



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESALADOR SOLAR

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N:

MARCO ANTONIO MARTÍNEZ ÁVILA

OMAR ARMANDO CORNEJO BECERRA

ASESOR:

DR. VÍCTOR HUGO HERNÁNDEZ GÓMEZ.

Cuautitlán Izcalli, Estado de México, 2014.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO



M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: M. en A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos **La Tesis:**

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESALADOR SOLAR”

Que presenta el pasante: **MARCO ANTONIO MARTÍNEZ ÁVILA**

Con número de cuenta: **40605007-4** para obtener el Título de: **Ingeniero Mecánico Eléctricista**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU”

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 30 de Julio de 2014.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	SIRMA
PRESIDENTE	M.I. José Juan Contreras Espinosa	
VOCAL	M.I. Ramón Osorio Galicia	
SECRETARIO	Dr. Víctor Hugo Hernández Gómez	
1er SUPLENTE	Dra. Celina Elena Urrutia Vargas	
2do SUPLENTE	Ing. Oscar Sánchez Baños	

NOTA: Los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

En caso de que algún miembro del jurado no pueda asistir al examen profesional deberá dar aviso por anticipado al departamento.

(Art 127 REP)

IHM/yrf



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**



**ATN: M. en A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos **La Tesis:**

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESALADOR SOLAR”

Que presenta el pasante: **OMAR ARMANDO CORNEJO BECERRA**
Con número de cuenta: **40806335-9** para obtener el Título de: **Ingeniero Mecánico Eléctricista**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
“POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU”
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 30 de Julio de 2014.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M.I. José Juan Contreras Espinosa	
VOCAL	M.I. Ramón Osorio Galicia	
SECRETARIO	Dr. Víctor Hugo Hernández Gómez	
1er SUPLENTE	Dra. Celina Elena Urrutia Vargas	
2do SUPLENTE	Ing. Oscar Sánchez Baños	

NOTA: Los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).
En caso de que algún miembro del jurado no pueda asistir al examen profesional deberá dar aviso por anticipado al departamento.
(Art 127 REP)

IHM/yrf

Agradecimientos.

Agradezco a mis padres por su paciencia, tolerancia y a pesar de todo siempre me brindaron su apoyo.

A mis hermanos por sus consejos y ayuda.

A mi familia que también me ha apoyado significativamente en mis estudios.

Al Dr. Víctor Hugo Hernández Gómez por su apoyo, asesoría, consejos y amistad.

A mis amigos que siempre han estado conmigo en los buenos momentos y en los malos.

A mis compañeros del Laboratorio de Investigación en Energías Renovables por su ayuda y compañerismo.

A Dios por estar siempre conmigo y darme la dicha de vivir estos momentos.

Dedico esta tesis a mi papá, Samuel Martínez Malagón †, quien trabajo tan duro para mí formación, por todo lo bueno que me dejo y sus enseñanzas.

Marco Antonio Martínez Ávila.

Agradecimientos.

Agradezco a mis padres por apoyarme hasta llegar a esta instancia de mis estudios, por haber estado presentes durante todo este tiempo y nunca perder la esperanza en mí, por haberme alentado a seguir en todo momento y por el gran amor que me han demostrado cada día.

Gracias a mi hermano por sus consejos y pláticas que me han ayudado para seguir adelante en todo aspecto de mi vida. Gracias a toda mi familia por el apoyo que me han demostrado.

Agradezco de especial manera al Dr. Víctor Hugo Hernández Gómez por darme tan gran oportunidad y por todo el apoyo que me brindo como asesor y amigo. Extiendo este agradecimiento para los compañeros del “Laboratorio de Investigación en Energías Renovables” que me guiaron y ayudaron en esta etapa de mi vida.

Agradezco a Dios por permitirme llegar a este punto de mi vida y por todo lo que me ha brindado.

Omar Armando Cornejo Becerra.

**Proyecto realizado gracias al programa
UNAM-DGAPA-PAPIIT-IT104212-2**

**Agradecemos a la
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
por el apoyo recibido durante la realización de esta Tesis**

**Proyecto realizado gracias al programa
UNAM-DGAPA-PAPIME-PE101912**

**Agradecemos a la
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
por el apoyo recibido durante la realización de esta Tesis**

Índice.

Resumen.....	1
Introducción.....	4
Objetivos.....	10
x.i.- Objetivo general.....	11
x.ii.- Objetivos particulares.....	11
x.iii.- Metodología de la investigación.....	11
Capítulo 1.- Conceptos generales para la desalación del agua.....	12
1.1.- El agua como molécula.....	13
1.1.1.- Propiedades del agua.....	14
1.1.2.- El agua de mar.....	15
1.1.2.1.-La temperatura en el agua de mar.....	16
1.1.2.2.-Salinidad en el océano.....	16
1.1.3.- Evaporación y condensación.....	17
1.1.4.- Destilación.....	18
1.1.4.1.- Tipos de destilación.....	19
1.2.- El sol.....	21
1.2.1.- Distribución geográfica de la radiación solar.....	24
1.2.2.- Trayectoria aparente del sol.....	26
1.3.- Reflexión y refracción.....	28
1.4.- El color.....	29
1.5.- El calor.....	30
1.6.- Efecto invernadero.....	32
1.7.- Parábola.....	32
1.8.- Desalación.....	34
1.8.1.- Desalación múltiple efecto.....	34
1.8.2.- Congelación.....	36
1.8.3.- Compresión de vapor.....	37
1.8.4.- Desalación solar.....	38
1.8.4.1.- Efecto invernadero aplicado a la desalación solar.....	38
1.8.4.2.- Antecedentes.....	39
1.8.4.3.- Clasificación.....	40
1.8.4.3.1.-Desaladores solares a gran escala.....	40

