizar un material con buenas propiedades de conducción térmica, por lo general se utiliza el cobre. Es importante su correcto mantenimiento para evitar formaciones de calcio en las mismas debido al uso.

1.6.2 Modelo matemático del colector.

La energía disponible en forma de radiación electromagnética, cambia y se transforma dentro del colector para calentar el agua. Estos cambios de energía se visualizan como un aumento en la temperatura del agua a la salida del colector. Pero esta transferencia y cambio de energía en sus distintas formas no es completa, existen pérdidas en el proceso y la energía sufre atenuaciones.

Se debe desarrollar de forma analítica el modelo matemático que describe el comportamiento de un colector solar de placa plana. Utilizando dicho modelo se puede realizar un diseño que permite obtener eficiencias dentro del rango típico para colectores solares de uso doméstico, entre 30 % a 40 %.

1.6.2.1 Descripción básica de la transferencia de energía.

Las partes más importantes del colector solar plano se muestran en la Figura 18. La energía solar atraviesa la cubierta transparente y permite el paso de la radiación, para luego ser absorbida por la placa colectora y transformada en energía calórica. El calor es posteriormente transferido por conducción a

través de la placa hacia las tuberías, este flujo de calor se transfiere eventualmente por convección hacia el fluido de trabajo (agua). El aislante de la parte inferior, la cubierta transparente y los lados del colector sirven para disminuir las pérdidas de calor hacia el medio ambiente y de esta manera aumentar la eficiencia global del sistema.

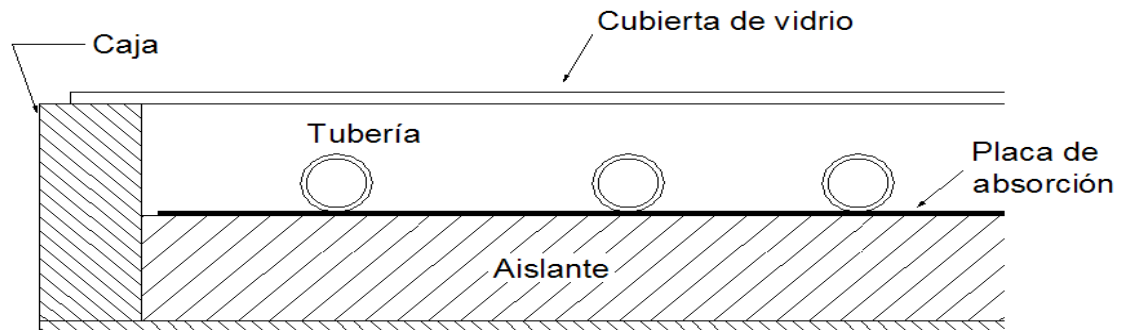


Figura 18: Vista de perfil de las partes de un colector solar plano. (2013). [Dibujo]. Fuente: Manual Técnico de Energía Solar Térmica

Los parámetros más importantes en el diseño de un colector de placa plana son:

- El material, espesor y acabado superficial de las tuberías y de la placa colectora.
- Diámetro nominal, cantidad y longitud de las tuberías.
- El número de tuberías y el espaciamiento entre ellas.
- El espesor de la cubierta transparente y del aislante térmico así como el material de los mismos.
- El flujo másico o caudal a través de las tuberías y la inclinación del colector con respecto a la horizontal.

Todos estos parámetros influyen de acuerdo al tipo y cantidad de radiación a la que va a ser expuesto el colector así como la temperatura requerida del agua a la salida del mismo.

Para la producción de ACS se necesitan temperaturas entre 40 °C y 60 °C.

La importancia de los distintos parámetros de diseño puede ser evaluada mediante los balances de energía que se presentan a continuación.

1.6.2.2 Balance de energías para el colector.

El balance de energía tiene como objetivo determinar el calor útil que será transmitido al agua para establecer la eficiencia del colector solar. En la Figura 19 se muestra un diagrama de los caminos que toma la energía durante su paso por el colector solar. La energía empleada para el calentamiento del agua proviene del sol, se define como: radiación global incidente sobre el colector solar q_{rad} y está definida por la ecuación 1.19.

La radiación global disminuye su valor como resultado de las características propias de reflexión τ de la cubierta de vidrio y absorción α de la placa colectora; con lo que la componente global de radiación se reduce a $\tau\alpha q_{rad}$.

Esta energía se ve disminuida por las pérdidas de calor hacia el ambiente, por conducción, convección y radiación y se define como el flujo de calor de salida q_{sal} .

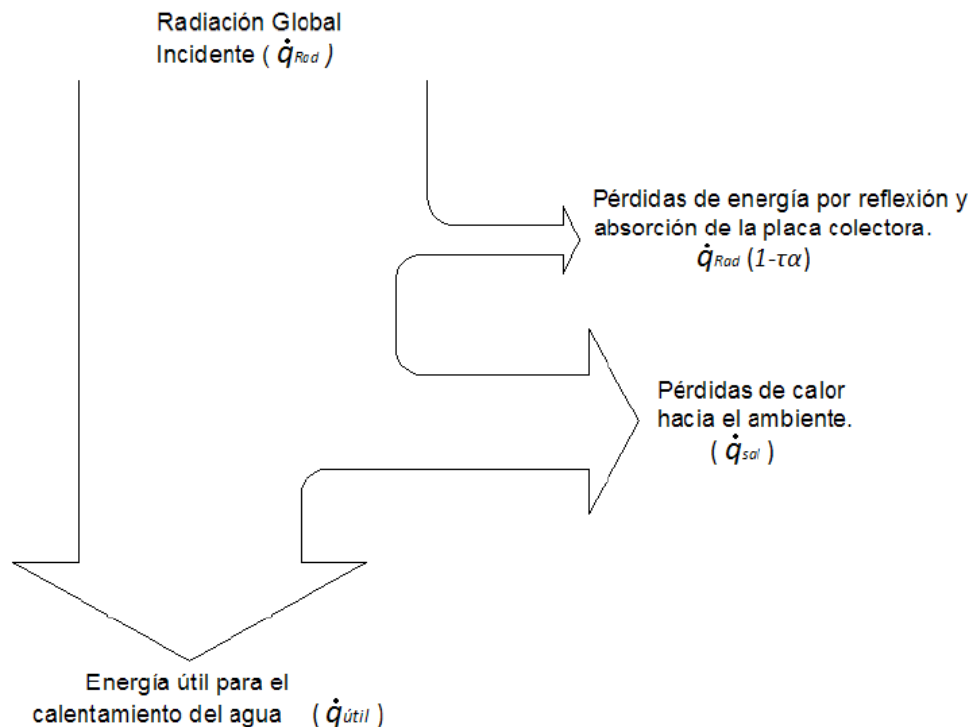


Figura 19: Balance de energía en un colector solar. (2003). [Esquema]. Fuente: Diseño de colectores solares, Sixto Guevara Vásquez.

Considerando estos aspectos, se tiene finalmente un flujo de calor útil empleado para calentar el agua almacenada en las tuberías del colector.

$$q_{Rad} = 1 - \tau\alpha(q_{Rad} + q_{sal} + q_{util})$$

Ecuación 1.19

q_{rad} : Radiación solar total o global sobre el colector (W/m^2).

α : Absorbitancia de la placa absorbidora del colector.

τ : Transmitancia de la cubierta transparente del colector.

q_{sal} : Flujo de calor perdido hacia el ambiente (W/m^2).

q_{util} : Flujo de calor disponible para el calentamiento del agua (W/m^2).

Reacomodando los términos de la ecuación 1.19 se tiene:

$$\tau\alpha q_{Rad} = q_{sal} + q_{util}$$

Ecuación 1.20

El calor útil (q_{util}) introducido en la ecuación 1.20 está definido por el flujo másico de agua (\dot{m}) en el colector y las temperaturas del agua a la entrada (T_{ent}) y a la salida del colector (T_{sal}).

La diferencia entre estas temperaturas es la ganancia que experimenta el agua al atravesar el colector solar (ΔT_{cs}). El calor útil se define mediante la siguiente expresión:

$$q_{util} = \frac{mC_p\Delta T_{col}}{A_g}$$

Ecuación 1.21

C_p : Calor específico del agua a la temperatura media T_m (kJ / kg)

\dot{m} : Flujo másico de agua dentro del colector (kg/s)

ΔT_{col} : Diferencia entre la temperatura de entrada y salida en el colector ($^{\circ}C$).

A_g : Área superficial del colector (m^2).

Para determinar el calor útil, y la temperatura del agua a la salida del colector (tiene interés especial para determinar la eficiencia), es necesario definir las pérdidas de calor en el colector mediante la siguiente ecuación:

$$q_{sal} = U_T(T_p - T_a)$$

Ecuación 1.22

U_T : Coeficiente total o global de transferencia de calor ($W m^{-2} \text{ } ^\circ C$).

A_s : Área superficial efectiva de la placa colectora (m^2)

T_p : Temperatura promedio de la placa colectora ($^\circ C$)

T_a : Temperatura ambiente ($^\circ C$)

El coeficiente total de transferencia de calor se determina a partir de la temperatura promedio de la placa de absorción, la cual a su vez, requiere la determinación de la temperatura del tubo y del agua a lo largo de este.

1.6.2.3 Coeficiente total de transferencia de calor.

La evaluación numérica del coeficiente total de transferencia de calor se determina mediante el método por resistencias térmica equivalente (Çengel, 2007). De esta manera es necesario determinar las conductividades térmicas inferior, superior y lateral en el colector solar tal y como se observa en la Figura 20. Estas resistencias térmicas se pueden unificar para tratar el sistema térmico como una única resistencia térmica total y determinar el coeficiente total de transferencia de calor.

$$U_T = \frac{1}{R_T}$$

Ecuación 1.23

R_T : Resistencia térmica unitaria total de una configuración específica ($m^2 \text{ } ^\circ C / W$).

En la Figura 20 se muestra el circuito térmico equivalente de un colector solar de placa plana, que ayudará a visualizar los fenómenos físicos que se producen en el colector y así, a partir de plantear las ecuaciones de las conductancias a partir de este circuito.

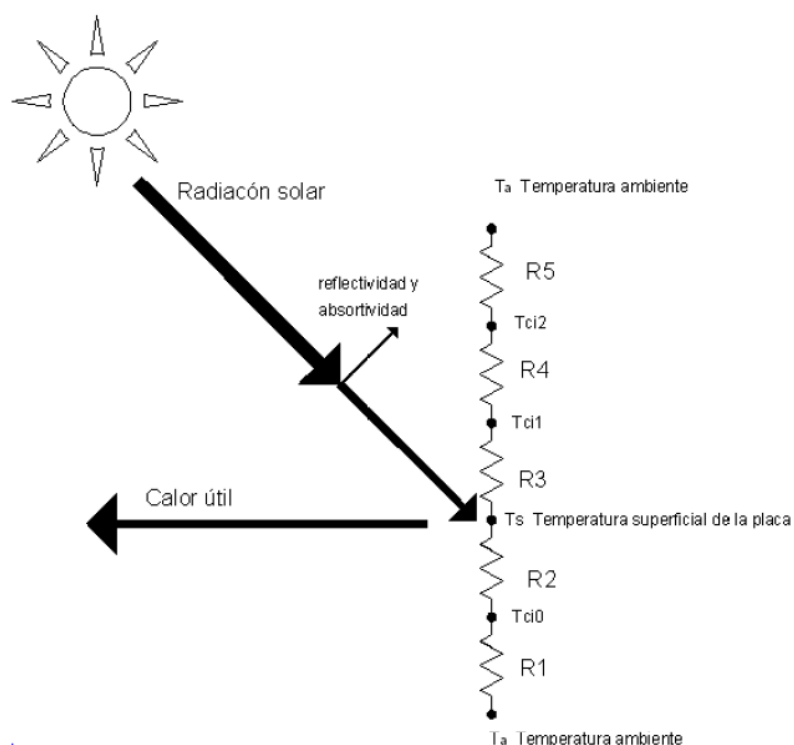


Figura 20: Representación del circuito térmico de un colector solar plano. (2003). [Dibujo]. Fuente: Diseño de colectores solares, Sixto Guevara Vásquez.

Nota: Se identifica cada resistencia térmica con el uso de la Figura 20

R1: Resistencia térmica por convección entre la parte inferior del colector y el ambiente ($m^2\text{°C}/W$).

R2: Resistencia térmica por conducción inferior ($m^2\text{°C}/W$).

R3: Resistencia térmica por convección dentro del colector ($m^2\text{°C}/W$).

R4: Resistencia térmica por conducción en el material transparente ($m^2\text{°C}/W$).

R5: Resistencia térmica por convección entre el material transparente y el ambiente ($m^2\text{°C}/W$).

T_p : Temperatura promedio de la placa colectora (°C).

T_a : Temperatura ambiente (°C).

T_{ci0} : Temperatura interna del colector en la parte inferior (°C).

T_{ci1} : Temperatura interna del colector en la parte superior (°C).

T_{ci2} : Temperatura externa del material transparente (°C).

A continuación se muestra la resistencia térmica equivalente como la unificación de las resistencias mostradas en la Figura 21. Esta define el coeficiente total de transferencia de calor.

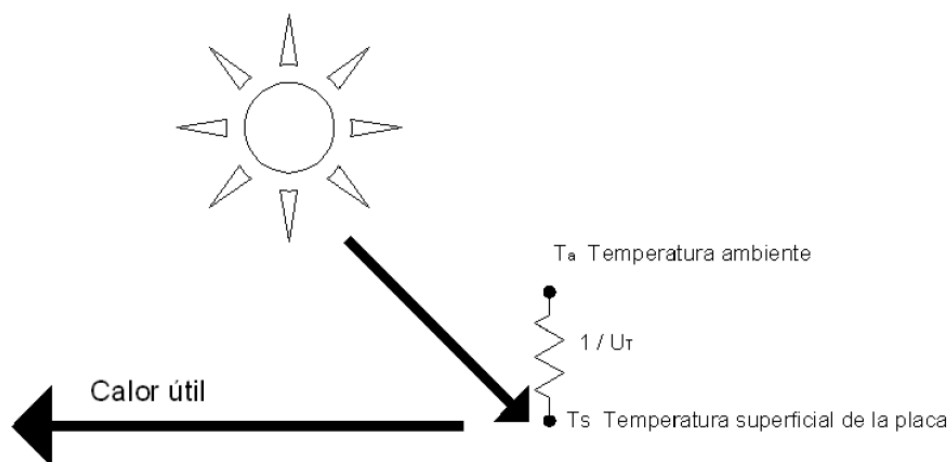


Figura 21: Circuito térmico equivalente. (2003). [Dibujo]. Fuente: Diseño de colectores solares, Sixto Guevara Vásquez.

Para determinar el coeficiente total de transferencia de calor es necesario evaluar cada resistencia térmica expuesta en la Figura 20. Cuando se determine este coeficiente, se logra obtener el calor útil para el calentamiento del agua. A continuación se evalúa la conductancia del calor de salida en cada dirección del colector.

1.6.2.3.1 Conductancia en la parte inferior, U_{inf}

La conductancia se evalúa conociendo la resistencia térmica conductiva R_2 y la resistencia térmica por convección R_1 .

$$U_{inf} = \frac{1}{(R_1 + R_2)}$$

Ecuación 1.24

R_2 : Resistencia térmica por conducción en la parte inferior del colector; no expuesta a la radiación solar directa ($m^2\text{°C}/W$).

R_1 : Resistencia por convección entre la parte inferior del colector y el aire a temperatura ambiente ($m^2\text{°C}/W$).

$$R_2 = \frac{L_{aislante}}{K_{aislante}} + \frac{L_{caja}}{K_{caja}}$$

Ecuación 1.25

k: Conductividad térmica del material (W/m²°C).

L: Espesor del material (m).

$$R_1 = \frac{1}{h_i}$$

Ecuación 1.26

h: Coeficiente de convección entre el aire a temperatura ambiente y la parte inferior del colector (W/m²°C).

Para una placa caliente inclinada, el coeficiente de transferencia de calor por convección se determina con la siguiente ecuación (Cengel, 2007):

$$h = \frac{Nu * k}{L_c}$$

Ecuación 1.27

k: Conductividad térmica del aire a la temperatura media (W/m²°C).

L_c: Longitud característica de la superficie inferior del colector (m).

Nu: Número de Nusselt.

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{0.17}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}$$

Ecuación 1.28

Ra: Número de Rayleigh (adimensional).

Pr: Número de Prandtl a la temperatura media del aire.

$$Ra_L = Gr * Pr$$

Ecuación 1.29

Gr: Número de Grashof (adimensional).

$$Gr = \frac{g \cos \theta \beta (T_s - T_\infty) L_c^3}{\nu^2}$$

Ecuación 1.30

g cos α: Aceleración de la gravedad por el coseno del ángulo de inclinación del colector (m/s²).

β : Coeficiente de expansión volumétrica del aire a la temperatura ambiente ($1/^\circ\text{C}$).

T_s : Temperatura en la superficie ($^\circ\text{C}$).

T_∞ : Temperatura del aire ambiente ($^\circ\text{C}$).

ν : viscosidad cinemática del aire a la temperatura ambiente (m^2).

1.6.2.3.2 Conductancia en la parte superior U_{sup} .

Esta conductancia se evalúa determinando las resistencias térmicas R_3 , R_4 , y R_5 , de la Figura 20. Parte del calor absorbido, se pierde desde la placa colectora hacia el ambiente a través de los tres medios de transferencia de calor: Conducción, convección y radiación.

$$R_3 = \frac{1}{h}$$

Ecuación 1.31

Donde h se debe calcular con la ayuda de los números adimensionales.

$$Nu = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708}{Ra_L \cos(\theta)} \right]^+ \left[1 - \frac{1708 [\sin(1.8\theta)]^{1.6}}{Ra_L \cos(\theta)} \right] + \left[\frac{[Ra_L \cos(\theta)]^{1/3}}{18} - 1 \right]^+$$

Ecuación 1.32

La notación $[]^+$ indica que si la cantidad entre corchetes es negativa, debe igualarse a cero. Esta ecuación es válida para recintos cerrados inclinados. (Cengel, 2007).

R_3 : Resistencia térmica por conducción del aire atrapado entre la placa colectora y la cubierta transparente

h : Coeficiente convectivo en el interior del colector ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$).

L : Espacio de aire entre la placa y la cubierta transparente (m).

$$R_4 = \frac{L_{\text{cubierta}}}{K_{\text{cubierta}}}$$

Ecuación 1.33

R_4 : Resistencia térmica por conducción de la cubierta transparente ($\text{m}^2\text{C}/\text{W}$).

L : Espesor de la cubierta transparente (m).

k : Conductividad térmica del material de la cubierta transparente ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$).

$$R_5 = \frac{1}{h_c}$$

Ecuación 1.34

R_5 : Resistencia térmica por convección entre la cubierta transparente y el ambiente ($m^2\text{°C}/W$).

h : Coeficiente de convección entre el aire a temperatura ambiente y la cubierta transparente ($W/m^2\text{°C}$).

Este coeficiente de convección debe ser determinado mediante el uso de las ecuaciones 1.27, 1.28, 1.29 y 1.30 bajo las condiciones específicas de la parte superior del colector. Las resistencias térmicas R_3 , R_4 y R_5 , disminuyen la transferencia de calor entre la placa colectora y el aire exterior en la parte superior del colector. Estas resistencias se encuentran en serie como se observa en la Figura 20.

Se debe tomar en consideración la transferencia de calor que se da en forma paralela por radiación. Esta transferencia de calor se da entre la placa colectora a alta temperatura y el cielo a una temperatura mucho menor. El cálculo de la resistencia térmica por radiación es de la siguiente manera.

$$R_{radiación} = \frac{1}{h_{rad}}$$

Ecuación 1.35

$R_{radiación}$: Resistencia térmica por radiación ($m^2\text{°C}/W$).

h_{rad} : Coeficiente de transferencia de calor por radiación ($W/m^2\text{°C}$).

$$h_{rad} = \varepsilon\sigma T_s^2 + T_\infty^2(T_s + T_\infty)$$

Ecuación 1.36

ε : Emisividad de la placa colectora (adimensional)

σ : Constante de Stefan-Boltzmann $5.67 \times 10^{-08} W/m^2K^4$

T_∞ : Temperatura de los alrededores (°C).

T_s : Temperatura superficial de la placa (°C).

Dado que la resistencia térmica por radiación se da en paralelo con las resistencias, R_3 , R_4 y R_5 , las cuales se dan en serie; el coeficiente de transferencia global para la parte superior es de la siguiente manera.

$$U_{sup} = \frac{1}{R_3 + R_4 + R_5} + \frac{1}{R_{radiación}}$$

Ecuación 1.37

1.6.2.3.3 Conductancia en la parte lateral U_{Lat}

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

$$U_{lat} = \frac{1}{R_{lat}} = \frac{k_{lat}P}{L_{lat}A}$$

Ecuación 1.38

R_{lat} : Resistencia térmica por conducción por los laterales del colector ($m^2\text{°C}/W$).

k_a : Coeficiente de calor por conducción del material de los lados ($W/m^2\text{°C}$).

f : Altura del colector (m).

P : Perímetro del colector (m).

L : Espesor del aislante en los laterales (m).

A : Área superficial de la placa colectora (m^2).

Finalmente, el coeficiente total de transferencia de calor se da mediante la suma de cada coeficiente.

$$U_T = U_{inf} + U_{sup} + U_{lat}$$

Ecuación 1.39

U_T : Coeficiente total o global de transferencia de calor ($W/m^2\text{°C}$).

U_{inf} : Conductancia en la parte inferior del colector ($W/m^2\text{°C}$).

U_{sup} : Conductancia en la parte superior del colector ($W/m^2\text{°C}$).

U_{lat} : Conductancia en los laterales del colector ($W/m^2\text{°C}$).

Ahora, por medio de la ecuación 1.22 y sustituyendo en la ecuación 1.20 se puede determinar el calor útil efectivo para calentar el agua.

$$q_{útil} = \tau\alpha q_{rad} - U_T(T_p - T_a)$$

Ecuación 1.40

T_p : Temperatura promedio de la placa colectora (°C)

T_a : Temperatura ambiente (°C)

La temperatura promedio de la placa colectora depende de varios factores que serán estudiados a continuación.

1.6.2.4 Temperatura a lo largo de la placa colectora y factor de eficiencia del colector.

Es necesario conocer el comportamiento de la transferencia de calor en la placa del colector.

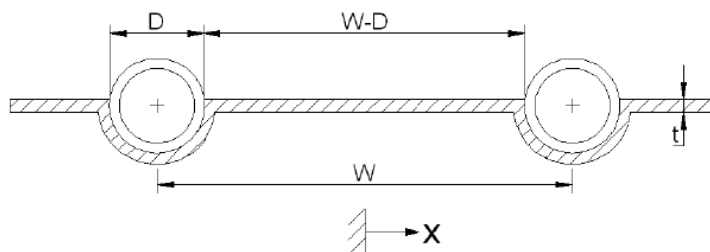


Figura 22: Ilustración Geometría transversal de la placa colectora. (2003).

[Ilustración]. Fuente: Diseño de colectores solares, Sixto Guevara Vásquez.

D : Diámetro

W : Distancia entre centro de tuberías. (m)

t : Espesor de la placa colectora. (m)

x : posición de un punto sobre la placa siendo $x=0$ el punto medio entre dos tuberías.

Considerando la placa como una aleta que absorbe calor por radiación y la transfiere por conducción a lo largo del área de sección transversal unitaria ($t \cdot L$).

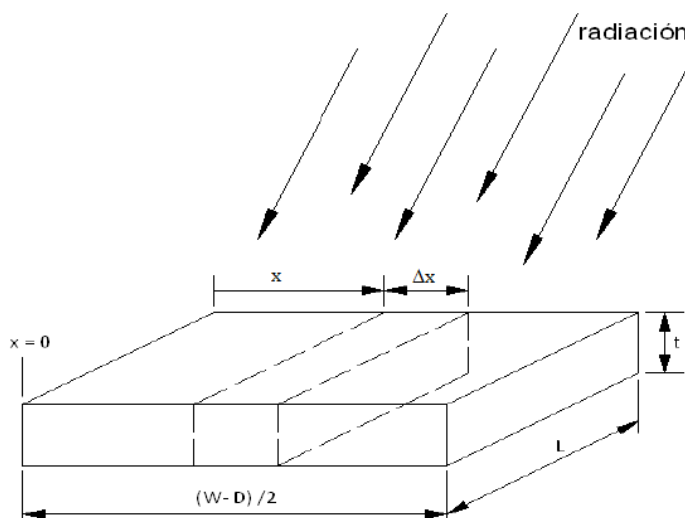


Figura 23: Esquema de la placa colectora. (2003).

[Esquema]. Fuente: Diseño de colectores solares, Sixto Guevara Vásquez.

Se considera un elemento diferencial Δx para realizar el estudio de la transferencia energética y las relaciones implícitas en la transformación de la energía de radiación solar en un flujo de calor hacia las tuberías.

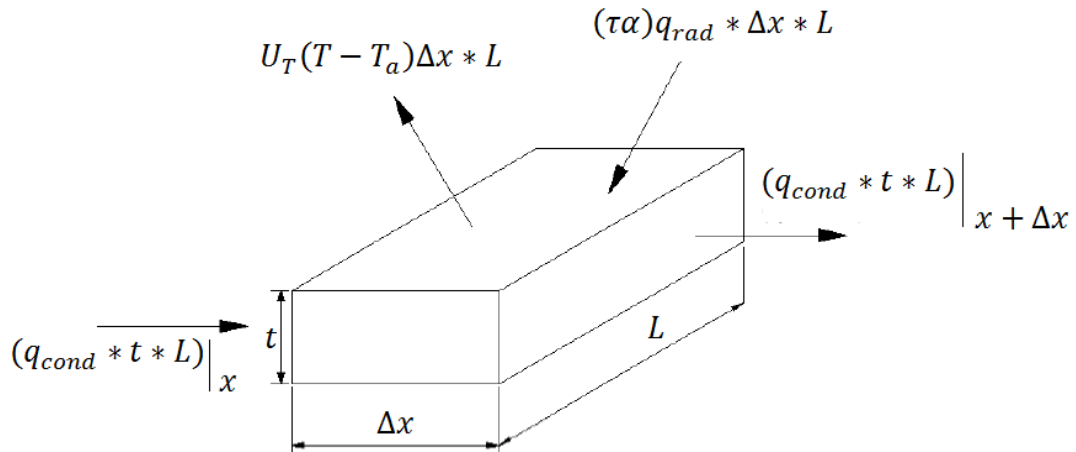


Figura 24: Elemento diferencial de la placa colectora (2003). [Esquema]. Fuente: Diseño de colectores solares, Sixto Guevara Vásquez.

q_{cond} : Transferencia de calor por unida de área ($t \cdot L$) que fluye en la placa colectora hacia las tuberías (W)

q_{rad} : Radiación global incidente en un diferencial de área $\Delta L \cdot x$ (W)

T : Temperatura a lo largo del eje x . ($^{\circ}\text{C}$)

T_a : Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$)

U_T : Coeficiente global de transferencia de calor ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$)

Realizando el balance de energía en el elemento diferencial de la placa colectora se obtiene:

$$q_{cond} t L_x - q_{cond} t L_{x+\Delta x} + \tau \alpha q_{rad} (\Delta_x L) (T - T_a) = 0$$

Ecuación 1.41

Al dividir la expresión anterior entre Δx con un límite del mismo que tiende a cero ($\Delta x \rightarrow 0$) se obtiene:

$$-t \frac{dq_{cond}}{dx} + (\tau \alpha q_{rad} - U_T (T - T_a)) = 0$$

Ecuación 1.42

Dado que $q_{cond} = -k \frac{dT}{dx}$ reemplazando en la expresión anterior se obtiene:

$$\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{U_T}{tk}(T - T_a) - \frac{\tau\alpha q_{rad}}{U_T}$$

Ecuación 1.43

K: Conductividad térmica del material del cual está fabricada la lámina colectora (W/m°C)

Para poder resolver la ecuación anterior se requieren 2 condiciones de frontera:

- a) La variación de la temperatura con la posición en el centro de la placa ($x=0$) debe ser cero.

$$\frac{dT}{dx} = 0; \text{ evaluado en } x = 0$$

- b) La temperatura de la placa colectora en la vecindad de las tuberías es T_b

$$T = T_b; \quad x = \frac{W - D}{2}$$

Al resolver la ecuación diferencial aplicando las dos condiciones de frontera se llega a la siguiente solución:

$$\frac{(T - T_a) - \tau\alpha q_{rad} * U_T}{(T_b - T_a) - \tau\alpha q_{rad} * U_T} = \frac{\cosh(cx)}{\cosh(\frac{c(W - D)}{2})}$$

Ecuación 1.44

Esta expresión define la Temperatura T a lo largo de x en toda la placa colectora, aparece un parámetro (c) que se define de la siguiente forma:

$$c^2 = \frac{U_T}{k}$$

Para determinar la temperatura máxima en la placa se debe hacer $x=0$, en el siguiente gráfico se muestra la variación de temperatura en función de la distancia x.

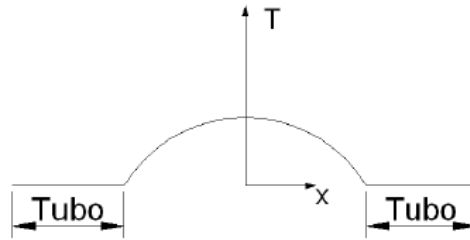


Figura 25: Distribución de temperaturas entre dos tubos en la placa colectora. (2003). [Esquema]. Fuente: Diseño de colectores solares, Sixto Guevara Vásquez.

Hay que recordar que el flujo se da en dos direcciones a partir de $x=0$ (en $+x$ y en $-x$), el calor total por conducción a lo largo de $W-D$ y a través del área transversal unitaria $t \cdot L$ es:

$$q_{cond} = -2k \frac{dT}{dx}$$

Al despejar la temperatura T de la ecuación 1.44 y derivarla con respecto a x , se obtiene una diferencia de Temperatura contra Desplazamiento, y al sustituir el diferencial en la ecuación anterior se obtiene la siguiente expresión:

$$q_{cond} = (W - D) \left(\tau \alpha q_{rad} - U_T (T_b - T_a) \right) \left(\frac{\tanh \left(\frac{c(W - D)}{2} \right)}{\left(\frac{c(W - D)}{2} \right)} \right)$$

Ecuación 1.45

Para simplificar la ecuación anterior se define un parámetro F que es la eficiencia geométrica de la placa colectora.

$$F = \frac{\tanh \left(\frac{c(W - D)}{2} \right)}{\left(\frac{c(W - D)}{2} \right)}$$

Ecuación 1.45 a

La expresión, con el parámetro F se simplifica a la siguiente forma:

$$q_{cond} = (W - D)(\tau\alpha q_{rad} - U_T(T_b - T_a))F$$

Ecuación 1.46

Recordando que también incide radiación solar sobre las tuberías se debe definir el flujo de calor por radiación sobre las mismas.

$$q_{rad,tub} = \frac{\pi D}{2} (\tau\alpha q_{rad} - U_T(T_b - T_a))$$

Ecuación 1.47

El calor total que ingresa a las tuberías se define de la siguiente forma:

$$q_{tub} = q_{cond} + q_{rad,tub}$$

$$q_{tub} = (\tau\alpha q_{rad} - U_T(T_b - T_a)) \left(\frac{\pi D}{2} + F(W - D) \right)$$

Ecuación 1.48

Esta transferencia de calor por unidad de longitud q_{tub} es transferida directamente al agua. Así este flujo de calor se presenta en términos de la resistencia térmica de convección que presenta la interfase tubo-agua, mediante la expresión:

$$q_{tub} = \pi d L h_f (T_b - T_f)$$

Ecuación 1.49

Dónde:

d: Diámetro interno de la tubería (m)

h_f : Coeficiente de transferencia de calor por convección en la interfase tubo-agua ($W/m^2\text{°C}$)

T_b : Temperatura del tubo (°C)

T_f : Temperatura del agua a lo largo de la tubería (°C)

Al combinar las ecuaciones 1.48 y 1.49 se puede determinar el calor de calentamiento del agua en términos de la temperatura ambiente y de la temperatura del agua.

$$q_{tub} = M \left(\tau \alpha q_{rad} - U_T (T_f - T_a) \right)$$

Ecuación 1.50

Donde M se define como el factor de eficiencia del colector y está dado por la relación:

$$M = \frac{\frac{\pi d}{2} + F(W - D)}{1 + \frac{U_T}{\pi d h_f}}$$

Ecuación 1.51

El factor de eficiencia es una función que depende de: coeficiente de total de transferencia (U_T), eficiencia geométrica de la placa (F) y del coeficiente de transferencia de calor por convección entre las tuberías y el agua dentro de ellas (h_f), por lo que el parámetro “factor de eficiencia del colector” (M) se considera un factor de diseño y debe ser lo más cercano a 1.

1.6.2.5 Distribución de calor a lo largo de la tubería.

En la siguiente figura se muestran los parámetros a considerar para analizar la distribución del calor a lo largo de la tubería.

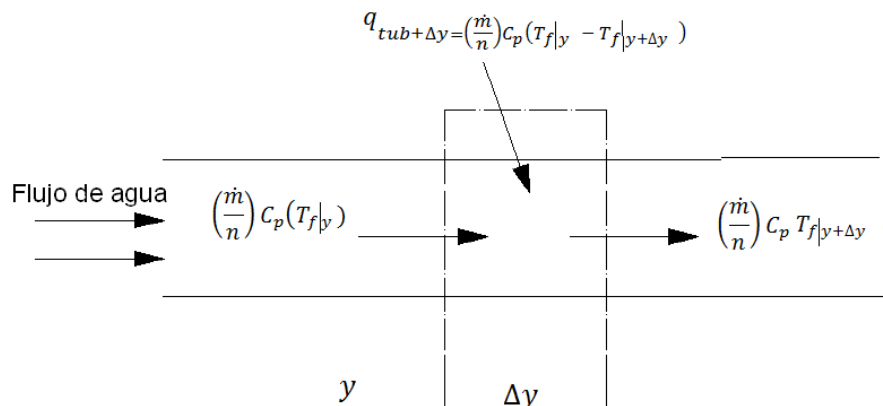


Figura 26: Balance de energía en un elemento diferencial dentro de la tubería. (2003). [Esquema]. Fuente: Diseño de colectores solares, Sixto Guevara.

C_p : Calor específico del agua a la temperatura promedio (kJ / kg)

\dot{m} : Flujo másico dentro de una tubería .

n : número de tuberías .

T_f : Temperatura del fluido .

y : posición de un punto sobre la tubería siendo $y=0$ el inicio de una tubería

Realizando un balance de energía en el elemento diferencial se tiene:

$$q_{tub} = \frac{\dot{m}C_p(T_{f,y} - T_{f,\Delta y})}{n}$$

Ecuación 1.52

En la ecuación 1.51 sustituyendo el q_{tub} con la ecuación anterior se llega a la siguiente expresión y haciendo que el Δy tienda a cero.

$$nM\tau\alpha q_{rad} - U_T(T_b - T_a) = \dot{m}C_p \frac{dT_f}{dy}$$

Ecuación 1.53

La integral de la ecuación 1.52 presenta la condición de frontera inicial cuando la temperatura del fluido para $y=0$ debe ser la temperatura del fluido a la entrada del colector (T_{fe}).

$$\frac{dT_f}{dy} = T_{fe} \text{ cuando } y = 0$$

Donde T_{fe} temperatura del fluido a la entrada del colector.

