



UNIVERSIDAD INTERCULTURAL INDÍGENA DE MICHOACÁN

LICENCIATURA EN DESARROLLO
SUSTENTABLE

CALENTADOR SOLAR DE AGUA, CON BASE
EN LENTES FRESNEL

T E S I S

Como requisito presenta:
JOSÉ RAFAEL SANDOVAL MOLINA

Para obtener el título de:
Licenciado en Desarrollo Sustentable

Directora de tesis:
MME. Hermelinda Servín Campuzano

Pátzcuaro Michoacán

Julio del 2016



UNIVERSIDAD INTERCULTURAL INDÍGENA DE MICHOACÁN

LICENCIATURA EN DESARROLLO
SUSTENTABLE

CALENTADOR SOLAR DE AGUA, CON BASE
EN LENTES FRESNEL

T E S I S

Como requisito presenta:
JOSÉ RAFAEL SANDOVAL MOLINA

Para obtener el título de:
Licenciado en Desarrollo Sustentable

Directora de tesis:
MME. Hermelinda Servín Campuzano

Pátzcuaro Michoacán

Julio del 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por darme la oportunidad de poder concluir mis estudios universitarios y titulación, por su insistencia y perseverancia de ver que siguiera adelante, ya que sin su apoyo no lo hubiera logrado.

Agradezco a los maestros lectores: M. C. Saúl Leonardo Hernández Trujillo, Dr. Mauricio González Avilés, C. a Dra. Hermelinda Servín Campuzano, M. C. Juan Carlos Corral Huacuz, LDS. Luis Bernardo López Sosa, que durante todo este proceso de titulación, se tomaron parte de su tiempo para esclarecer mis dudas y preocupaciones.

Agradezco también a los maestros que durante mi estancia en la universidad me soportaron en sus clases y que lejos de enemigos llegamos a tener una buena amistad, también un agradecimiento para el técnico Don Abel.

Agradezco a mis amigos de la universidad: Valente, Francisco, Isamar, Karen, Cristina, David, Emmanuel, Amhed, Maite, entre muchos otros, que con sus apoyos y disgustos me alentaron a seguir adelante.

Agradezco a mi esposa Gema Hernández Venegas, quien lo es ahora y lo ha sido siempre, un gran apoyo tanto en los estudios como en lo emocional.

Agradezco al CECTI por el apoyo financiero “Becas- Tesis para la Transferencia de Conocimientos y Tecnologías” 2014 que se me otorgó para llevar a cabo el trabajo de tesis, a la Universidad Intercultural Indígena de Michoacán. Al CONACYT (proyecto no. 166126 y proyecto no. 247919), el apoyo del PRODEP al cuerpo académico clave UIIM-CA (IDCA 17417).



DEDICATORIAS

A mis padres, mis hermanos, maestros y amigos que me estuvieron apoyando en todo momento para concluir esta etapa de estudios, a esas personas que formaron parte de esta historia, a todos ellos les dedico mi tesis.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	VI
-------------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
-----------------------	------

RESUMEN VIII

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

JUSTIFICACIÓN.	3
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos.....	5

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

2.2 Desarrollo Sustentable	7
2.3 Fuentes de energía renovables.	8
2.3.1 Energía geotérmica.....	8
2.3.2 Energía eólica.....	9
2.3.3 Energía hidráulica.....	10
2.3.4 Energía mareomotriz.....	11
2.3.5 Energía de la biomasa.....	12
2.4 Energía solar.....	12
2.4.1 Constante solar.....	15
2.5 Evaluación de la radiación solar.....	18
2.5.1 Captación de la luz según inclinación y orientación.....	18
2.5.2 Relaciones geométricas de la radiación y la superficie terrestre.....	19
2.5.3 Herramientas para la ubicación del sur geográfico.....	20
2.6 Calentadores Solares	21
2.6.1 Historia de los calentadores solares.....	22
2.6.2 Componentes de un calentador solar.....	23
2.7 Concentradores con lentes de Fresnel.....	26

CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Diseño por computadora	40
3.2 Descripción de las herramientas utilizadas para la elaboración del prototipo.....	41
3.3 Materiales utilizados en la construcción de todo el prototipo.....	42
3.4 Análisis de resultados.....	46

CAPÍTULO 4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

4.1	Diseño del colector.....	48
4.2	Diseño de la base del prototipo.....	51
4.3	Diseño del termotanque del prototipo.	53
4.4	Diseño de los soportes para los lentes Fresnel.....	55
4.5	Construcción del prototipo	58
4.6	Elaboración del colector.	58
4.7	Construcción de la base del prototipo.....	64
4.8	Construcción del termotanque.	66
4.9	Construcción de los soportes Fresnel.....	69

CAPÍTULO 5 EXPERIEMNETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1	Experimentación del Calentador solar con base en lentes de Fresnel.....	74
5.2	Información básica de la prueba en campo.	74
5.3	Análisis de los resultados.....	76
5.4	Periodo de la recuperación de la inversión	81
5.5	Mitigación ambiental	84

CONCLUSIONES 84

BIBLIOGRAFÍA 86

ANEXOS73

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 esquema de una central geotérmica. _____	9
Figura 2.2 turbinas eólicas. _____	10
Figura 2.3 esquema de una central hidroeléctrica. _____	11
Figura 2.4 energía mareomotriz. _____	11
Figura 2.5 biomasa. _____	12
Figura 2.6 mapa de la radiación solar en México. _____	13
Figura 2.7 el sol y las diferentes capas que lo conforman. _____	14
Figura 2.8 espectro electromagnético. _____	15
Figura 2.9 esquema de la radiación solar. _____	16
Figura 2.10 potencia interceptada por una superficie. _____	18
Figura 2.11 esquema de la sombra más corta. _____	21
Figura 2.12 calentador solar de placa plana. _____	24
Figura 2.13 esquema de colector de CPC estacionario. _____	24
Figura 2.14 calentador solar de placa plana sin cubierta. _____	25
Figura 2.15 calentador solar de tubos evacuados. _____	26
Figura 2.16 esquema de la lente de Fresnel _____	27

CAPÍTULO 3

Figura 3.1 software autocad 2010® _____	40
---	----

CAPÍTULO 4

Figura 4.1 diseño del cajón del colector. _____	48
Figura 4.2 diseño de la lámina interior del colector. _____	49
Figura 4.3 diseño del serpentín. _____	49
Figura 4.4 diseño de placa absorbidora. _____	49
Figura 4.5 diseño 3d de placa de vidrio. _____	50
Figura 4.6 diseño 3d del colector. _____	50
Figura 4.7 diseño 2d del ángulo de acero. _____	51
Figura 4.8 extrusión de ángulo. _____	52
Figura 4.9 colocación de las soleras. _____	52
Figura 4.10 diseño de la base del prototipo. _____	53
Figura 4.11 tambo y espuma de poliuretano. _____	54
Figura 4.12 vista de las capas del termotanque en corte. _____	54
Figura 4.13 visualización de las capas del termotanque por separado. _____	55
Figura 4.14 diseño final del termotanque. _____	55
Figura 4.15 estructura de solera de aluminio para los lentes fresnel. _____	56

Figura 4.16 diseño de la prensa del soporte fresnel. _____	56
Figura 4.17 rotación y ajuste de altura de los lentes fresnel. _____	57
Figura 4.18 diseño final del soporte fresnel. _____	57
Figura 4.19 diseño del calentador solar con base en lentes de fresnel. _____	58
Figura 4.20 armado del cajón de plastitabla. _____	59
Figura 4.21 perforación e inserción de pijas. _____	59
Figura 4.22 perforación lateral del cajón. _____	60
Figura 4.23 medición y corte de lámina de acero inoxidable. _____	60
Figura 4.24 doblado y colocación de la lámina en el cajón. _____	61
Figura 4.25 perforación de lámina y esmerilado de sobrantes. _____	61
Figura 4.26 tubería de cobre. _____	62
Figura 4.27 corte y lijado de la tubería de cobre. _____	62
Figura 4.28 soldadura del serpentín. _____	63
Figura 4.29 colector solar plano. _____	63
Figura 4.30 cortes de ángulo de acero. _____	64
Figura 4.31 soldadura de ángulo de acero. _____	65
Figura 4.32 soporte y pintado de la base. _____	65
Figura 4.33 base del calentador solar con base en lentes de fresnel. _____	66
Figura 4.34 tanque de metal y soldadura de coples. _____	67
Figura 4.35 sellado del tambo. _____	67
Figura 4.36 aplicación de espuma y tela con impermeabilizante. _____	68
Figura 4.37 termotanque del calentador solar con base en lentes de fresnel. ____	68
Figura 4.38 armazón del soporte de lentes fresnel. _____	69
Figura 4.39 acople de tubulares. _____	70
Figura 4.40 fabricación de prensa del soporte fresnel _____	70
Figura 4.41 corte y soldadura de tubular en la base. _____	71
Figura 4.42 soldadura de solera en la prensa. _____	71
Figura 4.43 soporte fresnel. _____	71
Figura 4.44 prototipo del calentador solar con base en lentes de fresnel. _____	72

CAPÍTULO 5

Figura 5.1 grafica de rendimiento-tiempo, prueba sin lentes. _____	77
Figura 5.2 grafica del rendimiento térmico sin lentes. _____	78
Figura 5.3 grafica de rendimiento térmico con respecto al tiempo aplicando la sección de lentes fresnel. _____	79
Figura 5.4 grafica de rendimiento térmico con respecto al tiempo aplicando la sección de lentes de fresnel. _____	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 herramientas necesarias para la construcción del prototipo.....	41
Tabla 3.2 materiales utilizados en la construcción del prototipo.....	43
Tabla 3.3 instrumentos de medición.....	46
Tabla 5.2 comparación de rendimiento térmico.....	80

RESUMEN

Se presenta el análisis térmico de un calentador solar de placa plana, innovando en él la aplicación de concentradores de radiación solar. Los concentradores en este caso son lentes de Fresnel, los cuales concentran y difractan los rayos solares, estas lentes se instalaron de tal modo que capten las primeras y últimas horas de radiación solar. Se realizaron las pruebas estandarizadas en un día despejado con y sin los concentradores solares para hacer la comparación del rendimiento térmico, realizando el análisis de los resultados podemos concluir que aplicando las lentes de Fresnel aumenta el rendimiento térmico, permitiendo así que las dimensiones del colector de placa plana se reduzcan significativamente sin comprometer la eficiencia del calentador.

ABSTRACT

Thermal analysis of a flat plate solar heater, innovating in the application of solar radiation concentrators is presented. Concentrators in this case are Fresnel lenses, which focus and diffract sunlight, these lenses were installed so that capture the first and last hours of solar radiation. Standardized tests in a clear and non- solar concentrators for comparison of thermal performance day were performed, performing the analysis of the results we conclude that applying the Fresnel lenses increases thermal performance, allowing the dimensions of the collector flat plate are reduced significantly without compromising the efficiency of the heater.

CAPÍTULO 1.
INTRODUCCIÓN
GENERAL.

El calentador solar es un dispositivo que aprovecha la energía solar térmica. Esta energía es utilizada para el calentamiento de agua para uso doméstico; este dispositivo es una tecnología alternativa que no contamina el medio ambiente.

El deterioro de los recursos naturales, hace necesaria la generación de propuestas para utilizar las tecnologías alternativas que ayuden a satisfacer las necesidades energéticas, procurando tener el menor impacto negativo hacia los recursos naturales.

Atendiendo el problema del deterioro ambiental, surge en el año de 1962, a través de la bióloga Rachel Carson, el concepto “sustentabilidad”, el cual trata de atender problemáticas tales como el crecimiento de la población, el desempleo, la pobreza, la contaminación, la concentración urbana, el rechazo de valores tradicionales, etcétera. Siendo el objetivo principal de esta definición encontrar respuestas para solucionar o contribuir a una solución.

El deterioro ambiental y el crecimiento poblacional que se intensificaron con el uso de las energías fósiles para satisfacer rápidamente necesidades energéticas, procuran un ambiente adverso para las generaciones futuras. Tomando como problema el uso de los recursos naturales de forma indiscriminada, se puede optar por difundir el uso adecuado de estos, para satisfacer las necesidades energéticas básicas, pero que a la vez, no contaminen al planeta. Por lo tanto la situación del uso de las Fuentes Renovables de Energía (FRE), es un tema de estudio cada vez más recurrido. Es inminente el aprovechamiento de energías renovables, desarrollando tecnologías eficientes para la producción y consumo de energía, por ejemplo aerogeneradores, los módulos fotovoltaicos, calentadores solares, entre muchos otros.

El uso de las FRE han tenido una evolución desde comienzos de la humanidad; la energía eólica se ha utilizado desde hace mucho tiempo para sustraer agua, realizar irrigación de cultivos y molienda de granos; la energía de la biomasa es altamente utilizada para la cocción de alimentos y calefacción de los hogares.

Estos métodos antiguos fueron sustituidos por tecnologías industrializadas que funcionan con base en combustibles fósiles, como petróleo y gas natural. Ya que con estas tecnologías abarcaban en gran medida las necesidades del hombre, dejando a su paso una grave contaminación, debido a las emisiones de dióxido de carbono (CO₂)

Con el aumento de CO₂ por la quema de combustibles fósiles y la degradación de la capa de ozono, el futuro de las FRE es viable y efectivo, propiciando un panorama libre de contaminantes para generar energía. Actualmente la viabilidad técnica y económica de las tecnologías limpias cubre las necesidades básicas del hombre, tales como Agua, Vivienda, Iluminación, Residuos, Vivienda y Energía (Ortiz J, 2014). A través del aprovechamiento de biofertilizantes, el aseo personal con agua caliente, a través de los calentadores solares, luz eléctrica, a través de aerogeneradores, celdas fotoeléctricas, presas hidroeléctricas. Para cubrir las necesidades básicas ya mencionadas.

En esta tesis versará sobre el aprovechamiento de energía fototérmica; un recurso energético abundante.

México se encuentra ubicado en una zona geográfica con alta radiación solar la mayor parte del año, una región idónea para la aplicación de tecnologías solares.

Y dentro de la necesidad energética y comodidades del hombre, está el aseo personal con agua caliente. Para esto aplicaremos alternativas que aprovechan la energía solar. Tecnologías que aprovechan la energía fototérmica son por ejemplo calentadores solares, los cuales como calientan el agua convirtiendo la energía solar en poder calorífico que se transmite al agua produciendo un calentamiento de la misma a temperaturas superiores a los 30°C.

JUSTIFICACIÓN.

La gran demanda de energía en todo el mundo exige el aprovechamiento de las FRE, que ayuden a producir la energía necesaria para satisfacer el consumo de

energía con el menor impacto ambiental posible y mediante un sistema de generación de energía distribuida.

En la actualidad la utilización de combustibles fósiles, ha producido una gran contaminación en el medio ambiente, ya que al quemarlos, para extraer la energía, liberan dióxido de carbono que aunado a otros gases, provoca el efecto invernadero por ende el cambio climático.

En relación a todos los efectos negativos causados por el aprovechamiento de los combustibles fósiles, surgen nuevos medios de aprovechamiento de la energía, sin perjudicar el medio ambiente, ayudando a disminuir el efecto invernadero, las cuales aprovechan los recursos de una manera sustentable. Una FRE es la energía solar, la cual aprovecha directamente la energía irradiada por el sol, la cual es muy abundante y gratuita.

México es un país privilegiado por la alta incidencia de radiación solar; porque se localiza en la franja de mayor incidencia solar, permite diversas aplicaciones donde este recurso se aprovecha de manera eficiente con menores impactos.

La radiación solar es diferente para los diferentes estados de la república mexicana, pero se puede observar que Michoacán tiene una alta incidencia de radiación, lo cual nos permite tener diferentes puntos de aplicación de tecnologías solares.

La viabilidad de utilizar mecanismos que funcionen con energía solar es muy amplia, ya que la gran abundancia de recurso hace posible que siempre tengan segura su fuente de energía, gratuita y aprovechable la mayor parte del año; tecnologías como las celdas fotovoltaicas que ayudan a disminuir el consumo de energía eléctrica convencional y el uso de calentadores solares que ayudan a la disminución del consumo de gas licuado de petróleo (LP) o la quema de leña, para el calentamiento de agua para aseo personal.

Objetivo general.

- Diseñar y construir un calentador solar para agua a base de incorporación de lentes Fresnel.

Objetivos específicos.

- Diseñar el prototipo de un calentador solar a base de lentes Fresnel en AutoCAD.
- Construir el prototipo.
- Calcular el rendimiento térmico del colector con y sin lentes Fresnel.

CAPÍTULO 2.

ANTECEDENTES

2.2 Desarrollo Sustentable

El desarrollo sustentable surgió en las convenciones internacionales sobre el daño al medio ambiente desde el año 1972 (En la cumbre de Estocolmo). Uno de los problemas graves que abordaron en las convenciones internacionales es la contaminación por la quema de combustibles fósiles para la producción de energía, para lo cual plantearon soluciones energéticas que tienen el menor impacto ambiental como energía eólica, mareomotriz, térmica, biomasa y la energía solar.

El consumo energético en los estados mexicanos, normalmente se caracteriza por el consumo de electricidad producida por la quema de gas LP, quema de carbón mineral, quema de petróleo, etc.

Tomando como definición de energía la capacidad que tienen los cuerpos para producir trabajo: trabajo mecánico, emisión de luz, generación de calor, etc. (ITC, 2008). La energía puede manifestarse de distintas formas: gravitatoria, cinética, química, eléctrica, magnética, nuclear, radiante, etc. existiendo la posibilidad de que se transformen entre sí por la primera ley de la termodinámica.

El consumo energético (en energía primaria) global por año se estima que alcanza una cifra de alrededor de 400 EJ por año (EJ = exajulio = 10^{18} julios = 1 trillón de julios), equivalentes a unas 10 000 megatoneladas de petróleo, frente a los 21 EJ en que se estima el consumo de energía en el año 1900. El 33% de esta energía se genera a partir de la combustión de petróleo, el 22,8% a partir de carbón, el 18,8% a partir de gas natural, el 13,8% a partir de biomasa, el 5,9% a partir de centrales hidroeléctricas y el 5,6% a partir de centrales nucleares.

Este elevado ritmo de consumo energético conlleva a problemas de sostenibilidad, medioambientales, sociales y políticos.

Los problemas de sostenibilidad se refieren a la relación existente entre el ritmo de consumo energético en el momento actual y las reservas aún existentes de combustibles fósiles, que constituyen las fuentes de las que proviene la mayor parte de la energía consumida.

A continuación se mencionaran los diferentes tipos de energías alternas en las que se sustenta la producción de energía limpia en gran parte del mundo, de manera sustentable.

2.3 Fuentes de energía renovables.

Las energías renovables son aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por la humanidad, y que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua. Las fuentes renovables de energía perduraran por miles de años. (Frenk, 2009) Las energías renovables se pueden clasificar de distintas formas: por su origen primario de la energía, por el nivel de desarrollo de las tecnologías, y por las aplicaciones de las energías.