1.8.4.3.2.- Desalador solar tipo caseta.....	41
1.8.4.4.- Desaladores solares existentes en el mercado.....	44
1.8.5.- Electrodialisis.....	53
1.8.6.- Osmosis Inversa.....	54
1.8.7.- Desalación fotovoltaica y eólica.....	55
Capítulo 2.- Diseño del desalador.....	57
2.1.- Antecedentes.....	58
2.2.- Diseño del condensador.....	59
2.2.1.- Selección del ángulo de las caras del condensador.....	59
2.2.2.- Materiales seleccionados para la construcción del condensador.....	63
2.2.3.- Plano del condensador.....	64
2.3.- Diseño de empaque.....	65
2.3.1.- Materiales seleccionados para la construcción del empaque.....	65
2.3.2.- Plano del empaque del condensador.....	66
2.4.- Diseño del depósito.....	67
2.4.1.- Materiales seleccionados para la construcción del depósito.....	67
2.4.2.- Plano del depósito.....	69
2.5.- Diseño del paraboloide.....	70
2.5.1.- Cálculo de la parábola.....	70
2.5.2.- Materiales seleccionados para la construcción del paraboloide.....	71
2.5.3.- Plano del paraboloide.....	73
2.6.- Diseño del evaporador.....	74
2.6.1.- Materiales seleccionados para la construcción del evaporador.....	74
2.6.2.- Plano del evaporador.....	75
2.7.- Diseño del serpentín.....	76
2.7.1.- Materiales seleccionados para la construcción del serpentín.....	76
2.7.2.- Plano del serpentín.....	77
2.8.- Diseño del depósito de aceite.....	78
2.8.1.- Materiales seleccionados para la construcción del depósito de aceite.....	78
2.8.2.- Plano del depósito de aceite.....	79
2.9.- Diseño del soporte.....	80
2.9.1.- Materiales seleccionados para la construcción del soporte.....	80
2.9.2.- Plano del soporte.....	81
2.10.- Propiedades de los materiales a utilizar.....	84

2.10.1.- Propiedades de la fibra de vidrio.....	84
2.10.2.- Propiedades del acero.....	84
2.10.3.- Propiedades del aluminio.....	85
2.10.4.- Propiedades del cobre.....	86
2.10.5.- Propiedades del aceite Mobiltherm 603.....	87
Capítulo 3.- Proceso de construcción.....	89
3.1.- Construcción del condensador.....	90
3.2.- Construcción del depósito.....	91
3.2.-1.- Construcción de la puerta del depósito.....	94
3.3.- Construcción del paraboloide.....	94
3.4.- Construcción del evaporador.....	97
3.5.- Construcción del serpentín.....	98
3.6.- Construcción del depósito de aceite.....	99
3.7.- Construcción del soporte.....	100
Capítulo 4.- Puesta en marcha y pruebas experimentales.....	103
4.1.- Instrumentación.....	104
Capítulo 5.- Resultados y Discusión.....	115
Conclusiones.....	125
Bibliografía.....	128

Resumen.

En el Estado de México hay lugares donde la calidad del agua es deficiente e insuficiente ya que están alejados de los centros de abasto, por lo regular, cuentan con aguas salobres o superficiales (ríos y lagos) cuya composición o concentración de residuos sólidos en el agua son nocivas para la salud.

El agua es un bien necesario para los procesos vitales y es por ello que el hombre ha buscado distintas formas para obtener un suministro del líquido. La zona Metropolitana del Valle de México tiene una demanda de $38.6 \text{ m}^3/\text{s}$, la cual es abastecida por dos fuentes externas y dos fuentes internas al Valle de México. Como fuentes externas se encuentra el sistema Cutzamala el cual abastece $19.5 \text{ m}^3/\text{s}$ y el sistema Lerma que aporta $5.9 \text{ m}^3/\text{s}$. Las fuentes internas que son provenientes de los lagos y manantiales, proporcionan $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ y los pozos internos aportan $43.4 \text{ m}^3/\text{s}$. La suma de los diferentes tipos de abastecimiento es de $70 \text{ m}^3/\text{s}$ de la cual $31.4 \text{ m}^3/\text{s}$ es desperdiciada en fugas de tuberías. Debido a que la demanda de agua se ha incrementado con la población se están buscando alternativas para el suministro de este vital líquido, por ejemplo, la condensación de la humedad del aire ambiental, la captación pluvial, reparación de fugas en el suministro del agua, recuperar el agua de los ríos que actualmente están entubados y son canalizados al gran Canal del Desagüe y la desalación del agua de mar. La opción de la desalación de agua de mar, se ha intentado pero el costo del equipo (caldera), debido a que debe de tolerar altas temperaturas y corrosión, es muy caro, además el combustible empleado tiende a emitir gases de efecto invernadero. Todas estas opciones tienen un alto costo y por tal motivo se propone como objetivo principal de este trabajo, el diseñar y construir un prototipo que permita separar los sólidos disueltos en el agua mediante su evaporación, empleando al sol como fuente de suministro de calor.