Al resolver la ecuación 1.52 con la condición de frontera anterior se obtiene la siguiente relación:

$$\frac{(T_f - T_a) - \tau\alpha q_{rad} U_T}{(T_{fe} - T_a)\tau\alpha q_{rad} U_T} = e^{\frac{-U_T M_n y}{\dot{m}C_p}}$$

Ecuación 1.54

La ecuación 1.53 permite calcular la temperatura del fluido a cualquier distancia en (y). Si todos los tubos son del mismo largo L ; la temperatura del fluido a la salida del colector se determina mediante la relación.

$$\frac{(T_f - T_a) - \tau\alpha q_{rad} U_T}{(T_{fe} - T_a)\tau\alpha q_{rad} U_T} = e^{\frac{-U_T M_n L}{\dot{m}C_p}}$$

Ecuación 1.55

T_f : Temperatura del fluido. (°C)
 T_{fe} : Temperatura del fluido a la entrada del colector. (°C)
 T_a : Temperatura ambiente. (°C)
 C_p : Calor específico del agua a la temperatura media (kJ / kg)
 m : Flujo másico de agua dentro del colector (kg / s).
 U_t : Coeficiente total o global de transferencia de calor .
 n : número de tuberías .
 M : factor de eficiencia del colector .
 L : Longitud de las tuberías. (m)
 q_{rad} : Radiación solar total o global sobre el colector (W/m²).
 $\tau\alpha$: Reflexión y absorción de la cubierta transparente del colector.

1.6.2.6 Factor de Remoción de Calor (F_R).

Conociendo la distribución de la temperatura del fluido a lo largo de las tuberías, se define el factor de remoción de calor como el parámetro que relaciona el calor de calentamiento que se obtiene efectivamente en el colector, con el que se obtendría en toda la superficie del colector si se encontrara a la temperatura del fluido a la entrada (T_{fe}).

$$F_R = \frac{\dot{m}C_p(T_{fs} - T_{fe})}{A(\tau\alpha q_{rad} - U_T(T_{fe} - T_a))}$$

Ecuación 1.56

El calor útil se puede expresar en función del factor de remoción de la siguiente forma:

$$q_{\text{útil}} = AF_R(\tau\alpha q_{rad} - U_T(T_{fe} - T_a))$$

Ecuación 1.57

1.6.2.7 Circulación natural del agua en el colector solar.

La circulación natural o circulación por termosifón es un fenómeno que se fundamenta en la variación de la densidad del agua, que es inversamente proporcional al incremento de la temperatura, esto quiere decir que la densidad del agua a 60 °C es menor que la densidad de agua a 20 °C.

Debido a que en los colectores solares planos se aprovecha la circulación natural de agua, no se necesita de una bomba para la circulación del fluido.

Si se colocan en un tubo en U dos volúmenes iguales de agua a las temperaturas mencionadas, el nivel de la columna de agua más caliente es mayor respecto a la de agua más fría (Figura 27), esto se explica porque la columna de agua a 20 °C tiene mayor masa que la columna de agua a 60 °C.

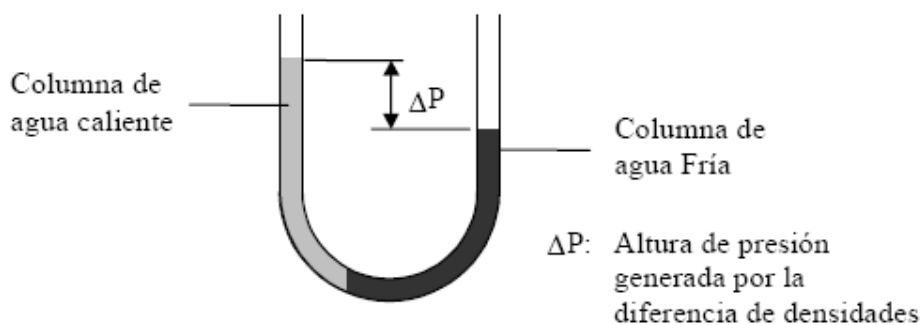


Figura 27: Representación del efecto termosifón. (2003). [Ilustración]. Fuente: Diseño de colectores solares. Sixto Guevara Vásquez.

Un aspecto importante de la circulación natural es la ubicación del depósito de almacenamiento.

$$\alpha_1 = \arctang\left(\frac{h_3 - h_4}{X}\right)$$

Ecuación 1.58

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

Ecuación 1.59

Dónde:

M: Distancia horizontal desde el colector hasta el tanque de almacenamiento (m)

L: longitud del colector (m)

h1: Altura desde la entrada al colector hasta la parte superior del tanque (m)

h2: Altura del tanque de almacenamiento (m)

h3: Altura entre el colector y el tanque de almacenamiento (m)

h4: Altura desde la entrada y salida del colector (m)

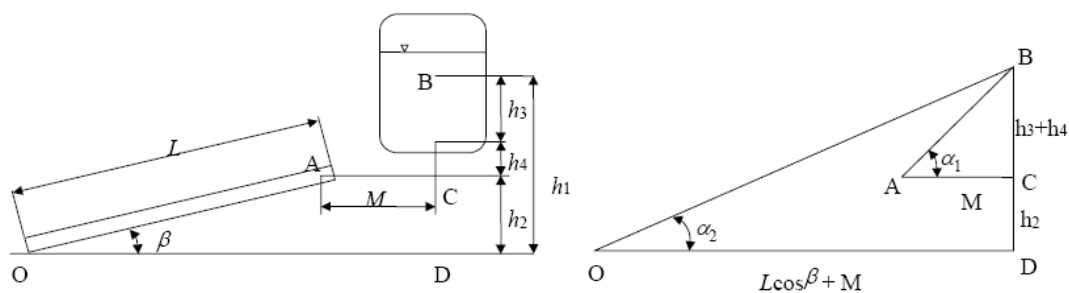


Figura 28: Ubicación del tanque con respecto al colector solar. (2003). [Esquema]. Fuente: Diseño de colectores solares, Sixto Guevara Vásquez.

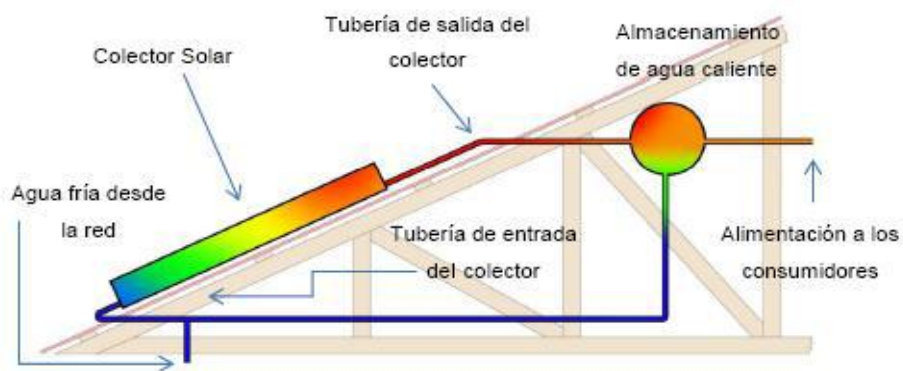


Figura 29: Distribución típica de temperatura dentro del colector solar. (2008). [Ilustración]. Fuente: www.sitioslar.com.

1.7 Sistema de Acarreo y Acumulación

1.7.1 Pérdidas de calor en las tuberías.

Es necesario conocer la cantidad de energía calorífica que se pierde en las tuberías, desde la salida del colector hasta el punto donde se va a utilizar el agua.

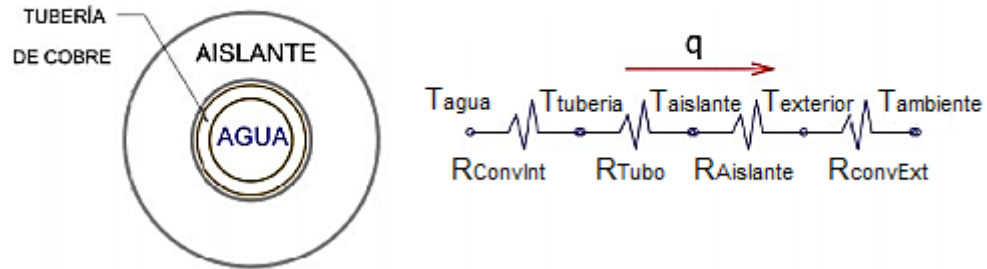


Figura 30: Representación de las resistencias térmicas en la tubería de acarreo. (2017). [Ilustración]. Fuente: Los autores

Las resistencias térmicas en la tubería y en el aislante se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$R_{tubo} = \frac{\ln\left(\frac{D_{ext}}{D_{int}}\right)}{2 * \pi * K_{tubo} * L_{tubo}}$$

Ecuación 1.60

$$R_{aislante} = \frac{\ln\left(\frac{D_{aisl ext}}{D_{aisl int}}\right)}{2 * \pi * K_{aislante} * L_{tubo}}$$

Ecuación 1.61

Para el cálculo de las resistencias térmicas de convección ver ecuación 1.62 en las tuberías se debe calcular primeramente el número de Reynolds, para calcular con él, el Nusselt característico del flujo mediante la correlación:

$$R_{conv} = \frac{1}{h_{conv} * A_s}$$

Ecuación 1.62

$$Nu_{fluido} = 0.023 * Re^{4/5} * Pr^{0.4}$$

Ecuación 1.63. a

Conociendo el número de Nusselt se puede calcular el coeficiente convectivo.

$$H_{conv} = \frac{Nu_{fluido} * K_{fluido}}{D_{int}}$$

Ecuación 1.63.b

1.7.2 Cálculo de pérdidas en el tanque.

Al igual que en los otros elementos del colector también el tanque está propenso a sufrir pérdidas de calor. Se muestra una representación esquemática del tanque del colector.

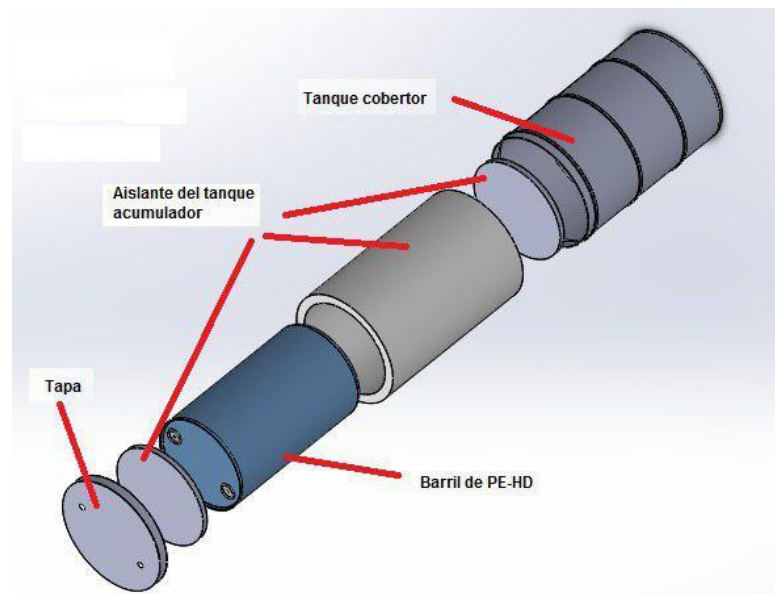


Figura 31: Partes del tanque acumulador. (2017). [Esquema]. Fuente: Los autores.

El procedimiento de cálculo de pérdidas de calor en el tanque se hace de nuevo mediante resistencias térmicas. En este caso, se elimina la resistencia térmica de convección interior, asumiendo una temperatura interior constante y un movimiento nulo del fluido interior. Estas hipótesis no son reales pero son asumibles para facilitar los cálculos del flujo de calor. El esquema correspondiente de las resistencias térmicas es el siguiente:

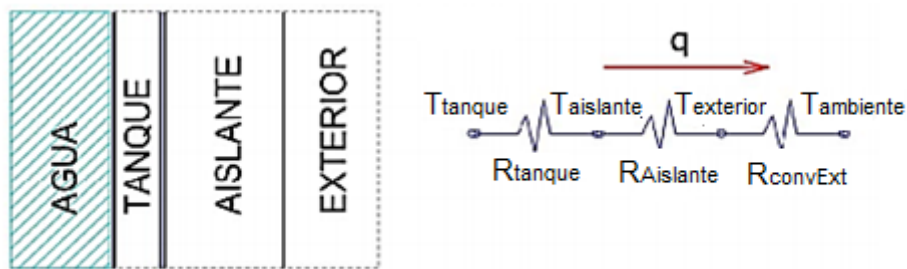


Figura 32: Resistencias térmicas representando pérdidas en el tanque. (2017). [Ilustración]. Fuente: Los autores

Las ecuaciones a utilizar para el cálculo del espesor del aislante son las siguientes:

Resistencia del aislante:

$$R_{aislante} = \frac{\ln\left(\frac{D_{aisl\text{ext}}}{D_{aisl\text{int}}}\right)}{2 * \pi * K_{aisl} * L_{tanq}}$$

Ecuación 1.64

Resistencia del tanque:

$$R_{tanque} = \frac{\ln\left(\frac{D_{tan\text{ext}}}{D_{tan\text{int}}}\right)}{2 * \pi * K_{tanq} * L_{tanq}}$$

Ecuación 1.65

Resistencia por Convección:

$$R_{conv} = \frac{1}{h_{conv} * A_s}$$

Ecuación 1.66

Para el cálculo de “h” en esta ecuación es necesario realizar el siguiente proceso:

Primer paso:

Asumir una temperatura superficial y encontrar la temperatura de película.

$$T_f = (T_s + T_\infty)/2$$

Ecuación 1.67

Con la temperatura de película, entrar a tablas y obtener los valores necesarios para determinar R_{aD} .

Segundo paso:

Calcular R_{aD} con la ecuación:

$$R_{aD} = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)D^3}{\nu^2} Pr$$

Ecuación 1.68

Tercer paso:

Calcular el número de Nusselt:

$$Nu = \left\{ 0.6 + \frac{0.387R_{aD}^{1/6}}{[1 + (0.559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

Ecuación 1.69

Cuarto paso:

Con el número de Nusselt encontramos el h_{conv}

$$Nu = \frac{hL}{k}$$

Ecuación 1.70

Quinto paso:

- Encontrar cada una de las resistencias involucradas, por conducción (tanque y aislamiento) y las resistencias por convección (exterior del tanque).
- Obtener la resistencia equivalente del sistema.
- Con el h encontrado, determinamos el calor que se pierde por medio del sistema (tanque y aislamiento).

$$\dot{Q} = \frac{T_{int} - T_{ext}}{R_{Total}}$$

Ecuación 1.71

Sexto paso:

- Con la ecuación de calor, enfocada en la sección del interior del tanque al exterior del aislante, encontramos una nueva temperatura involucrando solamente el metal y el aislante, sus resistencias y despreciando la convección al exterior.
- Encontramos la nueva temperatura superficial y la comparamos con la que asumimos.
- Si la temperatura encontrada no es igual con la asumida, volver a realizar todos los pasos con la nueva temperatura hasta que esta no cambie.

1.8 Sistema de Control

1.8.1 Válvula termostática

La válvula mezcladora termostática permite fijar una temperatura, esta recibe el agua caliente procedente del acumulador y el agua fría de la red de suministro. Un elemento termostático, capta la temperatura del agua mezclada, si la temperatura del agua de mezcla difiere del valor pre-fijado, el elemento termostático actúa sobre el émbolo regulador que controla oportunamente el caudal de agua fría y caliente suministrados hasta que la temperatura del agua mezclada se iguala con el valor seleccionado.



Figura 33: Válvula termostática. (2017). [Fotografía]. Fuente: Los autores.

Entre las ventajas que se tiene al utilizar este tipo de válvulas se pueden mencionar:

- Temperatura precisa y constante en el punto de consumo, proporcionando un caudal elevado.
- Protección contra quemaduras ante corte de suministro de agua fría.
- Gran exactitud de regulación por el ajuste continuo de la temperatura de mezcla entre los márgenes establecidos.
- Libre elección de la posición de montaje.
- Mantenimiento reducido

1.8.2 Sensor de temperatura

Dispositivos de medición que se utilizan para censar la temperatura del agua en varios puntos de la instalación de ACS.



Figura 34: Sensor de temperatura DS18B20. (2017). [Fotografía].
Fuente: Los autores.

Los puntos más críticos donde se debe instalar un sensor de este tipo son:

- Entrada de agua fría al tanque acumulador
- Entrada del colector solar
- Salida del colector solar
- Entrada de agua caliente al tanque acumulador
- Dentro del tanque acumulador
- Antes de la válvula de mezcla

Las características más sobresalientes de este tipo de sensor son las siguientes:

- Rango de temperatura: -55 a 125°C

- Resolución: de 9 a 12 bits (configurable)
- Interfaz 1-Wire (Puede funcionar con un solo pin)
- Identificador interno único de 64 bits
- Múltiples sensores puede compartir el mismo pin
- Precisión: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (de -10°C a $+85^{\circ}\text{C}$)
- Tiempo de captura inferior a 750ms
- Alimentación: 3.0V a 5.5V

Además de poderse conectar a una distancia máxima de 35 metros de donde se encuentre el dispositivo de conversión de señales.

1.8.3 Transductor de presión

Este dispositivo se utilizará para medir la presión interna en el tanque de almacenamiento para monitorear que no exista ningún incremento que pueda poner en riesgo el sistema.

Un transductor de presión convierte la presión en una señal eléctrica analógica.

La conversión de la presión en una señal eléctrica se consigue mediante la deformación física de los extensómetros que están unidos en el diafragma del transductor de presión y cableados en una configuración de puente de Wheatstone. La presión aplicada al sensor produce una deflexión del diafragma, que introduce la deformación a los medidores. La deformación producirá un cambio de resistencia eléctrica proporcional a la presión.

Características del transductor

Entrada: 0-500 psi.

Voltaje de salida: 0.5 V-4.5 V salida de tensión lineal.

Puede ser utilizado en tanques de aceite, tanque de gas, tanques de agua, etc.

Precisión: dentro de los 2% de la lectura.

Conector de cableado: Sellado de desconexión rápida.

Capacidad de sobrecarga: 2-4 veces.

Temperatura de trabajo: -40 a $+120^{\circ}\text{C}$.



Figura 35: Transductor de presión. (2017).
[Fotografía]. Fuente: Los autores.

1.8.4 Arduino Mega 2560

Es el dispositivo donde se hace la conversión de las señales recibidas por los sensores, a un formato útil para el monitoreo del sistema, facilita la conexión de otros dispositivos y la salida de datos, por su facilidad en la programación se ha convertido en una buena opción para realizar el sistema de monitoreo de las temperaturas y de la presión.

El Arduino Mega es el microcontrolador más capaz de la familia Arduino. Posee 54 pines digitales que funcionan como entrada/salida; 16 entradas análogas, un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un botón de reinicio y una entrada para la alimentación de la placa.

Una lista de las características principales del Arduino ATmega2560 se muestra a continuación:

Voltaje Operativo: 5 V

Voltaje de Entrada: 7-12 V

Voltaje de Entrada (límites): 6-20 V

Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)

Pines análogos de entrada: 16

Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA

Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50 mA

Memoria Flash: 256 KB (8KB usados por el bootloader)

SRAM: 8KB

EEPROM: 4KB

Clock Speed: 16 MHz



Figura 36: Arduino Mega 2560. (2017).
[Fotografía]. Fuente: www.arduino.com

1.8.5 Módulo de reloj DS3231

Permite mantener el registro de los datos con la hora y fecha correcta, de esta forma se tiene un mejor control. Es el único elemento que tiene una batería por lo que se debe cambiar cuando ya no registre la fecha ni hora correcta. El tiempo promedio de la vida útil de una batería tipo CR2032 es de 2 años.



Figura 37: Módulo de reloj DS3231. (2017).
[Fotografía]. Fuente: www.PotentialLabs.com

1.8.6 Pantalla TFT 320x240 QVT

Es el dispositivo que permite la visualización de los datos en tiempo real, así como otra información que se considere necesario que el usuario pueda requerir.

Para conectar la pantalla se requiere de un adaptador que convierte el nivel de 5 V a 3.3 V.

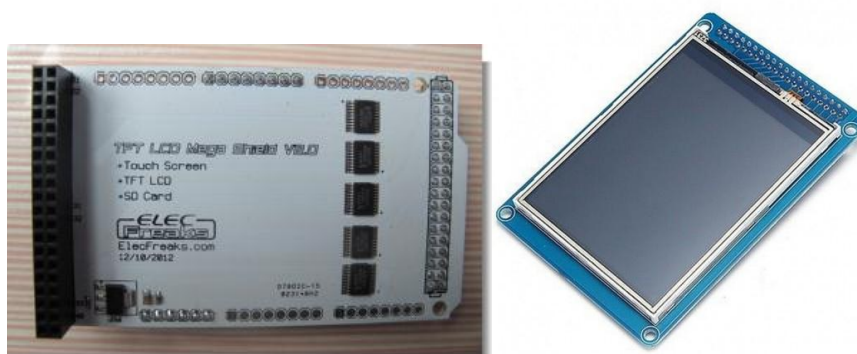


Figura 38: Pantalla QVT 320x240 y módulo de conexión. (2017). [Fotografía].
Fuente:www.ArduinoLearning.com

1.8.7 Módulo Bluetooth HC-06

Este dispositivo permite mandar los datos a un teléfono con sistema operativo Android.

Su voltaje de operación es de 3.3 V o 5 V.

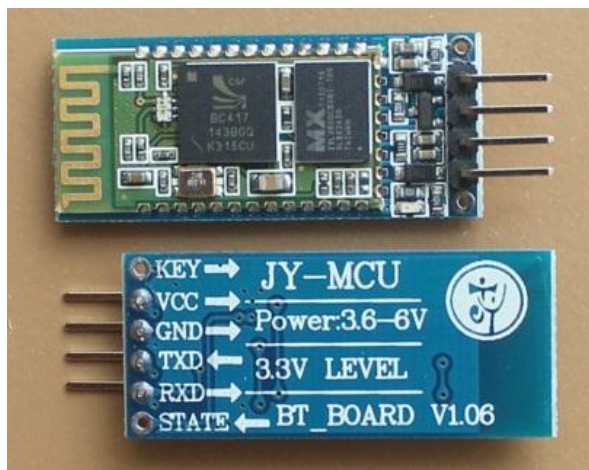


Figura 39: Vistas del módulo Bluetooth HC-06 compatible con Arduino. (2017) [Fotografía] Fuente: www.ArduinoLearning.com

1.9 Instalaciones donde se realizará el proyecto

La clínica de Fisioterapia se encuentra dentro de las instalaciones de Bienestar Universitario en el Campus central de la Universidad de El Salvador.

Es importante conocer los puntos de georreferenciación del lugar que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3: Puntos de georreferenciación de la Clínica de Bienestar Universitario. (2017). Fuente: Los autores.

Latitud	13.717650
Longitud	89.200625
Zona Horaria	GMT-6
Msnm	682 m
Radiación solar promedio	5 kWh/m ²

Se muestra una imagen satelital para facilitar la ubicación dentro del campus del lugar donde se realizará el proyecto.



Figura 40: Imagen satelital de la ubicación del proyecto. (2017). [Fotografía]. Fuente: Google Maps.

Teniendo una referencia de la ubicación, se hace necesario mostrar el área disponible más cercana al área de hidroterapia para realizar la instalación del sistema solar térmico.



Figura 41: Áreas posibles donde se puede ubicar el sistema solar térmico. (2017).
[Fotografía]. Fuente: Los autores

La selección del área para ubicar el colector se realizó en base a una recomendación elaborada por la Unidad de Desarrollo Físico de la Universidad de El Salvador. Una de las consideraciones es la ubicación que requiera la menor intervención posible de la estructura para instalar el sistema.

La ubicación final del sistema solar térmico se realizó en el espacio donde en la figura 41 se muestra el número 2.

1.9.1 Descripción de la unidad de Fisioterapia.

1.9.1.1 Aspectos históricos

La Clínica de Fisioterapia, surge en el año 1978, con un Fisioterapeuta en servicio social, y el mínimo recurso de material y equipo.

Así pasaron varios Fisioterapeutas, hasta que llegó la Fisioterapeuta Leyla Diklea Arana Luna, e impulsó dicha área y se interesó en adquirir bajo muchos esfuerzos en las diferentes embajadas y ONGS. Médicos sin Fronteras de Francia, hizo la primera donación de un Ultrasonido, una refrigeradora, un canapé y tres TENS-1500 (Estimulación de las terminaciones nerviosas).

En 1991 por petición del Dr. Rene Francisco Barriere, Director del Centro de Salud de Bienestar Universitario, al observar el buen desempeño como estudiante en práctica clínica del Fisioterapeuta José Nicolás Gómez, tramita la

plaza en propiedad, ante el Secretario de Bienestar Universitario, Dr. Alfredo Castro Quezada.

Es a partir del año 2009 cuando se cambia el nombre de Centro de Salud a solamente Bienestar Universitario.

Al momento la unidad de fisioterapia cuenta con dos recursos humanos especializados en Terapia Física y Ocupacional y uno en servicio social y cuenta con una infraestructura adecuada e idónea para la atención satisfactoria de sus pacientes y un equipo moderno acorde a las necesidades actuales del paciente.

Entre el equipo con que cuenta están: un congelador, tanques de parafina, tanque de compresas, tanque de remolino; dos ultrasonidos, dos equipos de corrientes, una diatermia, un rayo láser, tres rayos de luz fuerte bio-beam, tres Estimuladores de las terminaciones nerviosas (TENS), tres vibradores, una tracción Cérvico-torácico-pélvica, rayos infrarrojos, equipo de magnetoterapia, entre otros y un gimnasio completo para rehabilitación y un área de Terapia Ocupacional.

Los servicios que se ofrecen en la unidad de fisioterapia son los siguientes:

- Electroterapia
- Ultrasonido
- Diatermia
- Rayos láser
- Corrientes día-dinámicas
- Rayos infrarrojos
- Hidroterapia
- Magnetoterapia
- Gimnasio de rehabilitación
- Área de Terapia Ocupacional

1.9.2 Área de Hidroterapia

En el área de Hidroterapia se cuentan con los siguientes equipos donde se puede hacer uso de agua calentada mediante energía solar:

Tanque de remolino para miembros superiores e inferiores

Tiene una capacidad de 90 litros, hay una propela que genera corrientes de agua que permiten que se produzca un efecto de masaje alrededor del miembro afectado. Se utiliza en lesiones de codos, muñeca, tobillos, rodillas.

El tiempo de cada sesión de hidroterapia en este tanque puede variar entre los 10 a 20 minutos, dependiendo de la gravedad de la lesión que el paciente presenta.

Actualmente no cuenta con un sistema de calentamiento del agua, por lo que únicamente se trabaja con agua a temperatura ambiente.



Figura 42: Tanque para hidroterapia capacidad de 90 litros. (2017). [Fotografía]. Fuente: Catálogo de equipos Thermolator.

Tanque para terapia con compresas calientes

Se disponen de 3 equipos de este tipo, de los cuales 2 están en la clínica de hidroterapia y el tercero se encuentra en otro espacio.

Se requiere en su interior una temperatura constante de 45°C para calentar las compresas que posteriormente se colocan sobre el área afectada de los pacientes.



Figura 43: Tanque para compresas calientes. (2017). [Fotografía]. Fuente: Catálogo de productos Thermolator.

1.9.2.1 Principios térmicos de la hidroterapia.

El agua posee propiedades físicas, que la hacen un excelente medio para aportar o restar calor al organismo. El calor específico es la cantidad de calor necesario para aportar a un gramo de masa de un cuerpo para elevar un gramo de su temperatura, en relación con la que es necesaria para que lo haga un gramo de agua. El calor específico del agua es de 1 cal/g°C.

El agua posee un calor específico mínimo a 35°C, que aumenta cuanto más se incremente la temperatura. Una de sus principales funciones es proteger los sistemas biológicos de los cambios bruscos de temperatura.

Transferencia térmica en el agua:

En el organismo humano existen cuatro métodos de propagación o pérdida de calor: conducción, convección, radiación y evaporación.

Cuando el cuerpo está sumergido en el agua, la energía térmica se intercambia mediante la conducción y convección. En las aplicaciones hidroterápicas locales directas, como envolturas y compresas, el mecanismo principal, aunque no único, de transferencia térmica es la conducción, tanto por la cesión como por la toma de energía térmica: siempre se produce del cuerpo más caliente al frío.

En la inmersión en agua, el mecanismo más importante de transferencia térmica es la convección.

CONDUCCIÓN

Es un intercambio de energía térmica cuando hay contacto físico entre dos superficies. La grasa corporal actúa como un aislante, por lo tanto tener en cuenta:

- El efecto de calentamiento superficial será menor.
- Cuanto mayor grasa haya, habrá menor capacidad para disipar el calor.

CONVECCIÓN

Se da en un líquido, siendo un proceso de cambio de energía más rápido que la conducción. Consiste en un desplazamiento de las partes del líquido más calientes, que se ponen en contacto con las más frías y les ceden el calor. En el agua se da una transferencia térmica muy elevada, y por lo tanto, de refrigeración o de calentamiento.

EVAPORACIÓN

No precisa gradiente de temperatura. Se produce mediante la pérdida de líquido del sudor o por el sistema pulmonar durante la respiración. Si la temperatura y la humedad ambientales están elevadas, el cuerpo tendrá dificultad para perder calor por evaporación, pero si la temperatura ambiente fuera demasiado baja y la humedad elevada, la pérdida de calor sería mayor y podría causar malestar y escalofríos, provocando contracturas musculares indeseables.

Efectos fisiológicos del agua como método termo terapéutico

La temperatura del agua suele oscilar entre 35 y 40.5°C, aunque puede llegar hasta 45°C. Estos límites no son absolutos, ya que en presencia de enfermedad cardiovascular o pulmonar y en pacientes con déficit sensitivo, es preciso adaptar la temperatura a sus características particulares.

Las técnicas principalmente empleadas son los baños parciales o totales y los baños de vapor; añadiendo un efecto cinético: creando agitación en los baños de remolino o mediante hidromasaje, ducha subacuática, diversas modalidades de duchas y chorros, etc.

Los efectos fisiológicos más importantes producidos por la hidroterapia, como método termoterápico son:

ANALGESIA

El calor eleva el umbral de sensibilidad de los nociceptores y disminuye la velocidad de conducción nerviosa y la contractura muscular.

AUMENTO DE LA TEMPERATURA Y VASODILATACIÓN TISULAR

Dos de los efectos fisiológicos del calor local son los derivados del incremento de la temperatura y del flujo sanguíneo. Las técnicas hidroterápicas calientes producen vasodilatación mediante mecanismos locales y reflejos. Hay una elevación de la temperatura local en la zona a tratar. Si la aplicación es amplia (baño de inmersión) la temperatura corporal se eleva entre 0.5 y 3°C y produce un aumento de todas las funciones orgánicas por sobrecalentamiento.

Por esta razón es importante extremar las precauciones durante el embarazo, para no superar la temperatura corporal de 38.9°C que es el límite de seguridad para el feto. La temperatura máxima del agua del baño durante el embarazo no debe superar, en ningún caso, los 37.8°C.

EFECTO SEDANTE

Se debe a la acción del calor sobre las terminaciones nerviosas cutáneas, que transmiten sus impulsos a la corteza y provocan respuestas de naturaleza psíquica. Si la temperatura es próxima a la termo neutra y se aplica durante un largo período de tiempo, trae como consecuencia la relajación corporal y una sensación de bienestar generalizado. Tras un baño de agua caliente, la inducción del sueño resulta más fácil. Si las aplicaciones son muy calientes y de corta duración, tienen el efecto contrario: producen excitación sobre las terminaciones nerviosas e insomnio. Se debe establecer la duración del baño, pues si se prolonga demasiado puede provocar fatiga.

EFECTO ANTIESPASMÓDICO Y RELAJANTE MUSCULAR

Sobre los músculos las aplicaciones de hidroterapia calientes se comportan de manera diferente según el tiempo de aplicación. Las aplicaciones

cortas, muy calientes, aumentan el tono muscular y mejoran su rendimiento. Las aplicaciones prolongadas ejercen un efecto relajante sobre el tono muscular, combaten la contractura y la fatiga muscular. El efecto antiespasmódico se observa en la musculatura estriada y de manera refleja sobre la musculatura lisa, por lo que se utiliza para disminuir los cólicos abdominales. La aplicación de calor en el abdomen disminuye el flujo sanguíneo en la mucosa gástrica y reduce la secreción ácida.

EFFECTOS SOBRE EL TEJIDO CONJUNTIVO

El calor produce aumento de la elasticidad y disminución de la viscosidad por lo que resulta útil para disminuir la rigidez articular y periarticular.

EFFECTOS DEL EJERCICIO EN AGUA CALIENTE:

Los principales efectos terapéuticos son:

- Relajación del paciente
- Disminución del dolor y del espasmo muscular
- Aumento de la circulación
- Mantenimiento o incremento de la movilidad articular
- Reeduación muscular, desarrollando su potencia y resistencia
- Entrenamiento precoz para la marcha, con disminución de la carga articular y Muscular.

La siguiente tabla muestra una clasificación según el rango de temperatura del agua utilizada en hidroterapia.

Tabla 4: Temperatura del agua para hidroterapia. (2005) Fuente: Información recibida en Clínica de Fisioterapia de Bienestar Universitario, Universidad de El Salvador

Clasificación	°C
Muy fría	1-10
Fría	11-20
Fresca	21-30
Tibia	31-33
Neutra	34-36
Caliente	37-39
Muy caliente	> 40

1.9.2.2 Costo de los servicios brindados en la unidad de fisioterapia.

Se realizó una comparación de los costos que tiene la unidad de fisioterapia en la atención a los pacientes al utilizar los diferentes equipos con los que cuentan. Cabe mencionar que el costo que pagan los usuarios sin importar el tratamiento que reciben es de \$1.14 por sesión, por lo tanto el resto del costo lo absorbe la universidad.

Tabla 5: Costo de los servicios brindados en unidad de fisioterapia. (2017).
Fuente: Información recibida en Clínica de Fisioterapia de Bienestar Universitario, Universidad de El Salvador

Servicio	Costo
Consulta	\$20.00
Magnetoterapia	\$30.00
Laser	\$30.00
Electroterapia	\$20.00
Hidroterapia (Tanque de remolino)	\$10.00
Hidroterapia (Compresas Calientes)	\$6.00

El servicio de magnetoterapia es el más utilizado ya que la máquina es la más reciente en haber sido adquirida y por la aplicación a la mayoría de padecimientos atendidos.

1.9.3 Método F-chart para dimensionar instalaciones solares térmicas

El método de cálculo F-CHART, es un método desarrollado a principios de los años 70, reconocido por físicos, ingenieros y diseñadores y todo el sector de la energía solar térmica.

Con esta herramienta se puede estudiar el comportamiento energético de un pre dimensionamiento de una instalación, para comprobar si cumple con las condiciones inicialmente establecidas.

Para desarrollarlo se utilizan datos mensuales, medios meteorológicos y es preferentemente válido para determinar el rendimiento o factor de cobertura solar en instalaciones de calentamiento, en todo tipo de edificios mediante captadores solares planos.

Este método consiste en identificar variables a las que se les asigna un valor determinado y realizar un ensayo de la instalación con el objetivo de

conocer sus prestaciones en estas condiciones. La reiteración de estos cálculos da lugar al correcto dimensionado de la misma.

Dicho cálculo puede realizarse mediante gráficas, las llamadas gráficas f , o bien mediante el empleo de software específicos.

La ecuación utilizada en este método es la siguiente:

$$f = 1.029D_1 - 0.065D_2 - 0.245D_1^2 + 0.0018D_2^2 + 0.0215D_1^3$$

Ecuación 1.72

Con los valores límite: $0 < D_1 < 3$

$0 < D_2 < 18$

El valor de f representa la relación entre la energía aportada por el sistema solar térmico y la demanda energética relativa al consumo de ACS. Generalmente se calcula de forma mensual.