“Las energías renovables son un recurso doméstico y contribuyen a proporcionar una completa seguridad de su suministro. Es virtualmente un recurso interrumpible. Tiene una disponibilidad infinita y debido a la amplia gama de tecnologías para su aprovechamiento se adapta a las políticas de diversificación de suministro energético. No implican además aspectos de seguridad que involucren gastos militares, como sucede con las nucleoelectricas y otras grandes plantas”. (Mejia, 1999)

2.3.1 Energía geotérmica.

La energía geotérmica es aquella que, aprovechando el calor que se puede extraer de la corteza terrestre, se transforma en energía eléctrica o en calor para uso humano o procesos industriales o agrícolas. La Tierra almacena en forma de

calor gran cantidad de energía. Diferentes hipótesis tratan de explicar a que se deben estas altas temperaturas existentes sobre el origen y posterior evolución del planeta. (Ver figura 2.1)

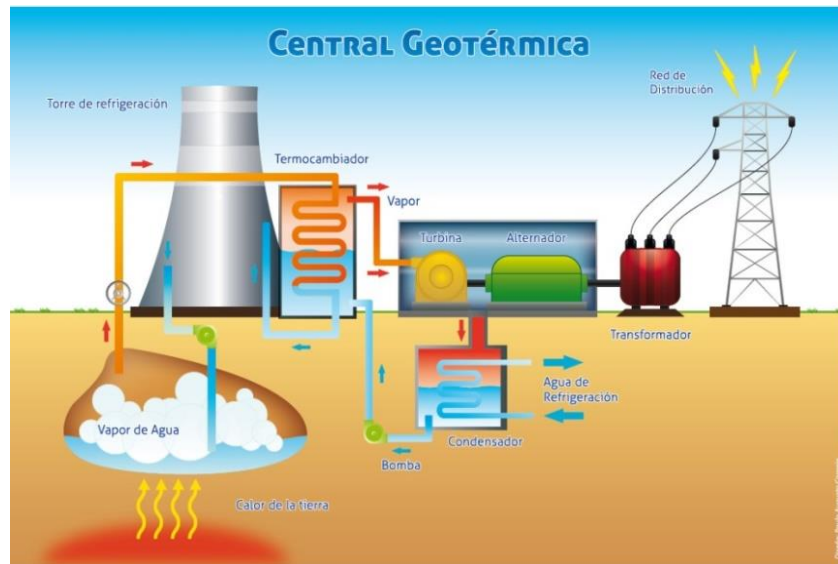


Figura 2.1 Esquema de una Central Geotérmica.

Fuente: <http://www.mendoza.gov.ar/nota/20633-la-energia-geotermica-ya-se-aplica-en-un-edificio-publico-de-mendoza/>

Las explicaciones más convincentes atribuyen a la acción combinada de varios fenómenos naturales, entre los que adquieren especial importancia los efectos residuales de la materia incandescente que constituyó las etapas iniciales y la contribución calórica proveniente de la desintegración de elementos radiactivos de vida prolongada. (ITESO, 1995).

2.3.2 Energía eólica.

Las turbinas eólicas transforman la energía cinética del viento en energía mecánica, ya sea para mover directamente una máquina tal como una bomba de agua, o bien para impulsar un generador eléctrico. Existen turbinas de muchos tamaños, desde unos 500 W, hasta más de 7 MW. Las de mayor tamaño están destinadas principalmente a granjas eólicas marinas (ver figura 2.2). En el transcurso de las últimas dos décadas la tecnología de las turbinas eólicas ha avanzado radicalmente y sus costos se han reducido hasta hacerse competitivos

con las tecnologías convencionales en contextos geográficos favorables (Frenk, 2009).



Figura 2.2 Turbinas eólicas.

Fuente: <http://verdezona.blogspot.mx/2015/03/energias-renovables-la-energia-eolica.html>.

2.3.3 Energía hidráulica.

La energía hidráulica es la que se obtiene de caídas de agua, artificiales o naturales. Típicamente se construyen presas en los lugares con una combinación de gasto anual de agua y condiciones orográficas adecuadas. Estrictamente, también esta es una forma derivada de la energía solar, porque el sol provee la fuerza impulsora del ciclo hidrológico. Sin embargo, tradicionalmente se ha considerado como una forma de energía aparte (ver figura 2.3). (Miguel José González, 2007) México tiene condiciones orográficas muy adecuadas pero, a excepción de la región sureste, la precipitación pluvial no es abundante.

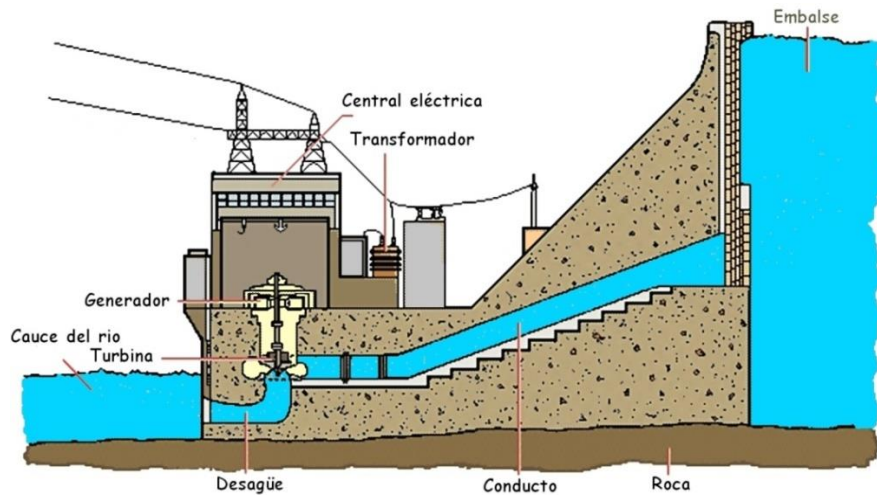


Figura 2.3 Esquema de una central hidroeléctrica.

Fuente: http://es.casasolar2c.wikia.com/wiki/Energia_hidraulica.

2.3.4 Energía mareomotriz.

En algunas regiones costeras se dan unas mareas especialmente altas y bajas. En estos lugares se ha propuesto construir grandes represas costeras que permitan generar energía eléctrica con grandes volúmenes de agua, aunque con pequeñas diferencias de altura (ver figura 2.4). Es como la energía hidráulica, pero su origen es la atracción gravitacional del sol y principalmente de la luna, en vez el ciclo hidrológico. En México, en general, este recurso no es abundante. (ITESO, 1995)

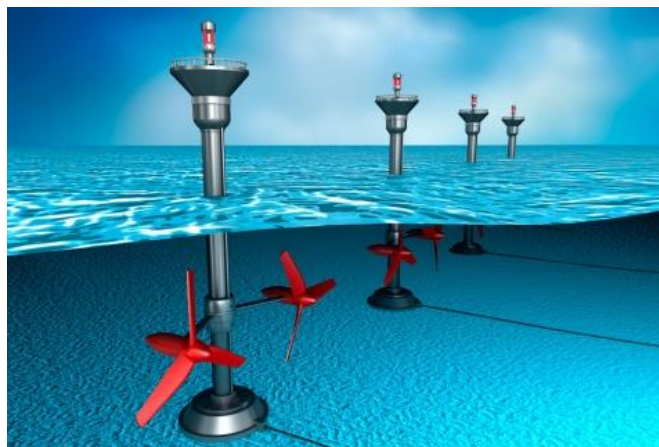


Figura 2.4 Energía mareomotriz.

Fuente: <http://www.webconsultas.com/belleza-y-bienestar/medioambiente/energia-mareomotriz/como-se-obtiene-energia-mareomotriz>

2.3.5 Energía de la biomasa.

La bioenergía es la energía que se obtiene de la materia orgánica y que se presenta en una gran variedad de formas. Puede obtenerse a partir de los biocombustibles sólidos como es la leña, el carbón vegetal o los residuos agrícolas (que pueden quemarse directamente o gasificarse para producir calor y electricidad), los cultivos energéticos (como la caña de azúcar y plantas oleaginosas, de las que se extraen combustibles líquidos como el Bioetanol y el biodiesel), y los residuos municipales y el estiércol (de los que pueden obtenerse combustibles gaseosos como el biogás). (ver figura 2.5) La bioenergía puede ser también una fuente de hidrógeno para producción de energía. (Omar R. Masera Cerutti).



Figura 2.5 Biomasa.

Fuente: <http://www.renovablesverdes.com/la-torrefaccion-de-biomasa-llega-a-guipuzcoa/>

2.4 Energía solar.

Como recurso energético terrestre, está constituida simplemente por la proporción de luz que emite el sol y que es interceptada por la tierra. México es un país con

alta incidencia de energía solar en la gran mayoría de su territorio; la zona norte es de la más soleadas del mundo (ITESO, 1995). Recibe en promedio $5\text{kwh/m}^2\text{dia}$

Lo que convierte a México en un país con alto potencial para aprovechamiento de radiación solar y a su vez el desarrollo de tecnologías que la aprovechen.

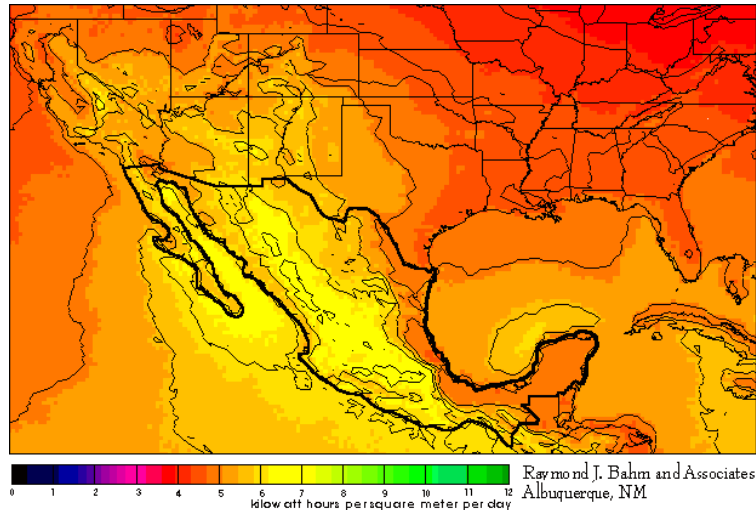


Figura 2.6 Mapa de la radiación solar en México.

Fuente: <http://www.ecotec2000.de/espanol/sun1.htm>.

El concepto de energía solar, en el sentido usual del término, se refiere al aprovechamiento energético en forma térmica o fotovoltaica de la energía que proviene del sol (CTE, Centro de Tecnología Educativa, 1995).

La radiación solar proviene del Sol que es una estrella que se encuentra en el centro del Sistema Solar alrededor de la cual gira nuestro planeta en una órbita elíptica, (Balbuena, 2011).

El aprovechamiento fototérmico derivado de la energía del sol, permite el diseño de medios concentradores para transformar la energía solar en poder calorífico suficiente para realizar determinada tarea.

Los parámetros más importantes para el diseño de concentradores solares son:

- Distancia media a la tierra: 1,496 108 km

- Diámetro del Sol: 1,392 106 km, 109 veces la Tierra
- Ángulo medio subtendido desde la tierra: 0,53°
- Temperatura media de la superficie: 6000 K

La radiación solar se genera en el centro del Sol, a través de reacciones de fusión nuclear cuando cuatro protones de hidrógeno se transforman en un átomo de helio, liberando gran cantidad de energía, en esta región, la temperatura del Sol llega a 15 millones de grados Celsius.

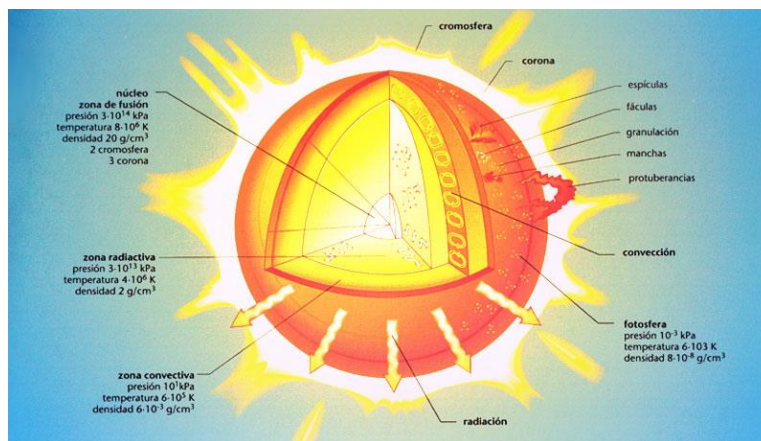


Figura 2.7 El sol y las diferentes capas que lo conforman.

Fuente: <http://www.astrociencia.com/2008/01/29/capas-internas-y-externas-del-sol/>

Para cálculos simplificados de ingeniería, es común adoptar para la temperatura del Sol el valor aproximado de 6000K.

Todos los cuerpos emiten radiación electromagnética como consecuencia de su energía interna que en condiciones de equilibrio, es proporcional a la temperatura del cuerpo. Esa energía emitida ocurre en un amplio intervalo de longitudes de onda que va desde 10^{-1} hasta 10^4 . Las longitudes más cortas están asociadas con los rayos gama, rayos X y la radiación ultravioleta, mientras las microondas tienen longitudes de onda larga. Valores intermedios de longitud de onda (entre 0,1 y 100 μm) corresponden a la radiación térmica que puede detectarse como calor o luz (ver figura 2.8)

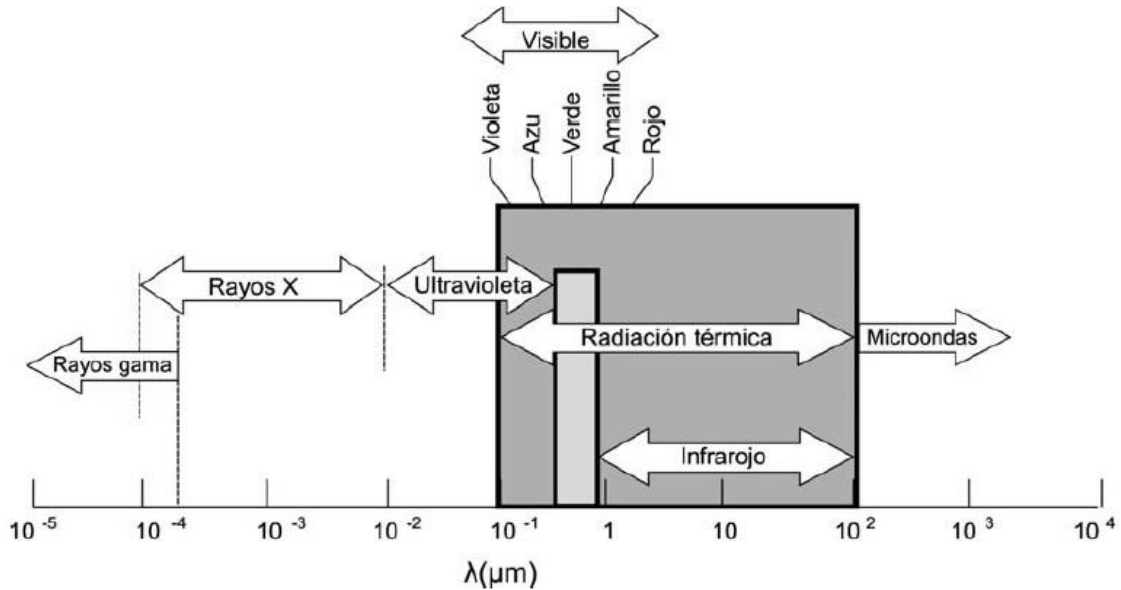


Figura 2.8 Espectro electromagnético.

(Boera, 2009)

La radiación solar es el flujo de energía que recibimos del sol en forma de ondas electromagnéticas (luz visible, infrarroja y ultravioleta).

La radiación que logra pasar la capa de ozono es diferente para cada lugar del planeta, en algunos lugares el brillo del sol puede entregar energía a una superficie de un metro cuadrado en la tierra orientada directamente a él a razón de unos 1 000 watts (Aitken, 2003), lo que es más que suficiente para satisfacer las necesidades energéticas si se aprovechara la energía solar.

2.4.1 Constante solar.

La constante solar, G_{sc} , 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.

El valor comúnmente aceptado para G_{sc} ha variado en los últimos años, según las técnicas de medición que se han empleado, lo cual no indica que haya variado en si la magnitud de la energía que se recibe del sol. En esta tesis usaremos el valor:

$$G_{sc} = 1353 \frac{W}{m^2}$$

Debido a la dispersión atmosférica, parte de la radiación solar llega a la superficie desde direcciones diferentes a la del disco solar. Esta radiación se conoce como *radiación difusa* se denota por el símbolo G_d . En cambio, la radiación que llega directamente desde el disco solar se llama *radiación directa* y se denota G_b . Se llama *radiación global* G_g (o simplemente G) a la combinación de estas dos radiaciones. En días despejados la radiación difusa usualmente no rebasa el 20% del total de la radiación global. Sin embargo, en días muy nublados puede suceder que toda la radiación sea difusa. (Arancibia, 2009)(Ver figura 2.9)

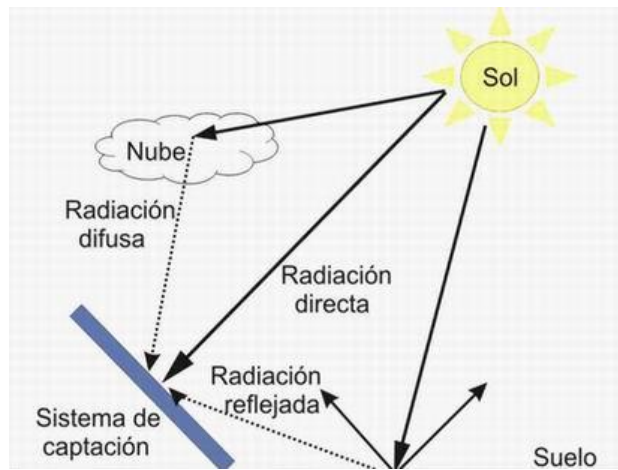


Figura 2.9 Esquema de la radiación solar.

Fuente:http://www.academia.edu/9616415/INSTITUTO_POLIT%C3%89CNICO_NACIONAL_ESCUELASUPERIORDEINGENIERIAMECANICAYELECTRICA_JOS%C3%89_CARRILLO_Y%C3%81%C3%91EZ_JES%C3%9AS_ISIDRO_ENRIQUE_MORALES_L%C3%93PEZ.

La intensidad de energía real disponible en la superficie terrestre es menor que la constante solar, alrededor de 1000 W/m^2 , debido a que en el paso a través de la atmósfera se pierde intensidad ya que intervienen factores como: Gases atmosféricos (nitrógeno, oxígeno, ozono, etc...), vapor de agua y polvo.