Se puede aprovechar la energía solar de dos formas, una de ellas es la destilación que se utiliza para tratar las aguas contaminadas con sales disueltas indeseables; y la otra, la desalación que por medio de evaporación y condensación es la que más se acopla a sistemas de aprovechamiento solar.

El proceso de evaporación con energía solar aprovecha el efecto denominado de invernadero, este consiste en la vaporización mediante el hervor del agua, cuando el vapor empieza a subir, deja la mayoría de las bacterias y sales del agua en la base, con lo que se obtiene agua libre de sales a través de la condensación del vapor obtenido. Mediante el proceso de la desalación solar se obtiene agua condensada sin sales y residuos sólidos.

En la actualidad existen en el mercado equipos que permiten evaporar el agua empleando a la energía solar como fuente de calor, pero se encontró que su costo es elevado y no se obtienen grandes cantidades de agua. En el presente trabajo se contempla diseñar y construir un prototipo que permita evaporar y condensar el agua a bajo costo.

El prototipo diseñado y construido es denominado como del tipo caseta o de dos vertientes, el cual consiste en una cubierta transparente (condensador) que permite la entrada de radiación solar así como la conversión del agua en su cambio de fase (gas – líquido), aprovechando de esta manera el efecto invernadero; cuenta con una charola (evaporador) que sirve como contenedor del agua salada y que es de color negro para una mejor absorción de la radiación; y para la recolección del condensado se cuenta con un depósito aislado térmicamente para evitar que esta agua, ya sin sales, se reevapore.

Para la construcción se buscó utilizar materiales de fácil adquisición, bajo costo, resistentes, duraderos y que no requieren de maquinaria especializada. La herramienta y los materiales fueron proporcionados por el Laboratorio de Investigación en Energías Renovables de la FES-Cuautitlán. Los materiales que se utilizan son: fibra de vidrio, acero, vidrio, cobre, aluminio y MDF entre otros.

Para hacer más eficiente este destilador se le adicionó un sistema de calentamiento para acelerar la evaporación del agua, tratando así de obtener mejores resultados en cuanto a recolección de agua. El sistema de calentamiento consistió en calentar aceite empleando un paraboloide acoplado al equipo, y suministrar ese calor al agua mediante un serpentín. El paraboloide cuenta con un recubrimiento tipo espejo en la superficie de reflexión de los rayos solares, el cual se encarga de calentar un recipiente con aceite, mismo que circula a través del serpentín.

Se buscó que el aceite circulara por el serpentín por convección natural originada por la diferencia de temperatura que existe entre el depósito de aceite (zona caliente) y el evaporador (zona fría). Al realizar las pruebas experimentales, éste efecto no se llevó a cabo, por lo que fue necesario hacer fluir el aceite por convección forzada.

Se realizaron pruebas para la caracterización de termopares, obtención de valores máximos alcanzados por el aceite (T°), de bombeo, para estabilización de temperatura, de efecto invernadero y de eficiencia.

El desalador fue instrumentado con cable termopar manufacturado en el Laboratorio de Investigación en Energías Renovables de la FES-Cuautitlán, y fue conectado al adquisidor de datos del laboratorio. Las pruebas experimentales realizadas en el desalador muestran que el aceite se llega a calentar en promedio 99.80 °C, el agua que se encuentra en el evaporador alcanza un valor promedio de 55.15 °C, la temperatura ambiente interna llega a ser superior a la temperatura ambiental teniendo una diferencia de 17.04 °C en promedio. El agua que se recuperó en un día en óptimas condiciones ambientales es de 149.40 *ml/hr*.

El desalador se encuentra instrumentado y en condiciones para futuras pruebas dentro del Laboratorio de Investigación en Energías Renovables de la FES-Cuautitlán.

Introducción.

Todos los organismos vivos contienen agua, que por lo general, es su componente más abundante. El contenido total de agua varía normalmente entre el 50 y el 90 % del peso total del organismo. En los vegetales el 75 al 90 % del peso total es agua, presente en mayor cantidad en las hojas (70 – 80 %) que en las ramas (5 – 10 %). En los animales, el contenido corresponde a una media de un 60 – 70 % del peso total del cuerpo. También el cuerpo humano está constituido preferentemente por agua; en la vida embrionaria, el porcentaje de agua en peso es de cerca del 97 %, en el recién nacido es del 70 % y en el adulto de 58 – 67 %.

El agua es el elemento más importante de nuestro planeta, el cual ha permitido la aparición, y el mantenimiento de la vida en la forma en que la conocemos. Es comprensible que, tanto las grandes religiones, como las primeras explicaciones filosóficas del origen del Cosmos, resalten al agua como fuente de vida y medio de purificación y regeneración.