La energía aportada por el sistema solar térmico será entonces:

$$Q_{\text{útil}} = Q_{\text{ACS}} * f$$

Ecuación 1.73

1.9.4.1 Cálculo del parámetro D_1

El parámetro D_1 expresa la relación entre la energía absorbida por el captador y la carga calorífica total de calentamiento durante un mes.

$$D_1 = \frac{\text{Energía absorbida por el captador}}{\text{Carga calorífica mensual}} = \frac{Q_a}{Q_{\text{ACS}}}$$

Ecuación 1.74

La energía absorbida por el captador, durante un periodo de tiempo de un mes, viene dada por la siguiente expresión:

$$Q_a = A_c * F_r' * (\tau\alpha) * R_1 * n$$

Ecuación 1.75

Siendo:

Q_{ACS} = necesidades energéticas KJ/mes

A_c = superficie de captación (m^2)

R_1 = radiación diaria media mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área $KJ/m^2 * \text{día}$

n = número de días del mes

$F_r' * (\tau\alpha) * n$ = factor adimensional, que se calcula por:

$$F_r' * (\tau\alpha) = F_r * (\tau\alpha)_n * \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} * \frac{F_r'}{F_r}$$

Ecuación 1.76

$F_r * (\tau\alpha)_n$ = Factor de eficiencia óptica del captador, es decir, ordenada en el origen de la curva característica del captador.

$\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n}$ = Modificador del ángulo de incidencia, en general se puede tomar los siguientes valores: 0.96 para captadores con superficie transparente sencilla y 0.94 para captadores con superficie transparente doble.

$\left(\frac{F_r'}{F_r}\right)$ = Factor de corrección del conjunto captador-intercambiador, se recomienda tomar el valor de 0.95.

1.9.4.2 Cálculo del parámetro D_2 :

El parámetro D_2 expresa la relación entre las pérdidas de energía en el captador solar, para una determinada temperatura y la carga calorífica de calentamiento durante un mes.

$$D_2 = \frac{\text{Energía perdida por el captador}}{\text{Carga calorífica mensual}} = \frac{Q_p}{Q_{ACS}}$$

Ecuación 1.77

La energía perdida por el captador Q_p viene dada por la siguiente expresión

$$Q_p = A_c * F_r' * U_L * (100 - t_{amb}) * \Delta t * k_1 * k_2$$

Ecuación 1.78

A_c = superficie de captación (m^2)

$$F_r' * U_L = F_r * U_L \left(\frac{F_r'}{F_r} \right)$$

Ecuación 1.79

$F_r * U_L$ = Coeficiente global de pérdidas del captador $W/m^2 \text{ } ^\circ C$.

t_{amb} = Temperatura media mensual del ambiente.

Δt = Periodo de tiempo considerado en segundos (s).

El factor de corrección por almacenamiento K_1 y el factor de corrección de la relación factor de corrección de relación de t_{ACS} , t_{mred} , t_{amb} , K_2 se calculan de la siguiente manera:

$$k_1 = \left(\frac{Kg \text{ de acumulación}}{75 * A_c} \right)$$

Ecuación 1.80

$$k_2 = \frac{(11.6 + 1.18 * t_{ACS} + 3.86t_{mred} - 2.32t_{amb})}{(100 - t_{amb})}$$

Ecuación 1.81

Mediante igual proceso operativo que el desarrollado para un mes, se operara para todos los meses del año. La relación entre la suma de las coberturas mensuales y las cargas caloríficas o necesidades de calor, determinará la cobertura solar anual del sistema diseñado.

$$Cobertura \text{ Solar Anual} = \frac{\text{Suma } Q_{\text{útil}} \text{ de los 12 meses del año}}{\text{Suma } Q_{ACS} \text{ de los 12 meses del año}}$$

Ecuación 1.82

La secuencia para el cálculo es la siguiente:

- a)** Valoración de las cargas caloríficas para el calentamiento de agua destinada a la producción de ACS
- b)** Valoración de la radiación solar incidente en el plano de captación
- c)** Calculo del parámetro D1
- d)** Calculo del parámetro D2
- e)** Determinación del valor de f
- f)** Valoración de la cobertura solar mensual
- g)** Valoración de la cobertura solar mensual y formación de tablas.

Si el valor de f se aproxima suficientemente al valor supuesto inicialmente cuando se supone un valor de cobertura para el sistema solar, entonces no hace falta rehacer los cálculos.

En el caso que el valor supuesto difiere notablemente con el valor de f obtenido, se volverá a calcular con otros valores de superficie de captación, volumen de acumulación, eficiencia del intercambiador, caudales de la instalación, etc., hasta que el valor inicialmente supuesto se aproxime al obtenido mediante el cálculo.

CAPITULO II: Diseño del sistema de captación

En este apartado se aplican las fórmulas presentadas en el capítulo anterior para diseñar los diferentes componentes que componen el sistema solar térmico a ser construido.

2.1 Dimensionamiento de la instalación

2.1.1 Cálculo de la demanda de ACS

En base a datos obtenidos de la unidad de Fisioterapia de la Clínica de Bienestar Universitario se determinó que en el área de hidroterapia es necesario disponer de 100 litros de agua a una temperatura mayor o igual de 45 grados Celsius en un tanque acumulador para luego ser entregados al servicio

correspondiente, sea el tanque con remolino (capacidad máxima de 75 litros) o al tanque de compresas calientes (5 litros).

Tabla 6: Número de atenciones en el área de hidroterapia mensual y diaria. (2017). Fuente: Información recibida en Clínica de Fisioterapia de Bienestar Universitario, Universidad de El Salvador

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DEC
Sesión de Hidroterapia por mes	18	87	64	73	113	148	133	95	109	121	85	35
Sesión de Hidroterapia por día	2	4	3	3	4	5	5	4	4	3	3	3

Se calculó que en promedio durante un día acudirán a sesiones de hidroterapia un total de 5 pacientes, de los cuales se le ha asignado un total de 30 litros de agua a una temperatura de 45 °C cada uno, esto no es un dato puntual, debido a que muchos utilizan menos de esa cantidad (esto dependerá de la temperatura requerida para la terapia).

Para fines prácticos, se estima un volumen para la construcción del tanque en 200 litros.

Para el tanque de 75 litros, considerando que el agua dentro del tanque se encuentra a 60 °C y la temperatura del agua de la red es de 25 °C se obtiene la siguiente tabla con las fracciones de agua caliente y fría necesarias para llegar a la temperatura indicada.

Tabla 7: Proporción de mezcla de agua para diferentes temperaturas. (2017). Fuente: Los autores.

Temperatura Final	Cantidad de agua caliente (L)	Cantidad agua fría (L)
45	43	32
40	32	43
35	21	54
30	11	64

Se estima que el agua servida al tanque de remolino puede ser utilizada para al menos dos terapias.

2.1.2 Cálculo del área del colector solar

Utilizando una hoja de cálculo se realizó el cálculo para determinar el área necesaria para garantizar que el colector caliente la masa de agua requerida

para la aplicación, los pasos seguidos para hacer este cálculo son los siguientes:

Calcular la energía requerida en (Mega Joules) MJ por mes, requerida según el volumen de agua a calentar y la temperatura media en el tanque acumulador, esta temperatura se asumió de 45 °C , para un volumen de 200 litros por día.

$$Q = \dot{m}C_p\Delta_T$$

Ecuación 2.1

Dónde:

Q: Energía necesaria a aportar

\dot{m} : Masa de agua a calentar

C_p : Calor específico del agua (4.187 kJ/kg.C)

Δ_T :Diferencia de temperatura entre agua en el acumulador y la red de suministro de agua

En este apartado se hicieron las siguientes consideraciones:

- a) Durante el mes de Enero y Diciembre no se trabaja todo el mes por el periodo de vacaciones
- b) No se toma en cuenta el día Sábado y Domingo en todos los meses, por ser día en el que la clínica no presta servicio a los pacientes.

El cálculo de la masa de agua a utilizar se hizo de la siguiente manera:

$$m = \text{volumen} \times \text{numero de días del mes} \times \text{factor de ocupación}$$

Ecuación 2.2.

Donde el factor de ocupación es el número de días que trabaja el sistema en un mes entre el número total de días de ese mes.

Con datos de la Irradiancia se debe calcular la energía total disponible, para ello se utilizan valores de Irradiancia (H) en MJ/m² del lugar donde se está haciendo el análisis. (Para este caso San Salvador)

Tabla 8: Energía Solar incidente sobre superficie horizontal en kWh/m².día en San Salvador para un día promedio al mes. (2010). Fuente: Propuesta de un sistema solar térmico para la obtención de agua caliente sanitaria en un complejo deportivo.

Mes	Radiación disponible en plano horizontal (kWh/m².día) H	Radiación disponible en plano horizontal (MJ/m².día) H
Enero	4.53	16.31
Febrero	4.83	17.38
Marzo	5.51	19.84
Abril	5.96	21.45
Mayo	6.14	22.09
Junio	6.07	21.84
Julio	6.25	22.49
Agosto	6.25	22.51
Septiembre	5.3	19.08
Octubre	5.86	21.11
Noviembre	4.56	16.4
Diciembre	4.94	17.77
Promedio	5.52	19.86

Se deben hacer las siguientes consideraciones:

- a) Se multiplica el valor de H por 0.95 que es un factor de corrección para instalaciones ubicadas en la ciudad.

Se debe tener en cuenta un factor de corrección k para superficies inclinadas según la latitud, en este caso se utilizan las tablas de latitud de 13°, y para inclinaciones de los colectores a 15°.

Tabla 9: Factor de corrección para superficies inclinadas según la latitud. (1985).
Fuente:www.cleaneregysolar.com

Latitud = 13°

Inc	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.03	1.02	1.01	1	.98	.98	.98	1	1.01	1.03	1.04	1.04
10	1.06	1.04	1.02	.99	.96	.95	.96	.99	1.02	1.05	1.07	1.07
15	1.08	1.05	1.01	.97	.93	.92	.93	.97	1.02	1.07	1.1	1.1
20	1.1	1.06	1	.95	.9	.88	.9	.94	1.01	1.07	1.12	1.12
25	1.1	1.06	.99	.92	.86	.83	.85	.91	.99	1.08	1.13	1.13
30	1.1	1.05	.97	.88	.81	.78	.81	.88	.97	1.07	1.13	1.14
35	1.1	1.03	.94	.84	.76	.72	.75	.83	.94	1.05	1.13	1.14
40	1.09	1.01	.91	.79	.7	.66	.69	.78	.91	1.03	1.12	1.13
45	1.07	.98	.87	.74	.64	.6	.63	.73	.87	1.01	1.1	1.11
50	1.04	.95	.82	.68	.57	.53	.56	.67	.82	.97	1.07	1.09
55	1.01	.91	.77	.62	.5	.45	.49	.61	.77	.93	1.04	1.06
60	.97	.86	.71	.55	.43	.38	.42	.54	.71	.88	1	1.03
65	.92	.81	.65	.48	.35	.3	.34	.47	.65	.83	.96	.98
70	.87	.76	.59	.41	.27	.22	.26	.39	.58	.77	.91	.94
75	.82	.7	.52	.34	.19	.14	.18	.32	.51	.781	.85	.88
80	.76	.63	.45	.26	.11	.1	.1	.24	.44	.64	.79	.82
85	.7	.56	.38	.19	.1	.09	.09	.16	.36	.57	.72	.76
90	.63	.49	.31	.11	.09	.08	.08	.08	.28	.49	.65	.69

- b) Se considera otro factor de pérdidas del 6% cuando se tienen valores de radiación incidente por debajo de los 200 W/m².
Finalmente tendremos la energía total disponible de la siguiente forma:

$$E = H * 0.95 * k * 0.94$$

Ecuación 2.3

Para obtener la aportación solar en MJ/m² por día se debe conocer la eficiencia del colector y se multiplica por la Energía total disponible, a esto se le considera un factor de 0.8 debido a pérdidas adicionales en el sistema.

$$\text{Aportación} = E * \eta_{\text{colector}} * 0.8$$

Ecuación 2.4

Para tener la energía total disponible se debe multiplicar la aportación por

el número de días del mes y finalmente sumar para tener la aportación anual de energía solar siempre en unidades de MJ/m².

El cálculo de metros cuadrados de colectores necesarios se obtiene dividiendo la energía total requerida multiplicada por un factor que representa la cantidad de energía que debe obtenerse del sol entre la energía total disponible.

En este caso el factor de aportación mínima se considera de 0.7

$$\text{Área del colector} = \frac{0.7 \times \text{Energía total requerida}}{\text{Energía total disponible}}$$

Ecuación 2.5

Al aplicar esta metodología los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 10: Energía total requerida por el sistema al mes. (2017). Fuente: Los autores

Mes	N de días	f de ocupacion	Volumen en m ³ (mes)	Temperatura agua de red °C	Salto termico °C	Nesecidad al mes en (kJ/mes)	Necesidad al mes en MJ	Necsidad diaria en MJ	H MJ/m ²	H corregida	k	Energia disponible MJ
Enero	31	0,52	3,224	25	20	269977,76	269,98	4,53	16,31	15,49	1,08	15,73
Febrero	28	0,87	4,872	25	20	407981,28	407,98	12,68	17,38	16,51	1,05	16,30
Marzo	31	0,87	5,394	25	20	451693,56	451,69	12,68	19,84	18,85	1,01	17,89
Abril	30	0,87	5,22	25	20	437122,8	437,12	12,68	21,45	20,38	0,97	18,58
Mayo	31	0,87	5,394	25	20	451693,56	451,69	12,68	22,09	20,99	0,93	18,35
Junio	30	0,87	5,22	25	20	437122,8	437,12	12,68	21,84	20,75	0,92	17,94
Julio	31	0,87	5,394	25	20	451693,56	451,69	12,68	22,49	21,37	0,93	18,68
Agosto	31	0,87	5,394	25	20	451693,56	451,69	12,68	22,51	21,38	0,97	19,50
Septiembre	30	0,87	5,22	25	20	437122,8	437,12	12,68	19,08	18,13	1,02	17,38
Octubre	31	0,87	5,394	25	20	451693,56	451,69	12,68	21,1	20,05	1,07	20,16
Noviembre	30	0,87	5,22	25	20	437122,8	437,12	12,68	16,04	15,24	1,1	15,76
Diciembre	31	0,52	3,224	25	20	269977,76	269,98	4,53	17,77	16,88	1,1	17,46
Total						4954895,8	4954,90		19,825	18,83	1,01	17,81

Tabla 11: Energía total disponible por mes. (2017). Fuente: Los autores

Mes	Numero de horas solar util	Intensidad radiante (W/m ²)	Temperatura ambiente	Eficiencia colector	Aportacion solar por m ² (MJ/m ²)	Energia disponible por dia MJ/m ²	Energia disponible por mes MJ/m ²
Enero	6,8	642,57	26,3	0,4	6,29	5,03	81,14
Febrero	6,8	665,70	27,4	0,4	6,52	5,21	127,03
Marzo	6,8	730,98	28,5	0,4	7,16	5,73	154,43
Abril	6,8	759,00	29,2	0,4	7,43	5,95	155,18
Mayo	6,8	749,41	28,3	0,4	7,34	5,87	158,33
Junio	6,8	732,96	27,3	0,4	7,18	5,74	149,86
Julio	6,8	762,98	27,2	0,4	7,47	5,98	161,20
Agosto	6,8	796,50	27,4	0,4	7,80	6,24	168,28
Septiembre	6,8	709,94	26,9	0,4	6,95	5,56	145,15
Octubre	6,8	823,58	26,6	0,4	8,06	6,45	174,00
Noviembre	6,8	643,63	26,6	0,4	6,30	5,04	131,59
Diciembre	6,8	713,05	26,4	0,4	6,98	5,59	90,04
Total	6,8	727,52	27,34				1696,243

Sustituyendo los valores en la ecuación 2.5 se calcula el área del colector solar.

$$\text{Área del colector} = \frac{0.7 \times 4950.90}{1696.243 \text{ MJ/m}^2} = 2.04 \text{ m}^2$$

El colector debe tener un área de 2 metros cuadrados para satisfacer la demanda de agua caliente que se requiere para la atención de los pacientes en hidroterapia.

2.2 Diseño del colector solar plano

Tomando como base los requerimientos para los cuales se va a utilizar el agua, para garantizar un suministro constante se fijará como temperatura máxima de calentamiento de agua los 60°C.

Se muestra en la siguiente tabla los parámetros que se han considerado para el diseño del colector, algunos son datos que se deben ir cambiando, este proceso es iterativo, por lo tanto con las ecuaciones presentadas en el capítulo 1 y con la ayuda de una hoja de cálculo se procede a realizar el proceso. Es importante verificar que el modelo que se está diseñando tenga el mayor rendimiento posible.

Los datos relacionados con parámetros ambientales se han obtenido de bases de datos del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, así como de la estación meteorológica de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y de la estación de meteorología de la Universidad de El Salvador.

Tabla 12: Parámetros de diseño del colector plano. (2017). Fuente: Los autores.

Parámetro	Símbolo	Valor
Velocidad del viento	v_v	1.6 m/s
Irradiancia	H	400 W/m ²
Temperatura Ambiente	T _a	28 Celcius
Temperatura en Placa (asumida)	T _p	60 Celcius
Área del Colector	A _c	2 m ²
Diámetro de la Tubería ½	D	1.58 cm
Diámetro Interno de la Tubería ½	D _i	1.27 cm
Emisividad del Vidrio	ϵ_v	0.94
Transmitancia del vidrio	T	0.88
Absorbitancia de la placa absorbadora	α	0.95
Conductividad Térmica de placa (aluminio)	k _{placa}	205 W/m K
Conductividad de tubería (cobre)	k _{tubería}	385 W/m K
Conductividad Térmica de aislante (Fibra Cerámica)	k _{aislante}	0.04 W/m K
Número de Cubiertas de Vidrio	N	1
Emisividad de placa	ϵ_p	0.91
Inclinación del colector	B	13 grados al sur
Distancia entre tubos	W	10 cm
Número de pasos	N _p	10
Espesor de aislante	l'	2.5 cm
Cp del agua	c _p	4.186 kJ/kg.K
Flujo másico	\dot{m}	0.007 kg/s

2.2.1 Resultados

Después de utilizar la hoja de cálculo se obtuvieron los siguientes resultados para el colector:

Tabla 13: Resultados obtenidos en el colector. (2017). Fuente: Los autores.

Parámetro	Símbolo	Valor
Coeficiente global de pérdidas	U _L	8.07 W/m ² C
Factor de Remoción de Calor	F _R	0.34
Calor útil máximo	Q _u	502.3 W
Eficiencia instantánea	η_i	41.6 %
Eficiencia geométrica	η_g	0.99
Temperatura de entrada de fluido	T _i	25 °C
Temperatura de salida de fluido	T _o	55 °C

2.3 Diseño del tanque de almacenamiento

En base a las consideraciones de la demanda calculada anteriormente, se procede al diseño del tanque de almacenamiento.

Se contemplaron dos opciones para la construcción del tanque, tomando en cuenta sus ventajas y desventajas se seleccionó el que se considerara más apropiado para el proyecto, a continuación se describen las opciones así como sus pro y sus contra.

2.3.1 Opción 1: Tanque de acero inoxidable

La primera opción considerada es la fabricación del tanque de almacenamiento en acero inoxidable, este posee excelentes propiedades de resistencia a la corrosión y a los cambios de temperatura, así como al desgaste.

Propiedades generales del acero inoxidable:

Los aceros inoxidables son aleaciones de hierro con un mínimo de un 10,5% de cromo. Sus características se obtienen mediante la formación de una película adherente e invisible de óxido de cromo. La aleación 316 es un acero inoxidable austenítico de uso general con una estructura cúbica de caras centradas. Es esencialmente no magnético en estado recocido y sólo puede endurecerse en frío. Se añade molibdeno para aumentar la resistencia a la corrosión especialmente en entornos que contienen cloruros.

Las propiedades térmicas del acero inoxidable se presentan a continuación:

Tabla 14: Propiedades térmicas del acero inoxidable. (2018). Fuente: www.goodfellow.com

Propiedades térmicas	Valor
Calor específico a 23 °C (J/(Kg.K))	502
Coefficiente de Expansión Térmica, 20-100 °C (x10-6 /K)	16-18
Conductividad Térmica a 23 °C (W/(m.K))	16.3

Para estimar los costos de fabricación del tanque en acero inoxidable, se realizaran los siguientes cálculos, para dimensionar el material a utilizar:

Conociendo el volumen total de agua que necesita el sistema para suplir la demanda, se procede a calcular la geometría del tanque. (Considerando una geometría cilíndrica)

$$V = \pi r^2 L$$

Ecuación 2.6

Considerando un largo de tanque de 1 metro, se procede a calcular el radio del tanque.

$$r = \sqrt{\frac{V}{\pi * L}}$$

Ecuación 2.7

Con un volumen de 200 litros y el largo de 1 metro se obtiene el radio del tanque igual a 0.252 m El perímetro del tanque es:

$$Perimetro = 2\pi r$$

Ecuación 2.8

El perímetro total es de 1.58 metros

El material del tanque es acero inoxidable calibre 16, dicho calibre se elige en base a la necesidad de tener un tanque resistente que no se deforme con el peso del agua.

El aislante térmico es fibra cerámica, con un espesor de 5 cm.

Ventajas y desventajas: Tanque de acero inoxidable

Ventajas:

- El acero inoxidable es un material muy resistente a la corrosión en presencia de agua y químicos, haciendo que su mantenimiento sea el mínimo y su vida útil bastante prolongada.
- Tiene una excelente resistencia mecánica a los esfuerzos.
- Posee también resistencia a los cambios de temperatura muy por encima de los considerados para el proyecto.

Desventajas:

- Debido a su densidad, presenta un peso elevado lo cual dificulta su manejo.
- El costo del acero inoxidable ronda los \$135 por lamina, y dado que se necesitan dos para construir la camisa y las tapas, este valor asciende a los \$270
- Es necesario realizar la construcción del tanque en un lugar especializado para operaciones de corte, rolado y soldadura de acero inoxidable, incrementando su costo final.
- La ubicación de accesorios y sensores requiere de herramientas especiales.

- Se debe colocar un vaso de expansión para evitar el riesgo de sobrepresión en el tanque.

2.3.2 Opción 2: Barril de polietileno de alta densidad (PE-HD)

La siguiente opción considerada, es la fabricación del tanque acumulador a partir de un barril de polietileno de alta densidad (PE-HD). Este material presenta mejores propiedades respecto a otros tipos de plásticos, y también respecto a algunos metales que se corroen con facilidad en presencia de agua.

Propiedades generales del Polietileno de alta densidad

Las propiedades térmicas de los polímeros dependen en mayor grado de su estructura de lo que dependen las propiedades mecánicas. El comportamiento es distinto si se trata de un polímero amorfo, cristalino o semicristalino.

Las propiedades del Polietileno de alta densidad como las de cualquier otro polímero dependen fundamentalmente de su peso molecular y cristalinidad.

El Polietileno de alta densidad muestra un punto de fusión entre 130 y 136 °C, mientras que su temperatura de transición es de 25 °C bajo cero. El calor específico del Polietileno de alta densidad es de los mayores entre los termoplásticos y es altamente dependiente de la temperatura; conforme este se aproxima a la fusión de los cristales, el calor específico aumenta notoriamente, mostrando un máximo. Este fenómeno aumenta conforme cambia la densidad, además de que la temperatura de fusión también es mayor.

La temperatura máxima de servicio depende de la duración y la magnitud del esfuerzo mecánico presente durante el calentamiento: en pruebas sin carga mecánica en períodos cortos, la temperatura máxima es de 90 a 120 °C, en períodos mayores este valor desciende a intervalos entre 70 y 80 °C (Roca Girón, 2005).

Se muestran las propiedades termicas del PE-HD:

Tabla 15: Propiedades térmicas del PE-HD. (2005). Fuente: Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad.

Propiedades Térmicas	Valor
Calor Específico (KJ/(Kg.K))	1.9
Coefficiente de expansión Térmica (x10 ⁻⁶ /K)	100-200
Conductividad Térmica a 23°C (W/(m.K))	0.45-0.52
Temperatura de Deflexión en caliente – 0.45 Mpa (°C)	75

Ventajas y desventajas: Barril de PE-HD

Ventajas:

- Es un material liviano, que disminuye el peso total de la construcción, y facilita su manejo para realizar operaciones.
- Posee una aceptable resistencia a la temperatura considerada para su uso, lo cual asegura una durabilidad sin la pérdida de sus propiedades geométricas.
- No se requiere la instalación de un vaso de expansión ya que no se encontrará herméticamente sellado.
- Dado que es un material mucho más blando que el acero, la instalación de accesorios no requerirá de mucho tiempo ni de herramientas especiales.
- La conductividad térmica es baja en comparación con el acero, lo cual contribuye a que no exista una pérdida tan grande de temperatura como en el caso de la opción 1.
- Su costo es una fracción en comparación al costo del tanque de acero inoxidable, ya que no requiere de ninguna operación para su fabricación, encontrándose a un precio de \$25.00 en ferreterías.

Desventajas:

- Su vida útil es menor en comparación con el acero.

2.3.3 Selección de la opción

Comparando ventajas y desventajas se consideran los siguientes puntos como importantes para la selección de la opción para la construcción del tanque acumulador.

1. El material debe resistir temperaturas de hasta 65°C.
2. La conductividad térmica debe ser la más baja posible, para minimizar pérdidas en el ACS.
3. No precisa una vida útil extensa si su reemplazo no implica costos elevados y a corto plazo.
4. El costo de fabricación debe ser el menor posible sin que esto represente un material de baja calidad o malas propiedades térmicas para la aplicación.
5. El peso debe permitir la versatilidad de trabajo en el mismo.

En base a los antes expuesto, se toma a bien la selección de la opción 2, cumpliendo con la propiedades críticas para el tanque acumulador, sin estar sobredimensionadas.

2.4 Diseño del sistema de acarreo

El sistema de acarreo transportará el fluido desde la red de ANDA hacia el tanque acumulador, después hacia el colector y su retorno al tanque, para posteriormente llevarlo hacia la aplicación donde se realizará la mezcla del agua caliente con el agua de red para obtener la temperatura deseada

Para el transporte desde el tanque hacia la aplicación se utilizarán las longitudes de tubería especificadas en la siguiente tabla (ver esquemas para identificar los tramos):

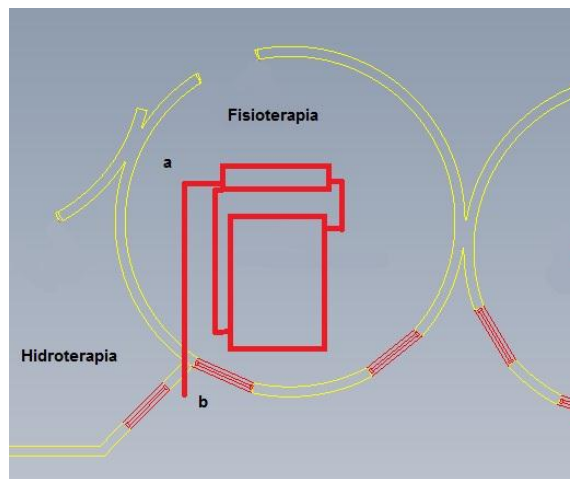


Figura 44: Instalación en el techo, representación de secciones de tubería de acarreo. (2017). [Esquema]. Fuente: Los autores.



Figura 45: Tramo de descenso desde el techo hasta la ventana de zona de Hidroterapia. (2017). [Esquema]. Fuente: Los autores

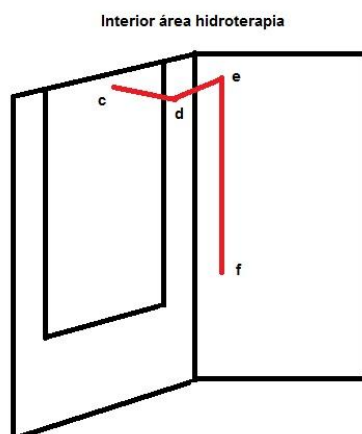


Figura 46: Esquema del tramo al interior de hidroterapia. (2017). [Esquema]. Fuente: Los autores

Tabla 16: Longitudes de tramos de tubería de acarreo. (2017). Fuente: Los autores.

Tramo	Longitud de tubería (metros)
a-b	6.20
b-c	1.50
c-d	0.20
d-e	0.30
e-f	1.35
Total	9.55

2.4.1 Tubería a utilizar

El agua de la red de ANDA llegará hasta el tanque acumulador en tubería de ½ de PVC.

Para el transporte del ACS desde el tanque acumulador hasta el punto de servicio, considerando que la temperatura puede ser mayor a los 75°C, se va a utilizar tubería CPVC con un diámetro de ½ pulgada.

2.5 Diseño del sistema de monitoreo

El sistema de monitoreo tiene como objetivo mostrar las temperaturas en diferentes puntos del sistema.

Los sensores de temperatura se van a ubicar en las siguientes posiciones del sistema:

- Entrada de agua fría al tanque acumulador (monitorear temperatura de agua de la red)
- Entrada y salida del colector solar plano
- 4 sensores ubicados en el tanque a diferentes alturas para obtener un perfil de temperatura del agua almacenada.
- Antes de la válvula de mezcla, para determinar las pérdidas de calor durante el transporte.

El transductor de presión tiene la función de enviar una señal hacia la placa de Arduino, donde se va a transformar la señal a un valor de presión que indicara si existe algún peligro de sobrepresión en el tanque.

2.6 Simulación del funcionamiento del sistema

Para conocer el comportamiento de los componentes del sistema solar térmico que se ha diseñado, se hizo uso de un programa para el diseño y simulación de elementos, Solidworks®, utilizada la versión 2016. Este software permite la creación de modelos en tres dimensiones, reproduciendo características de diversos materiales usados en la industria, en el apartado de simulación, es posible llevar a cabo la reproducción de diferentes fenómenos, entre ellos la circulación de fluidos en determinados objetos, el calentamiento térmico de fluidos, así como el cálculo de parámetros de temperatura, flujo másico y otros.

Se construyeron dos modelos en tres dimensiones, uno para el colector solar a utilizar y el otro para el acumulador térmico, a continuación se describen

las simulaciones realizadas para cada uno con los resultados obtenidos para estas.

2.6.1 Tanque acumulador

El modelo del tanque se presenta en la figura 47.

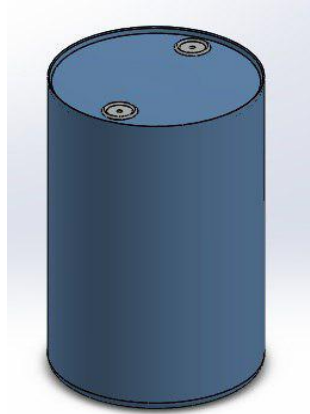


Figura 47: Modelo en tres dimensiones del acumulador térmico. (2018). [Ilustración]. Fuente: Los autores.

El comportamiento simulado para el tanque consistió en la salida de agua caliente de este a 60°C, al mismo tiempo que entró agua de red a 25°C, las consideraciones realizadas fueron las siguientes:

- El volumen de salida de agua fue de 50 litros a una temperatura de 60°C
- Todo el volumen de agua en el tanque se encontraba a la misma temperatura (60°C)
- El volumen de entrada de agua de red es el mismo volumen de salida (el software utilizado así lo requiere).
- Se consideró un tiempo de descarga de 5 minutos para los 50 litros
- Se consideró que la pared del acumulador era completamente adiabática.
- La salida de agua caliente se colocó en la parte superior del tanque, para asegurar que la temperatura fuera la más elevada dentro de este (por estratificación).
- La entrada de agua de la red se ubicó en la parte inferior del tanque.

Los resultados de temperatura se muestran en las siguientes figuras:



Figura 48: Temperatura fluido al inicio de la simulación. (2017). [Ilustración]. Fuente: Los autores.



Figura 49: Temperatura fluido en un tiempo $t/4$. (2017). [Ilustración]. Fuente: Los autores.

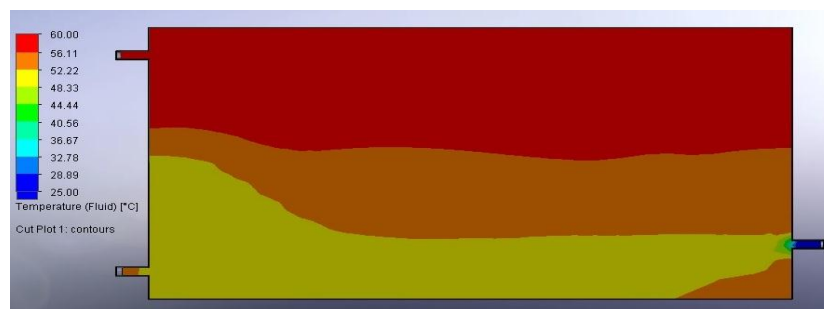


Figura 50: Temperatura fluido en un tiempo $t/2$. (2017). [Ilustración]. Fuente: Los autores

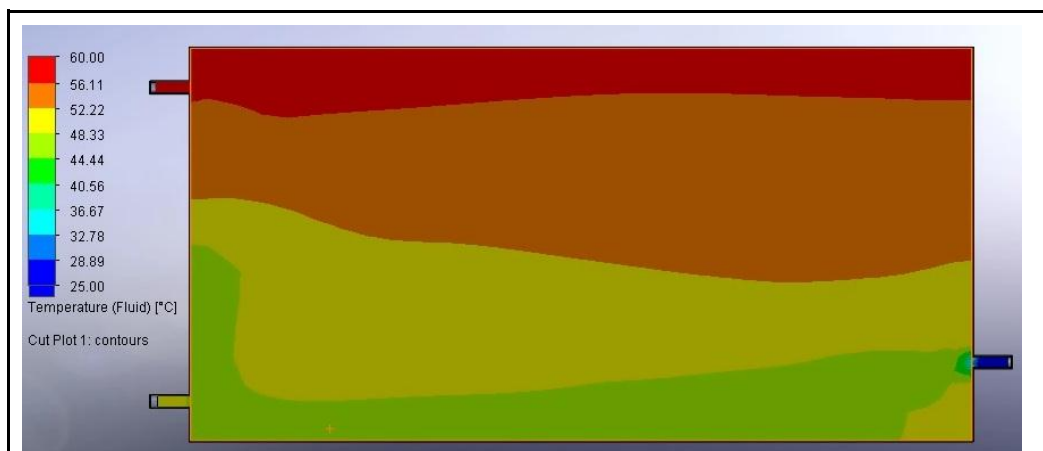


Figura 51: Temperatura fluido en un tiempo 0.75t. (2017). [Ilustración]. Fuente: Los autores.