Dependiendo de cómo llegue la radiación solar a la superficie de la tierra, ésta puede clasificarse en:

- **Directa.** Esta radiación llega a la superficie terrestre, como su nombre lo indica de manera directa, sin incidir en las nubes o gases atmosféricos en su camino al suelo terrestre, esta es la radiación es la mayormente aprovechable, ya que tiene la mayor potencia energética.

Una de las aplicaciones de la energía solar es directamente como luz solar, por ejemplo, para iluminación de recintos. Otra aplicación directa muy común, es el secado de la ropa y algunos productos en procesos de producción de tecnología simple. La radiación directa tiene dos subdivisiones las cuales son:

- **Energía solar térmica:** es la conversión de energía solar en poder calorífico, utilizado para elevar la temperatura de un fluido como el agua, aceite o aire.

Existen dispositivos que aprovechan esta energía térmica, tales como los deshidratadores solares, las torres de concentración, o los calentadores solares.

- **Fotovoltaica.** Se llama “fotovoltaica” la energía solar convertida en electricidad por celdas fotoeléctricas, capaces de convertir la luz en potencial eléctrico, a través de un proceso denominado fotoeléctrico, sin pasar por un efecto térmico. (ITESO, 1995).
- **Radiación difusa (G_d)** (Amado Leyva C., 2001) se refiere a la componente de la irradiación solar que, al atravesar la atmósfera, se esparce por aerosoles, polvo o se refleja por los elementos de esa atmósfera. La parte de la radiación que llega al colector proveniente de la emisión y reflexión de su alrededor, caracterizada por la vegetación y construcciones civiles, también se incluye en su componente difusa, denominada comúnmente *albedo*.

2.5 Evaluación de la radiación solar.

Para caracterizar la cantidad de energía contenida en la radiación solar se puede hablar del valor instantáneo que tiene esta radiación o de la energía que llega en un cierto periodo de tiempo. El valor instantáneo es la energía que llega por cada unidad de tiempo y por cada unidad de área, se conoce como *irradiancia* y comúnmente se representa con el símbolo G . (Arancibia, 2009) Las unidades de irradiancia son Watt sobre metro cuadrado [W/m^2]. La potencia P recibida por un colector solar perpendicular a los rayos del sol es igual al producto del valor de la irradiancia G por el área de la superficie A .

2.5.1 Captación de la luz según inclinación y orientación.

Consideremos que para calcular el total de radiación sobre una superficie o colector se tiene que tomar en cuenta tanto la orientación como inclinación de la superficie, la máxima irradiancia que se puede obtener es en aquellas superficies que están posicionadas en donde la propagación de la radiación sea mayor, (es decir que le dé “de frente o de cara”)(ver figura 2.10)

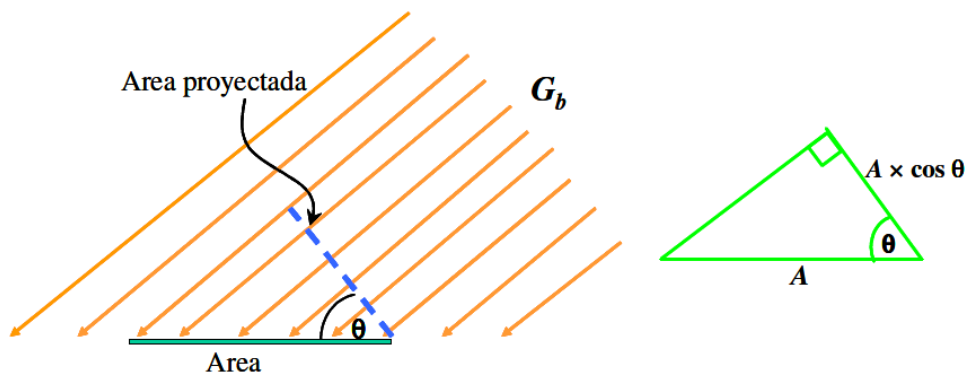


Figura 2.10 Potencia interceptada por una superficie.

Esto es lógico, pues un colector que está de cara hacia la radiación recibe mucha más energía que uno que está desorientado.

De acuerdo a la definición de la función coseno, el área proyectada es $A \times \cos\theta$
Por lo tanto, la potencia se expresa como.

$$P = G_b \times A \times \cos\theta$$

Esta relación matemática es de mucha importancia ya que expresa el hecho de que la energía captada por una superficie varía mucho dependiendo de la orientación de esta superficie y de la ubicación del sol en el cielo.

2.5.2 Relaciones geométricas de la radiación y la superficie terrestre.

Las relaciones geométricas entre los rayos solares, que varían de acuerdo con el movimiento aparente del sol, y la superficie terrestre, se describen a través de varios ángulos que mostramos a continuación:

- **Ángulo de incidencia (γ):** ángulo formado entre los rayos del sol y la normal a la superficie de captación.
- **Ángulo cenital solar:** es el formado por el rayo solar y la normal a la superficie, es el complementario de la altura solar.
- **Azimut:** ángulo que forman la línea norte-sur con la proyección del rayo solar en el plano horizontal. El signo positivo o negativo de este ángulo va según se avance hacia el oeste del sur o hacia el este del sur, siendo varias las interpretaciones.
- **Altura solar (α):** ángulo formado por un rayo del sol directo y el plano horizontal.
- **Inclinación (β):** ángulo entre el plano de la superficie a considerar y la horizontal. En el intervalo $0 < \beta < 90^\circ$ la superficie ve hacia arriba, mientras que en el intervalo $90 < \beta < 180$ la superficie ve hacia abajo. Una azotea horizontal tendrá $\beta = 0^\circ$, mientras que para una pared vertical $\beta = 90^\circ$.
- **Ángulo horario (W):** desplazamiento angular este-oeste del sol, a partir del meridiano local, y debido al movimiento de rotación de la tierra. Así, cada

hora corresponde a un desplazamiento de 15° , siendo valores positivos para el período de la mañana con cero a las 12:00 horas y negativos por la tarde.

En la aplicación de dispositivos de aprovechamiento de la energía solar, como lo son los calentadores de agua, es necesario tomar en cuenta todos estos factores ya que de ello depende gran parte su funcionamiento. Otro factor a tomar en cuenta son las horas de insolación y la relación que hay entre el tiempo civil y el tiempo solar, es distinto al tiempo ordinario, aproximadamente con una hora de retraso respecto a éste último existen fórmulas para determinarlo.

2.5.3 Herramientas para la ubicación del sur geográfico.

La orientación de un calentador solar es de gran importancia, ya que si no está bien orientado la eficiencia del calentador bajara considerablemente, para esto se utilizan diferentes métodos por los cuales se puede obtener una correcta orientación.

Cartografía del lugar.

En general, todos los mapas geográficos tienen indicado en las propias láminas la orientación geográfica marcando mediante un símbolo hacia donde apunta el norte, el mismo es válido para la orientación de los paneles. Es importante destacar que el método no tiene una precisión absoluta y que los márgenes de error dependerán de la adecuada lectura de los gráficos y de las referencias del lugar que se puedan tomar.

Método de la sombra más corta.

El método de la sombra más corta consiste en clavar una varilla del material que se tenga, en forma vertical en el terreno, es muy importante verificar la verticalidad de la varilla, si la misma estuviera inclinada no será fiable la medición. Luego de realizada la operación es necesario marcar en el suelo la sombra arrojada por el sol. La posición de la sombra más corta indicará el sur geográfico. Indudablemente el grado de error de este método puede llegar a ser grande si no se hace con

cuidado ya que basta una pequeña inclinación de la varilla como para inducir a un error, además en el verano cuando el sol describe un recorrido relativamente alto la sombra arrojada por la varilla puede llegar a ser muy corta lo que dificultaría aún más la determinación de cuál es la sombra que efectivamente es más corta. (Boera, 2009).

Sin embargo este método puede dar una idea muy cercana en la ubicación del norte geográfico aún sin contar con ningún tipo de instrumental.

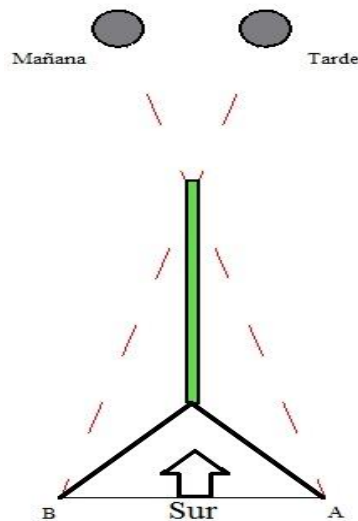


Figura 2.11 Esquema de la sombra más corta.

2.6 Calentadores Solares

Un colector solar es todo dispositivo que capta la energía solar, para transformarla, en otra forma útil, generalmente térmica o eléctrica.

Los paneles solares son capaces de absorber tanto la energía directa como la radiación difusa con lo que en un día nublado pero luminoso se obtiene un aporte de energía que si bien no es suficiente para lograr un aumento de temperatura importante permite sumar energía al sistema.

Los colectores solares pueden ser de cualquier forma, disposición interna, tipo, etc. (planos, cóncavos, parabólicos, fotovoltaicos, formar parte de un edificio, etc.) (CTE, Centro de Tecnología Educativa, 1995).

Los colectores solares por defecto calientan un fluido que por lo general es agua:

- Si el fluido es obligado a moverse por un ventilador o una bomba el proceso se llama de *convección forzada*.
- Si el fluido se mueve naturalmente por medio se cambió de densidades del agua, por el efecto que produce la elevación de temperatura del agua, se vuelve menos pesada, lo que provoca que suba. (Boera, 2009)

2.6.1 Historia de los calentadores solares

Desde tiempos remotos el sol crea una fuente de energía constante la cual crea las condiciones adecuadas para el surgimiento de ideas para su aprovechamiento, algunas que ayudan al calentamiento de agua para higiene personal de las cuales en primera instancia fueron muy simples. Tanto así que sencillamente poner un balde lleno de agua colocado en el sol, calentara el agua lo suficiente para tener una sensación agradable cuando se realiza el aseo personal; después esas ideas, observando que el sol tenía un gran potencial para calentar agua, y al conocimiento de los materiales que hacían posible un efecto invernadero que aumenta la absorción de calor; se fueron presentando diferentes tipos de calentadores solares desde calentadores planos, que constan de un sistema de tubos de cobre colocados dentro de una caja sellada, con tapa de vidrio en la parte superior, la cual es la causante del efecto invernadero, hasta los calentadores con tubos evacuados que constan de un conjunto de tubos de vidrio, un tanque horizontal de almacenamiento de agua horizontal y una estructura de soporte metálica. Calentadores planos y con tubos evacuados con propiedades de termosifón o con circulación forzada, cada vez con mayor eficiencia, con menores costos y algunas innovaciones.

2.6.2 Componentes de un calentador solar.

Por lo tanto, los calentadores solares son conversores que transforman la radiación solar en poder calorífico suficiente para lograr el calentamiento de agua para el aseo personal en el sector residencial.

Los componentes esenciales en un colector solar son:

Colector: este componente del calentador es el más importante, ya que este es el que capta la radiación solar y transforma la radiación solar en energía térmica.

Base: este componente es importante, ya que este es quien sostiene todo el calentador, y le da firmeza estructural.

Termotanque: este componente es muy importante, ya que sin él, sería imposible tener las cantidades deseadas de agua caliente que se requiera para cada hogar. El termotanque es un dispositivo capaz de almacenar agua caliente durante espacios prolongados de tiempo, ayudando además a realizar el efecto termosifón en los calentadores pasivos (Valladares, 2014).

Tipos de colectores solares.

Existen diversos tipos de colectores solares, los cuales por sus diferentes composiciones pueden calentar agua a diferentes temperaturas.

Colectores de placa plana con cubierta.

Los colectores de placa plana son los más usados para calentar agua en los hogares y para los sistemas de calefacción. Un colector de placa plana se compone básicamente de una caja metálica con aislamiento con una cubierta de vidrio o de plástico (la ventana) y de una placa absorbidora de color oscuro. La radiación solar es absorbida por la placa que está construida de un material que transfiere rápidamente el calor a un fluido que circula a través de tubos en el colector. (Cora Placco, 2012). (Ver figura 2.12)



Figura 2.12 Calentador solar de placa plana.

<http://zanjar.mx/PRODUCTOS/Capacitaci%C3%B3nEnerg%C3%ADa.htm>

Colectores CPC estacionarios.

Su funcionamiento e instalación es exactamente la misma que los colectores de placa plana convencionales.

Estos colectores poseen un sistema de concentración de radiación solar tipo Concentradores Parabólicos Compuestos, para obtener temperaturas más elevadas y un mayor rendimiento. Estas características se deben a que el área de pérdidas es menor al área de colección, logrando pérdidas mínimas y alcanzando un rendimiento cercano al 50%.(ver figura) (Cora Placco, 2012).

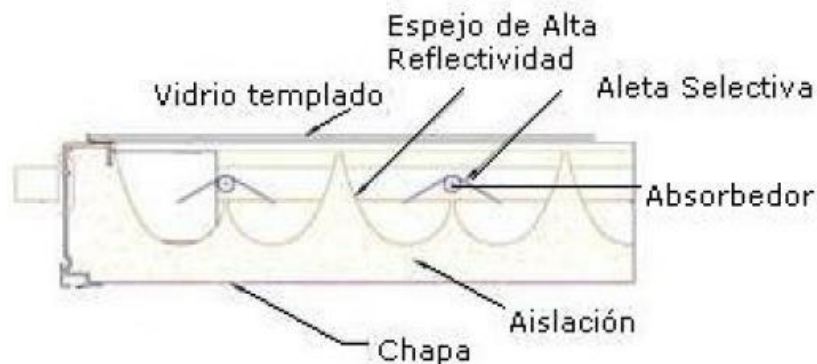


Figura 2.13 Esquema de colector de CPC estacionario.

Colectores de placa plana sin cubierta.

Este tipo de colectores, sencillos y baratos, consisten en un absorbedor pero carecen de la cubierta transparente. No incluyen ningún aislamiento adicional, de manera que la ganancia de temperatura queda limitada a unos 20°C sobre la del aire del ambiente, son los más adecuados para aplicaciones de baja temperatura.

Actualmente, son utilizados para la calefacción de piscinas al aire libre, pero existen otros mercados, incluidos los de calefacción de temporada en las piscinas cubiertas, calefacción de agua para lavar coches, y calefacción del agua utilizada en piscicultura. También existe un mercado potencial de estos colectores para calentamiento de agua en lugares remotos, como campamentos de verano. (Cora Placco, 2012).

Los absorbedores de estos colectores son generalmente de plástico negro tratado para resistir la luz ultravioleta, o están contruidos por tubos de metal o plástico recubiertos de pigmentos ennegrecidos por los que circula el agua.(ver figura)



Figura 2.14 Calentador solar de placa plana sin cubierta.

<http://www.enerwork.com/productos/energia-solar-termica/sector-albercas-residenciales-y-comerciales-2/calentador-albercas-ecosun/>

Dado que estos colectores no tienen cubierta, una gran parte de la energía solar absorbida se pierde principalmente por convección.

Colectores de tubos de evacuados.

Estos colectores se componen de un conjunto de tubos de vacío (o evacuados) cada uno de los cuales contienen un absorbedor (generalmente una plancha de metal con tratamiento selectivo o de color negro), el cual recoge la energía solar y la transfiere a un fluido portador (calo-portador). Gracias a las propiedades aislantes del vacío, las pérdidas de calor son reducidas y pueden alcanzarse temperaturas en el rango de 77 °C a 177 °C. (ver figura) (Cora Placco, 2012).



Figura 2.15 Calentador solar de tubos evacuados.

<http://numaco.blogspot.mx/2008/05/colector-de-tubo-de-vaco.html>

2.7 Concentradores con lentes de Fresnel.

La lente de Fresnel es la reducción de la cantidad de material requerido en comparación con una lente convexa convencional mediante la división de la lente en un conjunto de secciones anulares concéntricas.

Una lente Fresnel ideal sería una que tenga un número infinito de tales secciones. En cada sección, se reduce el espesor global en comparación con una lente sencilla equivalente. Esto divide efectivamente la superficie continua de una lente estándar en un conjunto de superficies de la misma curvatura, con discontinuidades escalonadas entre ellos, esto se puede observar en la siguiente figura (figura 2.16).

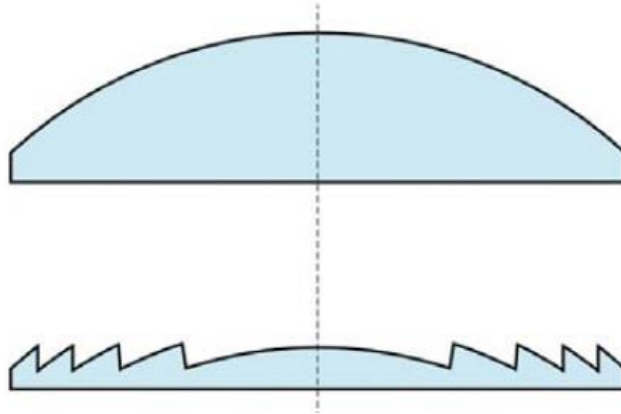


Figura 2.16 Esquema de la lente de Fresnel

Es un lente formado por círculos concéntricos derivado de un plano convexo. La idea de una lente de Fresnel nunca está en formar una imagen de calidad sino en conseguir de forma barata y poco pesada un sistema focalizador de luz.

Estos Concentradores se hacen generalmente de vidrio o de plástico; su tamaño varía. En muchos casos son muy delgadas y planas, casi flexibles, con espesores en el rango de 1 a 5mm. (González, 2007).

Dado que las lentes de Fresnel pueden ser fabricadas con plástico, se pueden hacer más grandes que las lentes de cristal, además de ser mucho más barato y más ligero. La concentración de luz solar de estas lentes se utiliza para calentar en cocinas solares, forjas, y en los colectores solares utilizados para calentar agua para uso doméstico.

A principios del siglo XXI, los reflectores de Fresnel comenzaron a ser utilizados en plantas de energía solar para concentrar la energía solar. Una aplicación fue precalentar el agua en la central eléctrica de Liddell carbón en Hunter Valley Australia.

Otras aplicaciones incluyen: la fusión de metales, generación de vapor solar y encender los motores Stirling.