La mayoría de los científicos e investigadores afirma que la Tierra es un planeta acuático y esto es cierto, ya que el 71 % de su superficie se encuentra cubierta por agua. Esta preciada envoltura resulta esencial para toda forma de vida, sin embargo solamente una pequeña cantidad de la misma se encuentra disponible para el consumo humano y está distribuida de manera muy poco uniforme en las distintas latitudes del planeta. Pero aunque el volumen de agua a escala mundial pueda ser suficiente, el mismo se distribuye de manera poco uniforme alrededor del planeta. Ello hace que aparezcan notables desigualdades entre regiones y / o países.

El 97% del volumen de agua en la Tierra se halla en los mares y los océanos y no es apto para consumo humano, sin someterlo a tratamientos costosos de potabilización. El 3 % restante, se compone de agua dulce, de la cual el 2,997% resulta de muy difícil acceso para el consumo, ya que se sitúa en los casquetes polares y en los glaciares. Esto significa que tan solo el 0,003 % del volumen total del agua de nuestro planeta es accesible para el consumo humano, ya que se encuentra en los lagos, la humedad del suelo, el vapor de agua, y en las corrientes fluviales y subterráneas aprovechables.

El agua es un bien cada vez más necesario, tiene una importancia esencial biológicamente, ya que es el medio en el cual se realizan los procesos vitales, por tal motivo el hombre ha buscado formas para obtener un suministro seguro del vital líquido. Un ejemplo de ello es la zona Metropolitana del

Valle de México, al cual se distribuyen un promedio de $70 \text{ m}^3/\text{s}$, de los cuales, $38.6 \text{ m}^3/\text{s}$ corresponden a la demanda requerida por el Valle de México y el restante se pierde por fugas (se estima que la mayor parte de las fugas se encuentra en las tomas domiciliarias). Dicha demanda actualmente es abastecida por dos fuentes internas y dos fuentes externas al Valle de México.

Como fuentes internas se tiene a los aprovechamientos superficiales, los que proporcionan $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua que se capta de lagos y manantiales; y el sistema de pozos internos, los cuales aportan $43.4 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua proveniente de pozos. Como fuentes externas tenemos al Sistema Cutzamala, el cual abastece $19.5 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua provenientes de 8 presas de almacenamiento y de derivación; y el Sistema Lerma quien aporta $5.9 \text{ m}^3/\text{s}$ también de un sistema de recolección de pozos.

Se estima que con el paso de los años, se tendrá un incremento en la demanda de agua, la cual no podrá ser abastecida por las fuentes actuales, debido a que si estos se extraen del subsuelo pueden provocar hundimientos en la zona (como por ejemplo el Palacio de Bellas Artes en el Centro de la Ciudad de México) o los otros sistemas no cuentan con el agua suficiente o los pobladores no quieren cederla. Por tal motivo es necesario buscar otras alternativas preferentemente externas al Valle lo que ocasiona que aumente el costo de abastecimiento del agua. La Comisión Nacional del Agua ha elaborado varios proyectos de abastecimiento de agua de los cuales tres de ellos son los más factibles: Proyecto El Amacuzac con $13.5 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual consiste en transportar agua desde la cuenca del mismo nombre, $12 \text{ m}^3/\text{s}$ de la presa Chontalcuatlán y $1.52 \text{ m}^3/\text{s}$ de la de Totolmajac; y el Proyecto El Tecolotla I con $9.8 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual emplea las instalaciones del sistema hidroeléctrico Necaxa. El Sistema está contemplado en dos etapas de captación.

También se tiene contemplado la posibilidad del rehúso de las aguas negras del Valle de México. Este proyecto pretende realizarse en tres etapas: rehabilitación (mantenimiento a las plantas existentes), ampliación (aumentar la capacidad de las plantas existentes) y expansión (crear nuevas plantas de tratamiento de agua negra), para obtener hasta $7.4 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua para consumo humano. Desgraciadamente el tipo de tecnología de desinfección a emplear es muy caro por lo que se tienen que tomar en cuenta otras alternativas.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM propone una alternativa adicional que es captar el agua subterránea de la cuenca del Valle del Mezquital. Se tiene contemplado transportar $7 \text{ m}^3/\text{s}$ previamente potabilizada por los sistemas de luz ultravioleta, nanofiltración y cloración, desde Tezontepec Hgo. a la Zona Metropolitana del Valle de México. Se pretende tratar el agua que es

enviada del Valle de México al Valle del Mezquital usada para riego, con un proceso de luz ultravioleta para disminuir contaminantes, como esta agua al regar los campos se infiltra al acuífero, es filtrada por la misma tierra ahorrando parte del proceso de depuración, por último al agua de los pozos formados por el riego se le aplica un proceso de nanofiltración para evitar el exceso de sales.