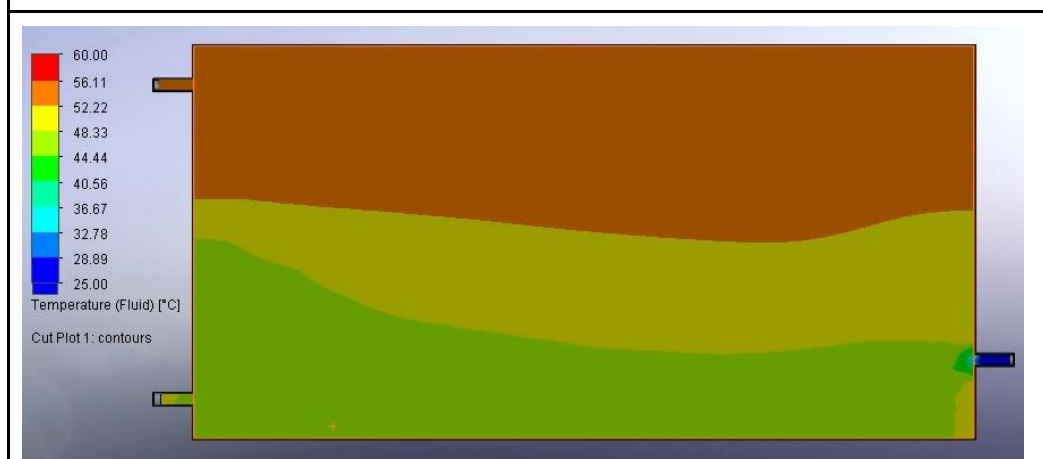


Figura 52: Temperatura fluido al final de la simulación. (2017). [Ilustración]. Fuente: Los autores.

La figura 52 muestra que existe una estratificación con temperaturas que oscilan entre los 40°C hasta los 56°C, es necesario mencionar que esta no es la estratificación del tanque en el punto de equilibrio térmico, ya que el software utilizado para la simulación se limita solo a mostrar el comportamiento mientras exista flujo tanto a la entrada como a la salida.

2.6.2 Colector solar

La representación en tres dimensiones del colector se presenta en la figura 53.



Figura 53: Colector solar plano utilizado para la simulación. (2017). [Dibujo]. Fuente: Los autores

Para el colector solar, se diseñaron todos los componentes de acuerdo a los cálculos obtenidos (ver planos en anexos), la simulación ejecutada para el colector consistió en la exposición de este a las condiciones ambientales que se tendrán en su instalación. Las consideraciones realizadas fueron:

- La temperatura del agua de entrada fue de 28°C y se mantendrá fija durante todo el desarrollo de la simulación.
- El valor de irradiancia solar utilizado fue de 450 W/m²
- La inclinación del colector fue de 13 grados respecto al sur (para que los rayos solares sean perpendiculares a la placa)
- Las paredes del colector se consideraron completamente adiabáticas
- Los parámetros físicos de la placa absorbedora y la cubierta son los mismos expuestos en la tabla 12.
- El tiempo de la simulación será hasta que el agua viaje por las tuberías hasta la salida del colector.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente figura:

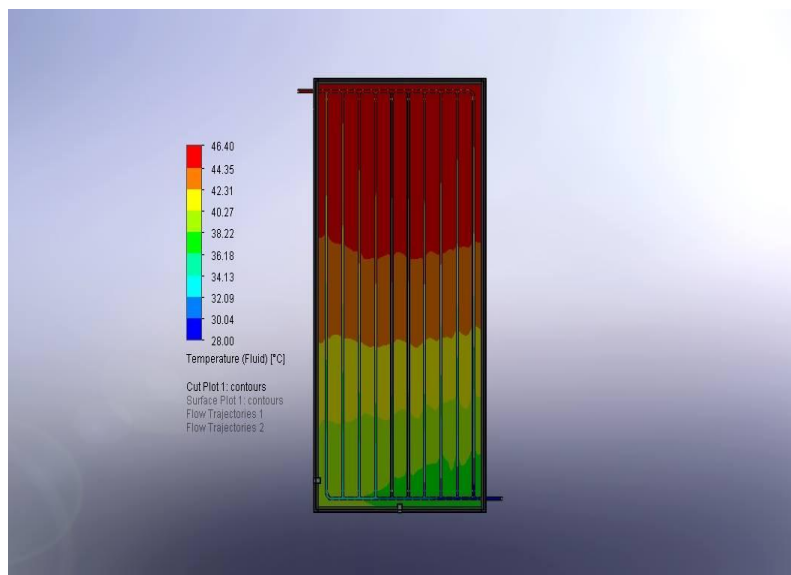


Figura 54: Imagen térmica del fluido dentro de las tuberías del colector. (2017). [Ilustración]. Fuente: Los autores.

La figura 54 muestra la temperatura del fluido dentro de las tuberías, puede observarse que se alcanzan los 45°C a la salida, este valor será para la simulación el máximo alcanzado, dado que no existe recirculación del agua que sale, para ganar más temperatura.

CAPITULO III: ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

En este capítulo se da el detalle de los costos que se tuvieron para la implementación del proyecto de la misma manera se hace una comparación entre los costos para calentar agua con el sistema solar térmico y un sistema convencional funcionando con energía eléctrica.

3.1 Presupuesto del proyecto

Se describen los costos que se tuvieron para la implementación del mismo

3.1.1 Costo de materiales

Se presenta el presupuesto de los materiales que se van a emplear en el proyecto con sus respectivos precios, todos incluyen IVA.

Para cubrir gastos imprevistos se agregara un 10% del monto total de los materiales.

Tabla 17: Descripción y costo de los materiales utilizados. (2017). Fuente: Los autores.

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio (US\$)	Total (US\$)
Tubo rígido de cobre ½" 20 pies	4	Pieza	20.26	81.04
Codo de cobre ½" de 90°	2	Pieza	0.37	0.74
TEE de cobre ½"	18	Pieza	0.62	11.16
Terminal de cobre roscado hembra ½ in	2	Pieza	0.85	1.70
Varilla para soldar al 5% de plata	7	Pieza	1.65	11.55
Electrodo para hierro 3/32" OK	3	Libra	1.50	4.50
Pintura anticorrosiva azul	1	Galón	10.50	10.50
Pintura anticorrosiva gris	1	Galón	11.50	11.50
Pintura anticorrosiva negra mate	1	¼ galón	4.68	4.68
Thinner corriente	2	Galón	5.00	10.00
Fibra cerámica 1"x 2 pies x 25 pies	2	Rollo	38.00	76.00
Vidrio 1.07 m x 2.07 m x 5mm	1	Pieza	20.84	20.84
Lamina aluminio 4 x 8 pies, 0.025 in	1	Pliego	42.84	42.84
Remache POP aluminio ⅜ in x ¼ in	3	Ciento	0.85	2.45
Tubo estructural cuadrado 1 x 1 chapa 18	4	Pieza	5.70	22.80
Lamina hierro negro 1 mm 2 x 1 m	2	Pliego	11.20	22.40

Pletina de $\frac{3}{4}$	1	Pieza	3.20	3.20
Barril de Polietileno de alta densidad	1	Unidad	25.00	25.00
Tubería CPVC, $\frac{1}{2}$ in	9	Metro	1.20	11.70
Tubería CPVC, $\frac{3}{4}$ in	3	Metros	2.30	6.90
Acople universal PVC $\frac{1}{2}$	1	Unidad	1.20	1.20
Acople universal CPVC $\frac{1}{2}$	3	Unidad	1.25	3.75
Acople universal CPVC $\frac{3}{4}$	1	Unidad	1.65	1.65
Filtro para sedimentos	1	Unidad	20.00	20.00
Válvula tipo flotador	1	Unidad	8.10	8.10
Pegamento CPVC	1	Unidad	5.60	5.60
Pegamento PVC	1	Unidad	3.20	3.20
Codo CPVC $\frac{1}{2}$ in	12	Unidad	1.00	12.00
T CPVC $\frac{1}{2}$ in	2	Unidad	0.35	0.70
Manguera reforzada de $\frac{1}{2}$ in	16	Pie	0.20	3.20
Válvula de bola $\frac{1}{2}$ in	2	Unidad	2.60	5.20
Válvula de bola $\frac{1}{2}$ in para agua caliente	1	Unidad	7.50	7.50
Placar Arduino Mega 2560	1	Unidad	25.00	25.00
Sensor de Temperatura DS18B20	9	Unidad	2.00	12.00
Transductor de Presión	1	Unidad	9.70	9.70
Pantalla LCD 3 in TFT y Shield para Arduino Mega	1	Unidad	27.00	27.00
Válvula de mezcla termostática	1	Unidad	25.00	25.00

Caja metálica	1	Unidad	3.75	3.75
Switch de 2 posiciones tipo palanca	2	Unidad	0.55	1.10
Codo de PVC 90° liso	7	Unidad	0.20	1.40
Codo de PVC 45° liso	2	Unidad	0.33	0.66
Codo de PVC 90° rosca-liso	1	Unidad	0.33	0.33
Tubería PVC	6	Metro	0.40	2.40
Niple macho para aire comprimido	5	Unidad	1.20	6.00
Ángulo de Hierro 1.5 in chapa 14 x 6 metros	5	Pieza	8.20	41
Polín C, chapa 16 de 6 in.	4	Pieza	21.00	84.00
Subtotal				672.24
(Previsión cambios) 10% del subtotal				67.00
Total				759.24

3.1.2 Costo de mano de obra

Se detalla un costo estimado de la mano de obra si hubiera sido necesario la contratación de servicios profesionales a terceros.

Tabla 18: Costos de mano de obra. (2018). Fuente: Los autores

Detalle	Costo (US \$)
Diseño del sistema solar térmico	150.00
Fabricación del colector	50.00
Fabricación del Tanque Acumulador	75.00
Fabricación de las estructuras de soporte	75.00
Encajuelado de polines C	35.00
Instalación del equipo y accesorios	80.00
Diseño y armado del sistema de monitoreo	50.00
Programación del sistema de monitoreo	120.00
Total	655.00

3.1.3 Costo total

Con los costos de materiales y de la mano de obra se obtiene el costo total de la implementación del equipo, el cual se puede considerar para efectos de algún análisis económico como el precio real del equipo.

Tabla 19: Costo total del proyecto. (2018). Fuente: Los autores

Costos	US \$
Material	759.24
Mano de Obra	655.00
Total	1414.24

3.2 Diferencia de costo de calentamiento de agua mediante equipo eléctrico y sistema solar térmico.

Este apartado considera el costo que se tiene para calentar el agua, ya sea con el uso de energía eléctrica o con energía obtenida a partir del sol.

3.2.1 Costo de energía solar

Considerando que la energía solar se obtiene de manera natural, siendo el único costo a considerarse el de la construcción del equipo para su aprovechamiento, y su posterior mantenimiento.

El calentamiento del agua podría considerarse sin costo, ya que no se utiliza ningún otro medio, ni eléctrico ni gas, u otros, que implicarían gastos, el sistema de monitoreo tiene un consumo como se describe a continuación:

$$\text{Corriente utilizada: } I = 0.800 \text{ Amperios}$$

$$\text{Voltaje utilizado: } V_{SM} = 5 \text{ Voltios}$$

$$\text{Potencia} = V \cdot I = 4 \text{ Watt}$$

El uso del sistema de monitoreo es variable, y no requiere estar conectado para el calentamiento del agua, por lo que se considera un periodo de utilización promedio de 8 horas, durante 5 días a la semana, considerándose 11 meses de funcionamiento, con 4 semanas cada uno, lo que resulta en 220 días, entonces la energía consumida anualmente es la siguiente:

$$\text{Energía} = \text{Potencia} \cdot \text{Horas} \cdot 220 \text{ días} = 4 \cdot 8 \cdot 220$$

$$\text{Energía} = 7040 \text{ Watt Hora} = 7.04 \text{ KWh}$$

Utilizando el costo por KWh en El Salvador, \$0.19, obtenido de la SIGET para el primer trimestre del año 2018, el costo anual del sistema de monitoreo es de:

$$\text{Costo Anual} = 7.04 * 0.19 = \$1.34$$

Dicho costo es muy bajo y podría considerarse hasta despreciable.

3.2.2 Costo utilizando energía eléctrica

Para estimar el costo utilizando equipos de resistencia eléctrica, se realizaran las siguientes consideraciones:

- El volumen de ACS utilizado en una terapia es de 75 litros, a una temperatura promedio (T_i) de 40 °C. Se asumen 6 terapias al día.
- La temperatura promedio del agua de red (T_i) es de 26 °C.
- Se calculará la demanda energética anual para obtener el costo de la energía eléctrica necesaria, para suplir la demanda.
- Para facilitar el cálculo, se considerará el agua con un C_p igual a $4.22 \frac{KJ}{Kg * K}$ (Cengel, 2008).
- Se considera un periodo en días de utilización equivalente a 220 días, en base a lo asumido en el apartado 3.2.1.

Primero se calculará la demanda energética para el calentamiento del volumen de 75 litros (75Kg) mediante la fórmula:

$$Q_{75Litros} = mC_p(T_f - T_i)$$

Ecuación 3.1

En donde:

$Q_{75Litros}$: Calor suministrado al volumen de agua del tanque de remolino, KJ.

m : Masa del agua, Kg.

T_f : Temperatura final del agua, °C.

T_i : Temperatura inicial del agua, °C.

Dando como resultado:

$$Q_{75Litros} = 4747.5 KJ$$

Consultando en catálogos en línea de distribuidores locales, se encuentran resistencias de 1500 W de potencia, se tomará este valor para estimar el tiempo de calentamiento del volumen de agua planteado.

La fórmula a utilizar es la siguiente (Cengel, 2008):

$$W_e = VI\Delta t$$

Ecuación 3.2

En donde:

W_e : Trabajo eléctrico realizado por la resistencia, KJ.

V_R : Voltaje consumido por la resistencia, Voltio.

I : Corriente que usa la resistencia, Amperio.

Δt : Diferencia de tiempo necesario para calentar el volumen de agua.

Dado que todo el trabajo que realice la resistencia se transfiere en forma de calor al agua ($W_e = Q_{75Litros}$), y considerando que la potencia eléctrica de la resistencia es igual a la corriente por el voltaje ($P_R = VI$). La ecuación 3.1 se reescribe así:

$$Q_{75Litros} = P_R \Delta t$$

Ecuación 3.3

A partir de la ecuación 3.2, y conociendo los valores, se procede al cálculo del tiempo de uso de la resistencia para el calentamiento del agua, despejando:

$$\Delta t = \frac{Q_{75Litros}}{P_R} = \frac{4747.5 \text{ KJ}}{1.5KW}$$

$$\Delta t = 3,165s = 0.88 \text{ hora}$$

Para calcular el costo, se obtendrá el valor de energía utilizado por la resistencia para calentar el agua (E_R), en el tiempo calculado:

$$E_R = P_R \Delta t = 1.5KW * 0.88 \text{ hora}$$

$$E_R = 1.32KWh$$

Para las 6 terapias estimadas, el valor total será de 7.92KWh cada día, al año (220 días) la demanda energética total será:

$$E_R = 1742.4 \text{ KWh/año}$$

Entonces el costo energético se obtendrá de multiplicar este valor por el correspondiente coste del KWh en El Salvador, dando como resultado:

$$Costo = 1,742.4 \frac{KWh}{año} * \frac{\$0.19}{KWh} = \frac{\$331.06}{año}$$

3.2.3 Costo combinando sistema solar térmico con sistema eléctrico:

Para este apartado, se considerará el uso combinado de los dos sistemas, suponiendo que el sistema eléctrico se usa como respaldo en los días de baja incidencia solar, y así alcanzar la temperatura deseada.

Según reportes del clima para San Salvador, El Salvador, el promedio de meses con nubosidad es de 7 meses (<https://es.weatherspark.com>), basados en meses de 4 semanas, y con utilización del equipo durante 5 días cada semana, se tiene un periodo de 140 días nublados.

La demanda energética anual para el sistema eléctrico será entonces:

$$E_{R'} = 1108.8 KWh/año$$

Y su respectivo costo:

$$Costo' = 1108.8 \frac{KWh}{año} * \frac{\$0.19}{KWh} = \frac{\$210.67}{año}$$

Tabla comparativa de costos por uso de energía:

Se resume a continuación los resultados del análisis de costos por el uso de cada tipo de energía, además se incluye como costo fijo el del sistema de monitoreo, que en cualquier alternativa se mantiene en uso. El costo total es la suma de cada uno.

Tabla 20: Comparativa de los costos por uso de energía. (2018). Fuente: Los autores.

Tipo de Equipo	Sistema de monitoreo	Costo por uso de energía	Total
Equipo Solar Térmico (100%)		\$0.00/año	\$1.34/año
Equipo Eléctrico (100%)	\$1.34/año	\$331.06/año	\$332.40/año
Equipo Mixto		\$210.67/año	\$211.71/año

CAPITULO IV: CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA SOLAR TÉRMICO

4.1 Construcción

Se procedió a construir los siguientes elementos en base a los planos generados con los datos del diseño, en el taller de la unidad productiva de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador.

Colector y base del colector



Figura 55: Colector solar plano construido. (2018). [Fotografía].
Fuente: Los autores.

Tanque Acumulador y su respectiva base



Figura 56: Tanque acumulador construido. (2018). [Fotografía].
Fuente: Los autores.

4.2 Instalación del sistema

Se realizó la gestión con la Unidad de Desarrollo Físico de la Universidad de El Salvador para obtener la autorización de montar sobre las paredes de la clínica el equipo.

Se obtuvo por parte de la Unidad de Desarrollo Físico la propuesta de soporte que se debía utilizar, por lo tanto en base a las recomendaciones se realizaron los soportes. (Hoja de autorización de UDF en anexos)

Del mismo modo se pidió la autorización de parte de la unidad de medio ambiente para la poda de 5 árboles que se encontraban produciendo sombra sobre el lugar de la instalación.

Los soportes son polines tipo C de 6 pulgadas de peralte, encajuelados. Toda la estructura se unió a los polines mediante varilla roscada de 3/16 y tuercas.

Montaje de los polines de soporte

Con la ayuda de personal de mantenimiento de la Universidad de El Salvador se colocaron los polines según el diseño recibido por parte de la Unidad de Desarrollo Físico.



Figura 57: Instalación de los polines de soporte. (2018). [Fotografía]. Fuente: Los autores.

Montaje de las estructuras de soporte

Se fijó la estructura base a los polines con pernos y posteriormente en las estructuras base del colector y tanque. Para mantenerlos en su lugar se utilizaron pernos.



Figura 58: Montaje de las estructuras. (2018). [Fotografía]. Fuente: Los autores.

Instalación de las tuberías y accesorios

Se instalaron las tuberías para el transporte del agua de la red hasta el tanque, antes de llegar al mismo se colocó un filtro para sedimentos. La tubería utilizada es de PVC de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro.

Para llevar el agua caliente desde el tanque hasta el lugar de utilización se utilizó tubería CPVC de $\frac{1}{2}$ pulgada, con aislante para minimizar las pérdidas de temperatura durante su transporte.

Para facilitar el mantenimiento del sistema se utilizaron uniones universales para conectar el tanque y el colector, de esta forma no es necesario cortar los tubos en caso de mover el sistema o para un mantenimiento mayor.

Se instalaron los sensores en las tuberías para hacer el monitoreo de las mismas. La distribución de los sensores es de la siguiente forma: Un sensor en la entrada de agua al tanque, en la entrada y salida del colector y un sensor antes de llegar a la válvula de mezcla.



Figura 59: Instalación de tuberías y accesorios. (2018). [Fotografía]. Fuente: Los autores.

Instalación del cableado de datos y sistema de monitoreo

Se utilizó tecno ducto para alojar el cable de datos. Se instaló una caja metálica para ubicar el sistema de monitoreo de forma estable y segura, en este llegan las conexiones de los sensores y se fijó la pantalla.



Figura 60: Instalación de cableado. (2018). [Fotografía]. Fuente: Los autores.



Figura 61: Instalación sistema de monitoreo. (2018). [Fotografía]. Fuente: Los autores.

La pantalla principal del sistema de monitoreo tiene la siguiente información: Muestra el valor de temperatura en grados Celsius de los sensores del tanque, en el colector y en la tubería de descarga así como en la tubería de llenado del tanque.



Figura 62: Elementos de la pantalla del sistema de monitoreo de temperaturas del sistema solar térmico. (2018). [Fotografía]. Fuente: Los autores.

4.3 Validación del sistema.

Para realizar las pruebas se tomó como base las recomendaciones de las normas ANSI/ASHRAE 93-1986, sin un cumplimiento literal de las mismas.

A continuación se describe el procedimiento que pide la norma ANSI/ASHRAE 93-1986.

- El fluido debe ingresar a través de una sola entrada y salir a través de una única salida.
- No debe haber un cambio de fase en el fluido de líquido a gas ni viceversa.
- El procedimiento se debe realizar al aire libre, aprovechando la radiación solar natural y en un día claro.
- El colector debe encontrarse en estado estacionario o cuasi-estacionario.
- Se pueden utilizar termopares con constantes de tiempo menores a 10 segundos.
- Los dispositivos de medición deberán ser calibrados para el rango de temperaturas y las diferencias de temperatura detectadas durante la prueba.
- La precisión de la medición de caudal líquido deberá ser igual o mejor que $\pm 1,0\%$ del valor medido en unidades de masa por unidad de tiempo.
- La presión de entrada al colector y el cambio de presión en el colector se debe medir con un dispositivo que tenga una precisión de $\pm 3,5$ kPa.
- La velocidad del viento se debe medir con un instrumento capaz de determinar la velocidad media del viento integrada para cada periodo de prueba con una precisión de $\pm 0,8$ m/s.
- El sensor de temperatura ambiente debe ser ubicado en un refugio bien ventilado con su parte trasera a 1,25 m sobre el suelo y con la puerta mirando hacia el norte, de modo que haz directo del sol no pueda caer sobre el sensor.
- El refugio del medidor de temperatura debe ser pintado de blanco por fuera y no podrán estar más cerca de cualquier obstrucción de dos veces la altura de la obstrucción del mismo, es decir: árboles, cercas, edificios, etc.
- Las mediciones de irradiancia solar deben ser reportadas en términos del tiempo solar aparente para el sitio de la prueba.
- El piranómetro debe ser montado de manera que su sensor sea coplanar con el plano de la abertura del colector.
- El piranómetro no debe ser montado con el fin de recibir un porcentaje de la radiación terrestre que sea desproporcionada en relación con la recibida por el colector.
- El piranómetro debe ser instalado adyacente al colector o en el centro superior.

- El piranómetro debe estar orientado de manera que los cables emergentes del conector se encuentren al norte de la superficie receptora o estén sombreados para minimizar el calentamiento solar de las conexiones eléctricas.
- Para minimizar el error de medición de temperatura, cada sonda deberá situarse lo más cerca posible de la entrada o salida del colector solar.
- La presión en el circuito del colector solar se hará para determinar la caída de presión manométrica del fluido entre la entrada y salida del colector.
- La presión se debe medir en agujeros roscados de presión donde los bordes de los orificios de la superficie interior de la tubería deben estar libre de rebabas.
- El diámetro de los agujeros no debe exceder el 40% del espesor de la pared o 1,6 mm. Las tomas de presión deben ser colocadas entre la entrada o salida de colector.
- Si la entrada y salida están en elevaciones diferentes, se deben hacer las correcciones según la cabeza estática del fluido.
- Las condiciones de viento al aire libre de prueba y la medición de la velocidad se deben hacer en las inmediaciones del colector, a una altura correspondiente a la mitad de la altura del colector y en un lugar donde el sensor de velocidad no está protegido del viento y el sensor no arroje una sombra sobre el colector durante las pruebas.
- La dirección del viento para cada período de prueba también debe ser determinadas.

El procedimiento que se implementó para las pruebas es el siguiente:

Se tienen sensores de temperatura ubicados en la siguiente distribución:

- 1 Sensor en la entrada del tanque para medir la temperatura del agua de la red
- 4 Sensores dentro del tanque para medir la temperatura en las distintas capas de agua
- 1 Sensor de temperatura a la entrada y salida del colector solar
- 1 Sensor a la salida del agua del tanque justo antes de llegar a la válvula de mezcla.
- Los datos meteorológicos se obtuvieron de la estación meteorológica ubicada en el campus de la universidad.

Las lecturas de los sensores se almacenan de manera automática en la tarjeta de memoria del sistema de control realizando lecturas cada minuto.

Se realizaron dos pruebas al equipo, una en estado estacionario y la otra con el equipo montado sobre la clínica.

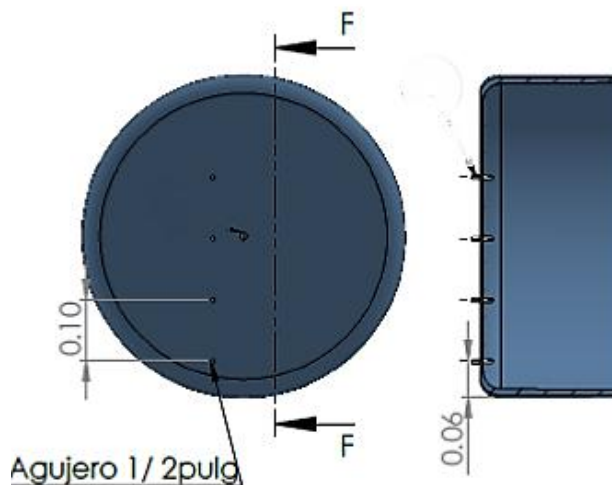


Figura 63: Posición de los sensores en el tanque (medidas en metros). (2018). [Ilustración]. Fuente: Los autores.



Figura 64: Sensores a la entrada y salida del colector solar. (2018). [Fotografía]. Fuente: Los autores.

Prueba en estación meteorológica

En la prueba en estado estacionario se armó el equipo en la estación meteorológica de la Universidad de El Salvador, ubicado detrás de las oficinas centrales.

La prueba consistió en llenar el tanque con agua sin la extracción de líquido y se monitorearon las temperaturas para ver la ganancia de calor del agua en el equipo.

El periodo de prueba en este lugar fue de 2 semanas, en las cuales se hicieron 3 llenados del tanque.



Figura 65: Instalación del sistema en la estación meteorológica. (2018). [Fotografía]. Fuente: Los autores.

Pruebas del colector en instalaciones de bienestar universitario

Las pruebas consistieron en sacar agua del tanque y luego llenarlo con agua de la red para poder determinar el perfil de temperatura que se produce en cada evento de descarga y llenado del tanque.



Figura 66: Instalación del equipo en la clínica. (2018). [Fotografía]. Fuente: Los autores.

Una vez instalado todo el sistema se procedió a realizar las pruebas.



Figura 67: Hidroterapia realizada con ACS. (2018). [Fotografía]. Fuente: Los autores.

CAPITULO V: RESULTADOS

Para mejor comprensión de los gráficos se describen los nombres utilizados para los sensores y su respectiva ubicación.

Tabla 21: Nombres de los sensores y su ubicación. (2018). Fuente: Los autores.

Nombre del sensor	Ubicación
Sensor 1	Parte inferior del tanque acumulador
Sensor 2	Ubicado 10 cm arriba del sensor 1
Sensor 3	Ubicado a la altura de la descarga del tanque
Sensor 4	Parte superior del tanque acumulador
Placa	Sensor ubicado en la placa absorbadora
Ent_Colector	Ubicado en la entrada del colector solar
Sal_Colector	Ubicado en la salida del colector solar
Aguared	En la tubería de entrada de agua fría al tanque
Agua_servi	En la descarga de agua caliente del tanque

5.1 Pruebas en estado estacionario

Luego del periodo de ensayo que fue de 2 semanas se obtuvo el comportamiento de calentamiento del sistema, así como las pérdidas en el tanque durante la noche.

5.1.1 Calentamiento

Las pruebas de calentamiento en estado estacionario consistieron en llenar el tanque de agua y durante 3 días sin extraer agua

Se muestra la gráfica de calentamiento para el primer día, se puede observar que existe una diferencia de hasta 11 grados entre los sensores 3 y 4. Dicha diferencia para la aplicación para la cual se ha diseñado el sistema y considerando que la salida del tanque se encuentra en el nivel del sensor 3 no es muy representativa, por lo tanto es necesario hacer que el fluido proveniente del colector no ingrese sobre la capa superior de agua.

Con estas pruebas se pudo constatar que la temperatura máxima a la que puede llegar el agua en la parte superior del tanque durante 1 día es de 47 grados Celsius.

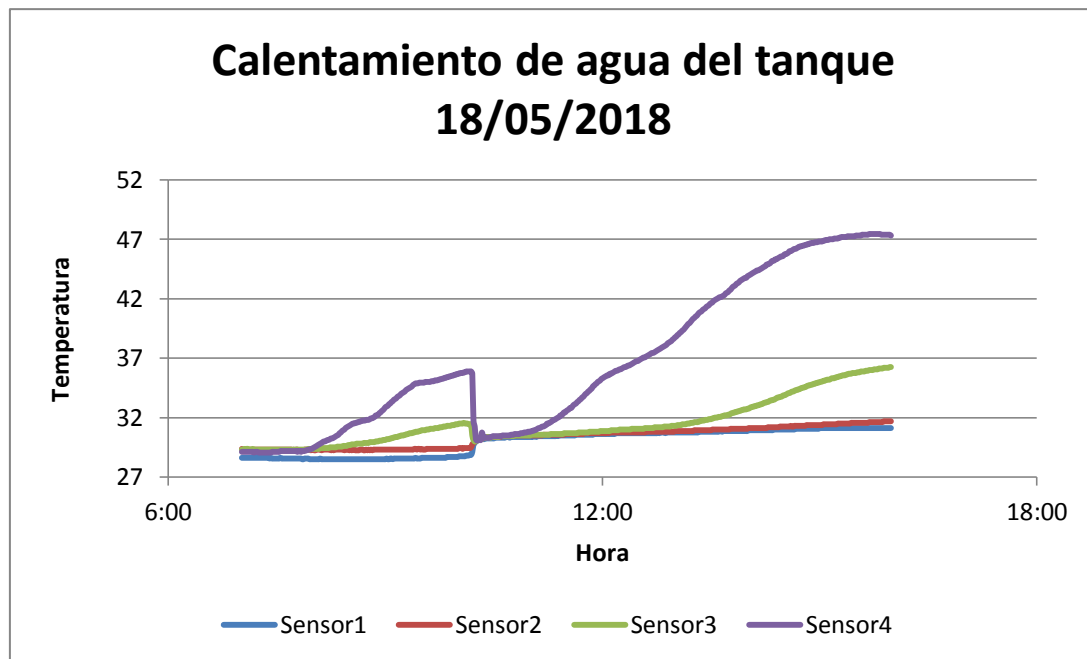


Figura 68: Calentamiento del agua en el tanque (2018). [Gráfico]. Fuente: Los Autores

5.1.2 Comportamiento del tanque durante la noche

Mediante las pruebas realizadas se pudo obtener el perfil de comportamiento de la temperatura en el tanque acumulador durante la noche para poder establecer las pérdidas promedio que puede llegar a tener el tanque acumulador.

Se muestran los gráficos del comportamiento de la variación de temperatura del tanque acumulador durante la noche.

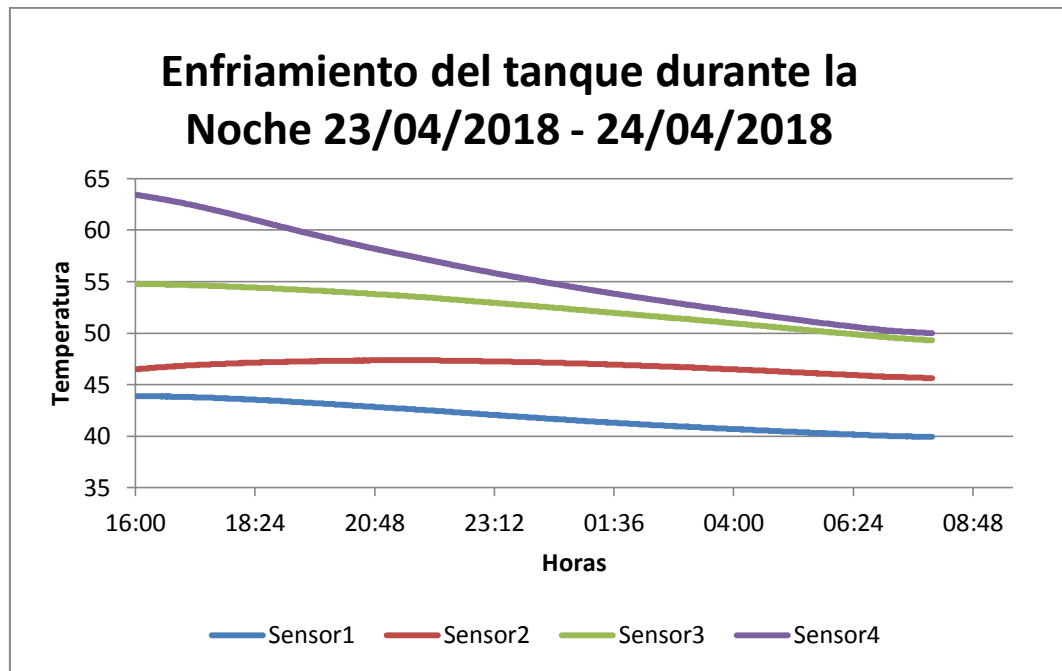


Figura 69: Comportamiento de agua en el tanque durante la noche. (2018). [Gráfico]. Fuente: Los Autores

Se puede deducir del comportamiento del gráfico que el sensor 4 es el que tiene la mayor pérdida de temperatura al presentar una caída de 12 grados durante un periodo de 14 horas, sin embargo es necesario considerar que la temperatura ambiente durante la noche ha descendido hasta los 18 grados.

El sensor 3 es el que tiene la menor pérdida al tener una diferencia de 4 grados al finalizar el periodo con respecto al inicio del mismo que fueron las 4 de la tarde.

Es importante destacar que se presenta una diferencia de temperatura de hasta 11 grados entre los sensores 3 y 4, por lo tanto la transferencia de calor desde el sensor 4 hacia el resto de sensores favorece las pérdidas.

5.2 Pruebas en operación

Se consideró que debido a la aplicación se requiere tener mayor volumen de agua a una temperatura mayor de 40 grados por lo que se ubicó una tubería interna en el tanque que lleva hacia un nivel más bajo el agua caliente que sale del colector para que la transferencia de calor sea más rápida y caliente un mayor volumen de agua.



Figura 70: Tubería interna al tanque de transporte de agua de la salida del colector. (2018). [Fotografía]. Fuente: Los Autores

Luego de realizar la modificación en el tanque se volvieron a hacer las pruebas, obteniendo los siguientes resultados:

5.2.1 Calentamiento

Con la modificación se reduce la diferencia de temperatura entre los sensores 3 y 4, esto es conveniente para la aplicación para la cual fue diseñada el sistema debido a que se necesita que se caliente un mayor volumen de agua a tener temperaturas demasiado altas.

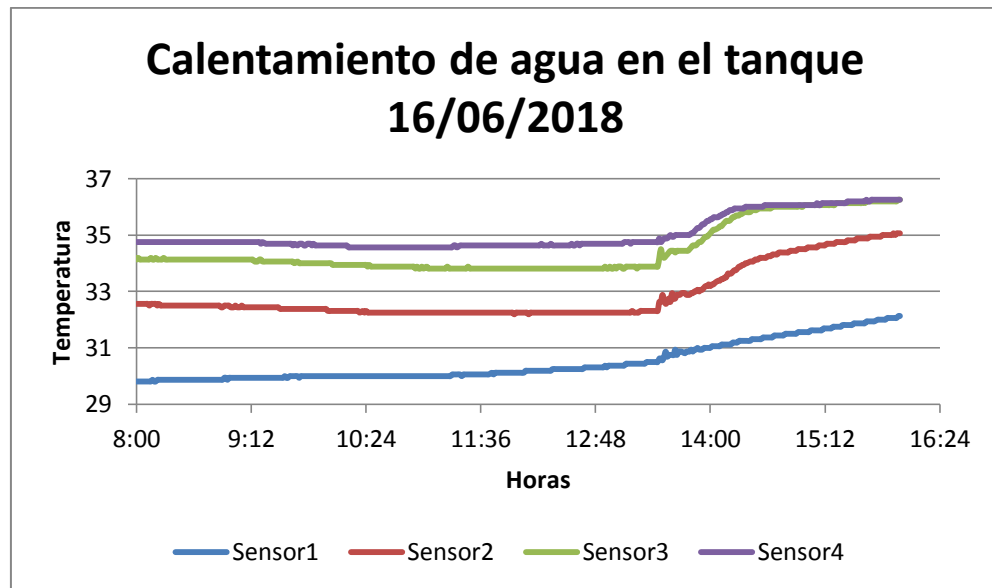


Figura 71: Comportamiento del agua en el tanque para el día 16 de Junio de 2018. (2018). [Gráfico]. Fuente: Los Autores

5.2.2 Comportamiento durante la noche

Se puede observar que la caída de temperatura para el sensor 4 es de aproximadamente 5 grados. El tiempo de enfriamiento inicia a partir de las 4 de la tarde del día 19 de Junio y termina hasta las 7 de la mañana del día 20 de Junio.