A continuación se da una descripción más detallada sobre el funcionamiento de estos concentradores solares (Arguelles, 2011):

- Utilizan leyes de la refracción para concentrar la luz mediante prismas o lentes.
- Consiste de un conjunto de lentes casi todas prismas, que convierten la luz proveniente de una fuente puntual en una colección de rayos paralelos.
- Los rayos de luz que llegan paralelos al eje óptico tienden a concentrarse en un punto o foco.
- Concentran la radiación solar sobre receptores térmicos estacionarios.
- Los primeros diseños se realizaron con óptica no formadora de imágenes lo que significa que el sistema acepta rayos fuera del campo paraxial (no paralelos al eje óptico).
- La luz recibida por una lente de Fresnel, puede dirigir el 80% de la luz hacia el observador, diferencia significativa si, se compara con otro tipo de lentes.
- Como otro concentrador cualquiera pueden concentrar la radiación solar sobre el receptor para incrementar la temperatura de trabajo.
- Se diseñan para una temperatura de trabajo entre 80°C y 300°C, con una eficiencia promedio anual entre el 40% y 50%.
- La eficiencia depende mucho del ángulo de incidencia.
- La eficiencia óptica no es un parámetro constante, por lo que la eficiencia ha de evaluarse no solo para una cierta localización geográfica, sino también para cada orientación del colector. (Arguelles, 2011).

CAPÍTULO 3.
MATERIALES Y
MÉTODOS

En este capítulo se dará a conocer el procedimiento general que se siguió para a correcta elaboración del calentador solar con base en lentes de Fresnel.

En un principio se muestra el diagrama de flujo, donde se aprecia el método por el cual se basó esta tesis.

Diagrama de flujo:



Después se muestra el programa de diseño asistido por computadora que se utilizó en el prototipo, mostrando la vista en tercera dimensión (3D) con las dimensiones precisas, el programa utilizado en este caso es AutoCAD 2010[®] el cual es una herramienta poderosa capaz de diseñar edificios, puentes, y toda clase de piezas. Con esto se logra obtener una vista previa del prototipo.

Posteriormente se muestran las tablas (ver tabla 3.1 y 3.2) donde se puede apreciar tanto las herramientas necesarias para la construcción, así como las diferentes piezas que se necesitaron para lograr la construcción total del prototipo.

3.1 Diseño por computadora

El prototipo de calentador solar con base en lentes Fresnel, se diseñó en computadora, con el sistema asistido por computadora AutoCAD 2010[®]. En el cual se detallan todas las piezas y las diferentes partes que conforman el calentador.

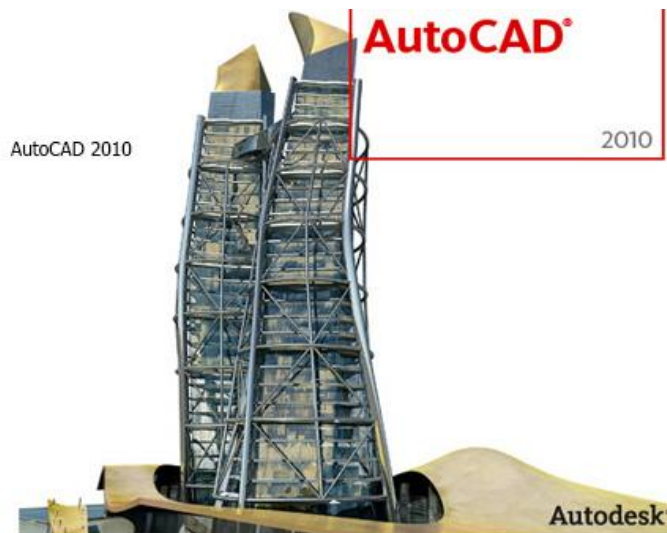


Figura 3.1 Software AutoCAD 2010[®]

AutoCAD 2010[®] es una herramienta de diseño creado para diseñar cualquier tipo de estructuras u objetos con dimensiones precisas, como edificios y puentes, lo cual permite diseñar en este caso todas las partes que conforman el calentador solar de manera precisa, obteniendo así un plano en el cual guiarse para la construcción del prototipo en físico.

3.2 Descripción de las herramientas utilizadas para la elaboración del prototipo.

Las herramientas que se muestran en la tabla 3.1 son necesarias para construir el prototipo de manera adecuada. Estas herramientas se utilizaron por su disponibilidad, ya que forman parte del inventario del taller de construcción de la UIIM.

Tabla 3.1 Herramientas necesarias para la construcción del prototipo.

Herramientas utilizadas para la construcción del calentador solar		
		
Roladora, Dobladora y Cortadora de lamina	Brocas	Tijeras para cortar lamina
		
Martillo	Pinzas	Flexómetro
		

Cortadora de metal	Taladro	Escuadra
 <p>Remachadora</p>	 <p>Sierra de banco</p>	 <p>Compresora y accesorios</p>
 <p>Soldadora eléctrica</p>	 <p>Segueta</p>	 <p>Pulidora</p>
 <p>Cortador de tubo</p>	 <p>Guantes de seguridad</p>	 <p>Prensa Sargento</p>

3.3 Materiales utilizados en la construcción de todo el prototipo.

Las cantidades de materiales, así como del tipo de los mismos, afecta el funcionamiento del prototipo, por ese motivo, se hizo una selección de materiales comunes, en su mayoría de bajo costo, no dejando de lado la importancia de cada material con respecto a la funcionalidad dentro del prototipo, a continuación se muestra en la tabla 3.2, donde se muestran los materiales utilizados en la manufactura del calentador solar con base en lente de Fresnel.

Tabla 3.2 Materiales utilizados en la construcción del prototipo.

Descripción	Imagen	Cantidad
Colector		
Plastitabla		0.8074m ²
Lámina de acero inoxidable		1.5674m ²
Vidrio de 6mm		0.5562m ²
Codo cobre 1.905cm		2
Tubo de cobre 1.905cm		6m
T de cobre 1.905cm		8
Silicón		1 tubo
Adaptador hembra 1.905cm		2
BASE		
Angulo perforado de acero para estantes		11m
Tubular redondo 1.27cm		32cm



Solera de acero de 1.905cm		1.12m
SOPORTE FRESNEL		
Solera de aluminio de 1.27cm		3.12m
Tubular cuadrado 1.27cm		120cm
Angulo de aluminio de 1.27cm		5m
Tubular redondo 1.27cm		16cm
Lente Fresnel		10
Remaches		1 paquete
TERMOTANQUE Y TUBERÍA		
Tela de polipropileno		
Tubo de PVC 1.905cm		3m
Tubo de CPVC 1.27cm		1.8m
Espuma de poliuretano		3 latas

Tambo de metal		1
Cople de acero inoxidable 1.905cm		3
Codo 90° PVC 1.905cm		2
Codo 90° CPVC 1.27cm		2
Adaptador macho 1.905cm PVC		5
Adaptador macho 1.27cm CPVC		2
T de 1.27cm CPVC		2
T de 1.905cm PVC		2
Llaves de agua		2
Tuerca unión 1.27cm CPVC		2
Tuerca unión 1.905cm PVC		2

3.4 Análisis de resultados.

Una vez terminado el calentador solar a base de lentes Fresnel, se procede a analizar su rendimiento térmico, para esto necesitamos instrumentos capaces de realizar las lecturas correspondientes. En la tabla 3.3 se muestran los instrumentos necesarios para realizar dichas mediciones.

Tabla 3.3 Instrumentos de medición.

Instrumentos de medición	
Equipo	DESCRIPCIÓN
	PIRANÓMETRO LP02
	TERMÓMETRO DIGITAL “ANAHEIM SCIENTIFIC” MODELO H 240 CON SENSOR DE LECTOR DE TEMPERATURA
	CRONÓMETRO

CAPÍTULO 4.
DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN

El diseño por computadora se realizó con el software AutoCAD 2010[®], en el cual se elaboraron todas las partes del prototipo del calentador, tomando como base la estructura de un calentador solar de placa plana. El diseño final muestra el dimensionamiento del prototipo en tres dimensiones, el cual dará pauta para la elaboración física del calentador.

Las vistas que aquí se muestran del prototipo, son las partes que conforman al calentador.

4.1 Diseño del colector.

En primera instancia se diseñó un colector de placa plana con medio metro cuadrado de captación. En la figura 4.1, se muestra el cajón principal del calentador, esta es la base donde se montará el resto de las partes del colector.

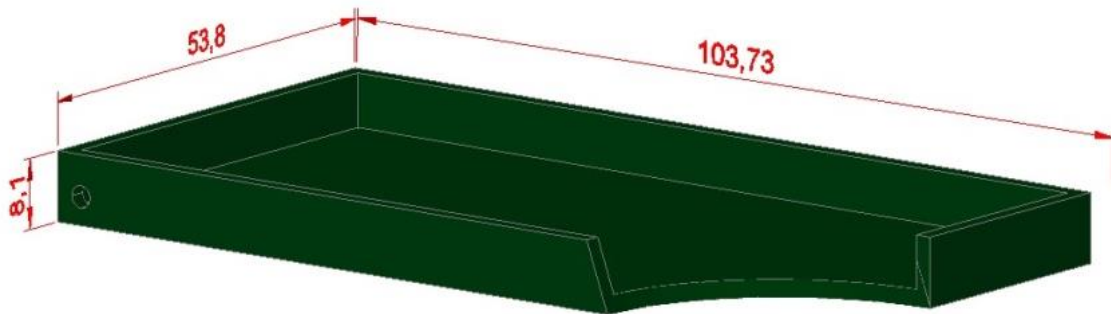


Figura 4.1 Diseño del cajón del colector.

En el diseño se plantea la colocación de una capa interior de lámina, que actuara como una segunda protección de los elementos, ya que la plastitabla en este caso será la primera barrera contra los elementos naturales que puedan afectar el funcionamiento del prototipo. Como se muestra en la figura 4.2, la lámina tiene la misma forma que el cajón, excepto que esta será de menores dimensiones, ya que tendrá que entrar ajustadamente en el cajón.

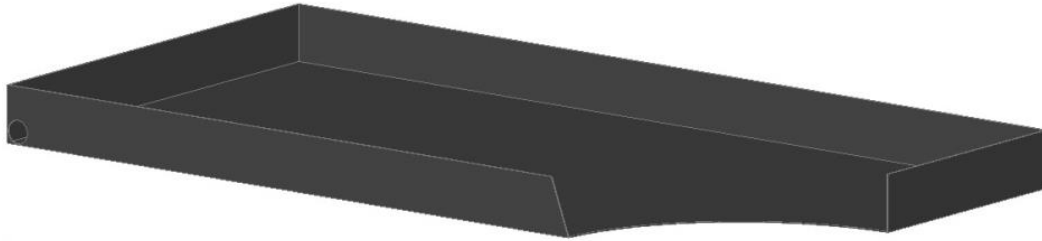


Figura 4.2 diseño de la lámina interior del colector.

Posteriormente se diseñó el sistema de tubería o serpentín (ver figura 4.3), el cual cumple la función de absorber la energía solar térmica recibida en el colector.



Figura 4.3 Diseño del serpentín.

Debido a que el serpentín deja espacios entre los tubos que desaprovechan la captación, se optó por el diseño de una lámina que cubriera los tubos, con el propósito de absorber en su totalidad la radiación y concentrarla en el serpentín (ver figura 4.4).

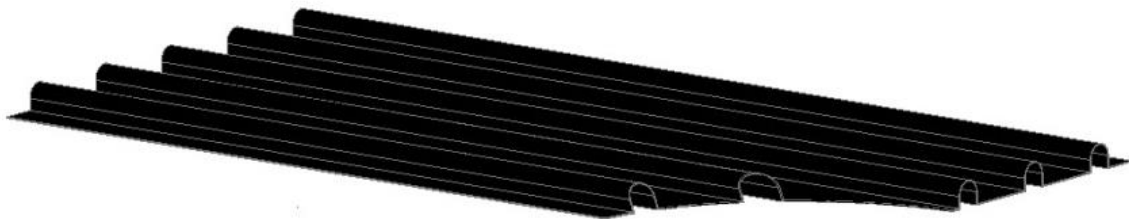


Figura 4.4 Diseño de placa absorbedora.

Por último se colocó una tapa de vidrio de 6mm, el cual ayudara con el efecto invernadero (ver figura 4.5), el cual es necesario para el funcionamiento del colector.

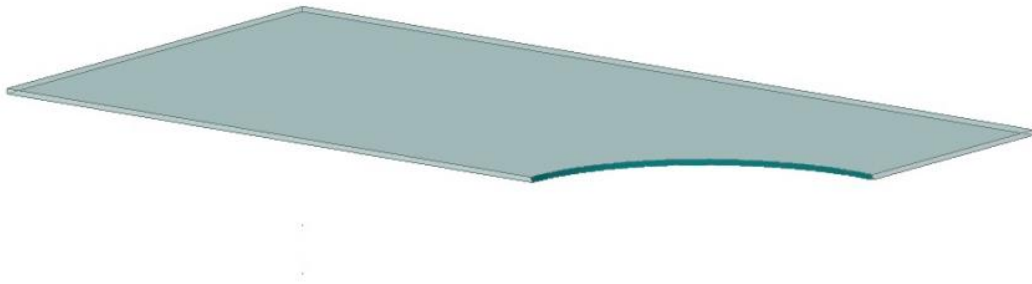


Figura 4.5 diseño 3D de placa de vidrio.

Por último se ensamblaron todas las partes que conforman el colector (ver figura 4.6), se muestran diferentes vistas del colector ya completo.

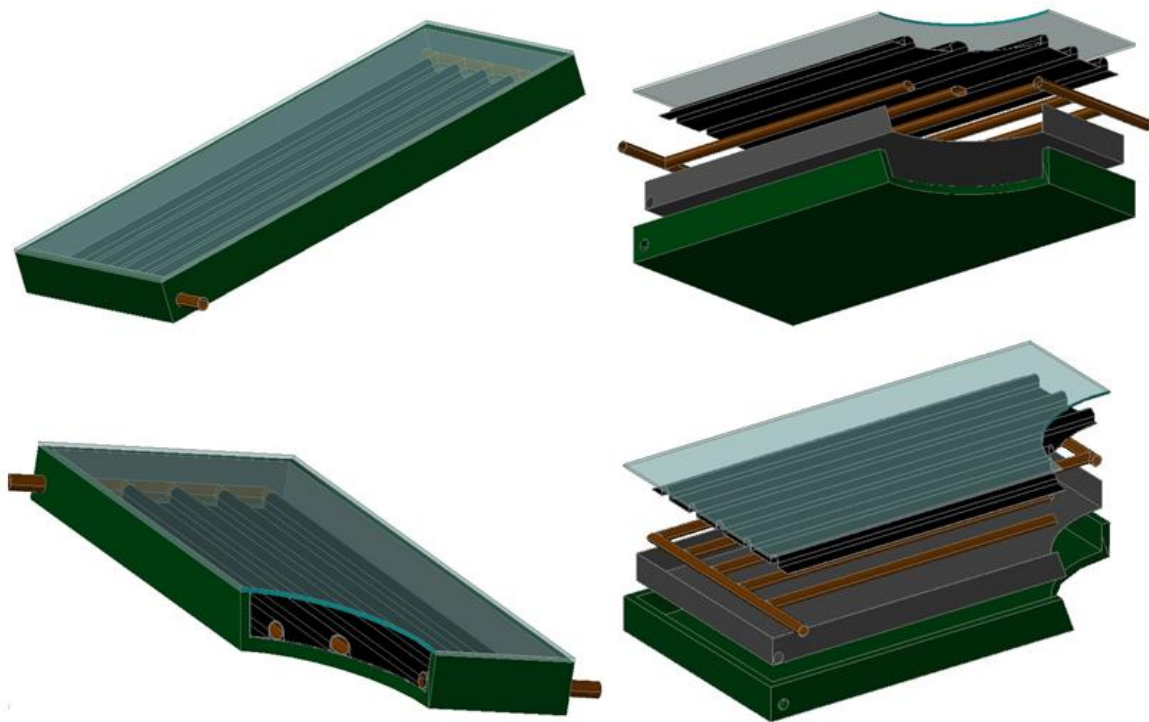


Figura 4.6 diseño 3D del colector.

4.2 Diseño de la base del prototipo.

Una vez diseñado el colector, se pensó en una base capaz de contener y soportar todas las partes que conformaran en calentador. Se optó por diseñar una estructura capaz de ser plegable el cual facilite un modo de transporte más sencillo.

Para el diseño total del prototipo se optó por una estructura de ángulo de acero perforado para estantes de 2 ½" por 2" con estas medidas se comenzó el diseño de la base. Como se observa en a figura 4.7, se plasma primeramente la forma del ángulo en dos dimensiones (2D).

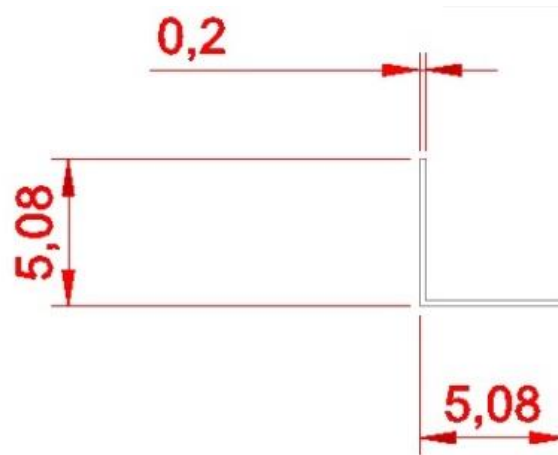


Figura 4.7 diseño 2D del ángulo de acero.

Diseñada la figura principal, se procede a volverla una figura tridimensional la cual con el comando, “extrusión”, permitiendo realizarlo de manera sencilla, insertando las distancias que se requieran. Tal y como se puede apreciar en la figura 4.8.

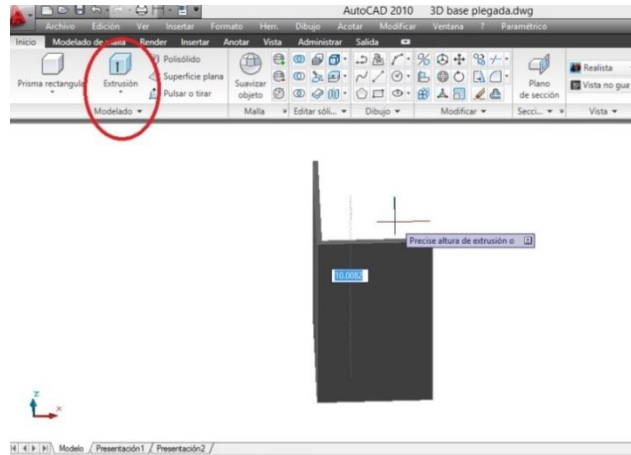


Figura 4.8 Extrusión de ángulo.

Después se procede a colocar las distintas partes que conforman la base con el ángulo de acero, aplicando a esta unos soportes laterales de solera de acero de 1” a la base, lo cual le da rigidez y estabilidad. Estas mismas soleras actuarán como medio de plegado de la base, actuando como tijeras (ver figura 4.9).