Mediante un análisis realizado a los sistemas de abastecimiento de agua antes mencionados, se puede obtener una idea muy clara del costo de obtener agua potable para nuestro consumo. Dichos costos solo incluyen tres rublos: inversión, potabilización y consumo energético. Cabe hacer mención que estos costos no son todos los involucrados en el costo total, es decir, se tienen que tomar en cuenta otro tipo de costos como es el costo social, costo ecológico, etc. Los resultados de este análisis se presentan en la tabla i.

Tabla i. Costo de trasladar agua potable a la ZMVM

ESTADO	UBICACIÓN	FUENTE	CAUDAL m ³ /s	INVERSIÓN Millones de pesos	PROCESO	COSTO BOMBEO USD/m ³	COSTO TRATAMIENTO O USD/m ³	COSTO INVERSIÓN A,B USD/m ³	COSTO TOTAL USD/m ³
OPERANDO	EXTERNO	CUTZAMALA	19.5	17,621	1	0.519	0.016	0.667	1.203
		LERMA	5.9	-	2	0.028	0.005	NO SE CONOCE	-
	INTERNO	SUPERFICIE	1.2	-	1	0.000	0.016	NO SE CONOCE	-
		POZOS	43.4	-	2	0.051	0.005	NO SE CONOCE	-
PROYECTOS	CONAGUA	AMACUZAC	13.5	15,098.22	1	0.409	0.016	0.449	0.875
		TECOLUTLA I	9.8	8,954.25	1	0.484	0.016	0.367	0.867
	OTROS	AGUAS NEGRAS	7.4	2,422.02	4	0.000	0.921	0.097	1.018
	UNAM	TEZONTEPEC	7	1,753.25	3	0.072	0.113	0.067	0.253

ESTADO	UBICACIÓN	FUENTE	CAUDAL m ³ /s	INVERSIÓN Millones de pesos	PROCESO	COSTO BOMBEO USD/m ³	COSTO TRATAMIENTO O USD/m ³	COSTO INVERSIÓN A,B USD/m ³	COSTO TOTAL USD/m ³
OPERANDO	EXTERNO	CUTZAMALA	19.5	17,621	1	6.752	0.212	8.674	15.638
		LERMA	5.9	-	2	0.369	0.070	NO SE CONOCE	-
	INTERNO	SUPERFICIE	1.2	-	1	0.000	0.212	NO SE CONOCE	-
		POZOS	43.4	-	2	0.657	0.070	NO SE CONOCE	-
PROYECTOS	CONAGUA	AMACUZAC	13.5	15,098.22	1	5.319	0.212	5.841	11.372
		TECOLUTLA I	9.8	8,954.25	1	6.288	0.212	4.772	11.272
	OTROS	AGUAS NEGRAS	7.4	2,422.02	4	0.000	11.977	1.262	13.239
	UNAM	TEZONTEPEC	7	1,753.25	3	0.942	1.472	0.876	3.289

1. Floculación, sedimentación, filtración y cloración.

2. Cloración.

3. Nanofiltración y cloración.

4. Tratamiento primario, secundario, terciario y cloración.

^A Cálculo realizado con una tasa de descuento del 12 % anual y 30 años de vida útil.

^B Considerando el dólar a 13 pesos.

Como se observa, el costo en los sistemas que recuperan agua del subsuelo es muy económico debido a que sólo añaden cloro para su desinfección. En el caso de los sistemas que captan el agua de ríos, lagos, etc. su proceso de tratamiento es un poco más caro pero no deja de ser atractivo para ser aplicados en proyectos futuros. El costo se eleva debido a que el proceso es más complejo, puesto que no sólo se clora el agua sino que también pasa por filtración, floculación y sedimentación. El costo de tratar agua negra para consumo humano es realmente alto, ya que el proceso es complejo por los desechos que componen las aguas negras. Los proyectos de Amacuzac y el Tecolutla I son económicos debido a que su tratamiento implica filtración, floculación, sedimentación y cloración. Para el proyecto Tezontepec, aun cuando se tienen que aplicar dos procesos de separado (es decir tratar el agua negra para riego antes de su descarga al Valle del Mezquital y el proceso de potabilización del agua infiltrada, básicamente para eliminar sus sales) el costo resulta atractivo para ser considerada una fuente futura de abastecimiento de agua. Esta disminución del costo se debe a que una parte del tratamiento la hace el suelo durante la infiltración.

Por otra parte, el sistema Cutzamala es el sistema que actualmente demanda una mayor cantidad de energía, por la distancia que tiene que recorrer, desde la captación del agua hasta el tanque Pericos en Chapultepec. En los aprovechamientos superficiales el consumo de energía es despreciable, gracias a que no es necesario transportar el agua grandes distancias, como en el caso de Cutzamala, aun cuando gran parte del recorrido se realiza por gravedad y es menor el caudal manejado. Los aprovechamientos subterráneos se encuentran dentro del valle de México, su consumo de energía se tiene que tomar en cuenta debido a que las bombas que se emplean para extraer el líquido tienen que ser de una potencia considerable. En el Reúso de aguas negras el consumo de energía por bombeo es despreciable, el costo es elevado por el tratamiento de agua ya antes mencionado y no es la mejor opción. El proyecto de Tezontepec presenta un costo de energía menor al resto de los proyectos, se encuentra a una menor distancia y las potencias de sus bombas son de menor capacidad para cubrir la carga demandada por el sistema. Aun si no afectará el proyecto Tecolutla I al sistema Necaxa, la alta carga que tienen que vencer sus bombas por la lejanía y altura del lugar, la coloca como el proyecto de mayor costo en consumo energético. El Amacuzac presenta un costo elevado debido a la afectación de cuatro plantas.