La temperatura entre el sensor 3 y 4 es casi igual al final del periodo de evaluación del gráfico.

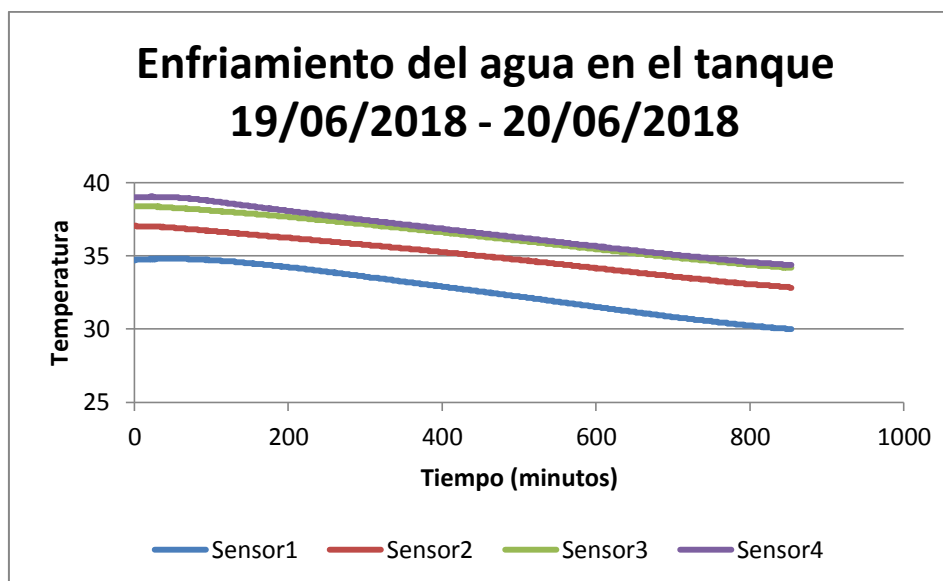


Figura 72: Comportamiento durante la noche del agua dentro del tanque para los días 19 y 20 de Junio de 2018. (2018). [Gráfico]. Fuente: Los autores.

En comparación con la figura 69 la pérdida de temperatura se reduce a 5 grados durante la noche, esto mejora la acumulación de temperatura en el tanque debido a que el periodo de tiempo que transcurre es de 15 horas y por lo general a las 7 de la mañana se dan las primeras terapias.

Es importante destacar que en la figura 69 la temperatura al inicio del enfriamiento era mucho mayor a la del gráfico 72. Esto en primer lugar se debe a la época en la que se hicieron las lecturas, al mismo tiempo se ve la marcada diferencia de temperatura entre los sensores 3 y 4, la misma que se ha reducido en la figura 72 al realizar la modificación descrita en el apartado anterior.

5.2.3 Pruebas del sistema en operación

Estas pruebas consistieron en descargar un volumen determinado de agua del tanque acumulador y observar el comportamiento de la temperatura dentro del tanque a medida que le entraba agua de la red nuevamente.

La mayor prueba consistió en sacar una cantidad de 85 litros del tanque acumulador y permitir el ingreso de agua de la red al mismo para mantener el nivel de agua.

Las gráficas de estas pruebas se muestran a continuación.

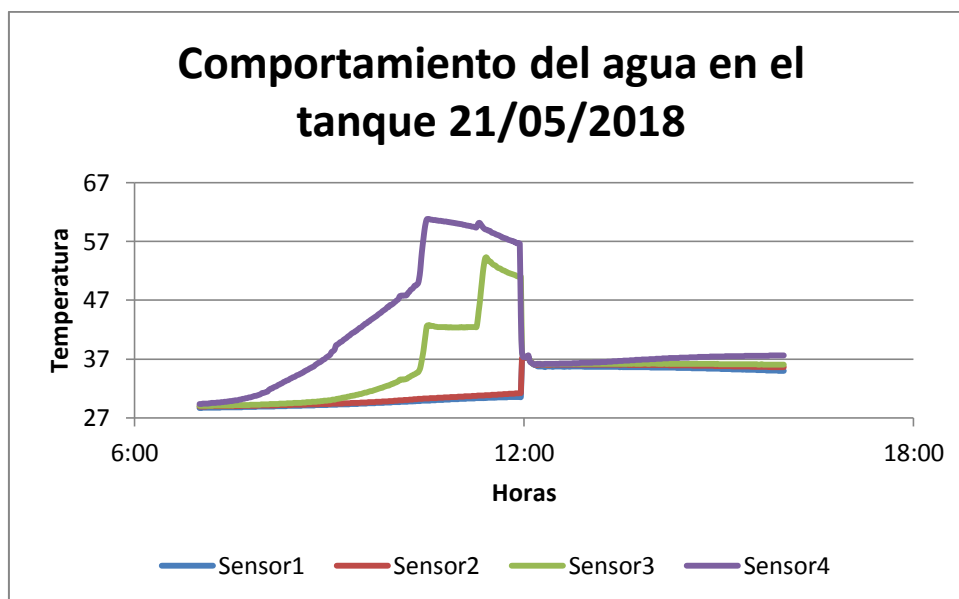


Figura 73: Comportamiento del agua en el tanque para el día 21 de mayo de 2018. (2018). [Gráfico]. Fuente: Los autores.

En la figura 73 se muestra el comportamiento del agua dentro del tanque para el día 21 de Mayo de 2018, se observan temperaturas altas debido a que durante el fin de semana no se extrae agua del mismo. De igual forma el clima era favorable con poca nubosidad.

Se observa a las 12 horas una caída de temperatura debido a que se comenzó a extraer agua y al mismo tiempo ingreso agua desde la red al tanque. De esta información se determina que la válvula de control para el llenado del tanque se debe abrir para garantizar el menor flujo posible, de esta forma se evita corrientes con mucha turbulencia y la pérdida de temperatura es menor.

Prueba realizada después de modificar la entrada de agua caliente del tanque

En la siguiente grafica se puede observar que se descargó agua del tanque cerca de las 14 horas, en ese instante se observa una disminución de temperatura de los sensores 3 y 4, pero un incremento de los sensores 1 y 2. Esto ocurre debido al desplazamiento de las capas de agua que se encuentran en la parte inferior del tanque hacia arriba a medida que el agua proveniente de la red ingresa en el tanque.

Debido a que el llenado se hace de manera lenta no ocurren corrientes al interior del tanque que causarían una pérdida mayor de temperatura.

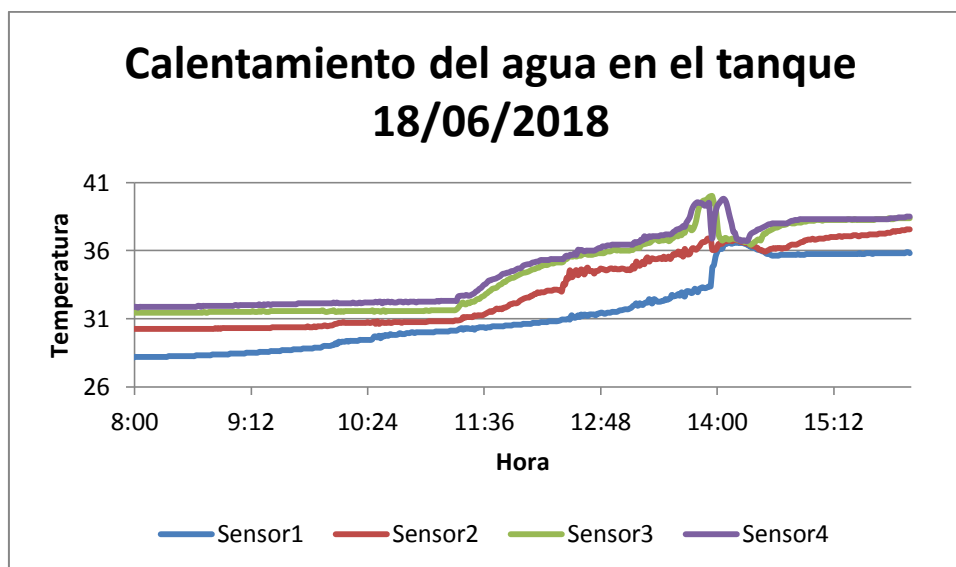


Figura 74: Calentamiento del agua en el tanque 18 de Junio de 2018. (2018). [Gráfico]. Fuente: Los autores.

Gráfica del comportamiento del colector durante el día 18 de Junio de 2018.

La figura 75 es una muestra de la variación de temperatura que existe en el colector solar, los sensores ubicados en la placa, entrada y salida de agua del mismo varían según la cantidad de energía que llega al colector. Es posible identificar los periodos de tiempo en los cuales la nubosidad impide la llegada de energía esto debido a que se registran los datos cada minuto, de esta forma la información es más precisa para el usuario y para hacer los respectivos análisis de datos.

Es posible identificar los periodos en los cuales comienza la circulación del agua dentro del colector.

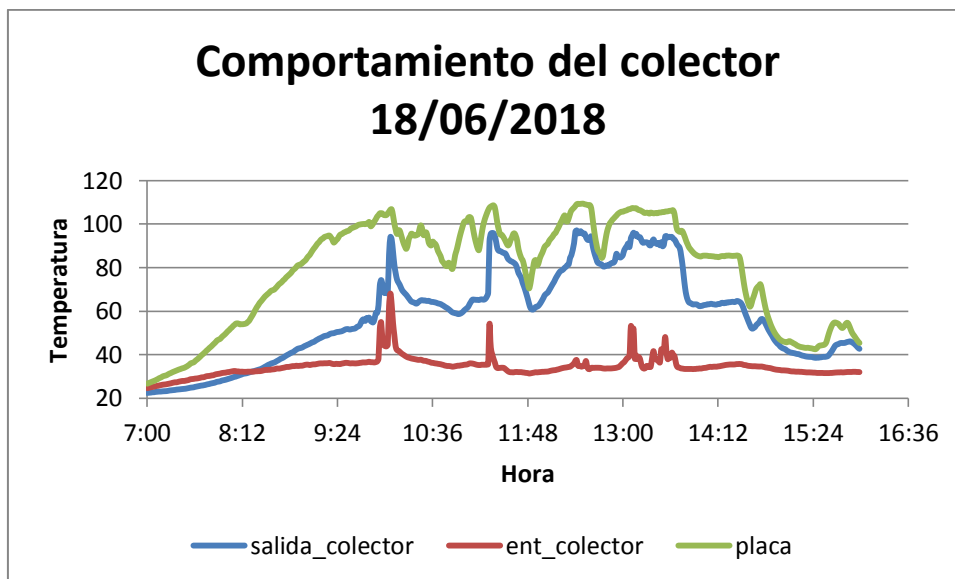


Figura 75: Temperatura en el colector para el 18 de Junio de 2018. (2018). [Gráfico].
Fuente: Los autores

Cada vez que el sensor que está la entrada del colector llega a un valor mayor o igual a 50 grados Celcius comienza a fluir el agua hacia el tanque acumulador.

Otro aspecto importante es la relación que existe entre la temperatura de placa del colector y la irradiancia que llega en un instante. Con los datos obtenidos de la estación meteorológica del campus de la Universidad de El Salvador se trazó una gráfica, en la cual se puede observar como ambos valores están directamente relacionados.

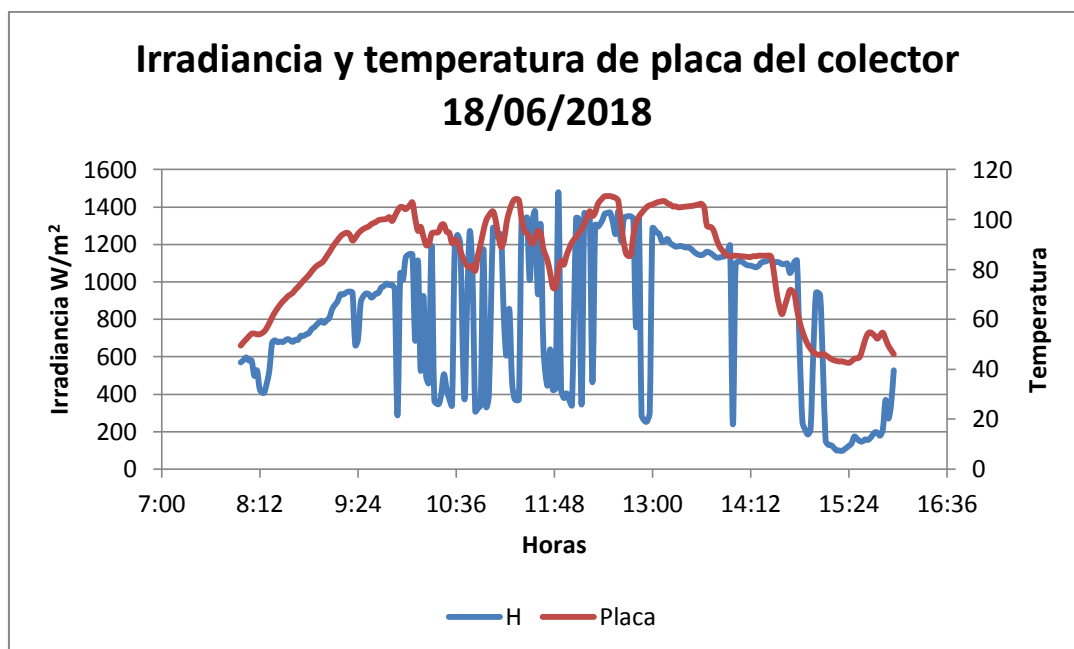


Figura 76: Relación entre la temperatura de la placa y la irradiancia. (2018). [Gráfico]. Fuente: Los autores

5.3 Resumen de los resultados

Después de poner en funcionamiento el sistema completo por varios días con los datos obtenidos se hace una tabla resumen donde se exponen las características obtenidas con el colector y tanque construidos.

Tabla 22: Resumen de datos obtenidos con el sistema construido. (2018). Fuente: Los Autores

Característica	Valor
Temperatura máxima obtenida en la Placa del colector	125 ° C
Temperatura máxima de salida de agua del colector	96 ° C
Máxima diferencia de temperatura entre la salida y entrada del colector	30 ° C
Temperatura máxima en todo el tanque (Estado estacionario)	55 ° C
Temperatura máxima en todo el tanque (En operación)	41 ° C
Pérdida de temperatura en el tanque durante la noche	7 ° C – 10 ° C
Temperatura máxima en la capa superior de agua dentro del tanque	65 ° C

Temperatura mínima del agua en la salida del colector para que comience la circulación al tanque	75 ° C
Flujo de agua desde el tanque acumulador hacia el tanque de terapia	0.07 lt/s
Peso total del equipo	600 lb

5.4 Eficiencia instantánea del colector

Para el cálculo de la eficiencia del colector se debe tomar en cuenta que el flujo por el mismo es variable a medida que el agua en su interior comienza a calentar (el flujo aumenta a mayor temperatura), debido a la dificultad que se tiene para medir el flujo dentro del colector en cada instante se considera un rango de temperatura para el cual el flujo puede permanecer sin alteración.

Con esta consideración se utiliza la ecuación para la eficiencia instantánea del colector y se tiene el siguiente resultado.

$$\eta_{inst} = \frac{\dot{m}C_p(T_{fs} - T_{fe})}{A\tau\alpha q_{rad}}$$

Donde \dot{m} : flujo másico, C_p del agua, la diferencia de temperatura entre la entrada y salida del colector, el área del colector, las propiedades del vidrio y de la placa absorbidora y el calor de radiación proveniente del sol.

Tabla 23: Eficiencia instantánea del colector. (2018). Fuente: Los autores

Hora	H (W/m ²)	T_entrada °C	T_salida °C	T_Placa °C	Área m ²	Cp kJ/kg	Flujo kg/s	τ	α	Eficiencia
8:25	678	27,5	33,44	64,44	2	4.179	0,07	0,94	0,88	0,25
8:27	681	27.4	34,06	65,94	2	4.179	0,07	0,94	0,88	0,32
8:29	679	27.5	34,75	67,25	2	4.179	0,07	0,94	0,88	0,46
8:31	690	27.5	35,44	68,31	2	4.179	0,07	0,94	0,88	0,61

Considerando el intervalo de tiempo mostrado para el cual el flujo másico no tiene un cambio considerable se puede promediar la eficiencia calculada anteriormente y se llega a un valor de 40%.

5.5 Comparación de resultados entre el sistema diseñado y el construido

Es muy difícil lograr durante mucho tiempo que se cumplan todas las condiciones que se pueden establecer al hacer una simulación, sin embargo recordando que se fijo como uno de los parámetros de diseño la irradiancia con un valor de 400 W/m^2 . Teniendo ese valor presente se compararon datos con valores de irradiancia iguales o similares de esta forma se tiene un valor de la variación entre datos simulados y reales.

Para tener un valor puntual sobre el calentamiento del agua dentro del colector se vuelve difícil de medir, debido a que la energía se va acumulando dentro del colector y la temperatura aumenta con respecto al tiempo, para ser practico se analiza un periodo de tiempo antes de llegar a valores de irradiancia mayores a los 700 W/m^2 .

Tabla 24: Comparación de resultados entre el sistema diseñado y el construido. (2018). Fuente: Los autores.

Parámetro	Diseñado	Construido
Temperatura de placa	60 ° C	54 ° C
Temperatura de salida del agua del colector	55 ° C	47 ° C
Perdidas en el tanque durante la noche	10 ° C	7 ° C – 10 ° C
Eficiencia instantánea del colector	42 %	40%

Estos son los valores más representativos que se tienen para comparar entre el diseño inicial y el resultado del equipo construido, por tanto se puede concluir que los resultados reales no son muy distantes de los valores teóricos.

Como uno de los objetivos tiene como finalidad construir un equipo que sea fácil de reproducir en relación al tipo de material utilizado se puede considerar que es una buena opción, en la cual se podrían cambiar algunos materiales por otros más livianos en la estructura para poder hacer la instalación en lugares que tienen menos resistencia de soportar la carga que se genera con el peso total del equipo.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

- El agua que llega al tanque de remolino para las terapias puede mantenerse hasta por 3 horas con una pérdida de 1 grado Celsius, por lo que se pueden dar hasta 3 terapias por cada descarga realizada del tanque acumulador.
- La pérdida de temperatura del agua dentro del tanque acumulador es de 7 grados en promedio durante la noche, este valor es aceptable considerando los materiales utilizados para su construcción.
- En aplicaciones de sistemas de producción de agua caliente para fisioterapia es preferible calentar un mayor volumen de agua a tener temperaturas elevadas en volumen reducido de agua.
- La ubicación recomendada para la instalación del sistema solar térmico permite el aprovechamiento de la radiación incidente sobre la clínica, al mismo tiempo facilitó su montaje.
- La temperatura máxima de salida del agua del colector en un día soleado se registró en los 96 grados Celsius, este valor es superior al considerado de manera teórica.
- La eficiencia del colector construido es del 40%, un valor muy aceptable para este tipo de equipos.
- El uso único del sistema solar produce el costo más bajo (\$1.34), al solo consumirse energía eléctrica para el sistema de monitoreo, en comparación con el uso completo de la resistencia (\$332.4) o combinado (\$211.71).
- La instalación de más equipos que aprovechan la energía solar térmica tiene un impacto positivo en el medio ambiente al reducir el consumo de energía eléctrica destinada al calentamiento del agua.
- Al haber utilizado materiales disponibles en el mercado local para construir el sistema solar térmico, es posible que personas que viven en zonas rurales o personas que desean ahorrar en la factura eléctrica, puedan construir un sistema igual.

CAPITULO VII: RECOMENDACIONES

- Se debe limpiar el vidrio del colector solar al menos 2 veces por semana para aprovechar al máximo la radiación solar incidente sobre el mismo.
- El lavado del tanque se debe hacer cada 3 meses.
- En periodo de vacaciones mayores de 1 semana se debe sacar toda el agua del sistema y tapar el colector para evitar dañar los sensores.
- Los datos de la memoria SD se deben extraer por lo menos 1 vez al mes para evitar el manejo de archivos con demasiados datos, aun cuando es posible que la memoria almacene datos hasta por 1 año.
- Debido a la ubicación del sistema solar térmico es necesario controlar que los árboles que están en los alrededores no alcancen una altura mayor a la del techo de la clínica para evitar que llegue sombra.
- Se debe instalar un sistema de respaldo con el uso de energía eléctrica para completar la demanda de calentamiento para los días con menor incidencia solar, de esta manera se garantiza que siempre se tenga Agua Caliente Sanitaria para las terapias.
- Se debe promover el uso de equipos para aprovechar la energía solar térmica en el campus de la Universidad de El Salvador, debido a que se puede utilizar agua caliente en muchas áreas y se aprovecharía el recurso solar que como país se tiene.
- Los datos que se obtienen de la instalación pueden ser utilizados para fines didácticos tanto en la asignatura de energía solar térmica, energías renovables, maestrías, así como para futuras modificaciones que conlleven a una mejora del sistema.
- Se deben limpiar los filtros de la válvula de mezcla cada 3 meses para evitar la disminución del flujo de agua por la presencia de suciedad.

Referencias

1. Abal, G., & Durañona, V. (2013). *Manual Técnico de Energía Solar Térmica* (Vol. I). Uruguay: Facultad de Ingeniería, Universidad de la República.
2. *Bienestar Universitario Universidad de El Salvador*. (s.f.). Recuperado el Abril de 2017, de <http://www.bienestar.ues.edu.sv/>
3. Carta González, J., Castro Gil, M., Colmenar Santos, A., & Calero Pérez, R. (2009). *Centrales de Energías Renovables*. Madrid: Pearson Educación.
4. Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (s.f.). *Solar Engineering of Thermal Processes* (Cuarta ed.). New Jersey, Estados Unidos: WILEY.
5. Oregon, S. U. (2012). *State University Oregon*. Recuperado el Marzo de 2017, de <http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.php>
6. Saleh, A. (2012). *MODELING OF FLAT PLATE SOLAR COLLECTOR*. Indiana: Purdue University.
7. Cengel, Yunus A. (2007), *Transferencia de calor y masa*, McGraw Hill, Tercera Edición.
8. Jaén González, Antonio, Carreras Planells, Ramón; , Oliva Llena, Assensi; (2006) *Tecnología energética y medio ambiente I*, Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica,
9. Martínez, P. R. (2009). *Energía Solar Térmica: Técnicas para su aprovechamiento*. Barcelona: Marcombo.
10. Blank, Tarquin. (1999). *Ingeniería Económica*. McGraw Hill.
11. <https://es.weatherspark.com/y/12243/Clima-promedio-en-San-Salvador-El-Salvador-durante-todo-el-a%C3%B1o>
12. <http://www.plasticbages.com/caracteristicaspvc.html>
13. Estación meteorológica de la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

<https://www.sunnyportal.com/Templates/PublicPageOverview.aspx?page=1930bef5-2712-48e5-9383-2f30f240211d&plant=524690bc-7abc-4b90-9075-61a351e71bf5&splang=es-ES>

14. <https://www.laprensagrafica.com/elsalvador/Usaran-energia-solar-para-tratamientos-20171130-0098.html>

15. <http://www.cne.gob.sv/?itrans-slider=inauguran-sistema-solar-termico-en-hospital-nacional-francisco-menendez>

16. Base de datos de estaciones meteorológicas
<http://www.snet.gob.sv/Geologia/pcbbase2/parametros.php>

17. Pliegos tarifarios SIGET, Octubre 2017 – Febrero 2018
<https://www.siget.gob.sv/temas/electricidad/documentos/tarifas-de-electricidad/>

Glosario de Términos

Absorbedor: Componente del captador que tiene por función absorber la radiación solar incidente, de convertirla en calor y transmitir éste a un fluido termo portador.

ACS: Abreviatura del término agua caliente sanitaria.

Acumulador: Tanque o depósito de agua caliente reforzado por un aislante térmico que permite almacenar agua caliente para suministrarla a una instalación sanitaria o de calefacción. El Acumulador puede ser calentado directamente por una resistencia eléctrica o por un circuito primario de fluido caloportador.

Agua Caliente Sanitaria: Es una red de agua caliente de uso doméstico, el agua puede calentarse con ayuda de un calentador de agua o por un circuito de calefacción dedicado a esta utilización con una caldera mixta.

Aislante: Es un material que impide los intercambios de energía. El material que actúa de manera contraria se denomina material conductor.

Aislante térmico: Es un material que impide que el calor o el frío se escape de un recinto cerrado. Su contrario es un conductor térmico. El aislamiento térmico permite minimizar el consumo de energía necesario para mantener la temperatura requerida. Los aislantes térmicos son caracterizados esencialmente por su resistencia térmica y su inercia térmica.

Analgesia: Desaparición, natural o provocada, de cualquier sensación de dolor.

Calor específico: El calor específico es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de la unidad de masa en 1° C. Se expresa en Wh/Kg°C.

Calor sensible: Calor empleado en la variación de temperatura, de una sustancia cuando se le comunica o sustrae calor. No hay modificación del estado físico del cuerpo.

Calor latente: Calor que sin afectar a la temperatura, es necesario adicionar o sustraer a una sustancia para el cambio de su estado físico.

Conductividad térmica: Es el flujo de calor, por metro cuadrado, que cruza un material de un metro de grosor para una diferencia de temperatura de un grado entre las dos caras (W/m°C).

Convección: Es un método de calefacción o climatización por transferencia de energía térmica que utiliza el aire en movimiento como fluido de transferencia entre el sistema de calefacción o climatización y las personas que deben calentarse.

Corrosión: La corrosión designa la degradación de un material en presencia de oxígeno. Los ejemplos más frecuentes de corrosión se refieren a la degradación de los metales en el agua, como la herrumbre del hierro y el acero o el verde grisáceo del cobre y sus aleaciones bronce o latón.

Diatermia: Medio de tratamiento que se fundamenta en el empleo de corrientes eléctricas de alta frecuencia para elevar la temperatura en partes profundas del cuerpo humano.

Efecto antiespasmódico: Efecto causado por medicamentos o aplicación de terapias que reduce o elimina el dolor.

Electroterapia: Tratamiento médico de algunas enfermedades que se fundamenta en la aplicación de la electricidad en sus diferentes formas.

Energía solar: Energía producida a partir de la conversión de la radiación solar, es una energía renovable. Es una fuente también de energía intermitente (no hay energía solar durante la noche). La energía solar, puede convertirse en calor o en electricidad. Se distinguen dos medios principales de convertir la energía solar:

- Conversión en electricidad: energía solar fotovoltaica.
- Conversión en calor: energía solar térmica.

Energías renovables: Se designa por energías renovables el conjunto de las técnicas de producción de energía cuya aplicación no implica la extinción del recurso inicial y es renovable permanentemente a escala humana.

Fisioterapia: La Fisioterapia es una disciplina de la Salud que ofrece una alternativa terapéutica no farmacológica que, en muchos casos, ayuda a paliar los síntomas de múltiples dolencias, tanto agudas como crónicas.

Inercia térmica: Es la capacidad física de un material para conservar su temperatura.

Instalación solar: Una instalación solar puede ser de 2 tipos. O sea una instalación solar térmica que produce agua caliente para responder a las necesidades de calefacción y/o de agua caliente sanitaria. O una instalación solar fotovoltaica que produce de electricidad para las necesidades de la casa.

Resistencia térmica: La resistencia térmica (R), mide la resistencia que el grosor de un material opone al paso del calor. Constituye en realidad su poder aislante que es tanto más fuerte cuanto R es más elevado.

Termosifón: Es el fenómeno de circulación natural de un líquido en una instalación a causa de la variación de su masa volumínica en función de su temperatura.

Tubería aislada: Son tubos de agua caliente sanitaria revestidos de un aislante térmico que garantiza el aislamiento o sea la limitación de las pérdidas de calor. La tubería aislada es indispensable para limitar las pérdidas de calor en línea.

Válvula: Es un dispositivo que permite regular el caudal de un fluido en un circuito de calefacción o de climatización. Es de hecho un grifo que puede ser regulado de modo manual (válvula manual), termostática (válvula termostática) o controlada por una regulación del caudal, de presión, electrónica (válvula motorizada, válvula controlada).

Válvula termostática: Es una válvula de regulación accionada en función de un parámetro de temperatura de agua, de aire, etc. Funciona como un termostato de todo o nada y actúa sobre el circuito hidráulico sobre el cual se instala.

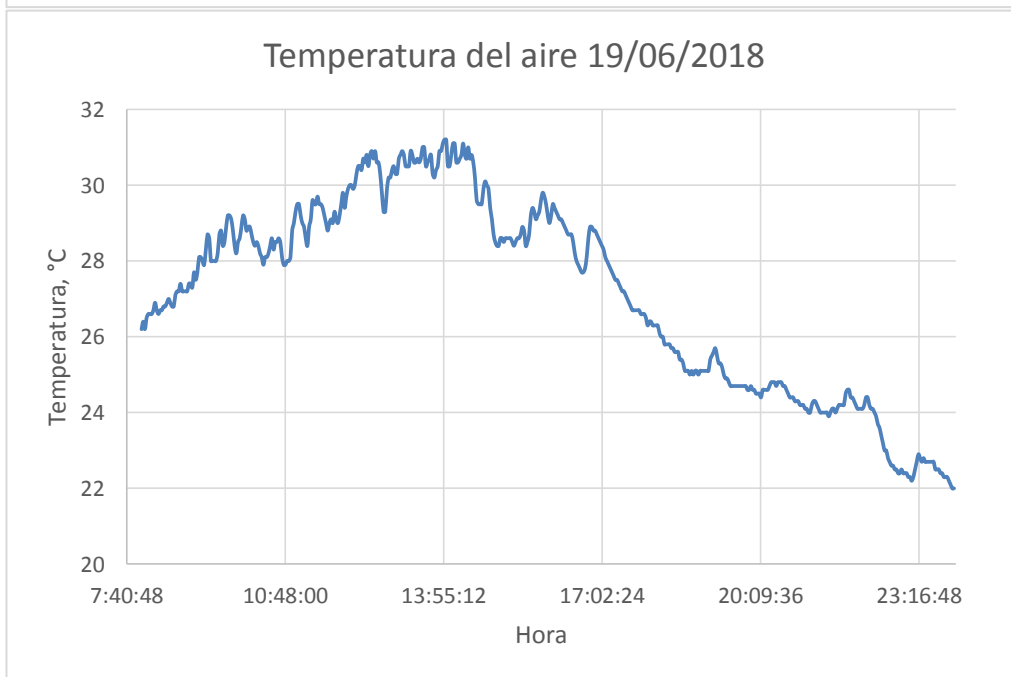
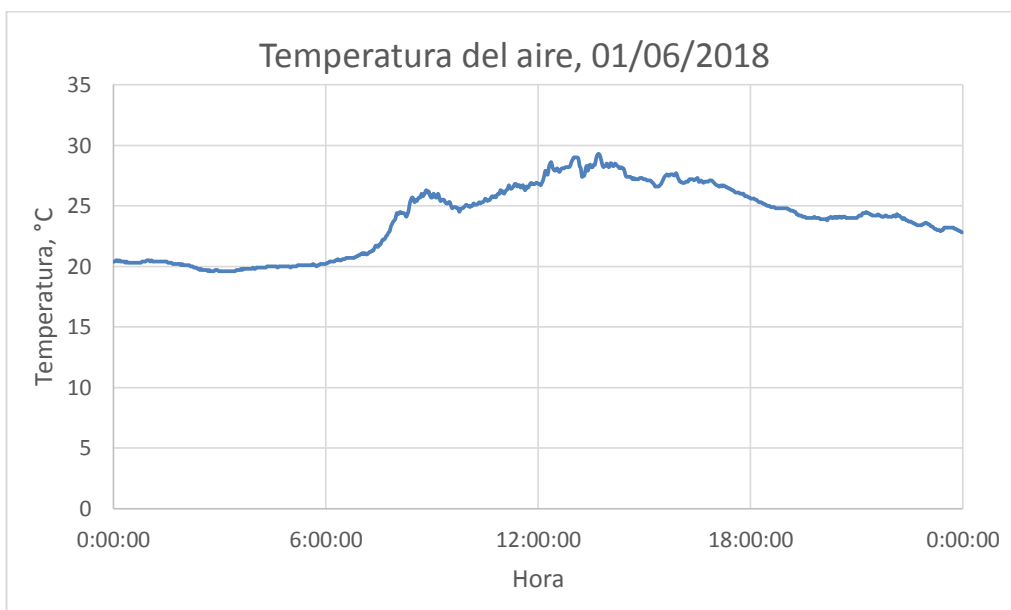
Válvulas antiretorno: Una válvula antiretorno sólo permite el paso del agua en un sentido. Se suelen colocar a la entrada de acometidas para impedir retroceso de agua si hay conectado un sistema de pozo, etc. En el caso de la grifería su función es evitar pérdidas del agua caliente hacia el circuito de agua fría y viceversa.