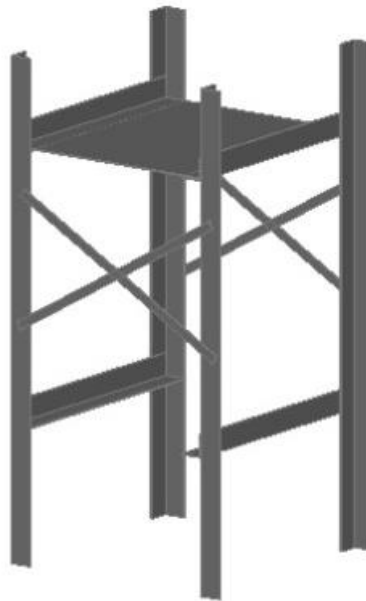


Figura 4.9 Colocación de las soleras.

Terminadas las partes que conforman la base, se procede al ensamblaje final de la misma y también el pliegue que logra la disminución de área, la cual permite su fácil transporte. (ver figura 4.10)

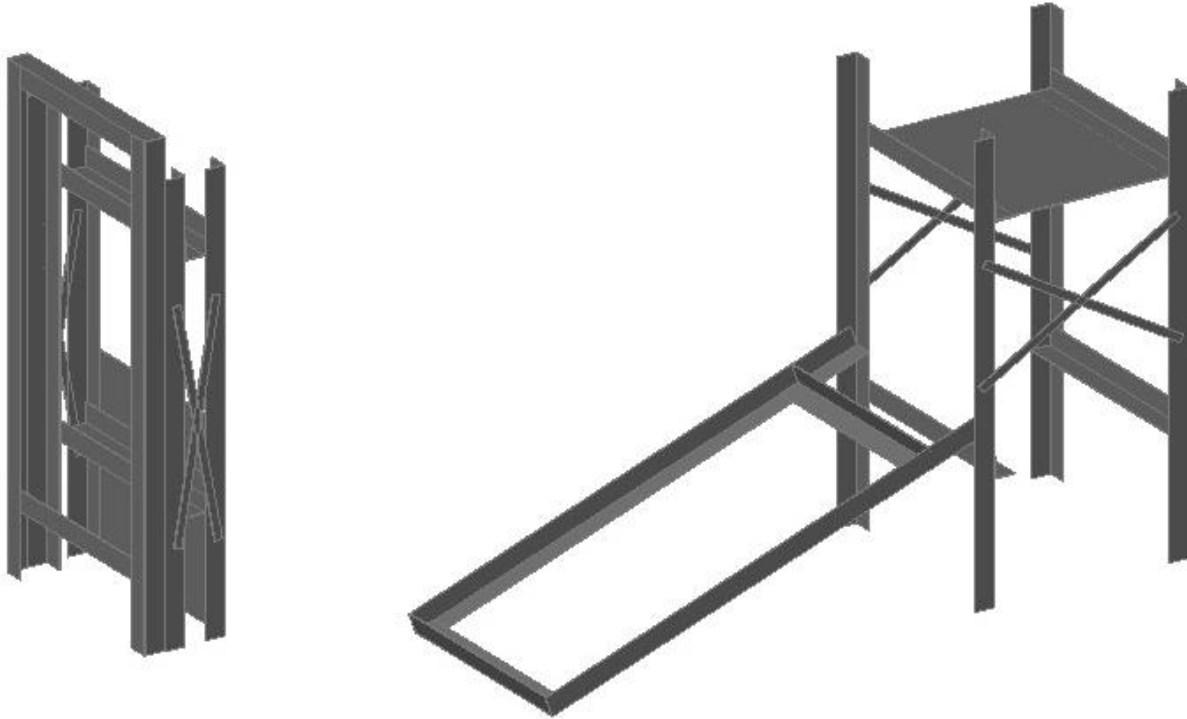


Figura 4.10 Diseño de la base del prototipo.

4.3 Diseño del termotanque del prototipo.

El termotanque es fundamental en un calentador solar, ya que es el que permite que el agua se mantenga caliente durante lapsos de tiempo prolongados, además de que un termotanque bien fabricado permite que se realice el efecto termosifón.

En este caso se contempló que el termotanque constará de 3 capas, en primera instancia el recipiente que contendrá el agua, de color azul en este caso.

Para esto se utilizó un tambo metálico en el cual se colocan adaptadores para las entradas y salidas de agua hacia el interior del tambo. Este será cubierto por una capa de espuma de poliuretano, la cual actuará como aislante del termo. Está cubierta de aislante será la segunda capa del termotanque, (ver la figura 4.11).

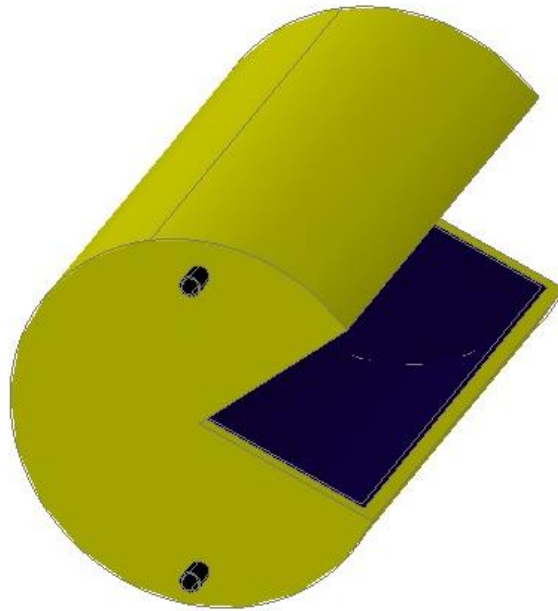


Figura 4.11 Tambo y espuma de poliuretano.

Y por último una capa de tela de polipropileno recubierta con pintura impermeabilizante, esto con el afán de colocar una última capa de aislante y protección de los elementos, como la lluvia y el sol. Formando así las tres capas del cual consta el termotanque. (Ver a figura 4.12 y 4.13).

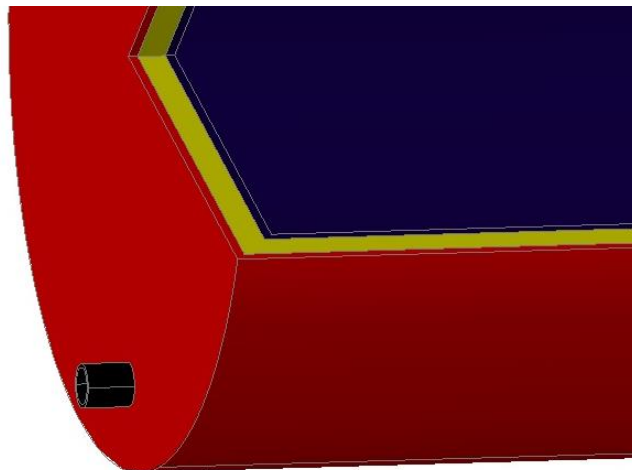


Figura 4.12 Vista de las capas del termotanque en corte.

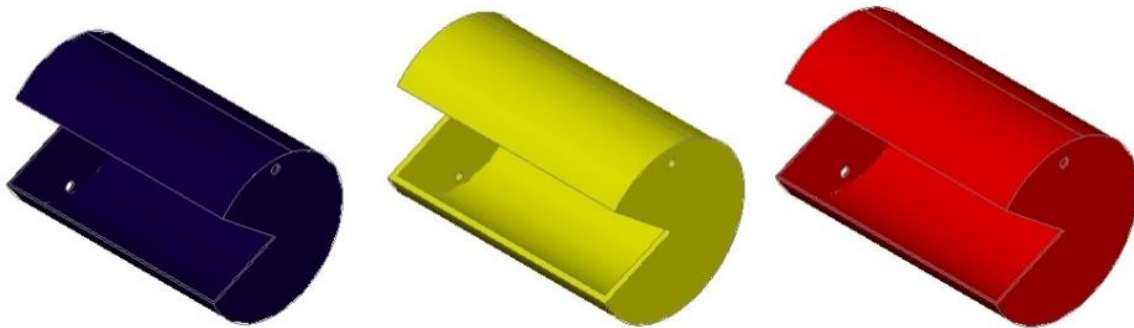


Figura 4.13 Visualización de las capas del termotanque por separado.

Una vez incorporadas todas las capas, el termotanque resultante, cumple el propósito de mantener el agua caliente (ver figura 4.14).

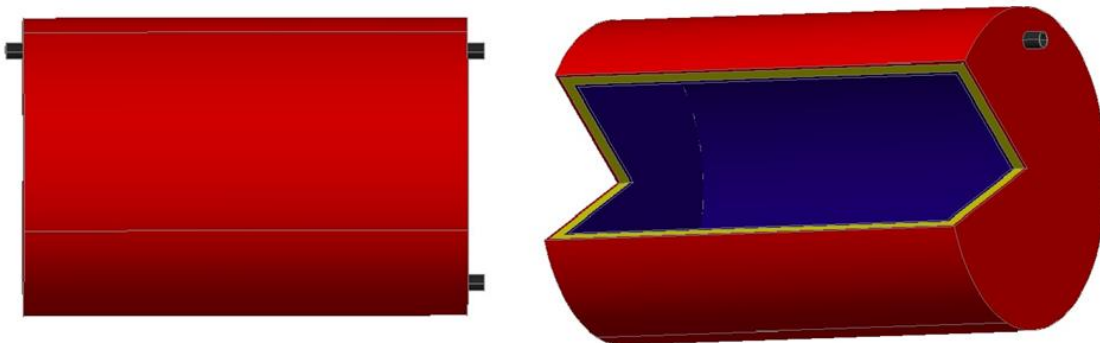


Figura 4.14 Diseño final del termotanque.

4.4 Diseño de los soportes para los lentes Fresnel

La propuesta innovadora que presenta esta tesis es la adaptación de lentes de Fresnel, los cuales ayudaran con la difracción y concentración de los rayos solares, para lo cual se diseñó un sistema que permitiera el correcto posicionamiento de los lentes.

Primeramente se diseñó el soporte donde estarán montados los lentes, esto con solera de aluminio de $\frac{1}{2}$ ", los cuales forman un rectángulo firme, capaz de sostener los 5 lentes que necesarios para el prototipo (ver figura 4.15).

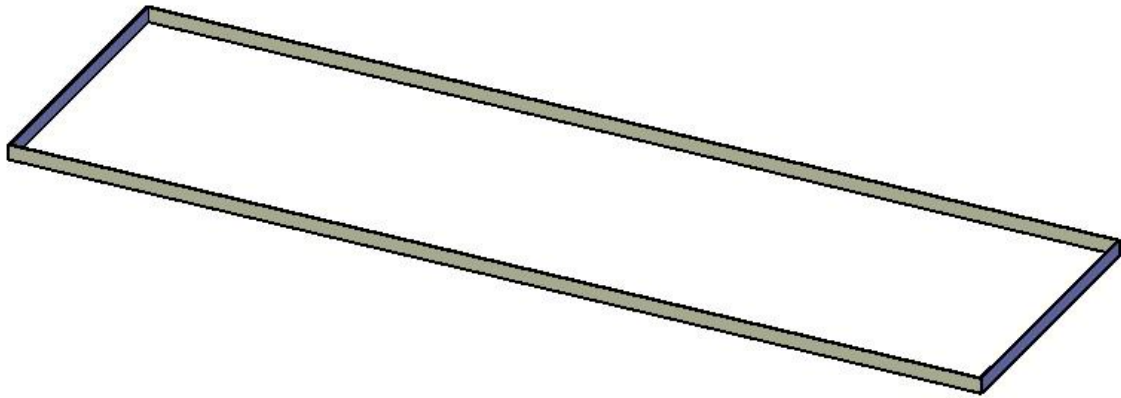


Figura 4.15 Estructura de solera de aluminio para los lentes Fresnel.

Después se diseña un mecanismo tipo prensa que soportara la base donde estarán montados los lentes Fresnel, esta prensa podrá subir y bajar todo el sistema, además de rotarlo, lo que permite encontrar el ángulo indicado de funcionamiento de los lentes. Como se observa en las figura 4.16

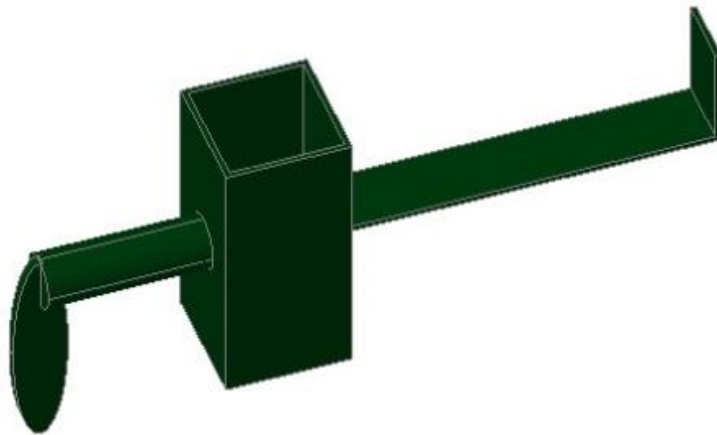


Figura 4.16 Diseño de la prensa del soporte Fresnel.

Este dispositivo va montado en una base de tubería cuadrada de $\frac{1}{2}$ " , por donde se deslizará la prensa, de arriba hacia abajo. Estos tubos se encuentran colocados dentro de secciones de tubo soldadas en el marco de la base del prototipo. Esto

permite extraer con facilidad toda le soporte de los lentes, (ver la figura 4.17 y 4.18).

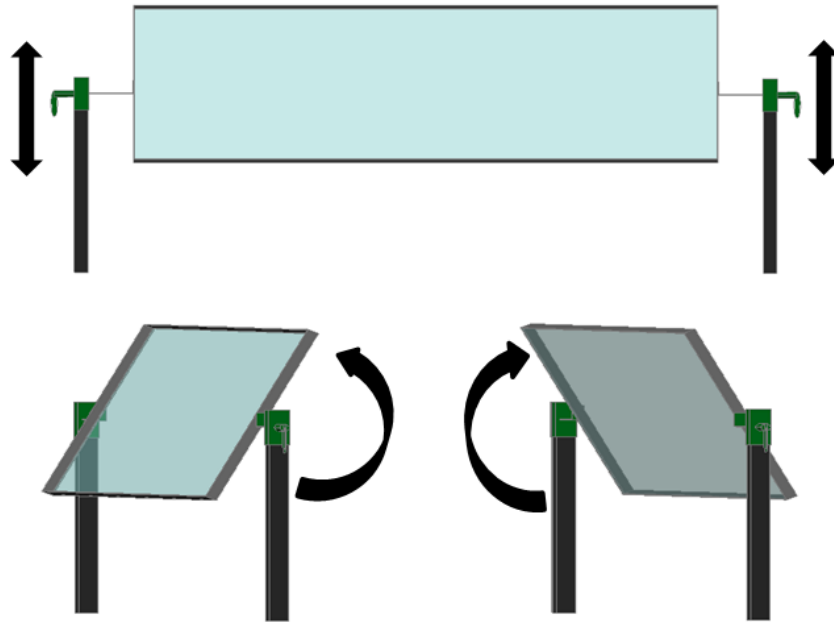


Figura 4.17 Rotación y ajuste de altura de los lentes Fresnel.

Una vez terminadas las distintas piezas del soporte Fresnel, se procede al ensamblaje del soporte completo, como se puede observar en la figura 4.18.

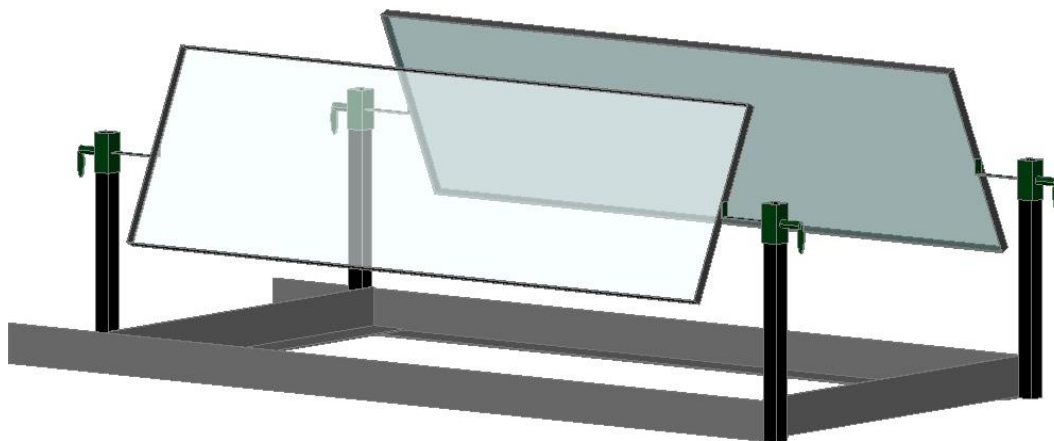


Figura 4.18 Diseño final del soporte Fresnel.

Una vez concluido el diseño de todas las partes del prototipo, se procede al ensamble del diseño y como se observa en la figura 4.19, tenemos un diseño básico del prototipo. En los anexos (A, B, C, D, E), se muestran las dimensiones que se establecieron para el diseño.

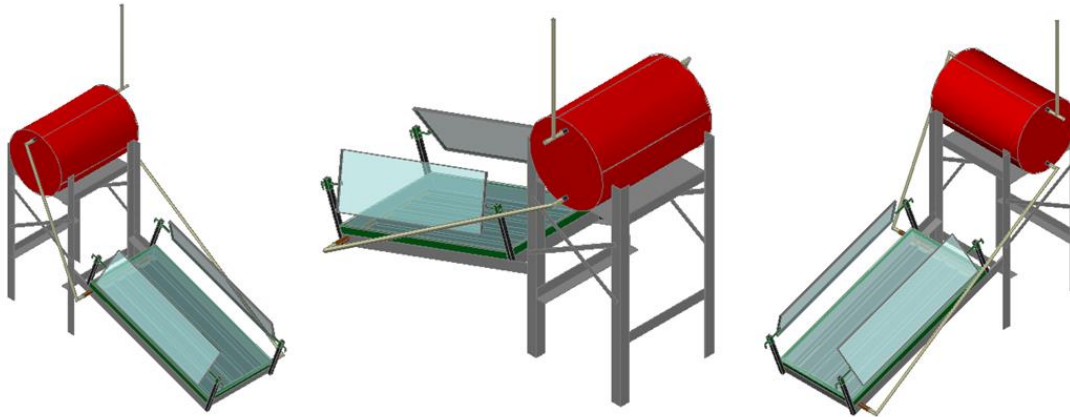


Figura 4.19 Diseño del calentador solar con base en lentes de Fresnel.

4.5 Construcción del prototipo

El proceso de construcción del calentador solar con base en lentes Fresnel es inevitable para saber si el prototipo funciona en campo, enfrentándose a las adversidades del clima y en desgaste de los materiales, la construcción consta de 5 etapas:

- 1°.- Elaboración del colector.
- 2°.- Elaboración de la base del prototipo.
- 3°.- Elaboración de la estructura de lentes Fresnel.
- 4°.- Elaboración del termotanque.
- 5°.- Armado final del calentador.