Es necesario hacer conciencia del uso adecuado del agua, ya que como se puede ver, el costo que nosotros pagamos es alrededor de 6 \$/m³ (popular) el cual no cubre los costos de inversión, potabilización y traslado. Tenemos que economizar el agua, por ejemplo, el agua de la lavadora o el agua de lluvia se puede utilizar en el lavado del patio, la banqueta, para regar las plantas o llenar el

retrete. Además, los niveles de agua del subsuelo se han venido abatiendo en el transcurso de los últimos 100 años, lo que ha provocado un hundimiento del suelo de la región; como consecuencia, el nivel de la superficie del área metropolitana ha sufrido un descenso de hasta 7.5 metros, (7.5 cm/año) promedio. Esto propicia condiciones para que existan más inundaciones en la ciudad, lo que a su vez provoca daños a la infraestructura, especialmente a las redes de agua potable y drenaje.

Es necesario buscar otras alternativas de suministro de agua, por ejemplo, se tiene la condensación de la humedad del aire ambiental (se requiere de bastante energía eléctrica para mover el compresor que disminuye la temperatura del aire por debajo de la temperatura de rocío y captar esa agua condensada, proporciona pequeñas cantidades de agua), la captación pluvial (la cual está sujeta a la época del año y a lugares determinados ya que no en todas partes llueve con la misma intensidad), la reparación de fugas en el suministro de agua (como se mencionó alrededor de la mitad del agua que se suministra se pierde en fugas, esto se podría reducir al repararlas pero requiere de un alto costo ya que es abrir el asfalto y volver a colocarlo), recuperar el agua de los ríos que actualmente están entubados y canalizados al Gran Canal del Desagüe, por ejemplo el Río Churubusco o el Río Becerra los cuales son enviados al Gran Canal del Desagüe y se combinan con el agua negra de la Ciudad de México provocando su contaminación, se requeriría un costo elevado para separar las tuberías tanto de los ríos como el de las coladeras pluviales y la desalación del agua de mar (la cual requiere combustible para su evaporación y tienen costos elevados por los equipos de acero inoxidable).

La opción de la desalación de agua de mar, se ha intentado pero el costo del equipo (caldera), debido a que debe de tolerar altas temperaturas y corrosión, la hacen muy caro, además el combustible empleado tiende a emitir gases de efecto invernadero. Por tal motivo se propone como objetivo principal de este trabajo, el diseñar y construir un prototipo que permita separar los sólidos disueltos en el agua mediante su evaporación, empleando la radiación solar como fuente de suministro de calor. El proceso que utiliza este sistema, consiste en la vaporización mediante el hervor del agua. Cuando el vapor empieza a subir, deja la mayoría de las bacterias, virus y químicos del agua en la base, con lo que se obtiene agua libre de estos contaminantes a través de la condensación del vapor obtenido.

Fuente: "Costos para el abastecimiento futuro de agua a la ciudad de México", Víctor Hernández y Blanca Jiménez. Revista de la Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales A. C., FEMISCA. Número 52, México 2001. Datos actualizados a 2013.

El energético a emplear es la energía solar que para el caso de México es uno de los países con alta radiación solar promedio anual, ésta misma puede ser utilizada para separar agua, de salmueras o aguas salobres por medio de procesos de evaporación. Aunque existen diferentes técnicas industriales para retirar las sales, la de la desalación por medio de evaporación y condensación es la que más se acopla a sistemas de aprovechamiento solar.

Para hacer más eficiente este evaporador y acelerar la evaporación del agua se le puede adicionar un sistema de calentamiento. A diferencia de los evaporadores comunes de tipo caseta se pueden utilizar materiales como la fibra de vidrio mezclada con resina, para que su tiempo de vida útil sea mayor y reducir así mismo los periodos de mantenimiento y limpieza.

El desarrollo de este proyecto es nacional y se pretende evitar la dependencia tecnológica con el extranjero y que cada vez sea menor al desarrollar nosotros mismos prototipos y equipos funcionales en beneficio del país.

Para cumplir con el objetivo propuesto, el trabajo se organizó de la siguiente manera:

Se incluyó el capítulo de “Conceptos generales para la desalación del agua” en el cual se explican las tres partes fundamentales del proyecto: a) las características y propiedades del agua (y agua de mar), los procesos de evaporación, condensación y destilado del agua; b) la captación de la energía solar, el efecto invernadero y concentradores parabólicos; y c) proceso de desalación con sus antecedentes.

En el capítulo 2, se presenta el diseño del prototipo, el cual incluye los resultados experimentales para la selección del ángulo de inclinación adecuado para la construcción del condensador, la selección de materiales, el diseño de la parábola y los planos del prototipo.