Anexos

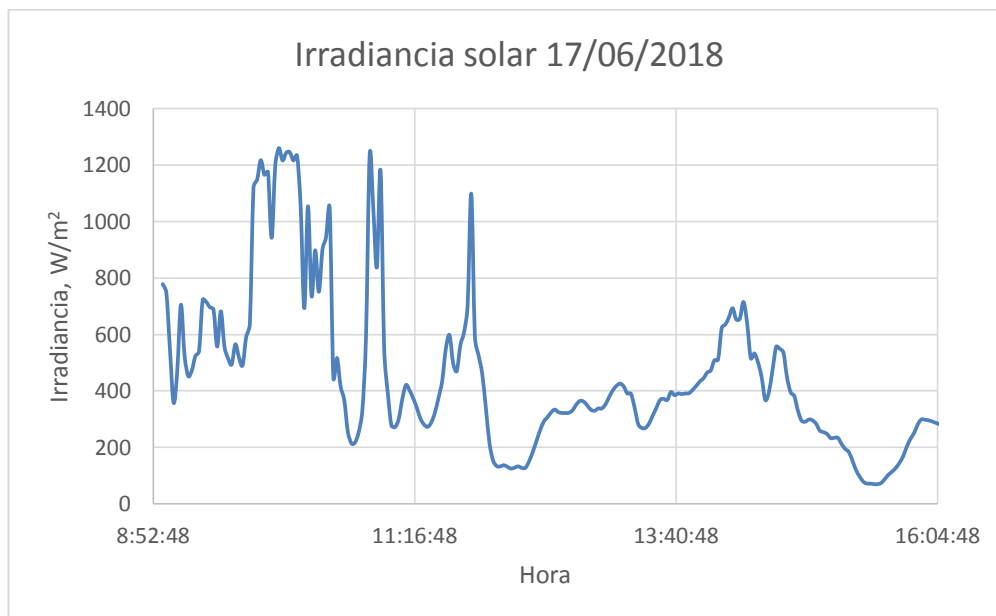
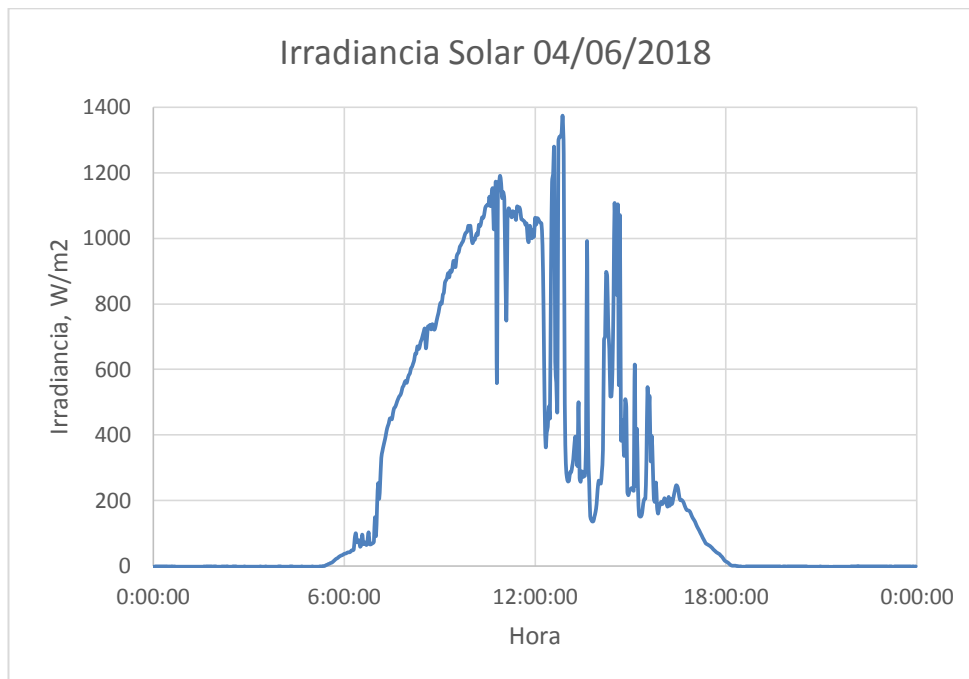
A.1 Datos de referencia utilizados

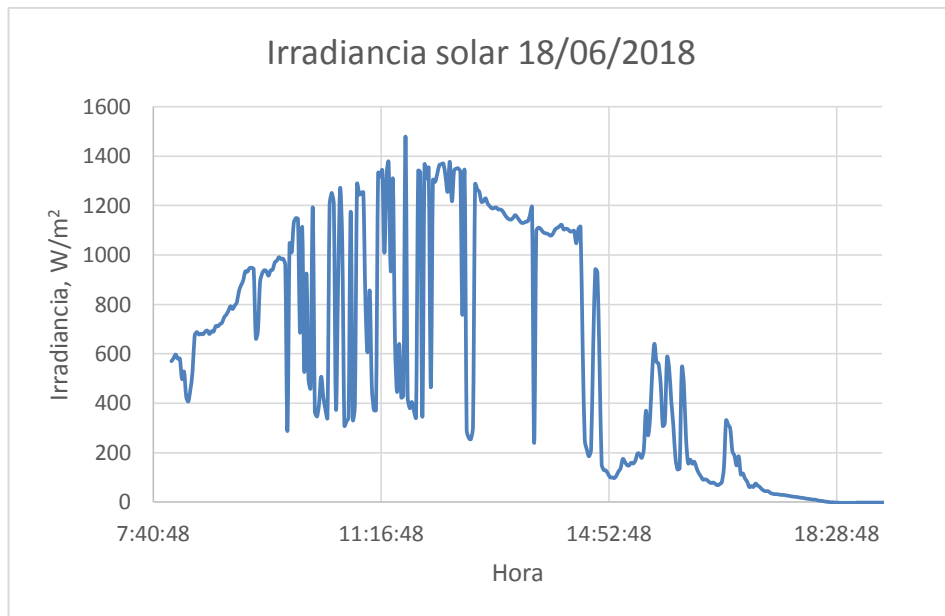
Los datos de referencia que se utilizaron son los de la estación meteorológica de la Universidad de El Salvador. Con dichos datos se elaboraron graficas de los siguientes parámetros.

Temperatura del aire



Irradiancia

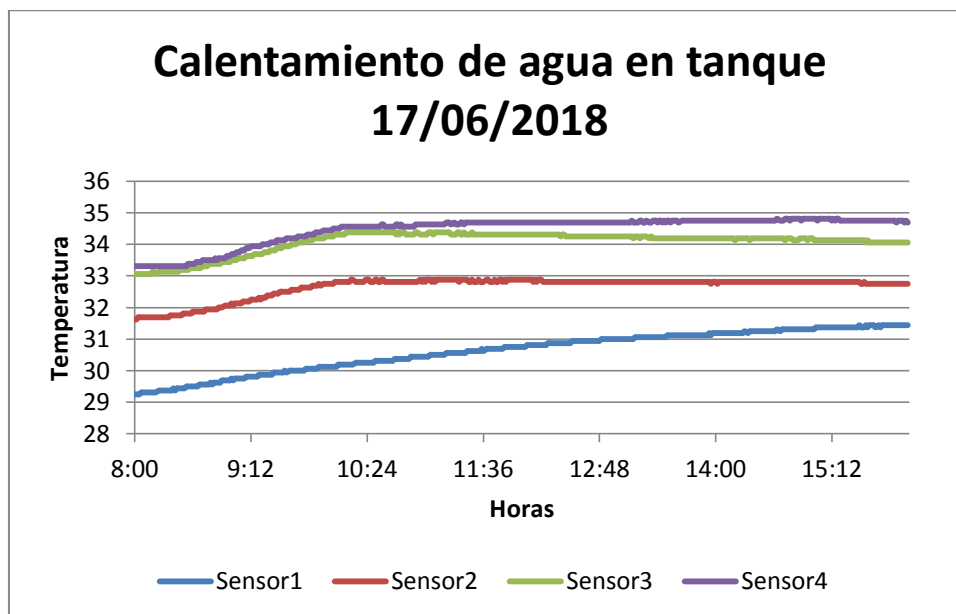




A.2 Gráficos y datos obtenidos del sistema de monitoreo

Serie de datos del día 17 de Junio de 2018

Fecha	Hora	Sensor1	Sensor2	Sensor3	Sensor4	aguared	salida_colect	ent_colector	agua_servi	placa	Presion
17/06/2018	7:00	29,12	31,62	33	33,44	22,69	24,87	22,69	25,12	28,5	0,05
17/06/2018	7:16	29,06	31,56	32,94	33,38	23,19	24,56	23,12	25,12	31,81	0,05
17/06/2018	7:31	29,06	31,56	32,94	33,38	24,19	30,5	24,12	25,12	36,81	0,03
17/06/2018	7:47	29,19	31,62	32,94	33,38	25,62	34,94	25,94	25,12	41,94	0,04
17/06/2018	8:03	29,25	31,69	33,06	33,31	25,37	34,94	26,25	25,12	38,81	0,05
17/06/2018	8:19	29,37	31,69	33,13	33,31	25,81	34,63	26,44	25,12	39,56	0,07
17/06/2018	8:35	29,5	31,81	33,25	33,38	27,44	41,06	28,31	25,12	52,69	0,05
17/06/2018	8:50	29,62	31,94	33,38	33,56	28,31	45,75	28,62	25,25	55,31	0,04
17/06/2018	9:06	29,75	32,13	33,56	33,81	28,81	51,94	29,44	25,5	61,44	0,03
17/06/2018	9:22	29,87	32,38	33,75	34	29,06	53,88	29,37	25,69	67,75	0,04
17/06/2018	9:38	30	32,56	34	34,19	29,87	58,44	29,75	25,94	68,56	0,04
17/06/2018	9:53	30,06	32,69	34,19	34,38	30,69	63,13	31,06	26,19	86,62	0,04
17/06/2018	10:09	30,19	32,81	34,31	34,56	31,81	73,06	33,38	26,81	102,25	0,05
17/06/2018	10:25	30,25	32,88	34,38	34,56	31,56	61,88	34,19	27,12	95,5	0,04
17/06/2018	10:41	30,37	32,81	34,38	34,56	30,69	53,44	32,88	27,12	78,37	0,03
17/06/2018	10:57	30,44	32,88	34,31	34,63	31,5	49,06	33	27,06	93	0,03
17/06/2018	11:12	30,5	32,88	34,38	34,63	31,19	49,94	33,31	27,31	78,81	0,04
17/06/2018	11:28	30,62	32,81	34,31	34,69	30,25	46,19	32,5	27,25	68,94	0,04
17/06/2018	11:44	30,69	32,81	34,31	34,69	31,44	45,13	32,5	27,31	75,37	0,03
17/06/2018	12:00	30,75	32,88	34,31	34,69	31,06	46,38	32,69	27,44	71,87	0,04
17/06/2018	12:15	30,81	32,81	34,31	34,69	29,37	42,88	31,5	27,37	58,38	0,04
17/06/2018	12:31	30,94	32,81	34,25	34,69	29,06	39	30,81	27,37	57,38	0,04
17/06/2018	12:47	30,94	32,81	34,25	34,69	29,5	37,06	30,44	27,37	58,56	0,05
17/06/2018	13:03	31	32,81	34,25	34,69	28,94	36,44	30,69	27,44	59,5	0,04
17/06/2018	13:19	31,06	32,81	34,19	34,69	29,06	37	30,81	27,5	61,31	0,04
17/06/2018	13:34	31,12	32,81	34,19	34,75	28,75	36,81	30,62	27,5	60,25	0,04
17/06/2018	13:50	31,12	32,81	34,19	34,75	29,25	37,25	30,81	27,56	62,5	0,03
17/06/2018	14:06	31,19	32,81	34,19	34,75	30,06	38,69	30,94	27,62	67,87	0,05
17/06/2018	14:22	31,25	32,81	34,19	34,75	31	42,75	31,44	27,75	74,75	0,03
17/06/2018	14:37	31,25	32,81	34,19	34,75	30,19	43,56	31,25	27,75	71,87	0,04
17/06/2018	14:53	31,31	32,81	34,19	34,75	29,69	43,31	31,06	27,75	66,56	0,05
17/06/2018	15:09	31,37	32,81	34,13	34,81	29,25	40,94	30,69	27,81	60,63	0,04
17/06/2018	15:25	31,37	32,81	34,13	34,75	28	38,25	29,62	27,75	51,56	0,04
17/06/2018	15:41	31,44	32,75	34,06	34,75	27,06	34,81	28,56	27,56	45	0,04
17/06/2018	15:56	31,44	32,75	34,06	34,75	27,69	32,88	28,31	27,5	47,94	0,04

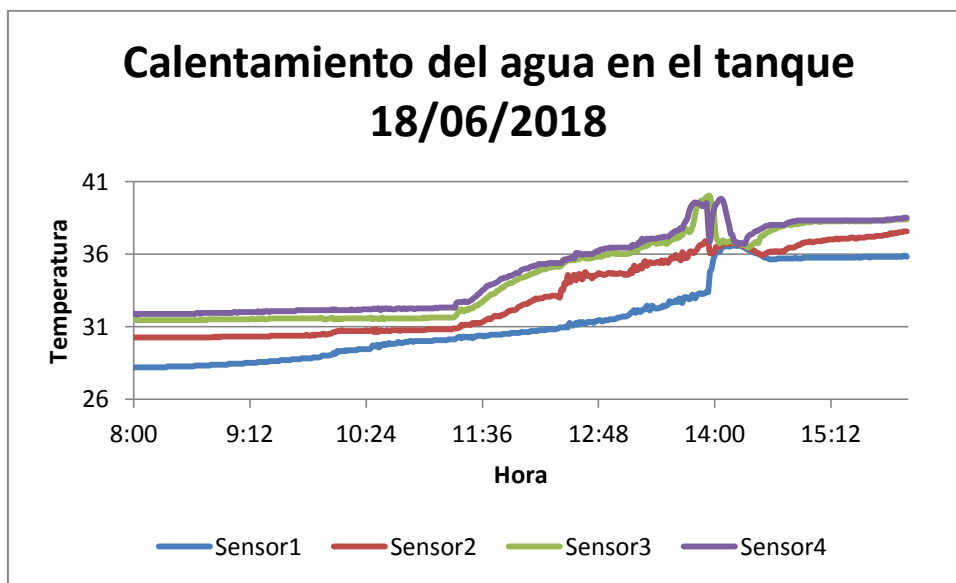


Serie de datos de la tarde noche del 17 y madrugada del 18 de Junio de 2018

Fecha	Hora	Sensor1	Sensor2	Sensor3	Sensor4	aguared	salida_colec	ent_colector	agua_servi	placa	Presion
17/06/2018	16:01	31,44	32,75	34,06	34,75	28	32,75	28,37	27,5	49,06	0,05
17/06/2018	16:16	31,44	32,75	34	34,69	28,12	32,5	28,31	27,44	49,81	0,05
17/06/2018	16:32	31,44	32,69	34	34,69	27,62	32,44	27,94	27,37	48	0,05
17/06/2018	16:48	31,44	32,69	33,94	34,69	27,19	31,87	27,69	27,31	45,88	0,05
17/06/2018	17:04	31,37	32,69	33,94	34,63	26,69	31	27,31	27,37	42,94	0,04
17/06/2018	17:19	31,37	32,63	33,88	34,63	26,44	29,94	27,12	27,44	39,44	0,03
17/06/2018	17:35	31,37	32,63	33,88	34,56	25,75	28,75	26,75	27,44	35,63	0,05
17/06/2018	17:51	31,31	32,56	33,81	34,56	24,5	26,62	26	27,37	32,31	0,04
17/06/2018	18:07	31,31	32,56	33,75	34,5	23,94	24,94	25,12	27,37	29,25	0,04
17/06/2018	18:23	31,25	32,5	33,75	34,44	23,62	24	24,5	27,37	26,5	0,04
17/06/2018	18:38	31,19	32,44	33,69	34,38	23,44	23,44	24,06	27,31	24,87	0,03
17/06/2018	18:54	31,12	32,44	33,63	34,31	23,25	23,19	23,75	27,25	23,94	0,05
17/06/2018	19:10	31,06	32,38	33,56	34,25	23,25	23	23,56	27,19	23,37	0,08
17/06/2018	19:26	31	32,31	33,56	34,25	23,06	22,75	23,37	27,19	22,87	0,05
17/06/2018	19:41	30,94	32,31	33,5	34,19	22,87	22,5	23,19	27,12	22,37	0,04
17/06/2018	19:57	30,87	32,25	33,44	34,13	22,75	22,31	22,94	27,06	21,94	0,04
17/06/2018	20:13	30,81	32,19	33,44	34,06	22,62	22,12	22,75	27	21,56	0,04
17/06/2018	20:29	30,75	32,13	33,38	34	22,75	22,19	22,62	26,94	21,44	0,05
17/06/2018	20:45	30,69	32,13	33,31	33,94	22,62	22,12	22,56	26,87	21,44	0,03
17/06/2018	21:00	30,62	32,06	33,25	33,88	22,75	22,25	22,56	26,81	21,44	0,01
17/06/2018	21:16	30,56	32,06	33,25	33,81	22,94	22,5	22,75	26,75	21,75	0,04
17/06/2018	21:32	30,5	32	33,19	33,75	22,94	22,62	22,87	26,69	22	0,07
17/06/2018	21:48	30,44	31,94	33,13	33,69	22,87	22,62	22,87	26,62	22,06	0,03
17/06/2018	22:03	30,37	31,87	33,06	33,63	22,62	22,5	22,81	26,44	22	0,07
17/06/2018	22:19	30,25	31,81	33	33,56	22,37	22,12	22,56	26,44	21,62	0,04
17/06/2018	22:35	30,19	31,81	33	33,5	22,19	21,87	22,31	26,37	21,31	0,04
17/06/2018	22:51	30,12	31,75	32,94	33,5	22,06	21,75	22,12	26,37	21	0,04
17/06/2018	23:07	30,06	31,69	32,88	33,38	21,94	21,56	21,94	26,31	20,87	0,04
17/06/2018	23:22	30	31,62	32,81	33,38	21,87	21,44	21,87	26,25	20,69	0,07
17/06/2018	23:38	29,94	31,62	32,81	33,31	21,75	21,31	21,69	26,19	20,5	0,04
17/06/2018	23:54	29,81	31,56	32,75	33,25	21,69	21,25	21,56	26,12	20,31	0,04
18/06/2018	0:10	29,75	31,5	32,69	33,19	21,69	21,25	21,5	26,12	20,31	0,03
18/06/2018	0:25	29,69	31,44	32,63	33,13	21,69	21,25	21,44	26,06	20,19	0,05
18/06/2018	0:41	29,62	31,37	32,56	33,06	21,69	21,25	21,37	26	20,25	0,04
18/06/2018	0:57	29,56	31,37	32,56	33	21,5	21,06	21,19	25,94	20	0,07
18/06/2018	1:13	29,5	31,31	32,5	32,94	21,31	20,87	21	25,87	19,62	0,04
18/06/2018	1:29	29,44	31,25	32,44	32,88	21,19	20,75	20,94	25,81	19,5	0,04
18/06/2018	1:44	29,37	31,19	32,38	32,81	21,06	20,62	20,87	25,75	19,31	0,05
18/06/2018	2:00	29,31	31,12	32,38	32,75	21,12	20,62	20,81	25,69	19,31	0,04
18/06/2018	2:16	29,25	31,06	32,31	32,69	20,94	20,62	20,75	25,62	19,31	0,03
18/06/2018	2:32	29,19	31,06	32,25	32,63	20,81	20,44	20,75	25,56	19,5	0,08
18/06/2018	2:47	29,06	31	32,19	32,63	20,75	20,25	20,62	25,5	19,37	0,04
18/06/2018	3:03	29	30,94	32,13	32,56	20,69	20,19	20,56	25,44	19,25	0,03
18/06/2018	3:19	28,94	30,87	32,06	32,5	20,62	20,19	20,5	25,37	19,06	0,05
18/06/2018	3:35	28,87	30,81	32	32,44	20,44	20	20,37	25,31	18,81	0,04
18/06/2018	3:51	28,81	30,75	31,94	32,38	20,31	19,81	20,19	25,25	18,5	0,05
18/06/2018	4:06	28,75	30,69	31,94	32,31	20,19	19,75	19,94	25,19	18,37	0,04
18/06/2018	4:22	28,69	30,62	31,87	32,25	20,12	19,69	19,87	25,12	18,31	0,05
18/06/2018	4:38	28,62	30,56	31,81	32,19	20,12	19,69	19,81	25,06	18,25	0,05
18/06/2018	4:54	28,56	30,5	31,75	32,13	20,12	19,81	19,81	25,06	18,37	0,07
18/06/2018	5:09	28,5	30,5	31,69	32,06	20,25	19,87	19,87	25	18,44	0,04
18/06/2018	5:25	28,37	30,44	31,62	32	20,31	19,94	19,81	24,94	18,62	0,05
18/06/2018	5:41	28,31	30,37	31,56	31,94	20,56	20,06	20	24,87	19,06	0,03
18/06/2018	5:57	28,25	30,31	31,5	31,94	20,75	20,25	20,19	24,87	19,94	0,04
18/06/2018	6:13	28,19	30,25	31,5	31,87	21,31	20,5	20,69	24,81	21,12	0,08
18/06/2018	6:28	28,19	30,25	31,44	31,81	22,19	20,87	21,56	24,87	22,19	0,01
18/06/2018	6:44	28,12	30,25	31,44	31,81	23,81	21,62	23,12	25	24,37	0,04

Serie de datos del día 18 de Junio de 2018

Fecha	Hora	Sensor1	Sensor2	Sensor3	Sensor4	aguared	salida_colect	ent_colector	agua_servi	placa	Presion
18/06/2018	7:00	28,12	30,25	31,44	31,81	24,81	22,44	24,62	25,06	26,69	0,04
18/06/2018	7:16	28,12	30,25	31,44	31,81	26,12	23,44	26,62	25,12	31,06	0,07
18/06/2018	7:31	28,12	30,25	31,44	31,81	27,37	24,62	28,31	25,19	35,06	0,03
18/06/2018	7:47	28,12	30,25	31,44	31,81	28,56	26,56	30,25	25,25	43,06	0,04
18/06/2018	8:03	28,19	30,25	31,44	31,87	29,94	29,19	32,19	25,25	52	0,04
18/06/2018	8:19	28,19	30,25	31,44	31,87	30,12	32,19	32,19	25,31	57,5	0,05
18/06/2018	8:34	28,25	30,25	31,44	31,87	30,81	36	33,19	25,5	69,44	0,04
18/06/2018	8:50	28,37	30,31	31,5	31,94	31,75	41,13	34,75	25,62	78,62	0,04
18/06/2018	9:06	28,44	30,31	31,5	32	31,25	45,88	35,56	25,94	88,69	0,05
18/06/2018	9:22	28,56	30,31	31,5	32,06	31,87	50,06	35,69	26,31	91,87	0,01
18/06/2018	9:38	28,75	30,37	31,56	32,06	32,38	52,38	36	26,69	98,94	0,03
18/06/2018	9:53	28,87	30,44	31,56	32,13	32,69	59,19	36,63	27,06	102,31	0,01
18/06/2018	10:09	29,31	30,75	31,5	32,13	33,13	74,56	42,13	27,5	95,44	0,05
18/06/2018	10:25	29,44	30,69	31,56	32,19	33,25	64,06	37,63	27,69	95,31	0
18/06/2018	10:40	29,81	30,75	31,56	32,19	33,06	63,56	35,81	27,81	87,62	0,01
18/06/2018	10:56	30	30,75	31,56	32,25	32,19	58,69	34,94	27,81	92,94	0,03
18/06/2018	11:12	30,06	30,81	31,62	32,31	32,94	65,31	35,25	28,06	91,25	0,04
18/06/2018	11:28	30,25	31,12	32,25	32,75	35,88	87,31	34	28,31	95,19	0,04
18/06/2018	11:44	30,44	31,75	33,31	34	34,63	73,19	31,87	28,37	83,5	0,04
18/06/2018	11:59	30,56	32,38	34,31	34,75	34,06	65,19	32,13	28,44	86,87	0,07
18/06/2018	12:15	30,75	33,06	34,94	35,31	35,19	79,31	33,94	28,69	103,31	0,03
18/06/2018	12:31	31,12	34,13	35,56	35,69	35,5	95,62	35,25	28,94	109,12	0,04
18/06/2018	12:47	31,37	34,56	35,81	36,19	34,56	80,87	33,63	29	93,5	0,07
18/06/2018	13:03	31,69	34,63	36	36,44	35,19	90	38,31	29,12	106,37	0,04
18/06/2018	13:18	32,44	35,19	36,56	37,06	34,94	91,62	34,88	29,19	105,25	0,04
18/06/2018	13:34	32,69	35,69	37,13	37,44	35,56	93,87	37,88	34,75	105,87	0,03
18/06/2018	13:50	33,25	36,5	39,44	39,5	35,69	64	33,44	36,13	89,31	0,08
18/06/2018	14:06	36,5	36,69	36,88	39,38	31,81	63,31	34,44	34,31	85,31	0,03
18/06/2018	14:21	36,25	36,38	36,44	37,25	32,44	64,12	35,5	32,69	85,5	0,04
18/06/2018	14:37	35,63	36,19	37,69	38	32,75	52,44	34,75	31,69	62,81	0,04
18/06/2018	14:53	35,69	36,63	38,13	38,31	32,19	48,56	33,56	31,06	52,19	0,04
18/06/2018	15:09	35,75	36,94	38,25	38,31	31,94	40,75	32,31	30,56	45,25	0,04
18/06/2018	15:25	35,75	37,13	38,31	38,31	31,5	38,63	31,75	30,62	42,56	0,07
18/06/2018	15:40	35,81	37,25	38,31	38,31	34	43,56	31,75	30,44	54,75	0,03
18/06/2018	15:56	35,81	37,5	38,38	38,44	33,88	44,44	32,13	33,56	47,75	0,04

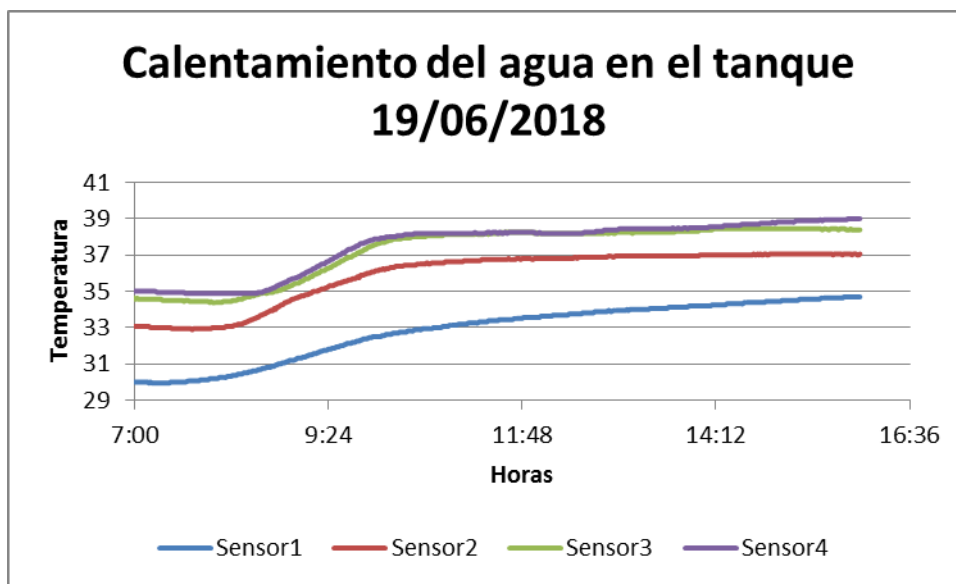


Serie de datos de la tarde noche del 18 y madrugada del 19 de Junio de 2018

Fecha	Hora	Sensor1	Sensor2	Sensor3	Sensor4	aguared	salida_colect	ent_colector	agua_servi	placa	Presion
18/06/2018	16:00	35,88	37,56	38,38	38,5	32,69	42,19	32	33,44	45,19	0,04
18/06/2018	16:16	35,88	37,63	38,44	38,5	32,25	39,5	31,5	32,56	42,38	0,05
18/06/2018	16:32	35,94	37,63	38,44	38,5	31	36,38	31	31,69	38	0,05
18/06/2018	16:48	35,94	37,56	38,38	38,44	32,13	35,75	30,62	31,06	40,56	0,04
18/06/2018	17:04	35,94	37,56	38,38	38,44	31,44	35,44	30,31	30,69	36,94	0,05
18/06/2018	17:20	35,94	37,44	38,31	38,38	29,81	32,81	29,56	30,37	34,06	0
18/06/2018	17:35	35,94	37,38	38,25	38,31	28,87	30,94	28,81	30,19	31,44	0,05
18/06/2018	17:51	35,88	37,31	38,19	38,25	27,94	30,62	28,06	30	29,5	0,03
18/06/2018	18:07	35,81	37,25	38,13	38,19	27,19	30,69	27,44	29,87	27,62	0,05
18/06/2018	18:23	35,75	37,19	38	38,13	26,56	30,94	26,81	29,81	25,94	0,05
18/06/2018	18:39	35,69	37,13	37,94	38,13	26,19	31,25	26	29,69	24,69	0,04
18/06/2018	18:54	35,56	37	37,88	38,06	25,87	31,44	25,25	29,56	24,12	0,08
18/06/2018	19:10	35,5	36,94	37,81	38	25,69	31,44	24,75	29,5	23,75	0,04
18/06/2018	19:26	35,38	36,88	37,75	37,94	25,5	31,31	24,31	29,44	23,5	0,05
18/06/2018	19:42	35,25	36,81	37,69	37,88	25,25	31,12	24	29,31	23,19	0,05
18/06/2018	19:58	35,19	36,75	37,63	37,81	25,06	31	23,62	29,25	22,81	0,05
18/06/2018	20:13	35,06	36,63	37,56	37,75	24,94	30,87	23,37	29,12	22,56	0,07
18/06/2018	20:29	34,94	36,56	37,5	37,69	24,87	30,94	23,25	29,06	22,56	0,05
18/06/2018	20:45	34,81	36,5	37,44	37,63	24,87	30,87	23,12	28,94	22,62	0,05
18/06/2018	21:01	34,75	36,44	37,38	37,56	24,62	30,56	23	28,87	22,5	0,05
18/06/2018	21:17	34,63	36,38	37,31	37,5	24,56	30,5	22,87	28,81	22,37	0,05
18/06/2018	21:32	34,5	36,31	37,25	37,44	24,37	30,25	22,81	28,69	22,12	0,03
18/06/2018	21:48	34,38	36,19	37,13	37,38	24,25	30,25	22,62	28,62	21,81	0,05
18/06/2018	22:04	34,25	36,13	37,06	37,31	24,19	30,31	22,37	28,5	21,75	0,04
18/06/2018	22:20	34,19	36,06	37	37,25	24,12	29,94	22,62	28,19	22,31	0,05
18/06/2018	22:35	34,06	36	36,94	37,19	23,56	29,56	22,69	28,06	22,62	0,07
18/06/2018	22:51	33,94	35,88	36,88	37,13	22,94	28,94	22,44	28,06	22,12	0,04
18/06/2018	23:07	33,75	35,81	36,81	37,06	22,62	28,75	22,12	28	21,69	0,04
18/06/2018	23:23	33,63	35,75	36,75	37	22,81	28,75	22,06	27,75	21,62	0,04
18/06/2018	23:39	33,5	35,63	36,69	36,94	22,69	28,87	22	27,69	21,56	0,05
18/06/2018	23:54	33,38	35,56	36,56	36,81	22,37	28,81	21,81	27,62	21,37	0,04
19/06/2018	0:10	33,25	35,44	36,5	36,75	22,37	28,75	21,69	27,56	21,25	0,04
19/06/2018	0:26	33,13	35,38	36,44	36,69	21,56	27,75	21,19	27,44	20,87	0,05
19/06/2018	0:42	33	35,25	36,38	36,63	20,37	26,87	20,5	27,37	20,44	0,07
19/06/2018	0:58	32,81	35,19	36,25	36,56	19,81	26,56	20,06	27,25	20,12	0,05
19/06/2018	1:13	32,69	35,06	36,19	36,5	19,62	26,44	19,87	27,12	19,94	0,04
19/06/2018	1:29	32,5	34,94	36,13	36,44	19,56	26,44	19,87	27	19,87	0,07
19/06/2018	1:45	32,38	34,88	36	36,31	19,44	26,44	19,75	26,94	19,56	0,07
19/06/2018	2:01	32,19	34,75	35,94	36,25	19,5	26,44	19,69	26,81	19,37	0,04
19/06/2018	2:17	32,06	34,63	35,88	36,19	19,62	26,56	19,62	26,75	19,37	0,05
19/06/2018	2:32	31,87	34,56	35,81	36,13	19,75	26,75	19,62	26,62	19,37	0,03
19/06/2018	2:48	31,75	34,44	35,69	36,06	19,75	26,69	19,62	26,56	19,37	0,05
19/06/2018	3:04	31,62	34,38	35,63	36	19,69	26,56	19,5	26,44	19,19	0,04
19/06/2018	3:20	31,5	34,25	35,56	35,88	19,62	26,44	19,25	26,37	18,81	0,05
19/06/2018	3:35	31,31	34,19	35,5	35,81	19,62	26,56	19,06	26,25	18,44	0,05
19/06/2018	3:51	31,19	34,06	35,44	35,75	19,69	26,69	18,94	26,19	18,5	0,08
19/06/2018	4:07	31,06	34	35,31	35,69	19,75	26,62	19,06	26,12	18,81	0,05
19/06/2018	4:23	30,94	33,88	35,25	35,63	20	26,75	19,25	26	19,19	0,04
19/06/2018	4:39	30,87	33,81	35,19	35,56	20,12	26,69	19,44	25,94	19,5	0,05
19/06/2018	4:54	30,75	33,69	35,13	35,5	20,25	26,75	19,75	25,87	19,62	0,03
19/06/2018	5:10	30,62	33,63	35,06	35,44	20,37	26,69	19,87	25,81	19,81	0,04
19/06/2018	5:26	30,5	33,56	35	35,38	20,5	26,62	20,06	25,75	20	0,03
19/06/2018	5:42	30,44	33,44	34,94	35,31	20,56	26,56	20,19	25,69	20,31	0,07
19/06/2018	5:57	30,31	33,38	34,81	35,25	20,81	26,56	20,44	25,62	21,19	0,04
19/06/2018	6:13	30,25	33,31	34,75	35,19	21,12	26,44	20,81	25,56	22,75	0,03
19/06/2018	6:29	30,12	33,25	34,69	35,13	21,56	26,25	21,37	25,62	24,5	0,04
19/06/2018	6:45	30,06	33,19	34,63	35,06	22,06	25,81	21,94	25,69	26,69	0,05

Serie de datos del día 19 de Junio de 2018

Fecha	Hora	Sensor1	Sensor2	Sensor3	Sensor4	aguared	salida_colect	ent_colector	agua_servi	placa	Presion
19/06/2018	7:00	30	33,06	34,63	35	22,31	25,37	22,25	25,69	28,62	0,05
19/06/2018	7:15	29,94	33	34,56	35	22,69	24,81	22,56	25,75	32,19	0,01
19/06/2018	7:31	30	32,94	34,5	34,94	22,94	29,5	22,69	25,75	34,38	0,05
19/06/2018	7:47	30,06	32,94	34,44	34,88	23,5	32	23,5	25,81	37,63	0,05
19/06/2018	8:03	30,25	33	34,38	34,88	24,5	33,94	24,56	25,75	41,13	0,05
19/06/2018	8:18	30,44	33,19	34,56	34,88	26,37	40,81	26,69	25,81	51,88	0,08
19/06/2018	8:34	30,69	33,69	34,88	34,94	27,75	44,63	28,44	25,81	57,44	0,04
19/06/2018	8:50	31,06	34,25	35,13	35,44	28,69	50	29,75	25,87	64,75	0,04
19/06/2018	9:06	31,37	34,75	35,63	35,94	29,5	53,25	30,37	26,06	68,81	0,04
19/06/2018	9:22	31,75	35,19	36,19	36,56	30	56	30,87	26,37	72,12	0,03
19/06/2018	9:37	32,06	35,56	36,81	37,19	30,5	59,5	31,31	26,69	75,62	0,07
19/06/2018	9:53	32,38	36	37,38	37,75	31,19	66	32,31	26,94	83,37	0,04
19/06/2018	10:09	32,63	36,25	37,81	38	30,44	58,56	30,94	27,06	62,13	0,04
19/06/2018	10:25	32,81	36,44	37,94	38,13	30,06	50	30	27,12	54	0,03
19/06/2018	10:41	32,94	36,56	38,06	38,19	29,62	45	29,87	27,12	48,63	0,05
19/06/2018	10:56	33,13	36,63	38,13	38,19	29,25	42,19	29,87	27,12	47,63	0,05
19/06/2018	11:12	33,25	36,69	38,13	38,19	29	42,06	29,94	27,19	48,25	0
19/06/2018	11:28	33,38	36,75	38,19	38,25	28,94	42,06	30	28,56	47,19	0,05
19/06/2018	11:44	33,5	36,81	38,25	38,25	29	41,13	29,87	34,13	44,88	0,07
19/06/2018	12:00	33,56	36,81	38,19	38,19	28,94	39,38	29,5	31,81	43,5	0,04
19/06/2018	12:16	33,69	36,81	38,19	38,19	28,87	39,44	29,44	30,37	45	0,05
19/06/2018	12:31	33,75	36,88	38,19	38,19	29,69	45,06	30,06	29,44	53,69	0,04
19/06/2018	12:47	33,88	36,88	38,19	38,31	29,87	48,75	30,69	28,94	56,38	0,04
19/06/2018	13:03	33,94	36,94	38,25	38,44	29,69	46,38	30,5	28,5	51,38	0,07
19/06/2018	13:19	34	36,94	38,25	38,44	30	44,69	30,31	28,31	50,81	0,08
19/06/2018	13:34	34,06	36,94	38,25	38,44	30	44	30,19	28,19	52,25	0,04
19/06/2018	13:50	34,13	36,94	38,31	38,5	30,56	45,06	30,5	28,06	66,12	0,04
19/06/2018	14:06	34,19	37	38,38	38,5	33,56	62,94	32,44	28,19	92,37	0,04
19/06/2018	14:22	34,31	37	38,44	38,63	34,31	62,44	32,75	28,37	89,31	0,04
19/06/2018	14:38	34,38	37	38,44	38,69	33,31	58,44	32,44	28,37	89,56	0,04
19/06/2018	14:53	34,44	37,06	38,44	38,75	34,13	60,06	32,88	28,44	92	0,04
19/06/2018	15:09	34,5	37,06	38,44	38,81	35,88	57,06	32,81	28,5	85,44	0,03
19/06/2018	15:25	34,56	37,06	38,44	38,88	34,5	52,31	32,06	28,44	76,94	0,03
19/06/2018	15:41	34,63	37,06	38,44	38,94	34,63	50,69	31,87	28,44	76,19	0,04
19/06/2018	15:57	34,69	37	38,38	39	34,88	50,88	31,94	28,5	76,19	0,03