4.6 Elaboración del colector.

Se comenzó a realizar las mediciones y trazos en los materiales de acuerdo con el diseño por computadora que en un principio se estableció.

Como primera parte se manufacturo el colector, el cual consta de un cajón hecho de plastitabla (ver figura 4.20); el cual permite una gran durabilidad, es un buen aislante y representa una forma de materiales reutilizables.



Figura 4.20 Armado del cajón de plastitabla.

Cabe señalar que al momento de introducir las pijas por la parte lateral de la plastitabla, esta se abría, para contrarrestar esta situación se perforo una guía con una broca más pequeña que el grosor de la pija (ver figura 4.21), así la pija se introduce con mayor facilidad y sin dañar la plastitabla.



Figura 4.21 Perforación e inserción de pijas.

También se perforaron orificios para los tubos de entrada y salida de agua del serpentín, con una broca plana de $\frac{3}{4}$ " (ver figura 4.22).



Figura 4.22 Perforación lateral del cajón.

Continuando con la manufactura del colector, se coloca la lámina de acero inoxidable en el interior del cajón, con el fin de crear una sección multicapas con el serpentín en medio. Para esto se mide la superficie al interior del cajón, se determina la cantidad de lámina a utilizar y después se procede a cortarla (ver figura 4.23).



Figura 4.23 Medición y corte de lámina de acero inoxidable.

Una vez cortada y comprobadas las medidas, se realizan los dobleces necesarios para que encaje con precisión en el cajón de plastitabla (ver figura 4.24), después se martillean los sobrantes para formar un enchapado corrido en el cajón.



Figura 4.24 Doblado y colocación de la lámina en el cajón.

Se perforan en la lámina los orificios de entrada y salida de agua del serpentín con tijeras para cortar lamina, por último se clavan las diferentes partes de la lámina a la plastitabla y se retiran los excedentes de los clavos con la esmeriladora (ver figura 4.25).



Figura 4.25 Perforación de lámina y esmerilado de sobrantes.

Una de las partes más esenciales de los colectores, es el serpentín, el cual es son responsable de absorber y transferir el calor hacia el agua en su interior. Los serpentines son usualmente de cobre, ya que este es un material con una alta conductividad térmica y es recomendable para este tipo de aplicaciones (ver figura 4.26).



Figura 4.26 Tubería de cobre.

Para la construcción del serpentín, se tomaron en cuenta las dimensiones al interior del cajón de acuerdo con esto, se midieron y cortaron los tubos de cobre de $\frac{1}{2}$ " de diámetro, se lijaron los extremos y la parte interna de las conexiones necesarias tales como: codos de $90^\circ \frac{1}{2}$ " y conexiones "T" $\frac{1}{2}$ " de cobre (ver figura 4.27).



Figura 4.27 Corte y lijado de la tubería de cobre.

Una vez lijadas las partes de conexión de la tubería de cobre, se aplica una capa de pasta para soldar (decapante) a las piezas que se van a soldar. Se aplica calor directo del soplete a las conexiones que se pretenden soldar hasta que se observe que el calor de la tubería sea suficiente para derretir el alambre de estaño, se derrite el alambre de estaño justo donde está la unión y se deja enfriar. Por último

se comprueba si la soldadura tiene alguna fuga y de haberla se repite el procedimiento en la zona de la fuga (ver figura 4.28).

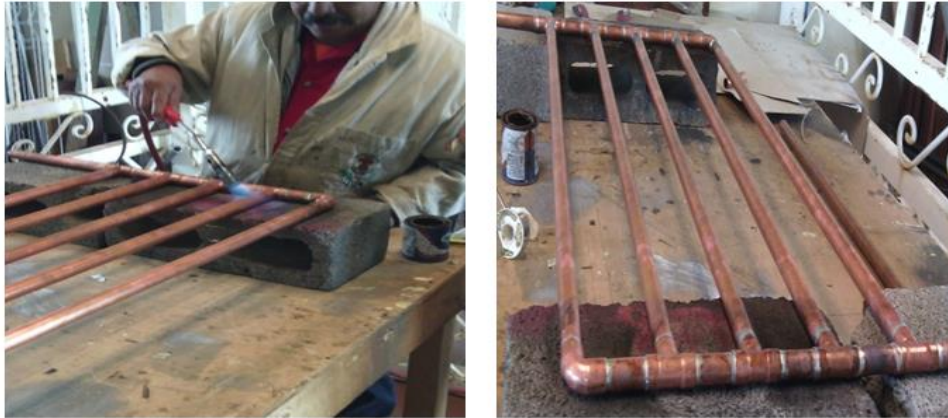


Figura 4.28 Soldadura del serpentín.

Se ensamblan todos los componentes del colector, revisando las imperfecciones y corrigiéndolas. Por último se pega el vidrio de 6mm con silicón para que el colector pueda lograr el efecto invernadero que se ocupa para aumentar la eficiencia (ver figura 4.29).



Figura 4.29 Colector solar plano.

4.7 Construcción de la base del prototipo.

La base del prototipo sostiene todas las partes que conforman un calentador solar y las fijan en su lugar determinado.

Para a construcción de la base se obtuvieron ángulos de acero para la construcción de estantes de oficina, el cual resulto ser eficiente para soportar el peso de los componentes del calentador, además se tener perforaciones adecuadas para colocar el colector con su ángulo correspondiente.

Se realizaron las mediciones de las barras de ángulo de acero y se efectuaron los cortes rectos y a 45° según sea el diseño (ver figura 4.30).



Figura 4.30 Cortes de ángulo de acero.

Una vez cortadas las diferentes piezas, se procede a soldar las distintas partes que conforman la base. Así como los soportes que le darán rigidez a la estructura de la base (ver figura 4.31).



Figura 4.31 Soldadura de ángulo de acero.

También se cortan tramos 65cm de solera de 1", la cual se perfora en el centro, después se remachan 2 de estos tramos para que tengan un efecto de tijera. Este procedimiento se realiza pensando en la movilización y estabilidad del calentador hasta su lugar de pruebas, por eso la base será plegable para reducir el espacio al momento de transportarla. Se agregaron ángulos de acero de 10cm que serán las patas de estructura. Después se le da una capa de pintura para evitar la corrosión (ver figura 4.32).



Figura 4.32 Soporte y pintado de la base.

Por último se procede al ensamblaje final de la estructura, como se observa en la figura 4.33.



Figura 4.33 Base del Calentador solar con base en lentes de Fresnel.

4.8 Construcción del termotanque.

El termotanque aquí mostrado se realizó con materiales que están disponibles en casi todas las ferreterías, además de ser materiales de bajo costo.

Para la construcción del termotanque se comenzó con un tambo de metal de aproximadamente 68 litros, en el cual se le soldaron coples de acero galvanizado de rosca interna de $\frac{3}{4}$ " para la entrada y salida del agua (ver figura 4.34).



Figura 4.34 Tanque de metal y Soldadura de coples.

Se esmerilan los bordes de soldadura y se aplica plastiacer para tapas cualquier fuga que haya quedado. Se pinta el interior del tambo para evitar la oxidación, después se realiza el sellado del tambo colocando el empaque de fábrica, además de la abrazadera apretándola firmemente, se le aplica silicón alrededor de la abrazadera, y se comprueba que no exista ninguna fuga de agua (ver figura 4.35).



Figura 4.35 Sellado del tambo.

El aislamiento del termotanque es fundamental, ya que este es el que permite mantener el agua caliente dentro del termotanque durante largos periodos de tiempo. En este caso se aplica una capa de aproximadamente 3 cm de grosor de

espuma de poliuretano, la cual resulta ser un buen aislante. Además como capa exterior en el termotanque se coloca una capa de pintura impermeabilizante y una tela de polipropileno la cual acompañada de la pintura resulta ser un buen aislante (ver figura 4.36 y 4.37).



Figura 4.36 Aplicación de espuma y tela con impermeabilizante.



Figura 4.37 Termotanque del calentador solar con base en lentes de Fresnel.

4.9 Construcción de los soportes Fresnel.

En este caso se implementaron los lentes Fresnel como innovación, que se cree que aumentara en cierta forma el rendimiento térmico del calentador, al concentrar y difractar la radiación hacia el colector. Para la construcción de estas armazones para los lentes, se pensó en utilizar un conjunto de 5 lentes de forma lineal situados a los costados del colector, esto permite abarcar en su totalidad el espacio del colector donde se concentrara la radiación de los lentes.

Primeramente se midió el perímetro de los lentes para saber la cantidad de material a utilizar, en este caso se utiliza ángulo de aluminio de $\frac{1}{2}$ " ya que este es muy liviano y resistente. Se mide el ángulo de aluminio y se cortan las piezas para formar un rectángulo donde se colocaran los 5 lentes de forma lineal (ver figura 4.38). Además de cortar pedazos de solera de aluminio de $\frac{1}{2}$ " de 26cm los cuales serán los que le darán rigidez y además sostendrán en su lugar a los lentes Fresnel.



Figura 4.38 Armazón del Soporte de lentes Fresnel.

Los armazones para los lentes Fresnel deben variar la altitud y ángulo de inclinación, esto para poder observar cual es la posición de los lentes que aproveche más la radiación, y concentre por más tiempo los focos de radiación.

Para esto se fijan 4 tramos de 30cm de tubular cuadrado de $\frac{1}{2}$ " los cuales se fijaron con soldadura a la base que sostiene el colector, además de forzar 4 secciones pequeñas de 5cm de largo de tubular de $\frac{1}{2}$ ", para que calzara en el

tubular cuadrado, esto permite que pueda moverse libremente sobre el tubular (ver figura 4.39).



Figura 4.39 Acople de tubulares.

Estos tramos de 5cm de tubular se perforan a la mitad y se soldó una tuerca con un tornillo para que este pueda apretarse y sostenga el dispositivo, a este tornillo se le agrega un pedazo de solera para que cumpla la función de palanca (ver figura 4.40). Logrando así formar una pequeña prensa que sostendrá todo el sistema de soporte de los lentes.



Figura 4.40 Fabricación de prensa del soporte Fresnel

También se cortan otros 4 secciones de tubular $\frac{1}{2}$ y se repite el proceso para que entre y salga con facilidad el tubular cuadrado, estos se sueldan a la base, ya que estos sostendrán el tubular cuadrado. Todo esto para que las bases de los Fresnel sea desmontable, reiterando de nuevo la parte del fácil transporte del prototipo (ver figura 4.41).



Figura 4.41 Corte y soldadura de tubular en la base.

Del otro lado del tubular de 5 cm se soldan unos pedazos de solera de $\frac{1}{2}$ ", se doblan y se ajustan al tamaño que exige el armazón de los Fresnel para que quede justo, terminado esto se ensamblan las diferentes piezas (ver figura 4.42 y 4.43).



Figura 4.42 Soldadura de solera en la prensa.



Figura 4.43 Soporte Fresnel.

Una vez concluidos todos las partes del prototipo, se procede al ensamblaje final del calentador solar, (ver figura 4.44)



Figura 4.44 Prototipo del calentador solar con base en lentes de Fresnel.

**CAPÍTULO 5.
EXPERIMENTACIÓN
Y ANÁLISIS DE
RESULTADOS.**

En el presente capítulo se describe la instrumentación y materiales utilizados para realizar las pruebas y así calcular adecuadamente el rendimiento térmico del prototipo de calentador solar con base en lentes de Fresnel.

5.1 Experimentación del Calentador solar con base en lentes de Fresnel.

INSTRUMENTACIÓN

Para realizar los experimentos de una forma adecuada, se utilizaron instrumentos de medición apropiados para el caso de los calentadores solares, tales como:

- Termómetro digital “Anaheim scientific” modelo h20, con 4 entradas para sensores “tipo k” de temperatura. Los cuales permiten realizar una medición adecuada en cada sección que se tenga que medir.
- Otro instrumento es el piranómetro, el cual nos permite captar la radiación en W/m^2 , la cual es un dato muy importante para obtener el rendimiento térmico del prototipo (ver tabla 3.3).

5.2 Información básica de la prueba en campo.

Para el correcto funcionamiento del prototipo, es necesario contemplar varios aspectos como el clima, lugar, orientación, instrumentación utilizada etc. Las condiciones meteorológicas de Pátzcuaro, Michoacán, en este caso resultaron ideales por la cercanía del lugar a la Universidad, el mejor clima y la radiación incidente.

Consideraciones Geográficas para la prueba:

- Pátzcuaro, Michoacán, México
- Altura: 2,140 msnm
- Latitud: $19^{\circ}31'$
- Longitud: $101^{\circ}36'$

Características de la prueba:

- Duración :aproximadamente 120 minutos
- Lectura de datos: cada 10 minutos.

El funcionamiento del sistema solar térmico, compuesto por el captador solar, por el circuito solar y el depósito de acumulación, puede calcularse, de forma simple, a través de la comparación entre la radiación solar disponible en un período de tiempo y el aumento de la temperatura del agua en el interior del Termotanque.

El rendimiento térmico (η) del calentador se obtiene con la siguiente formula:

$$\eta = \frac{(m)(C_p)(T_f - T_i)}{(I_g)(A_{cap})(d_t)} \quad \text{Ec. (5.1)}$$

Dónde:

- (m) Representa la masa de agua en kg .
- (C_p) Representa el calor específico a presión constante del agua, igual a $4185 \text{ (J/(kg)(}^\circ\text{C))}$.
- (T_f) Representa la temperatura final del agua, en $^\circ\text{C}$.
- (T_i) Representa la temperatura inicial del agua, en $^\circ\text{C}$.
- (I_g) Representa la radiación global en el plano del captador, en (W/m^2) , que para un día con el cielo limpio, cerca del mediodía, presenta valores entre los 800 y los $1000\text{W}/\text{m}^2$.
- (A_{cap}) Representa el área del absorbedor, en m^2 .
- (d_t) Representa el tiempo que duro la prueba.

Consideraciones:

- Aumentos de temperatura en el colector.
- Aumento de temperatura dentro del termotanque.

- Rendimiento del colector.

En las pruebas realizadas al prototipo se tomaron en cuenta las siguientes variables:

- Tiempo.
- Temperatura de entrada al termotanque.
- Temperatura de salida del termotanque.
- Temperatura dentro del termotanque.
- Radiación.
- Temperatura ambiente.

5.3 Análisis de los resultados.

Una vez establecidos los datos a tomar en cuenta se procede a hacer la prueba. Con condiciones necesarias para obtener un buen resultado. Para el procedimiento de lectura de datos se insertó un “sensor tipo k” en la entrada de agua del colector, otra en la salida del mismo, otra en la parte interna del termotanque a un nivel medio, y una última en el exterior, para tomar la temperatura del ambiente, para la radiación se colocó el piranómetro en una zona despejada, además de su nivelación para su correcta lectura.

Una vez abarcadas todas las partes a las que se tomara la lectura, se procede a realizar la prueba, obteniendo el rendimiento térmico del calentador con la formula antes mencionada, tenemos que:

Prueba 1 sin lentes:

$$\eta = \frac{(68l)(4186)(22.8^{\circ}C - 19^{\circ}C)}{(912.24W/m^2)(0.5m^2)(13800s)} = 0.171843$$

$$\eta = (0.171843)(100\%)$$

$$\eta = 17.1843\%$$

Cabe señalar que esta prueba se realizó con un termotanque de 68 litros, obteniendo así la siguiente grafica que representa el rendimiento del calentador solar durante el periodo de la prueba. Esta se realizó sin la aplicación de las secciones de los lentes de Fresnel.

La siguiente grafica (figura 6.1) muestra el rendimiento térmico del prototipo con respecto al tiempo, donde se aprecian los momentos de mayor eficiencia del prototipo.

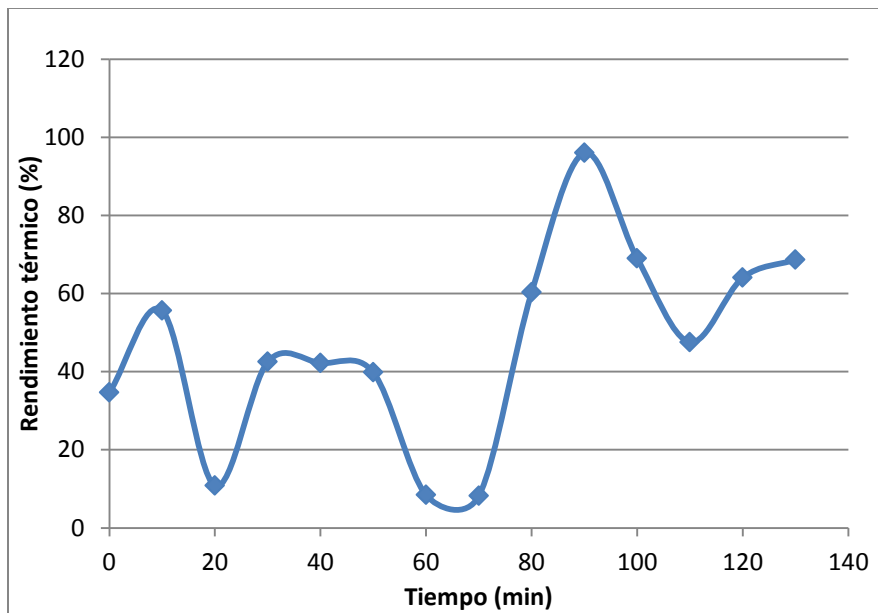


Figura 5.1 Grafica de rendimiento-tiempo, prueba sin lentes.

Durante la prueba número dos, sin lentes, se obtuvieron los siguientes resultados:

$$\eta = \frac{(68l)(4186)(24.4^{\circ}C - 19.1^{\circ}C)}{(879.2W/m^2)(0.5m^2)(15000s)} = 0.228788$$

$$\eta = (0.228788)(100\%)$$

$$\eta = 22.8788\%$$

En la anterior prueba, el periodo de prueba es diferente ya que en la prueba número uno, el tiempo fue de 13800 segundos y en la prueba dos fue de 1500 segundos, esto se debe a las cuestiones meteorológicas que permitieron extender la prueba.

En la figura 5.3 se observan los resultados de la segunda prueba del rendimiento térmico con respecto al tiempo, en este caso podemos apreciar los picos en la gráfica donde hubo mayor rendimiento térmico del prototipo, también vemos que los picos de rendimiento térmico son muy pocos, al igual que en la primera prueba sin lentes.