En el capítulo 3, se describe el proceso de construcción de cada uno de los elementos que componen el prototipo; en el capítulo 4 se presenta el proceso de puesta en marcha y la descripción de las diferentes corridas experimentales realizadas al prototipo; y en el capítulo 5 se presentan los resultados obtenidos así como su discusión.

Objetivos.

x.i.- Objetivo general.

Diseñar y construir un prototipo que permita separar los sólidos disueltos en el agua; mediante su evaporación, empleando la radiación solar como fuente de suministro de calor.

x.ii.- Objetivos particulares.

- Diseñar y construir el prototipo experimental.
- Separar los residuos sólidos, sales y minerales disueltos en el agua por medio de tecnologías renovables (energía solar).
- Mejorar el proceso de evaporación del agua, incrementando el efecto invernadero con el apoyo de un sistema de calentamiento por concentración solar.
- Realizar corridas experimentales y obtener agua libre de sales y sólidos disueltos.

x.iii.- Metodología de investigación.

Investigación sobre el suministro de agua potable para la Zona Metropolitana del Valle de México.

Investigación sobre las diferentes opciones para la obtención de agua limpia.

Investigación de los diferentes tipos de desaladores.

Diseño del evaporador.

Selección de materiales.

Construcción del evaporador.

Puesta en marcha.

Pruebas experimentales.

Capítulo 1.- Conceptos generales para la desalación del agua.

1.1.- El agua como molécula.

El agua es por mucho la sustancia más abundante en los seres vivos, por ejemplo, en el organismo humano considerando una persona adulta de 70 kg constituye unos 40 litros, que es alrededor del 57% del peso de esta y tiende a mantenerse constante. No debe considerarse como sustancia inerte puesto que interactúa activamente en muchas de las reacciones del organismo. Es medio de transporte para las biomoléculas y sirve como matriz para las células de los organismos vivos. La estructura y propiedades de muchas biomoléculas y otros componentes celulares dependen de su interacción con las moléculas de agua que los rodean.

Debido a su estructura y conformación química se considera como el disolvente universal. También gracias a estas características le es posible tener cambios de estado con las temperaturas y condiciones ambientales del planeta sin necesidad de la intervención de la mano del hombre. En la tabla 1.1 se observa que el agua tiene un punto de fusión, punto de ebullición, calores de fusión y vaporización más elevados que la mayoría de los líquidos comunes a nivel del mar.

Tabla 1.1. Características de sustancias.

Substancia	Punto de fusión (°C)	Punto de ebullición (°C)	Calor de vaporización (J/g)
Agua	0	100	2260
Metanol	-98	65	1100
Etanol	-117	78	654
Propanol	-127	97	687
Butanol	-90	117	590
Acetona	-95	56	523
Hexano	-98	69	423
Benceno	6	80	394
Butano	-135	-0.5	381
Cloroformo	-63	61	247

Fuente: www.bionova.org.es/biocast/documentos/tema04.pdf

Mientras algunas sustancias como lo son el NH_3 y el SH_2 son gases a temperatura ambiente, el agua se mantiene en su estado líquido, gracias a su tipo de enlace químico, además de los puentes de hidrógeno.

En la molécula de agua (H_2O) cada átomo de hidrógeno comparte sus electrones empatándolos con dos de los electrones del oxígeno, al tiempo que los otros dos se mantienen en una posición tal, que dará a la molécula de agua una forma casi tetraédrica. De esta manera los ángulos descritos por esta molécula son de 104.51° , siendo muy similares a los 109.51° de un tetraedro regular. Esto se debe a que los electrones no enlazados ejercen una cantidad de fuerza de repulsión suficiente para cerrar un poco el ángulo mencionado.

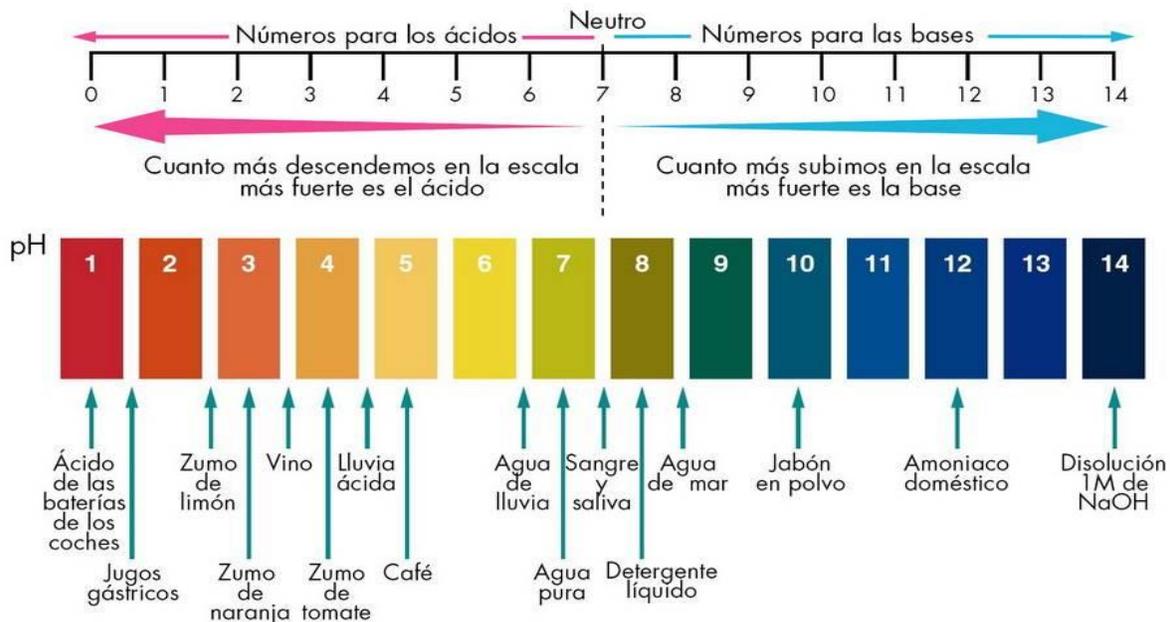
1.1.1.- Propiedades del agua.