Serie de datos de la tarde noche del 19 y madrugada del 20 de Junio de 2018


Fecha	Hora	Sensor1	Sensor2	Sensor3	Sensor4	aguared	salida_colect	ent_colector	agua_servi	placa	Presion
19/06/2018	16:00	34,69	37,06	38,38	39	34,56	51,19	31,81	28,5	74,06	0,04
19/06/2018	16:16	34,75	37	38,38	39	31,56	47,63	30,69	28,5	64,37	0,04
19/06/2018	16:31	34,81	37	38,31	39	30,06	43,06	29,81	28,44	57,19	0,03
19/06/2018	16:47	34,81	36,94	38,31	39	28,81	38,19	28,87	28,5	47,81	0,07
19/06/2018	17:03	34,81	36,88	38,25	38,94	27,69	33,25	27,81	28,44	39,94	0,05
19/06/2018	17:19	34,75	36,81	38,19	38,88	26,87	29,94	27	28,44	35,38	0,04
19/06/2018	17:34	34,75	36,75	38,13	38,81	26,31	27,94	26,5	28,44	32,19	0,04
19/06/2018	17:50	34,69	36,69	38,06	38,69	25,75	27	26	28,44	29,62	0,03
19/06/2018	18:06	34,63	36,63	38	38,63	25,25	26,12	25,62	28,37	27,62	0,05
19/06/2018	18:22	34,56	36,56	37,94	38,5	25	25,31	25,37	28,37	26,12	0,05
19/06/2018	18:38	34,5	36,44	37,88	38,38	24,75	25,81	25,19	28,31	25	0,07
19/06/2018	18:53	34,44	36,38	37,81	38,31	24,62	26,37	24,94	28,25	24,25	0,04
19/06/2018	19:09	34,31	36,31	37,75	38,19	24,44	26,37	24,56	28,19	23,62	0,05
19/06/2018	19:25	34,25	36,25	37,69	38,13	24,25	26,44	24,19	28,12	23,12	0,05
19/06/2018	19:41	34,19	36,19	37,63	38	24,06	26,37	23,75	28,06	22,69	0,03
19/06/2018	19:57	34,06	36,13	37,56	37,88	23,87	26,25	23,37	27,94	22,12	0,05
19/06/2018	20:12	34	36,06	37,44	37,81	23,75	26,19	22,94	27,87	21,69	0,04
19/06/2018	20:28	33,88	36	37,38	37,69	23,69	26,25	22,75	27,81	21,5	0,04
19/06/2018	20:44	33,81	35,88	37,31	37,63	23,56	26,19	22,62	27,75	21,44	0,04
19/06/2018	21:00	33,69	35,81	37,25	37,56	23,44	26,12	22,56	27,62	21,44	0,05
19/06/2018	21:16	33,56	35,75	37,13	37,44	23,31	26	22,37	27,56	21,31	0,05
19/06/2018	21:31	33,5	35,69	37,06	37,38	23,19	25,94	22,19	27,5	21,06	0,04
19/06/2018	21:47	33,38	35,63	37	37,25	23,06	25,75	21,94	27,44	20,69	0,03
19/06/2018	22:03	33,25	35,56	36,94	37,19	23	25,81	21,81	27,37	20,56	0,01
19/06/2018	22:19	33,19	35,44	36,81	37,06	22,81	25,69	21,56	27,25	20,19	0,04
19/06/2018	22:34	33,06	35,38	36,75	37	22,56	25,44	21,25	27,19	19,81	0,04
19/06/2018	22:50	32,94	35,31	36,63	36,88	22,44	25,37	20,94	27,12	19,56	0,04
19/06/2018	23:06	32,88	35,25	36,56	36,81	22,19	25,37	20,62	27,06	19,44	0,04
19/06/2018	23:22	32,75	35,19	36,5	36,75	21,94	25,06	20,44	26,94	19,31	0,07
19/06/2018	23:38	32,69	35,06	36,38	36,63	21,62	24,81	20,25	26,87	19,12	0,04
19/06/2018	23:53	32,56	35	36,31	36,56	21,5	24,62	20,19	26,81	18,94	0,01
20/06/2018	0:09	32,44	34,94	36,25	36,44	21,37	24,56	20	26,75	19	0,04
20/06/2018	0:25	32,38	34,81	36,13	36,38	21,25	24,44	19,81	26,69	18,69	0,05
20/06/2018	0:41	32,25	34,75	36,06	36,25	21	24,25	19,5	26,62	18,44	0,03
20/06/2018	0:57	32,13	34,69	36	36,19	20,75	24,12	19,25	26,5	18,06	0,04
20/06/2018	1:12	32,06	34,56	35,88	36,13	20,56	24	19,06	26,44	18	0,03
20/06/2018	1:28	31,94	34,5	35,81	36	20,37	23,87	18,87	26,37	17,69	0,04
20/06/2018	1:44	31,81	34,44	35,75	35,94	20,31	23,75	18,75	26,31	17,75	0,01
20/06/2018	2:00	31,75	34,31	35,63	35,81	20,25	23,69	18,69	26,19	17,75	0,04
20/06/2018	2:15	31,62	34,25	35,56	35,75	20,12	23,62	18,56	26,12	17,56	0,05
20/06/2018	2:31	31,5	34,19	35,44	35,69	20,12	23,56	18,44	26,06	17,69	0,04
20/06/2018	2:47	31,44	34,06	35,38	35,56	20,12	23,56	18,37	25,94	17,56	0,03
20/06/2018	3:03	31,31	34	35,31	35,5	19,94	23,44	18,44	25,87	17,37	0,04
20/06/2018	3:19	31,19	33,88	35,19	35,38	20,19	23,75	18,37	25,81	17,56	0
20/06/2018	3:34	31,12	33,81	35,13	35,31	20,37	23,94	18,69	25,75	17,87	0,04
20/06/2018	3:50	31	33,75	35,06	35,19	20,44	23,87	18,69	25,62	17,75	0,05
20/06/2018	4:06	30,87	33,69	35	35,13	20,37	23,75	18,87	25,56	17,69	0,04
20/06/2018	4:22	30,81	33,56	34,88	35,06	20,37	23,75	18,87	25,5	17,75	0,05
20/06/2018	4:38	30,69	33,5	34,81	35	20,75	24,06	19,12	25,44	18,19	0,04
20/06/2018	4:53	30,62	33,44	34,69	34,88	21	24,19	19,44	25,44	18,81	0,03
20/06/2018	5:09	30,56	33,31	34,63	34,81	20,81	23,81	19,69	25,37	18,94	0,05
20/06/2018	5:25	30,44	33,25	34,56	34,75	20,62	23,56	19,62	25,31	18,75	0,04
20/06/2018	5:41	30,37	33,19	34,5	34,69	20,5	23,44	19,5	25,25	18,87	0,04
20/06/2018	5:56	30,25	33,06	34,44	34,56	20,62	23,44	19,75	25,25	19,62	0,03
20/06/2018	6:12	30,19	33	34,38	34,56	21,69	23,69	20,69	25,19	21	0,05
20/06/2018	6:28	30,12	33	34,31	34,5	22,5	24,06	21,69	25,19	23	0,13
20/06/2018	6:44	30,06	32,88	34,25	34,44	23	24,56	22,44	25,25	26,44	0,01

Comportamiento del colector solar del día 18 de Junio de 2018

Hora	salida_colect	ent_colector	placa
7:00	22,44	24,62	26,69
7:16	23,44	26,62	31,06
7:31	24,62	28,31	35,06
7:47	26,56	30,25	43,06
8:03	29,19	32,19	52
8:19	32,19	32,19	57,5
8:34	36	33,19	69,44
8:50	41,13	34,75	78,62
9:06	45,88	35,56	88,69
9:22	50,06	35,69	91,87
9:38	52,38	36	98,94
9:53	59,19	36,63	102,31
10:09	74,56	42,13	95,44
10:25	64,06	37,63	95,31
10:40	63,56	35,81	87,62
10:56	58,69	34,94	92,94
11:12	65,31	35,25	91,25
11:28	87,31	34	95,19
11:44	73,19	31,87	83,5
11:59	65,19	32,13	86,87
12:15	79,31	33,94	103,31
12:31	95,62	35,25	109,12
12:47	80,87	33,63	93,5
13:03	90	38,31	106,37
13:18	91,62	34,88	105,25
13:34	93,87	37,88	105,87
13:50	64	33,44	89,31
14:06	63,31	34,44	85,31
14:21	64,12	35,5	85,5
14:37	52,44	34,75	62,81
14:53	48,56	33,56	52,19
15:09	40,75	32,31	45,25
15:25	38,63	31,75	42,56
15:40	43,56	31,75	54,75
15:56	44,44	32,13	47,75

A.3 Autorización de la Unidad de Desarrollo Físico para la instalación del equipo

P/Fluorid



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
UNIDAD DE DESARROLLO FISICO

Ciudad Universitaria, 22 de marzo de 2018.

Dra. Marisa Nataly Hernández de Palacios.
Directora de Bienestar Universitario


En relación a nota recibida sobre la solicitud de un dictamen técnico para evaluar el techo de fisioterapia, para estructura de soporte para la instalación del colector solar, diseñado por estudiantes de ingeniería mecánica de esta Universidad; le manifestamos lo siguiente:


- La cubierta de techo no será intervenida.
- La estructura de soporte se instalará de tal forma que la carga será transmitida directamente a las paredes.
- La estructura de soporte estará compuesta por 3 vigas, conformadas por perfiles laminados (polín C de 6") encajuelados. (Se anexa esquema de estructura de soporte)
- El claro máximo será de 2.92 metros. (Por ser un área irregular)
- El número de vigas será de tres y estarán libremente apoyadas.
- La estructura de montaje del colector y el tanque de agua será una sola; y esta se colocará con pernos sobre las vigas propuestas; de tal forma que será una estructura desmontable.
- Se recomienda a los estudiantes reforzar la estructura del tanque con tensores a ambos lados del elemento estructural.

Sin más sobre el particular atentamente,

Ing. Oscar Cruz

Arq. Raúl A. Fabián


 Vo.Bo. Ing. Jorge William Ortiz Sánchez
 Jefe Unidad de Desarrollo Físico.



Hacia la libertad por la cultura.

1/2

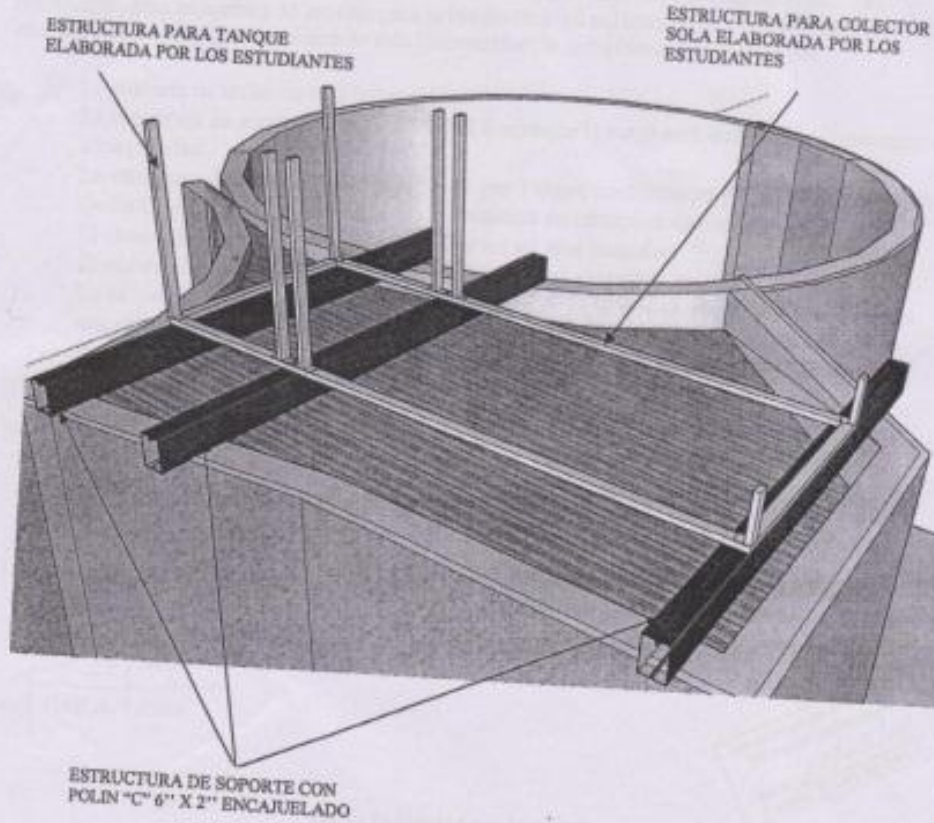
EDIFICIO DE OFICINAS CENTRALES, 3er. NIVEL
CIUDAD UNIVERSITARIA, "FINAL AVENIDA MARTIRES ESTUDIANTES DEL 30 DE JULIO" SAN SALVADOR, EL SALVADOR TELEFAX (503) 22261667-25112070



Universidad de El Salvador
UNIVERSITY OF EL SALVADOR

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR UNIDAD DE DESARROLLO FISICO

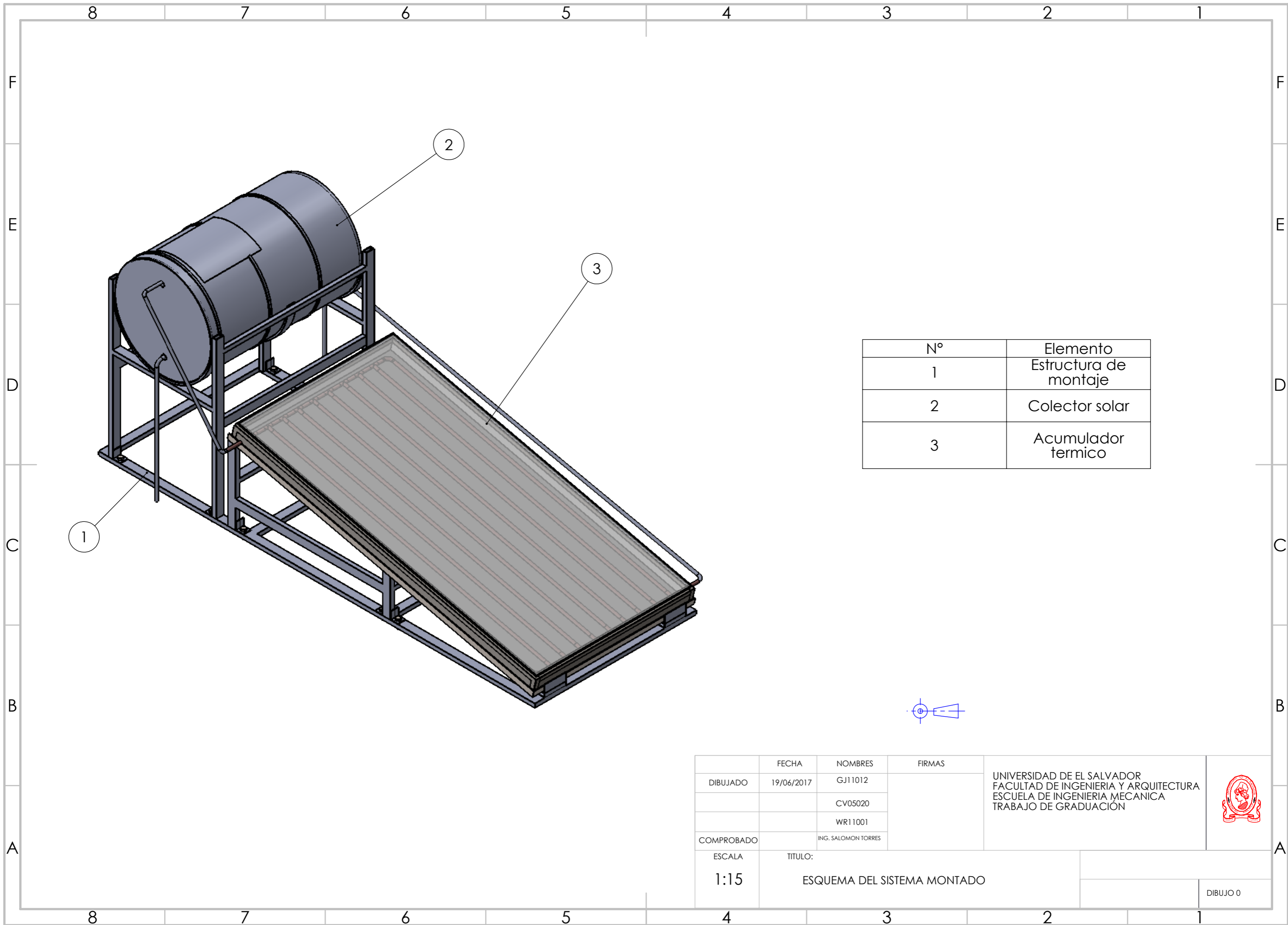
ESQUEMA DE ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA ESTRUCTURA DE COLECTOR SOLAR.



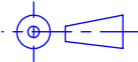
2/2

EDIFICIO DE OFICINAS CENTRALES, 3er. NIVEL
CIUDAD UNIVERSITARIA, "FINAL AVENIDA MARTIRES ESTUDIANTES DEL 30 DE JULIO" SAN
SALVADOR, EL SALVADOR TELEFAX (503) 22261667-25112070

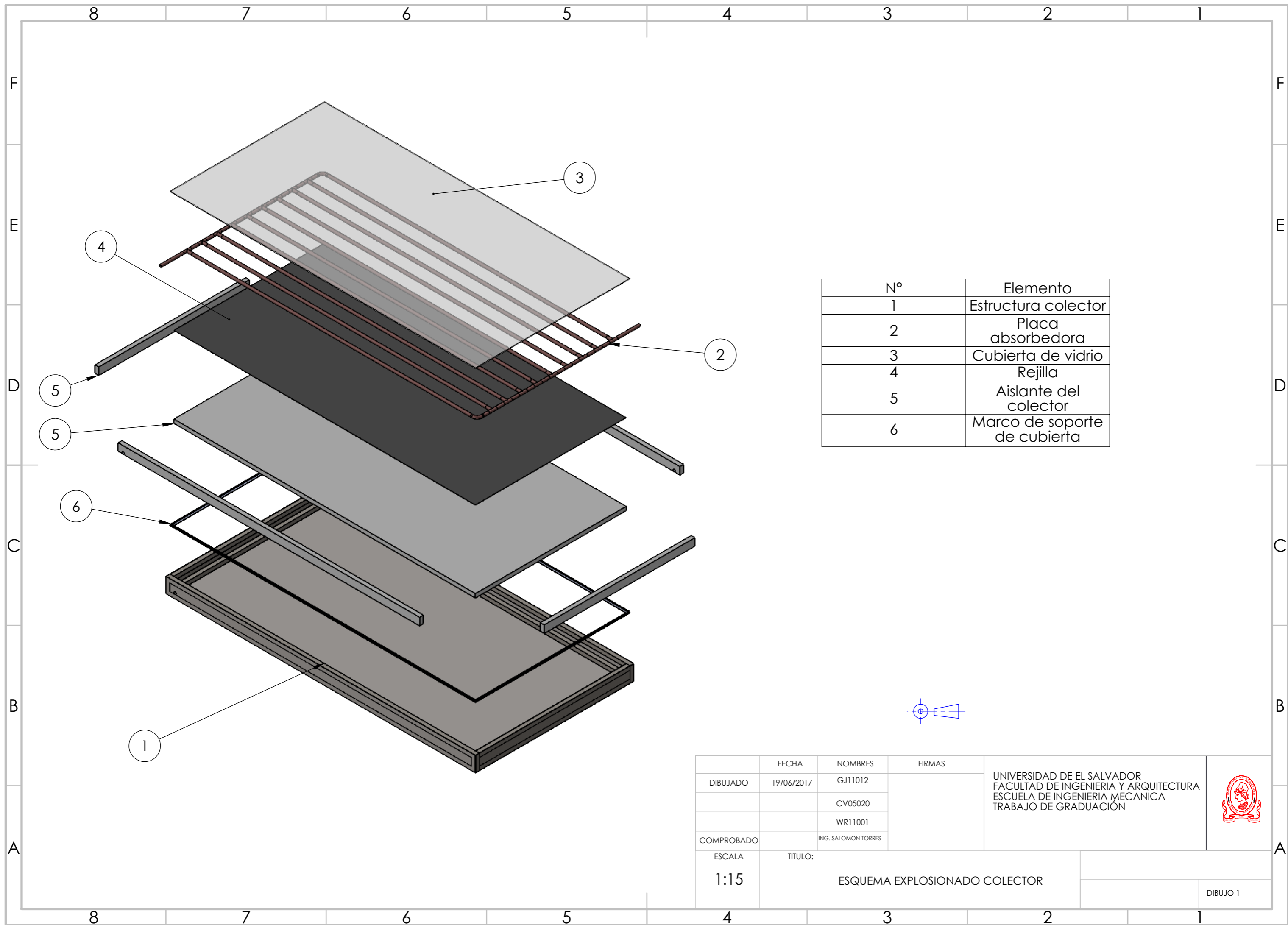
A.4 Planos de construcción




N°	Elemento
1	Estructura de montaje
2	Colector solar
3	Acumulador termico



DIBUJADO	FECHA 19/06/2017	NOMBRES GJ11012 CV05020 WR11001	FIRMAS	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA TRABAJO DE GRADUACION	
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES			
ESCALA 1:15	TITULO: ESQUEMA DEL SISTEMA MONTADO				
					DIBUJO 0



N°	Elemento
1	Estructura colector
2	Placa absorbadora
3	Cubierta de vidrio
4	Rejilla
5	Aislante del colector
6	Marco de soporte de cubierta

DIBUJADO	FECHA	NOMBRES	FIRMAS	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA TRABAJO DE GRADUACION	
	19/06/2017	GJ11012			
		CV05020			
COMPROBADO		WR11001			
		ING. SALOMON TORRES			
ESCALA	TITULO:				
1:15	ESQUEMA EXPLOSIONADO COLECTOR				
					DIBUJO 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

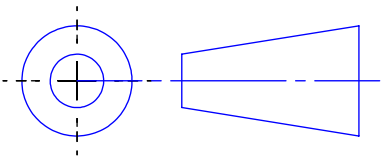
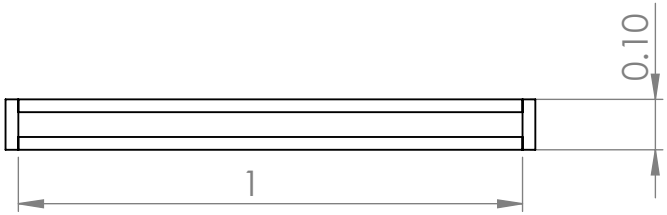
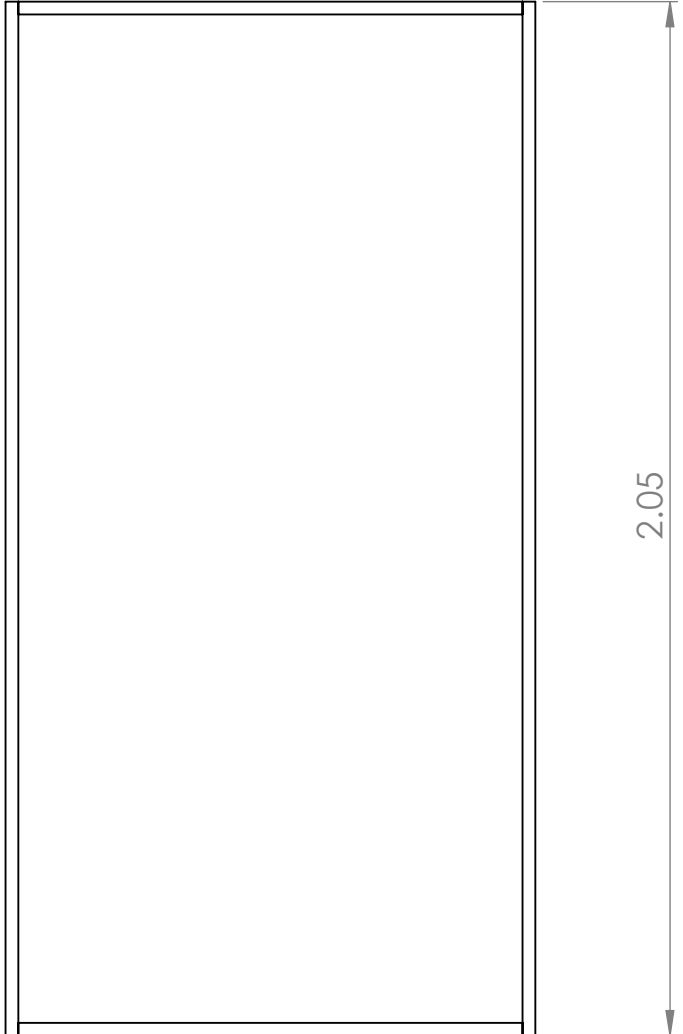
D


C

C

B

B



	FECHA	NOMBRES	FIRMAS	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA TRABAJO DE GRADUACION	
DIBUJADO	19/10/2017	GJ11012			
		CV05012			
		WR11001			
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES			

A

A

ESCALA
1:15

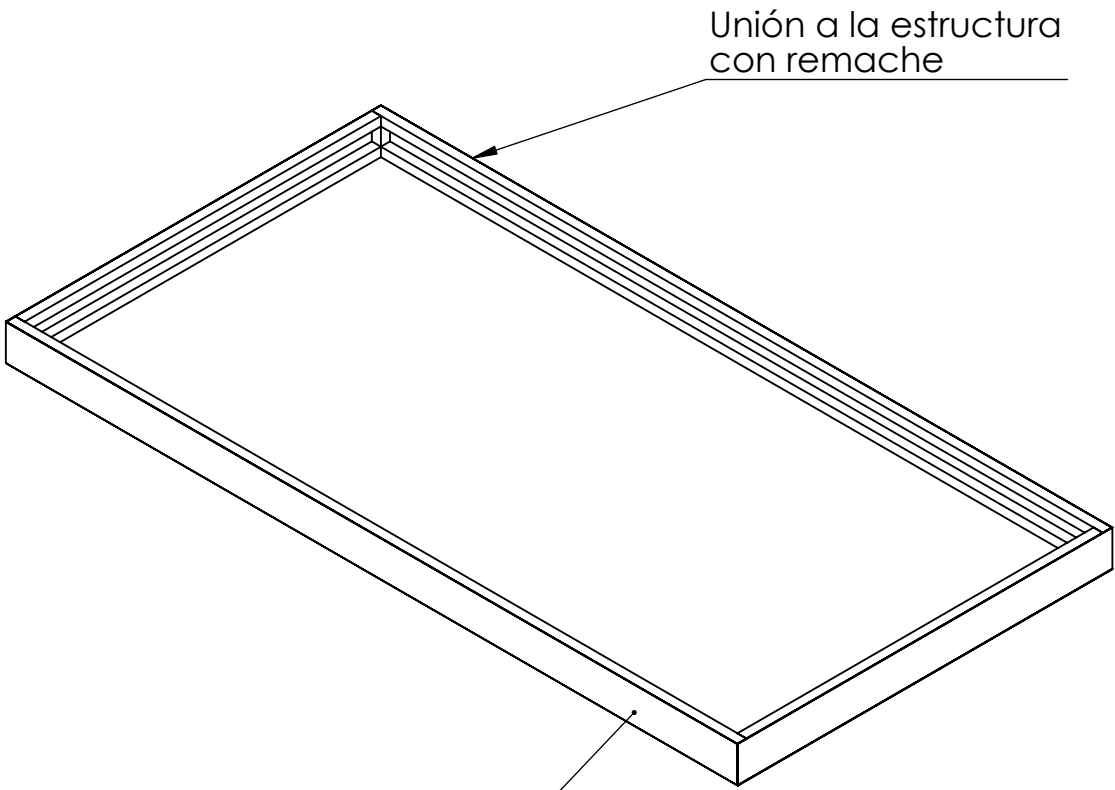
TITULO:
ESTRUCTURA DEL COLECTOR

MATERIAL ANGULO ACERO 1 PULG

MEDIDAS EN M

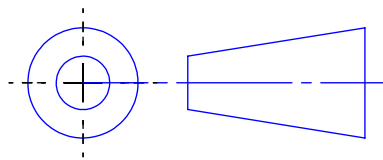
DIBUJO 2


4 3 2 1

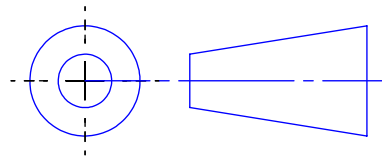
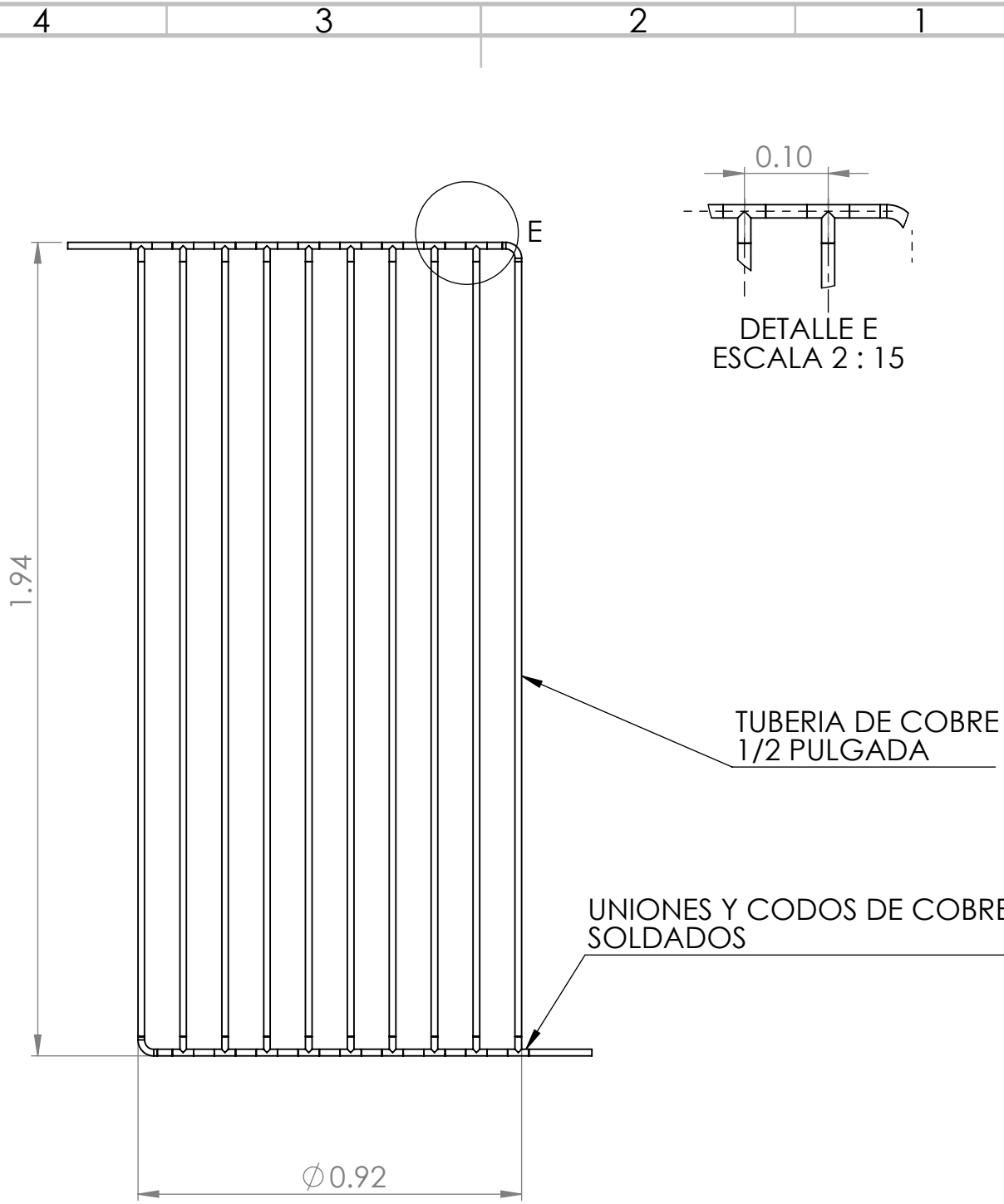



Lamina de acero 1mm

Unión a la estructura con remache



	FECHA	NOMBRES	FIRMAS	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA TRABAJO DE GRADUACION	
DIBUJADO	19/10/2017	GJ11012			
		CV05012			
		WR11001			
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES			
ESCALA	TITULO:				
1:15	Estructura con lamina				
					DIBUJO 3



	FECHA	NOMBRES	FIRMAS	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA TRABAJO DE GRADUACION	
DIBUJADO	19/10/2017	GJ11012			
		CV05012			
		WR11001			
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES			
ESCALA	TITULO:			MATERIAL TUBERIA DE COBRE	
1:15	Rejilla			MEDIDAS EN M	DIBUJO 4