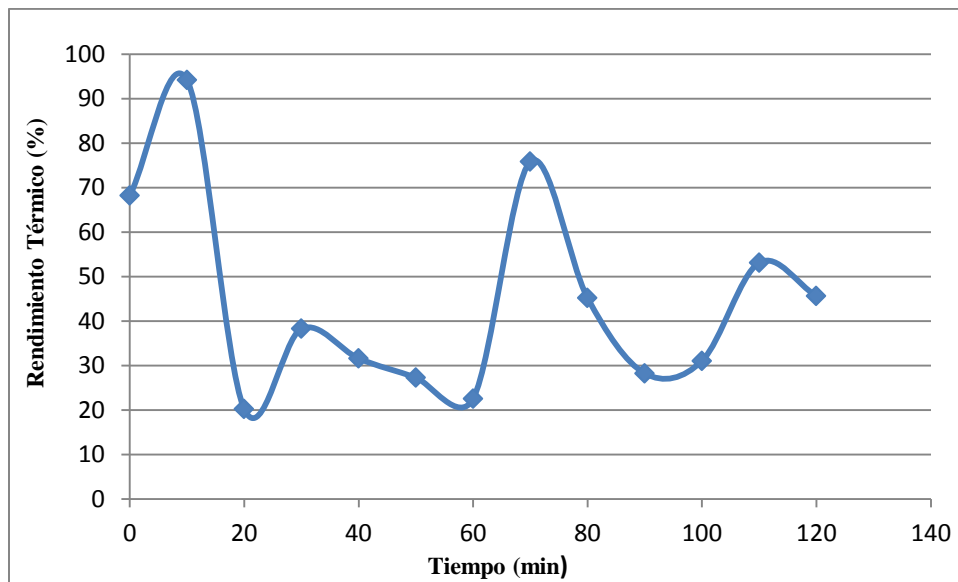


Figura 5.2 Grafica del rendimiento térmico sin lentes.

Siguiendo con el análisis de los resultados de las pruebas realizadas al prototipo, veremos en este caso las pruebas realizadas con la aplicación de la sección de lentes de Fresnel al prototipo arrojando los siguientes resultados.

En el caso de la primera prueba con lentes de Fresnel, los datos obtenidos son los siguientes:

$$\eta = \frac{(68l)(4186)(24.3^{\circ}C - 17.3^{\circ}C)}{(860.57W/m^2)(0.5m^2)(15600s)} = 0.296842$$

$$\eta = (0.296842)(100\%)$$

$$\eta = 29.6842\%$$

Como se puede observar en estos datos la eficiencia es mayor que en los otros dos casos sin la aplicación de la sección de lentes de Fresnel. Cabe señalar que esta prueba fue hecha en las mismas condiciones que los casos sin los concentradores.

Como podemos apreciar en la figura 5.4, los momentos de mayor de rendimiento térmico del prototipo son mayores, logrando en esta prueba mejores resultados.

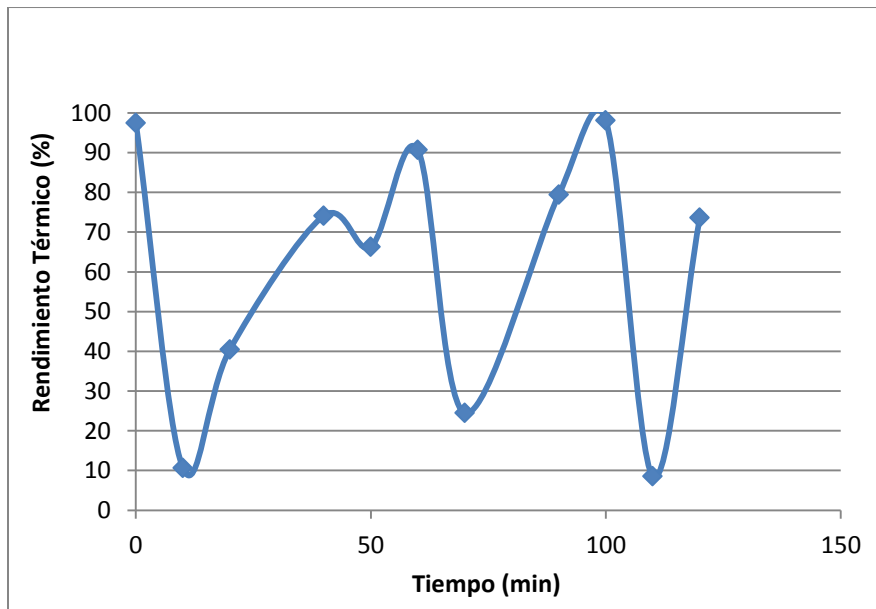


Figura 5.3 Grafica de rendimiento térmico con respecto al tiempo aplicando la sección de lentes Fresnel.

En la segunda prueba se aplicaron los mismos estándares de la prueba que en todas las anteriores, arrojando así los siguientes resultados:

$$\eta = \frac{(68l)(4186)(34^{\circ}C - 23.4^{\circ}C)}{(858.9W/m^2)(0.5m^2)(12000s)} = 0.58548$$

$$\eta = (0.58548)(100\%)$$

$$\eta = 58.548\%$$

Podemos observar que el resultado de la prueba es favorable, obteniéndose un 58.54% de rendimiento térmico con la aplicación de las lentes de Fresnel. Nótese en la figura 5.5 que los momentos de rendimiento térmico son mayores que en los otros casos, esto indica que el funcionamiento del prototipo fue el más óptimo.

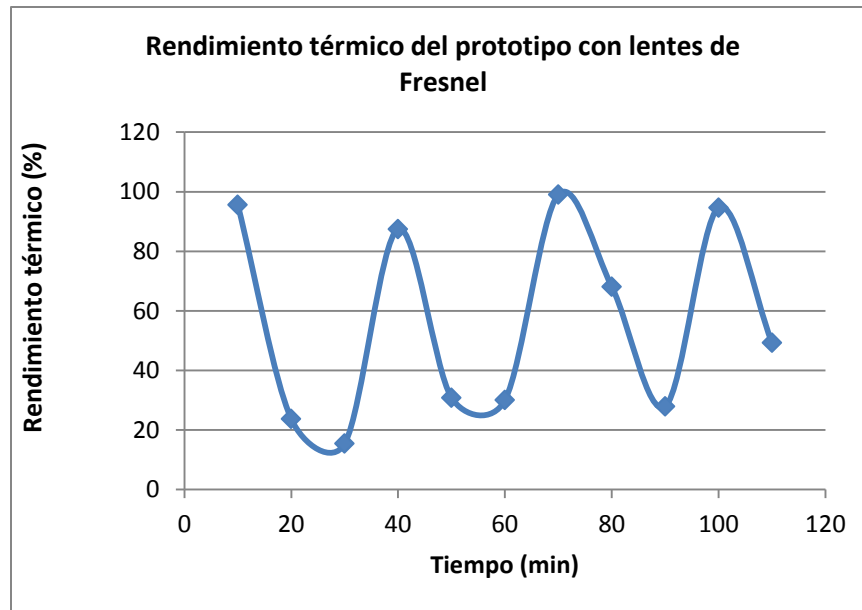


Figura 5.4 Grafica de rendimiento térmico con respecto al tiempo aplicando la sección de lentes de Fresnel.

Como se observa en las figuras 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, los picos mencionados, o los momentos de mejor rendimiento térmico, son los momentos en donde se realiza el efecto termosifón, observándose así los momentos en que el agua caliente sube al termotanque y el agua fría ingresa de nuevamente completando el circuito que implica este efecto.

Tabla 5.1 Comparación de rendimiento térmico.

Sin lentes de Fresnel	Con lentes de Fresnel
$\eta = 17.1843\%$	$\eta = 29.6842\%$
$\eta = 22.8788\%$	$\eta = 58.548\%$

Se aprecia en la tabla 5.2 las diferencias en los resultados de los rendimientos térmicos, donde existe una clara diferencia entre las pruebas con lentes y sin ellos, sobresaliendo en este caso los resultados de las pruebas con la aplicación de la innovación en este prototipo.

5.4 Periodo de la recuperación de la inversión

Durante el proceso de conocer y querer aplicar una nueva tecnología se requiere conocer el costo del calentador, la inversión que tendrá que hacerse para aplicar dicha tecnología y el tiempo que tardara recuperar la inversión.

Para saber esto se tienen que conocer varios factores, los cuales ayudaran a resolver dicha cuestión:

Para saber en promedio la cantidad de personas que se pueden bañar con la cantidad de litros del termotanque del calentador solar, se procede a realizar la siguiente operación. Teniendo en cuenta que la cantidad promedio de flujo de agua en una regadera por minuto es de 2 litros, durante una ducha promedio de 10 minutos y los 68 litros de capacidad del calentador solar, tenemos que:

$$\frac{(2l/min)(10min)}{68l} = 3.4_{personas}$$

Ahora que sabemos la cantidad de personas que se pueden bañar, obtendremos la cantidad de agua que se puede calentar durante un año, multiplicando los 68 litros por 365 días del año:

$$(68l/dia)(365_{días\ del\ año}) = 24820l/año$$

Esta cantidad de litros de agua la podemos convertir a gramos, ya que sabemos que la densidad del agua es de 1.000 kg/m^3 , por lo tanto:

$$(24820l/año) = (24820kg/año)$$

$$\left(24820_{kg/año}\right)\left(1000_{g/kg}\right) = 24820000_{g/año}$$

Una vez obtenido el número de litros de agua caliente que genera el calentador solar por año, se procede a conocer la cantidad de energía que implica calentar esta agua, por lo cual tenemos que:

$$E = (m)(C_p)(\Delta_T) \quad \text{Ec (5.2)}$$

Dónde:

$$E = \left(24820000_{g/año}\right)\left(4.18_{J/°C g}\right)(38_{°C} - 22_{°C}) = 1659961600_{J/año}$$

De esta manera podemos encontrar la energía total que se necesita para calentar 68 litros de agua durante un año. Por la primera ley de la termodinámica se puede inferir la eficiencia de una máquina térmica, que es útil para fines del presente cálculo, así:

$$\eta_{térmica} = \frac{E_{útil}}{E_{entrada}} \quad \text{Ec (5.3)}$$

De esta manera se puede saber cuánta energía consume una máquina térmica, en este caso los boiler convencionales que en promedio tienen una eficiencia de un 75% (0.75); siendo 100% (1) una máquina perfecta que transforma en su totalidad la energía de entrada en energía útil.

Ahora lo que buscamos es la energía necesaria para calentar los 24820 litros que puede calentar un boiler al año. Teniendo así:

$$E_{entrada} = \frac{E_{útil}}{\eta_{térmica}}$$

$$E_{entrada} = \frac{1659961600_{J/año}}{0.75} = 2213282133.3_{J/año}$$

Se puede deducir que la cantidad de energía total por año consumida por un boiler convencional con una eficiencia térmica del 75% es de 2213282133.3J/año convirtiéndolos a Mega Julios (MJ) equivale a 2213.2821333MJ/año.

Como la entalpia (H) del Gas LP (GLP) es de 48MJ/kg. Se dice que:

$$kg_{GLP} = \frac{E_e}{H} \quad \text{Ec (5.4)}$$

$$kg_{GLP} = \frac{2213.2821333MJ/año}{48MJ/kg} = 46.11kg/año$$

Con esto se conoce que el consumo anual de gas LP de un boiler convencional es de 46.11 kg. Si a esto se agrega el costo actual del gas LP, el cual es de \$14.74 pesos por kilogramo, se concluye que:

$$(\$14.74_{\text{pesos}})(46.11_{\text{kg}}) = \$679.66_{\text{pesos/año}}$$

Este dato, es el costo anual de gas LP consumido en un boiler convencional, para el calentamiento de 68 litros de agua diarios.

Estos datos obtenidos ayudaran a completar los factores para obtener el periodo de recuperación de la inversión (PRI)

$$PRI = \frac{CT}{(AEA)} \quad \text{Ec (5.5)}$$

Dónde:

- (PRI)= Periodo de recuperación de la inversión.
- (CT)= Costo total del calentador solar.
- (AEA)= Ahorro de energía anual.

$$PRI = \frac{\$2587}{\$679.6} = 3.8_{\text{años}}$$

Entonces podemos decir que si se implementa un calentador solar, el ahorro anual de gas LP sería de \$679.66 pesos, y su PRI sería de 3.8 años, cosa que es

bastante significativa, tomando en cuenta que la vida útil de un calentador solar, la cual es 10 años

5.5 Mitigación ambiental

El otro punto de vista además del ahorro energético, es la mitigación de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y otros contaminantes a la atmosfera la cual afecta al calentamiento global. Atendiendo directamente a esta problemática la implementación de este calentador solar ayuda a la mitigación de estos contaminantes.

Teniendo en cuenta que por cada kilogramo de gas LP quemado se producen 2.8kg de CO₂, se deduce que:

$$\left(46.11_{kg/año}\right)\left(2.8_{kg/kg\ GLP}\right) = 129.108_{kg\ CO_2}$$

Transformando este dato en kg a toneladas nos queda que:

$$\frac{129.108_{kg\ CO_2}}{1000_{kg}} = 0.1291_{ton}$$

Por lo que se concluye que con la implementación de este calentador solar, se evita 0.1291 toneladas de CO₂ al año de emisiones al medio ambiente

CONCLUSIONES

Una vez hechas las pruebas de campo y analizados los datos obtenidos, se llegó a varias conclusiones:

La primera fue que, la implementación de la sección de las lentes Fresnel, a través de la concentración y la difracción de la luz que estas provocan incrementa el rendimiento térmico del prototipo, colocando las secciones de los lentes Fresnel en los costados del prototipo, lo que aumento la captación de los rayos solares de la mañana y el atardecer.

Se observó que el efecto termosifón dentro del prototipo, mediante las lecturas de temperatura tomadas, se aceleraba cuando los concentradores actuaban sobre el panel de absorción, debido a la gran concentración de energía que los lentes proyectan sobre el colector.

Durante la exposición del rayo (foco) concentrado que los lentes producen, se observa que es tal la radiación producida, que la película selectiva del colector se empieza a quemar, mas sin embargo el daño producido por el rayo es insignificante.

La capacidad para calentar agua en el colector es muy poca, en comparación con la capacidad de retención del termotanque, es por este motivo que las temperaturas a las que se llegó fueron tan reducidas.

También se observó en las gráficas, el comportamiento del efecto termosifón. Con lo cual se aprecia, en las pruebas con la aplicación de lentes de Fresnel, se produjo un mayor número de veces, esto quiere decir, que con la aplicación de los concentradores el funcionamiento del calentador es mejor.

Por otro lado podemos observar que el periodo de la recuperación de la inversión, es aceptable, ya en menos de 3 años y medio se recupera el total de la inversión hecha con la garantía de la longevidad del calentador supera el PRI.

También concluimos que este calentador solar ayuda, en efecto, a la reducción de gases de efecto invernadero, evitando en su totalidad la emisión del CO₂ y otros contaminantes que se producen con la quema del gas LP para el calentamiento del agua por medio de los boiler.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere utilizar una película absorbidora selectiva, resistente a altos grados de temperatura.
- También reducir la distancia entre el captador y el termotanque, juntándolos lo más posible.

- Otra sugerencia importante sería; reducir el espacio dentro del colector desde la tapa de vidrio y el captador.

BIBLIOGRAFÍA

Aitken, D. D. (2003). *WHITE PAPER*. Alemania: Wiesentalstr. 50.

Amado Leyva C., A. M. (2001). *Flujos de Radiación Solar de Onda Corta: La radiación global, directa y difusa*. Centro de investigación de en Energía de a UNAM.

Arancibia, B. D. (2009). *Evaluación del Recurso Solar*. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigación de Energía.

Arguelles, N. A. (2011). *Desarrollo de un Destilador Solar con lentes Fresnel*. México: Universidad Veracruzana, Facultad de ingeniería química.

Balbuena, A. Á. (2011). *Sistemas ópticos para concentración, captación y guiado de radiación solar*. Madrid: UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID.

Boera, A. G. (2009). *Manual de energía solar térmica e instalaciones asociadas*. Uruguay: Universidad ORT.

Bulnes, D. C. (2009). *Evaluación del recurso solar*. México.

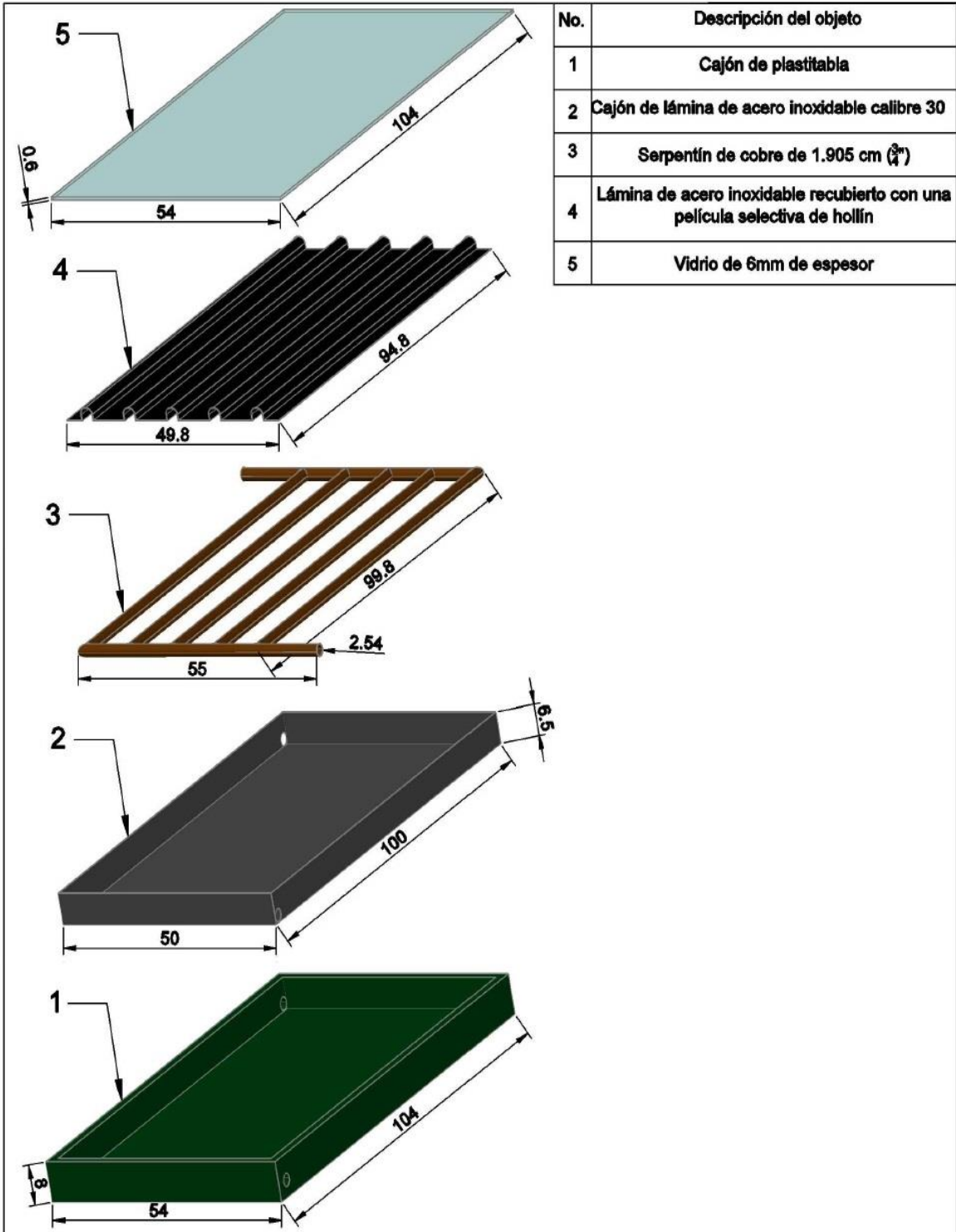
Cora Placco, L. S. (2012). *COLECTORES SOLARES PARA AGUA CALIENTE*. Salta: INENCO, UNSa-CONICET.