4 3 2 1

F

F

E

E

D

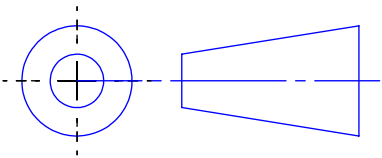
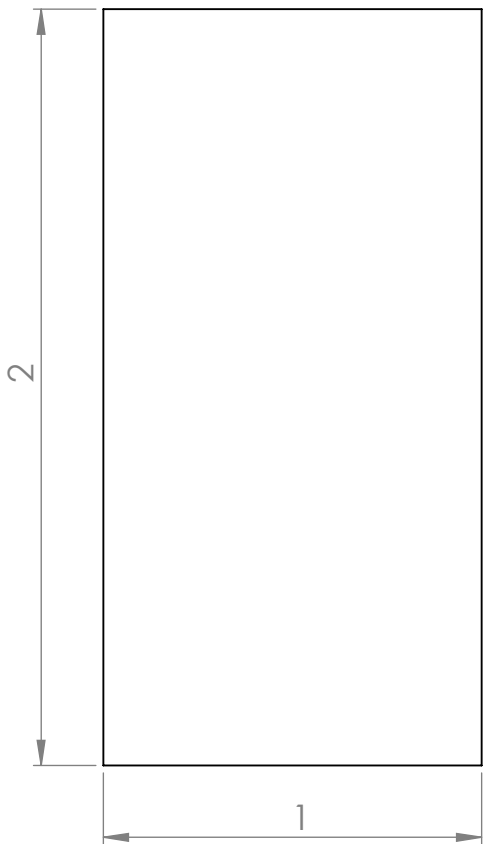
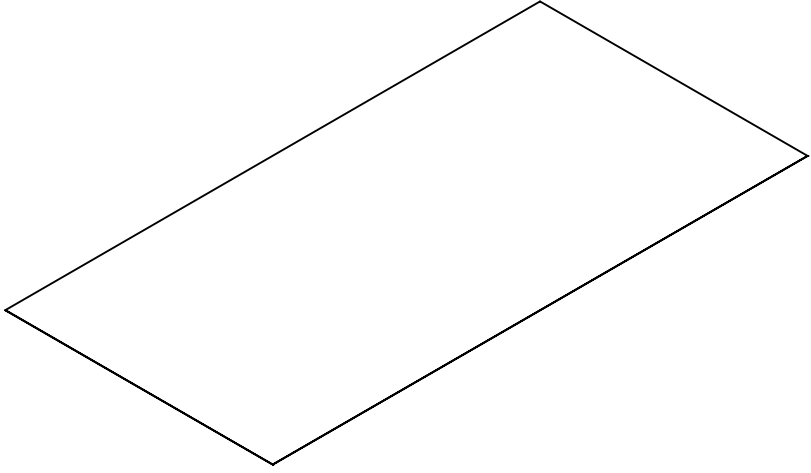
D

C

C


B

B



A

A

	FECHA	NOMBRES	FIRMAS	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA TRABAJO DE GRADUACION	
DIBUJADO	19/10/2017	GJ11012			
		CV05012			
		WR11001			
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES			
ESCALA	TITULO:		MATERIAL LAMINA ALUMINIO 0.025 PULG		
1:20	ABSORBEDOR				
			MEDIDAS EN M	DIBUJO 5	

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

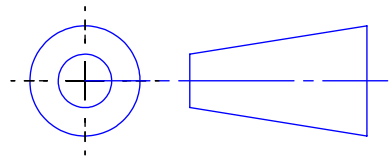
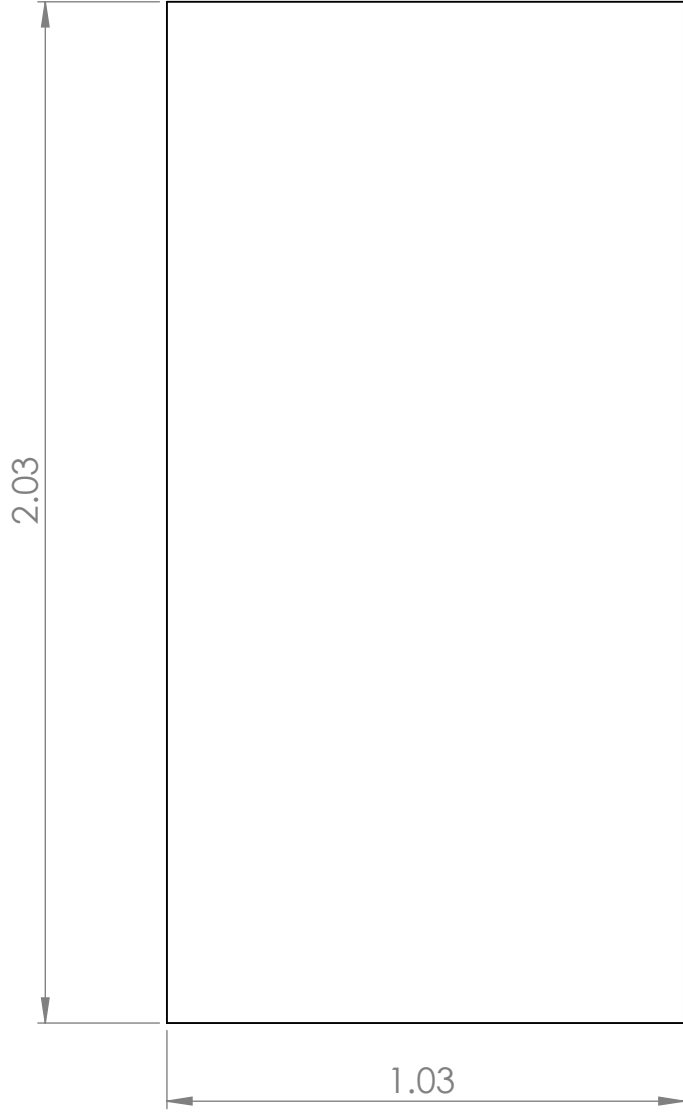
D

C

C


B

B



A

A

	FECHA	NOMBRES	FIRMAS	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA TRABAJO DE GRADUACION	
DIBUJADO	19/10/2017	GJ11012			
		CV05012			
		WR11001			
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES			
ESCALA	TITULO:		MATERIAL VIDRIO 5mm		
1:15	Cubierta de vidrio				
			MEDIDAS EN M	DIBUJO 6	

4 3 2 1

4 3 2 1

F

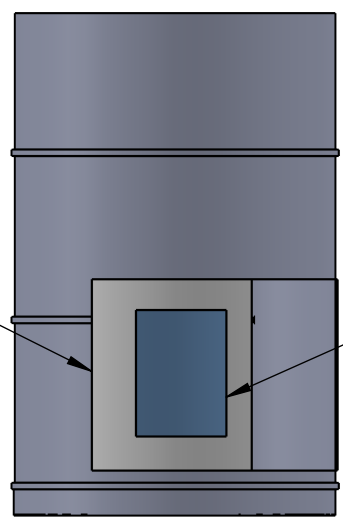
F

0.32x0.38m *

0.16 x 0.25m **

E

E

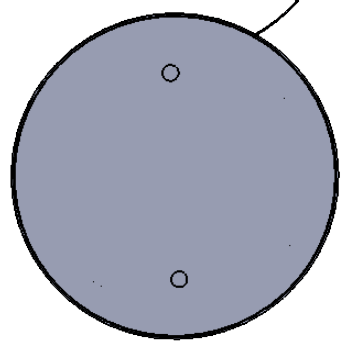


VISTA E
ESCALA 1 : 15



D

D



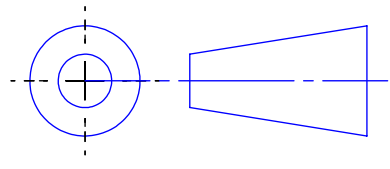
C

C

*EN EL TANQUE
** EN EL BARRIL


B

B



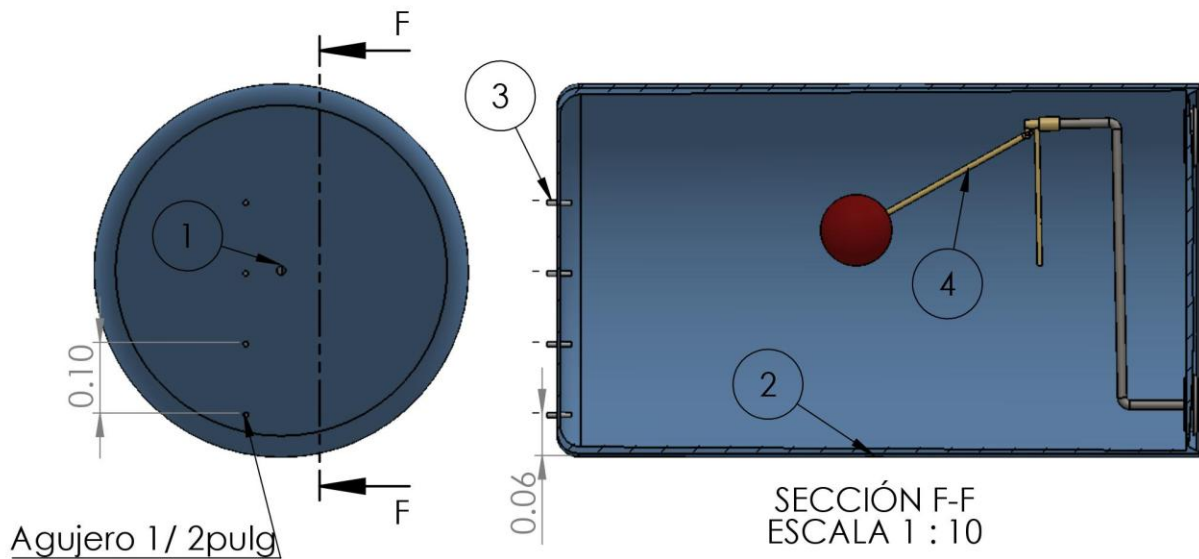
A

A

	FECHA	NOMBRES	FIRMAS	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA TRABAJO DE GRADUACION	
DIBUJADO	19/10/2017	GJ11012			
		CV05012			
		WR11001			
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES			

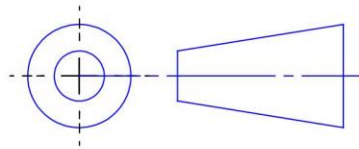
ESCALA	TITULO:	MEDIDAS EN M	DIBUJO 7A
1:15	DETALLE DE COMPUERTA (TANQUE Y BARRIL)		

4 3 2 1



Agujero 1/2 pulg

1. Agujero al centro de cara posterior*
 2. Agujero a 45 cm de cara posterior*
 3. Sensores de temperatura
 4. Valvula tipo Flippen
- * Ajustar para acoples de 1/2 " y 3/4" respectivamente



—	FECHA	NOMBRES	FIRMAS	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA TRABAJO DE GRADUACION	
DIBUJADO	19/10/2017	GJ11012			
		CV05012			
		WR11001			
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES			

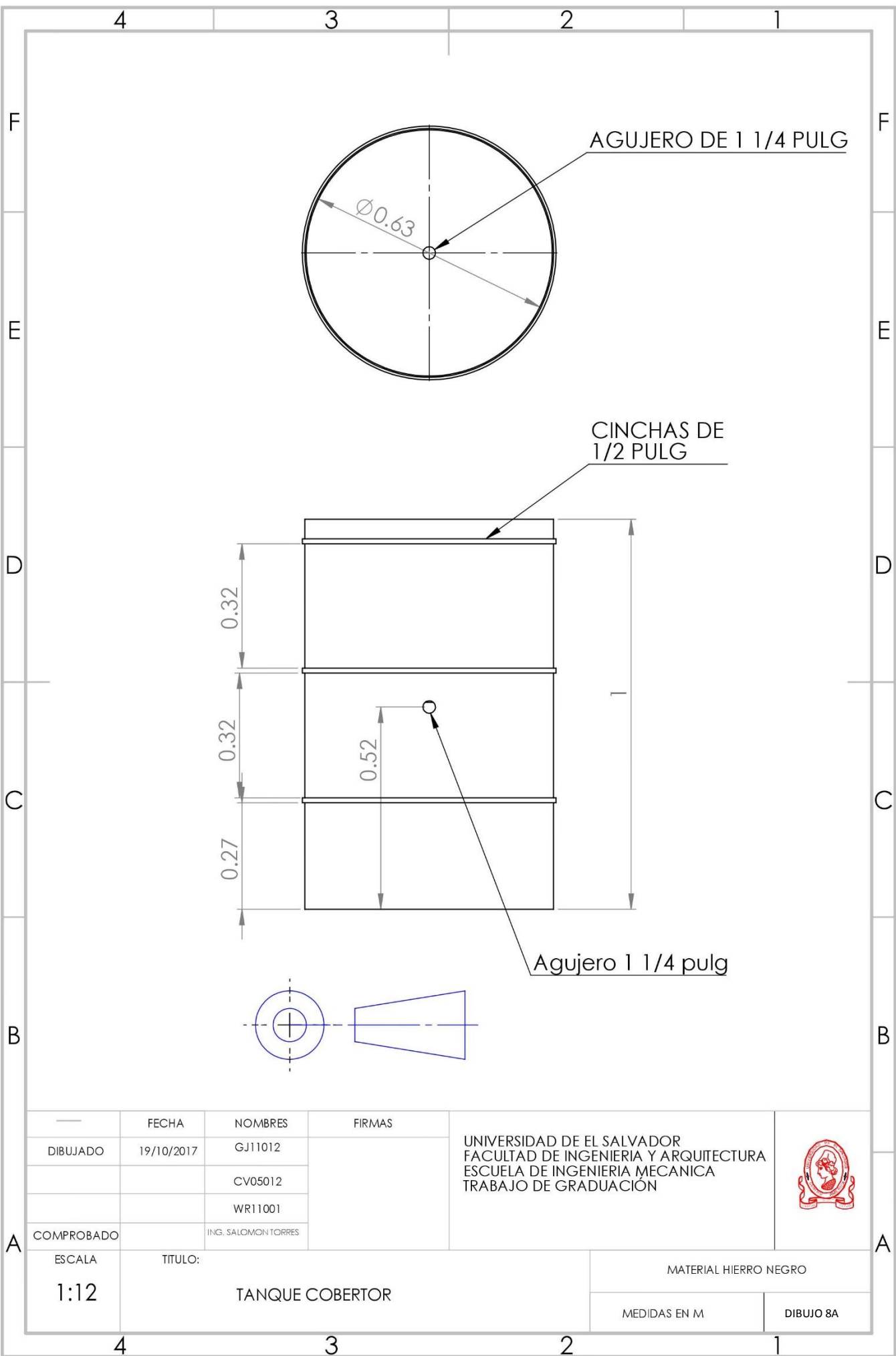
ESCALA
1:10

TITULO:

VISTA INTERIOR TANQUE ACUMULADOR

MEDIDAS EN M

DIBUJO 7B



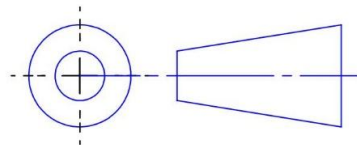
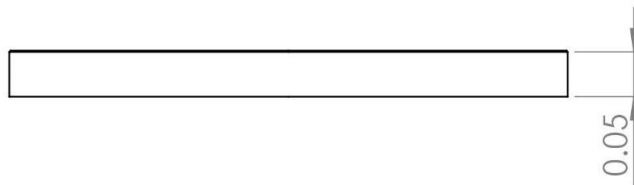
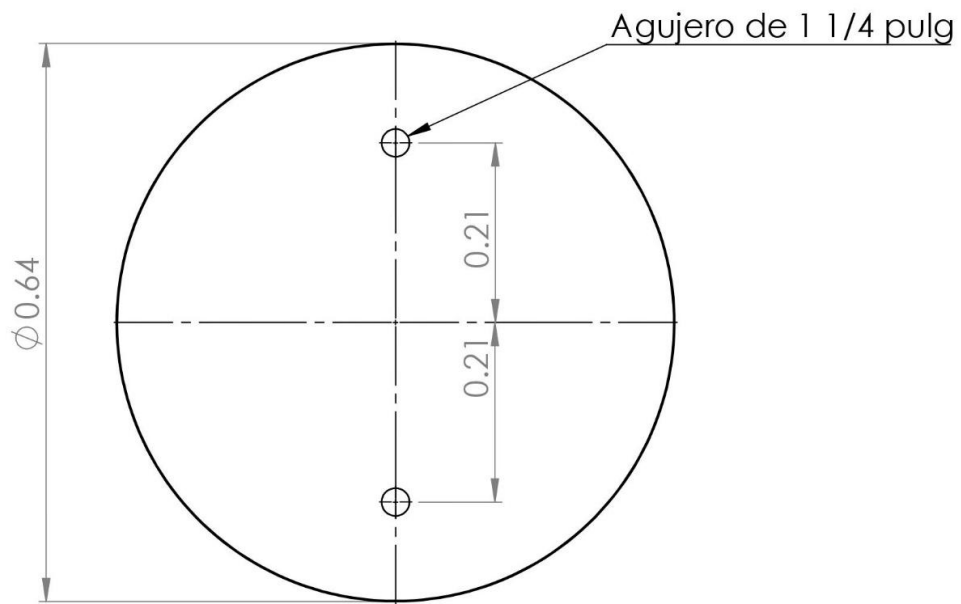
	FECHA	NOMBRES	FIRMAS
DIBUJADO	19/10/2017	GJ11012	
		CV05012	
		WR11001	
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES	

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
 TRABAJO DE GRADUACION



ESCALA	TITULO:
1:12	TANQUE COBERTOR

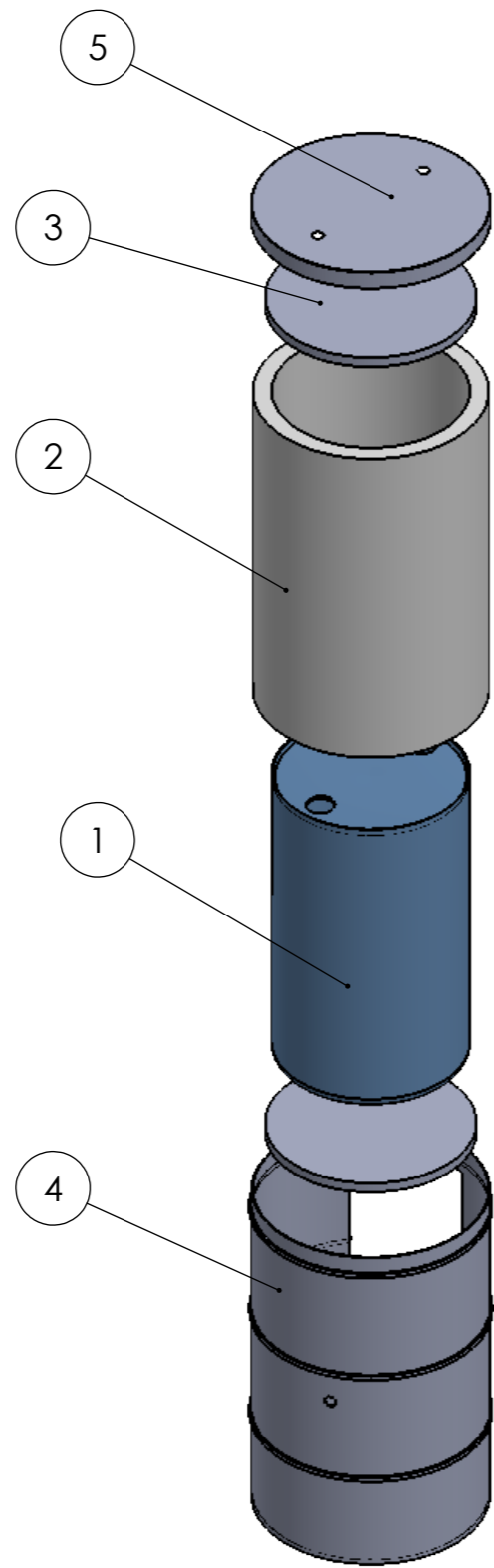
MATERIAL HIERRO NEGRO	
MEDIDAS EN M	DIBUJO 8A



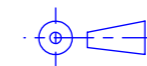
	FECHA	NOMBRES	FIRMAS	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA TRABAJO DE GRADUACION
DIBUJADO	19/10/2017	GJ11012		
		CV05012		
		WR11001		
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES		




ESCALA	TITULO:	MATERIAL
1:8	TAPA DEL TANQUE COBERTOR	HIERRO NEGRO
		MEDIDAS EN M
		DIBUJO 8B



N°	Elemento
1	Tanque acumulador
2	Aislante anular
3	Aislante de caras
4	Tanque cobertor
5	Tapas



DIBUJADO	FECHA 19/06/2017	NOMBRES GJ11012 CV05020 WR11001	FIRMAS	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA TRABAJO DE GRADUACION	
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES			
ESCALA 1:15	TITULO: ESQUEMA EXPLOSIONADO TANQUE				
					DIBUJO 9

4 3 2 1

F

F

1.07

E

E

2.08

D

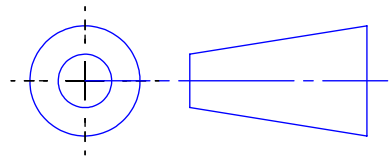
D

C

C


B

B

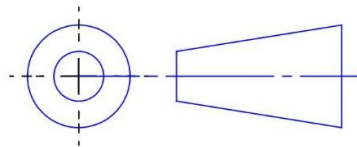
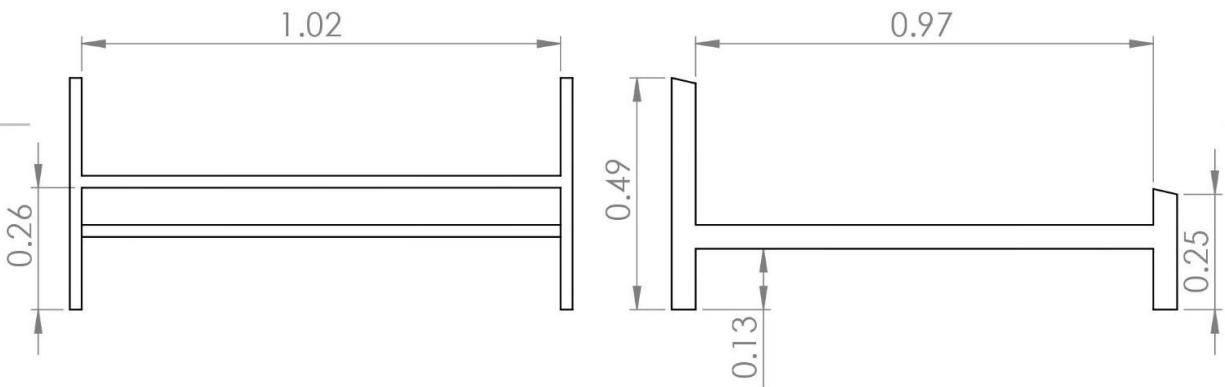
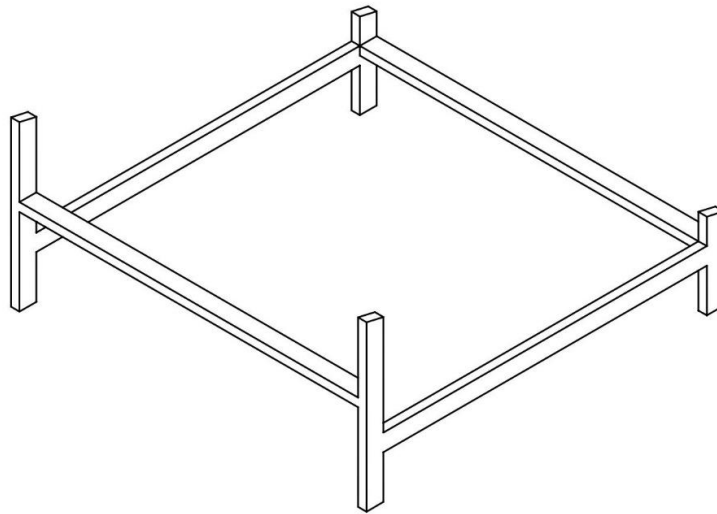


A

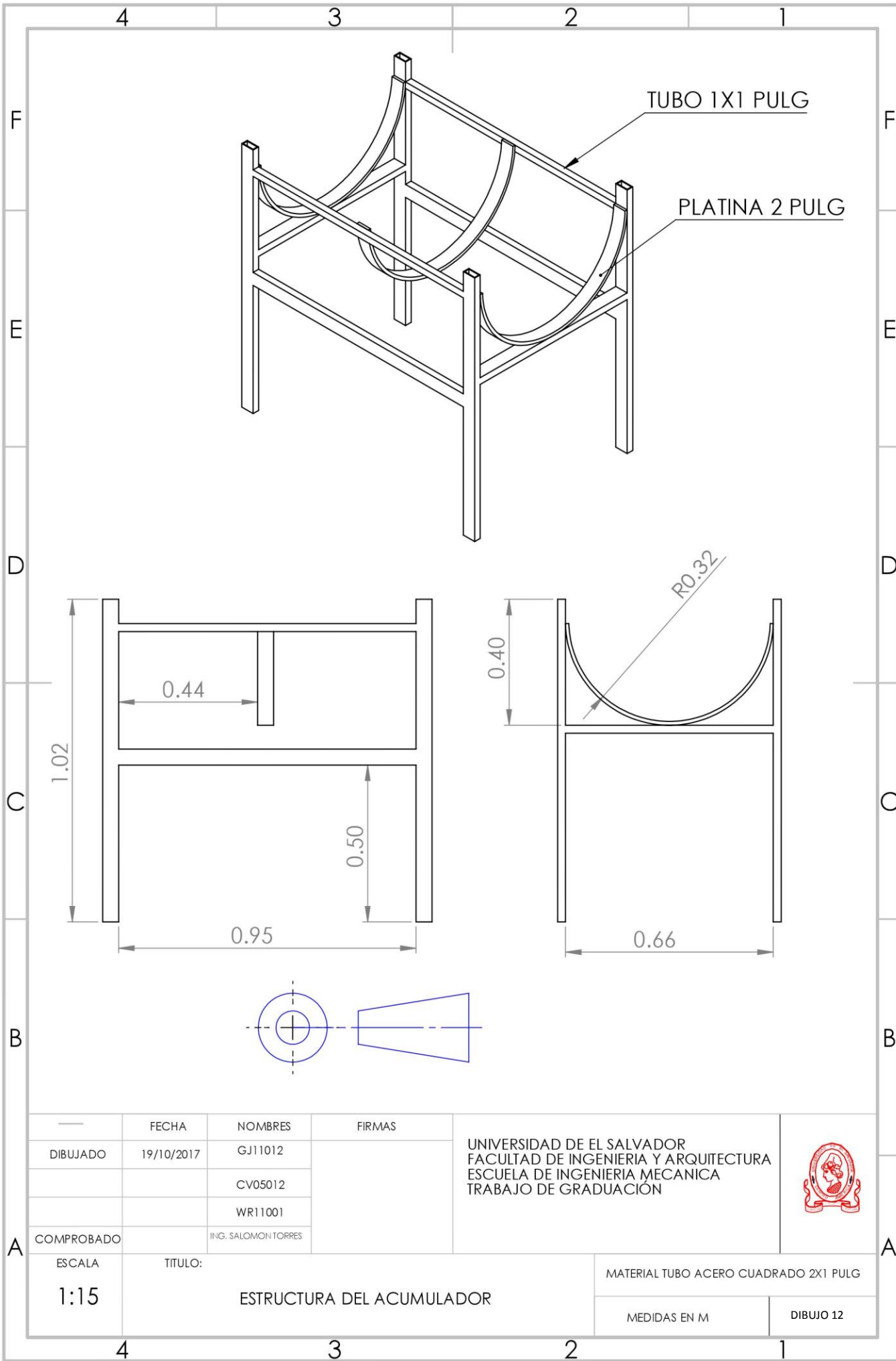
A

	FECHA	NOMBRES	FIRMAS	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA TRABAJO DE GRADUACION	
DIBUJADO	19/10/2017	GJ11012			
		CV05012			
		WR11001			
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES			
ESCALA	TITULO:		MATERIAL ANGULO DE ACERO 1 1/2 PULG		
1:15	Marco de montaje del colector				
			MEDIDAS EN M	DIBUJO 10	

4 3 2 1



	FECHA	NOMBRES	FIRMAS	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA TRABAJO DE GRADUACION	
DIBUJADO	19/10/2017	GJ11012			
		CV05012			
		WR11001			
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES			
ESCALA	TITULO:		MATERIAL TUBO ACERO 2X1 PULG		
1:15	ESTRUCTURA DEL MARCO DEL COLECTOR		MEDIDAS EN M		DIBUJO 11

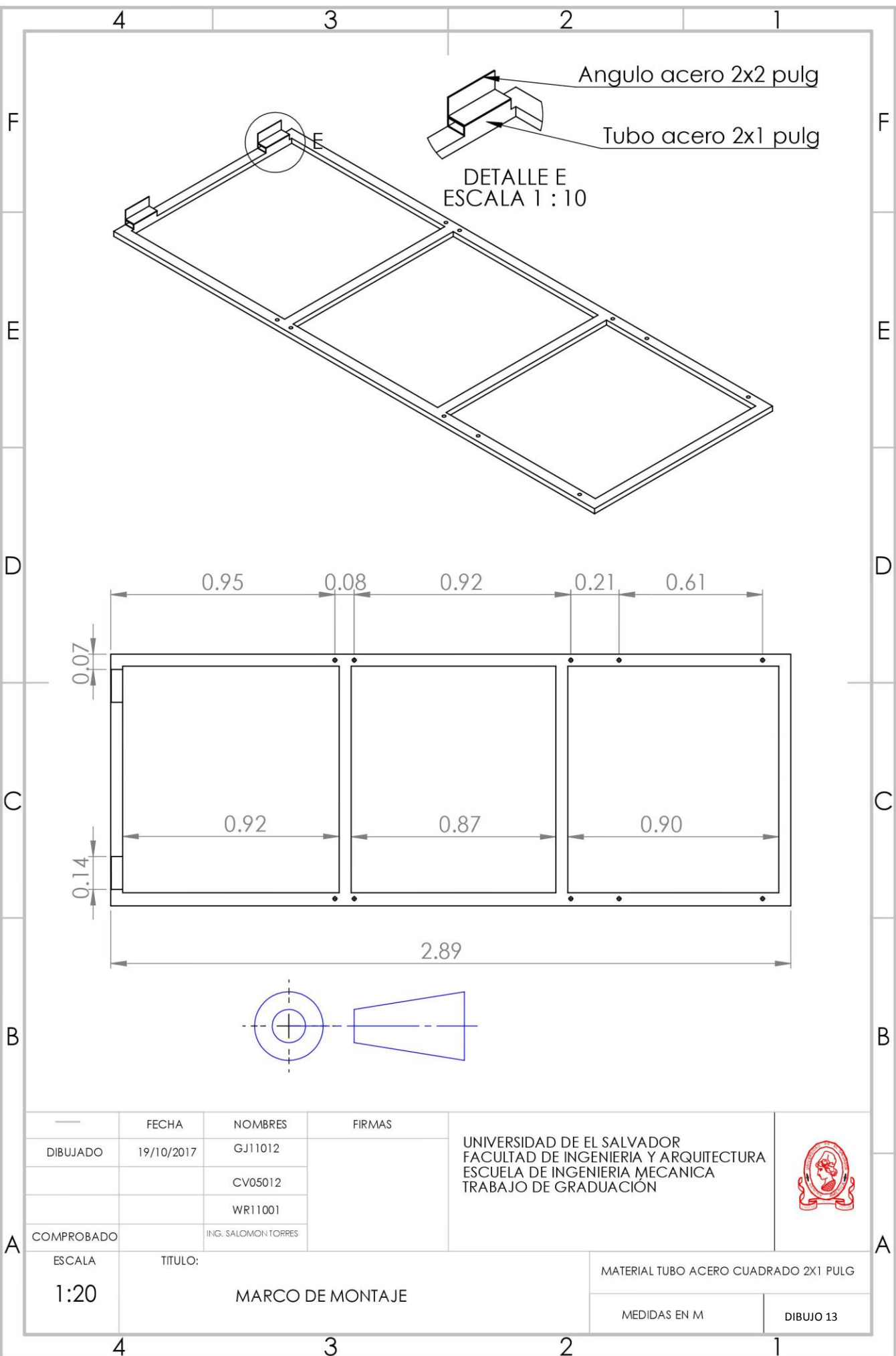


	FECHA	NOMBRES	FIRMAS
DIBUJADO	19/10/2017	GJ11012	
		CV05012	
		WR11001	
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES	

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
 TRABAJO DE GRADUACION



ESCALA	TITULO:	MATERIAL TUBO ACERO CUADRADO 2X1 PULG
1:15	ESTRUCTURA DEL ACUMULADOR	MEDIDAS EN M
		DIBUJO 12



	FECHA	NOMBRES	FIRMAS
DIBUJADO	19/10/2017	GJ11012	
		CV05012	
		WR11001	
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES	

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
 TRABAJO DE GRADUACION



ESCALA	TITULO:
1:20	MARCO DE MONTAJE

MATERIAL TUBO ACERO CUADRADO 2X1 PULG	
MEDIDAS EN M	DIBUJO 13

8 7 6 5 4 3 2 1

F

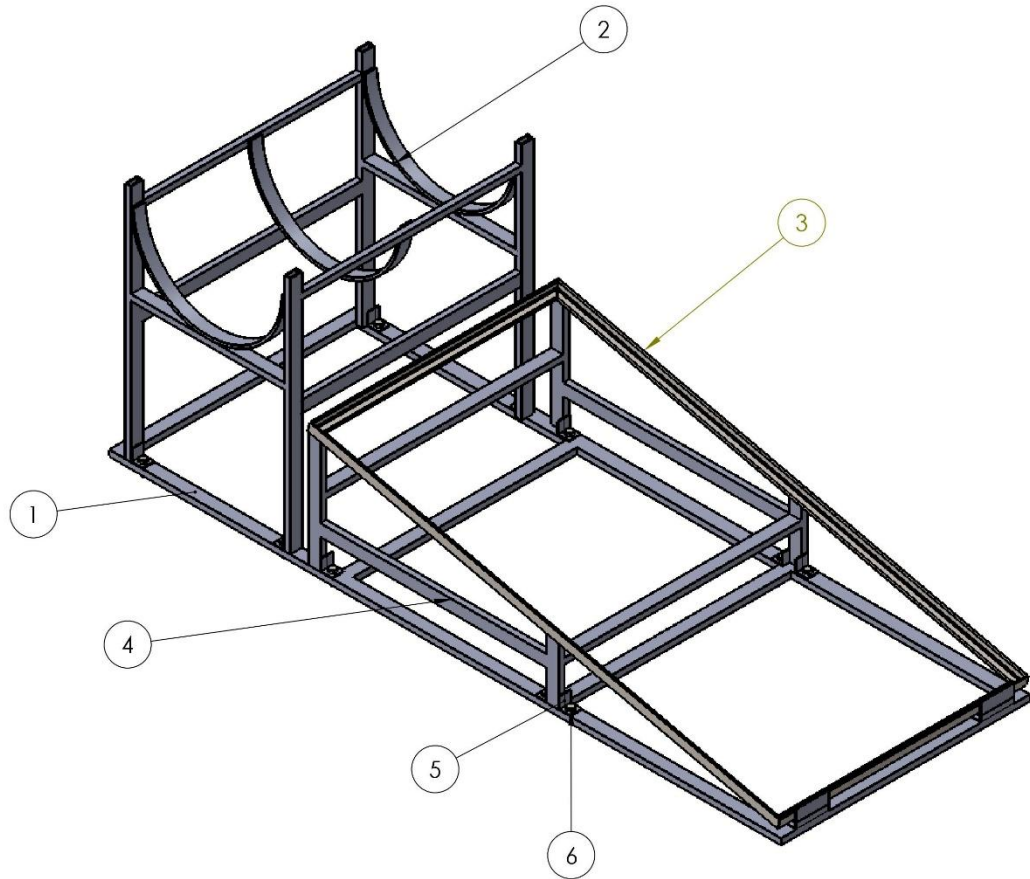
E

D

C

B

A



Nº	Elemento
1	Marco base
2	Estructura del acumulador
3	Marco de montaje colector
4	Estructura del marco del colector
5	Pieza de union
6	Pernos de sujeción



DIBUJADO	FECHA	NOMBRES	FIRMAS	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA TRABAJO DE GRADUACION
	19/06/2017	GJ11012		
		CV05020 WR11001		
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES		
ESCALA	TITULO:			
1:15	ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA DE MONTAJE			



8 7 6 5 4 3 2 1