CTE, Centro de Tecnología Eduativa. (1995). *Curso de Energía Solar*. Barcelona: Imprimeix.

Frenk, C. A. (2009). *ENERGÍAS RENOVABLES PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE EN MÉXICO*. (A. E. Julio Alberto Valle Peña, Ed.) México: Secretaria de Energía (SENER).

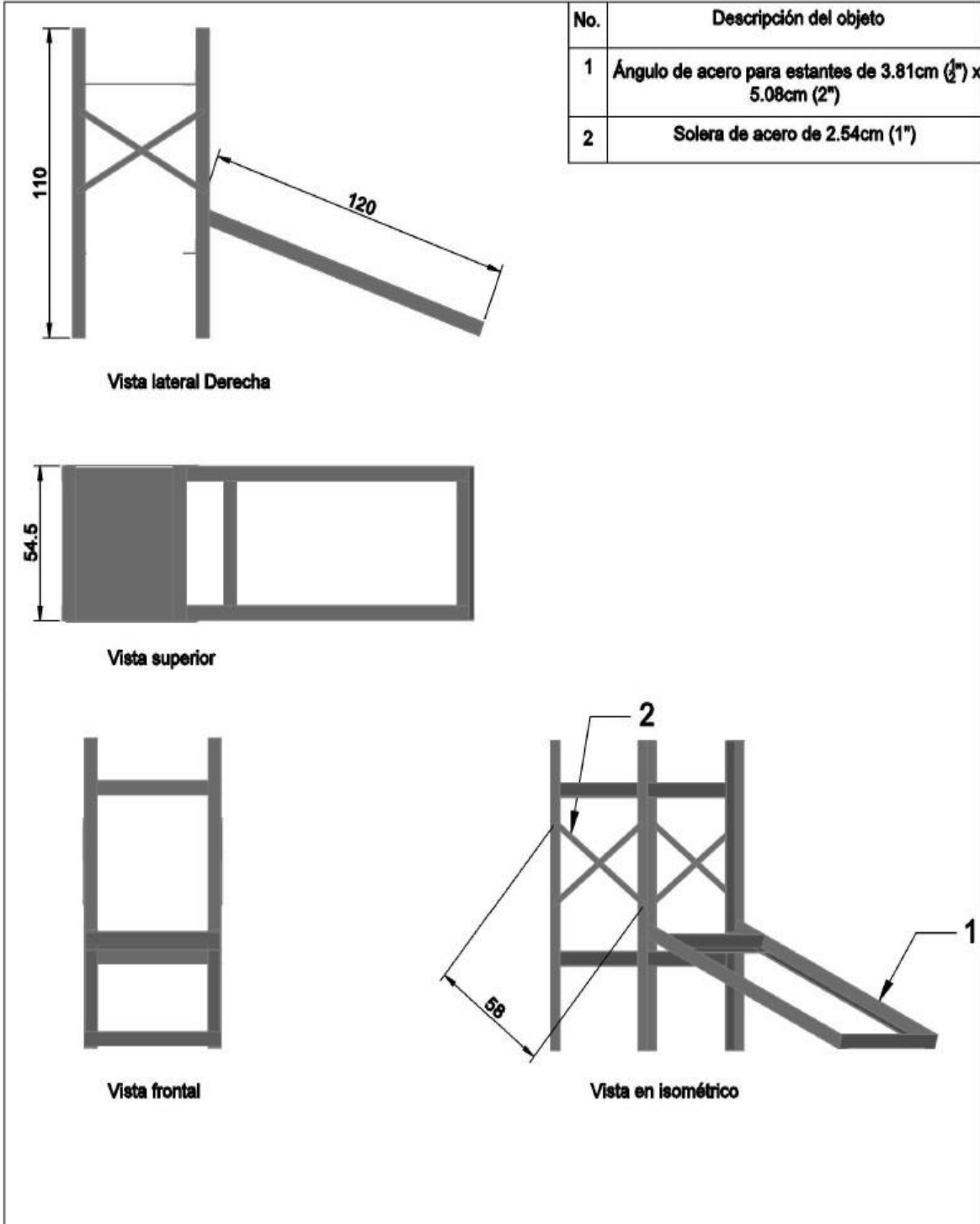
- González, P. D. (2007). *Guía Básica de conceptos de óptica geométrica*. Departamento de Física aplicada III.
- Guillén Solís, O. (2004). *Energías renovables una perspectiva ingenieril* (1ª edición ed.). Trillas,.
- Instituto Tecnológico de Canarias, S. (Abril, 2008). *Energías renovables y eficiencia energética* .
- ITESO. (1995). *Notas sobre el curso de Energía Solar*. Tlaquepaque, Jalisco.
- López, M. A. (Octubre-Diciembre 2004). Desarrollo Sustentable: pasado, presente y futuro. 18.
- Mejía, E. A. (1999). *ESTADO DEL ARTE DE LA INVESTIGACIÓN EN ENERGÍA SOLAR EN MÉXICO*. México: Fundación ICA, AC.
- Miguel José González, M. B. (2007). *Manual sobre Energías Renovables y Ahorro Energético*. Fundación Global Nature y la Obra Social Caja Madrid.
- Omar R. Masera Cerutti, J. E. (s.f.). *La Bioenergía en México, Un Catalizador Del Desarrollo Sustentable*. México: Red Mexicana de Bioenergía.
- Ortiz J, M. O. (2014). *La Ecotecnología en México*. México: Editorial I Magia .
- Solís, G. (2004). *Energías Renovables, una perspectiva ingenieril*. México: Editorial Trillas.
- Valladares, D. I. (2014). *CUERSO DE TECNOLOGÍA TERMOSOLAR, CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA*. Querétaro: ASOCIACIÓN NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR.

ANEXOS

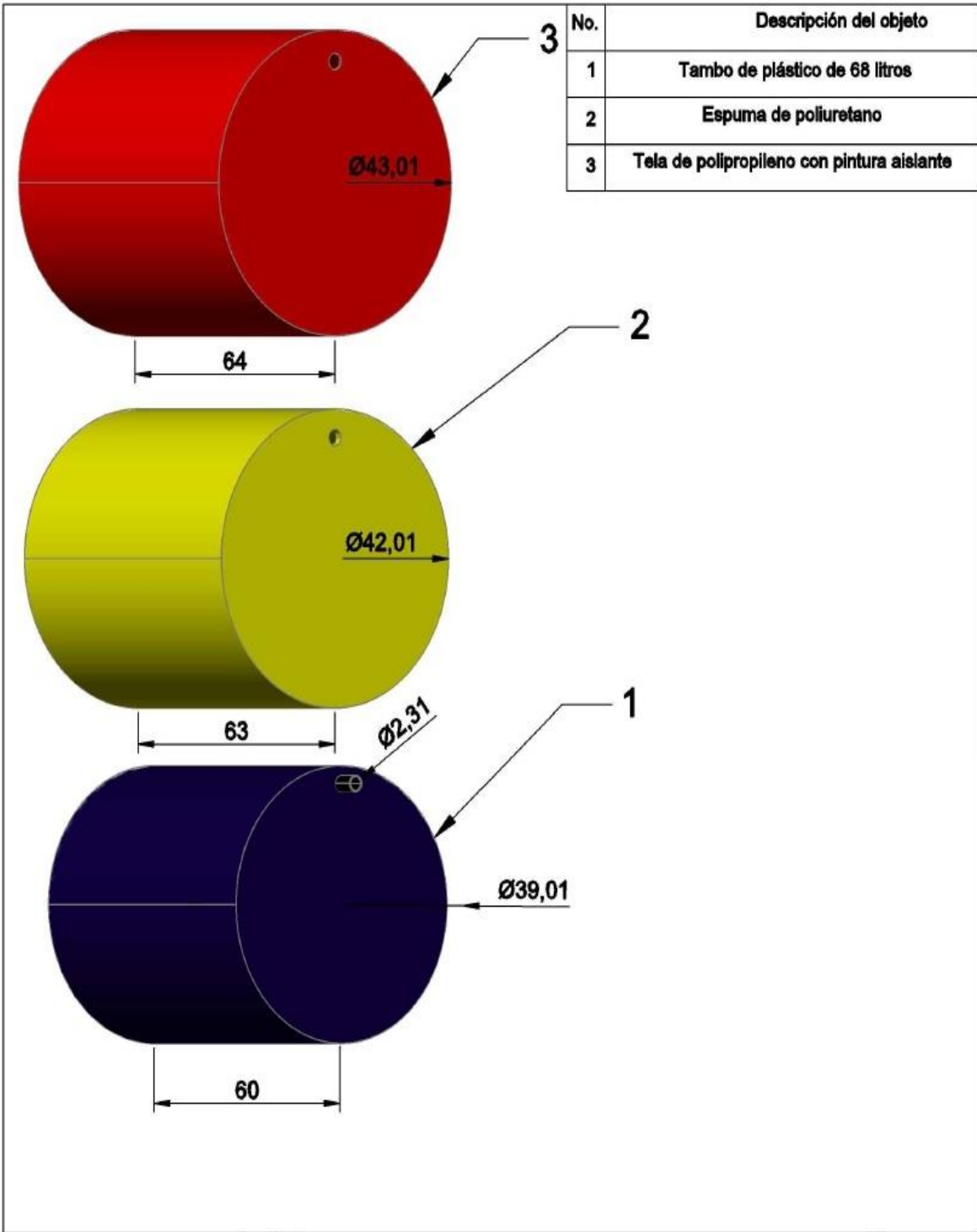


No.	Descripción del objeto
1	Cajón de plastitaba
2	Cajón de lámina de acero inoxidable calibre 30
3	Serpentín de cobre de 1.905 cm ($\frac{3}{8}$ ")
4	Lámina de acero inoxidable recubierto con una película selectiva de hollín
5	Vidrio de 6mm de espesor

Nombre: José Rafael Sandoval Molina	Título: Colector del calentador solar	Fecha: 10/06/2016
	Descripción: Se muestran las distintas partes que conforman el colector en despiece vertical y sus diferentes medidas	
Acotación: centímetros (cm)	Número del dibujo: Anexo (A)	



Nombre: José Rafael Sandoval Molina	Título: Base del Calentador	Fecha: 10/06/2016
Acotación: centímetros (cm)	Descripción: Se muestran las distintas vistas de la base.	
	Número del dibujo: Anexo (B)	



No.	Descripción del objeto
1	Tambo de plástico de 68 litros
2	Espuma de poliuretano
3	Tela de polipropileno con pintura aislante

Nombre:
José Rafael Sandoval Molina

Título:
Plano del Termotanque

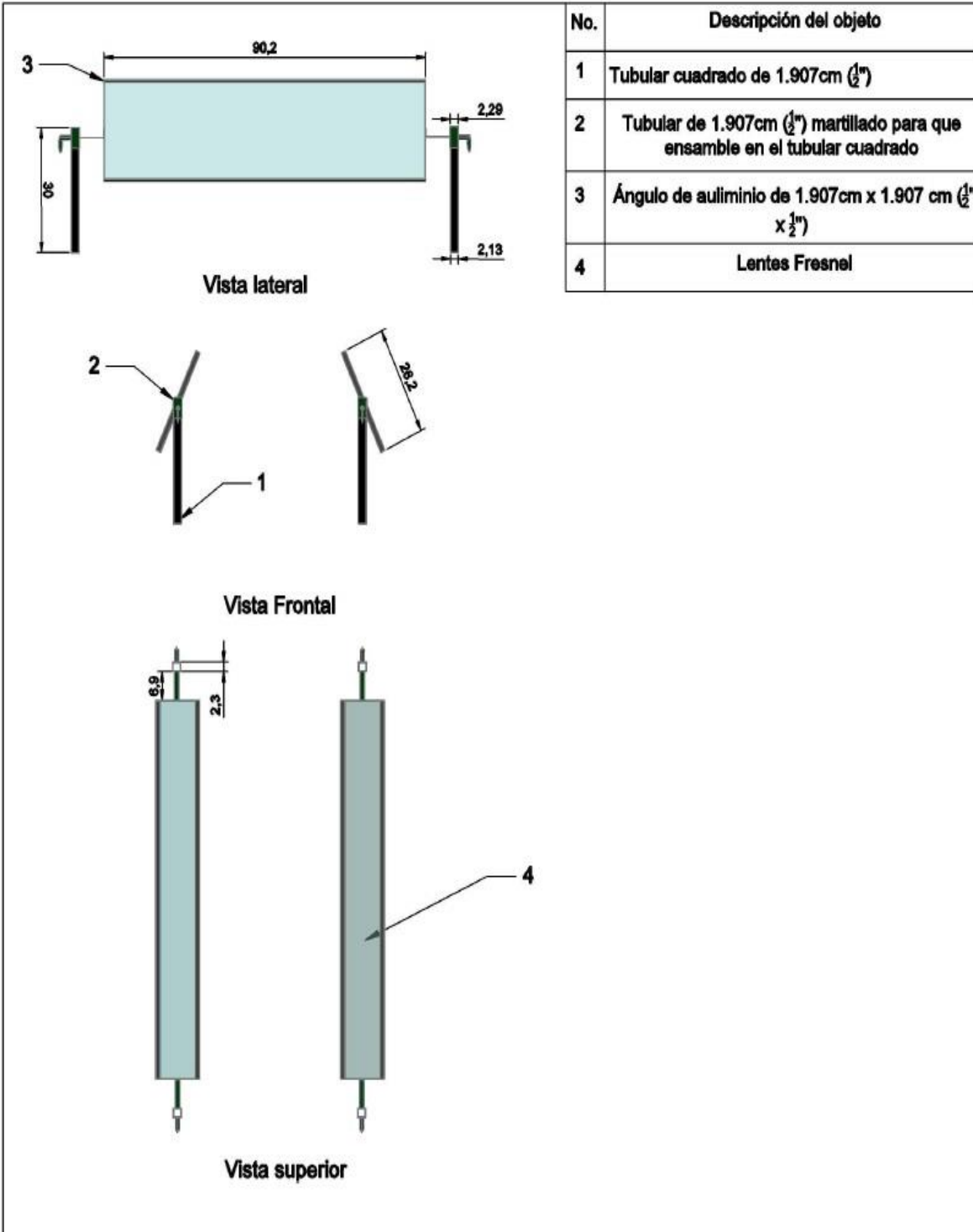
Fecha:
10/06/2016

Acotación: centímetros (cm)

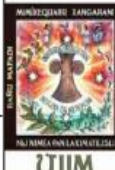
Descripción:
Se muestran las distintas vistas del termotanque, además de sus medidas

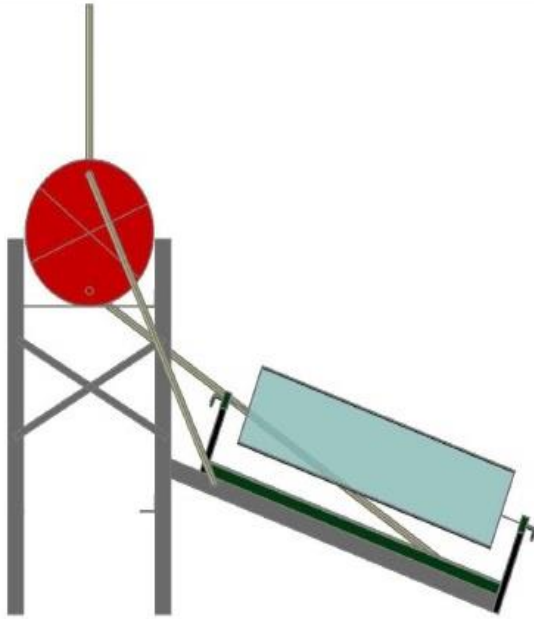
Número del dibujo:
Anexo (C)





No.	Descripción del objeto
1	Tubular cuadrado de 1.907cm ($\frac{1}{2}$ "
2	Tubular de 1.907cm ($\frac{1}{2}$ " martillado para que ensamble en el tubular cuadrado
3	Ángulo de aluminio de 1.907cm x 1.907 cm ($\frac{1}{2}$ " x $\frac{1}{2}$ "
4	Lentes Fresnel

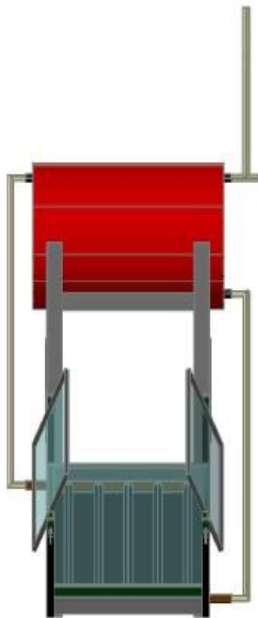
Nombre: José Rafael Sandoval Molina	Título: Soporte de los lentes Fresnel	Fecha: 10/06/2016
	Descripción: Se muestran las distintas vistas del soporte de los lentes Fresnel	
Acotación: centímetros (cm)	Número del dibujo: Anexo (D)	



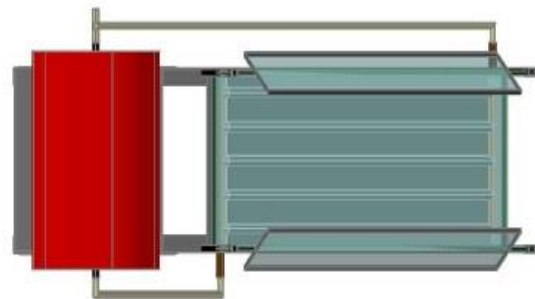
vista Lateral



vista Isométrico



vista Frontal



vista superior

<p>Nombre: José Rafael Sandoval Molina</p>	<p>Título: Calentador solar a base de lentes Fresnel</p>	<p>Fecha: 10/06/2016</p>
<p>Acotación: Centímetros (cm)</p>	<p>Descripción: Se muestran las distintas vistas del prototipo</p>	
<p>Número del dibujo: Anexo (E)</p>		