De igual manera se forman cargas parciales gracias a la forma de la molécula de agua antes mencionada y gracias a los puentes de hidrogeno se obtienen las características tan nobles demostradas por el agua, tales como:

- Fuerza de cohesión.
- Elevada fuerza de adhesión.
- Gran calor específico.
- Elevado calor de vaporización.
- Entre otras.

Su característica particular como solvente está basada en su naturaleza dipolar que le permite establecer interacciones electrostáticas con una gran cantidad de solutos, los que podemos clasificar como sustancias hidrofílicas, hidrofóbicas y anfipáticas.

Una de las características del agua es el pH, la cual es una escala para medir la acidez o alcalinidad de las sustancias del agua, que es de 7 y se considera neutro. Valores mayores a esta se consideran básicos o alcalinos y valores menores se consideran ácidos, considerándose la numeración del 1 al 14. En la figura 1.1 se muestra la escala para medir el pH.



Fuente: <http://biologiaenfamilia.blogspot.mx/>

Figura 1.1. Escala para medir pH.

1.1.2.- El agua de mar.

El agua existe en la Tierra en estado sólido (hielo), líquido o gaseoso (vapor de agua). Su distribución es bastante variada, ya que muchas regiones tienen en abundancia mientras que en otras su disponibilidad es escasa. En la Tierra, el agua está en continuo movimiento en sus diferentes estados. De hecho, los océanos, los ríos, las nubes y la lluvia, que contienen agua, están en frecuente proceso de cambio (el agua de superficie se evapora, el agua de las nubes precipita, la lluvia se infiltra en el suelo, etc.). Sin embargo, la cantidad total de agua no cambia. La Tierra es esencialmente un "sistema cerrado". Esto significa que el planeta, como un todo, ni gana ni pierde materia, tampoco agua.

En este trabajo se hablará particularmente del agua de mar, ya que se requieren sus características para realizar este proyecto. Al igual que otras características que podremos medir en el agua.

Las dos propiedades físicas más importantes del agua de mar son la temperatura y la salinidad, que determinan la densidad del agua. En los océanos, la densidad suele aumentar con la profundidad, de modo que las capas de agua superiores se apoyan siempre en otras de mayor densidad. No obstante, ésta situación de equilibrio puede verse rota por multitud de factores y en un momento dado encontrarse aguas más densas sobre otras de una densidad ligeramente inferior. Esto provoca una

inestabilidad gravitacional que empuja al agua más "pesada" a hundirse mientras la capa subsiguiente, más "ligera", asciende para ocupar su lugar, estableciéndose una circulación en la vertical.

Pero no son estas las únicas propiedades interesantes del agua de mar. Aunque son esas las que tienen mayores connotaciones físicas, resulta de vital importancia para la oceanografía biológica estudiar y conocer cómo se propagan la luz y el sonido en el océano.

1.1.2.1.- La temperatura en el agua de mar.

La Temperatura del agua de mar varía entre $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Aguas polares) y $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ (máximos valores registrados en aguas costeras someras). El rango de temperaturas en tierra es mucho más amplio y abarca desde los $-68\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Siberia, 1892) hasta los $58\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Libia, 1922). Esto da cuenta del gran poder termoestabilizante del mar.

La temperatura de la superficie del océano depende de la cantidad de radiación solar que reciba y de qué fracción de ésta refleje. En cualquier caso, la penetración de la luz solar es escasa y se reduce a los primeros metros (entre 15m en algunas aguas costeras y 200m en aguas oceánicas abiertas muy claras). Por otro lado, el mar pierde calor por conducción, ya que en promedio la superficie oceánica está más caliente que el aire, y por efecto de la evaporación, aunque es éste último el medio de pérdida de calor más efectivo, disipando del orden de 10 veces más que la conducción.

1.1.2.2.- Salinidad en el océano.

Se entiende por salinidad a la concentración de sales disueltas en el agua oceánica. Un valor medio para esta propiedad puede ser 3,5% en peso, pero generalmente no se expresa de esta manera sino en partes por mil. No obstante, este símbolo se omite generalmente, debido a que la salinidad se define formalmente como un cociente de conductividades y es, por lo tanto, adimensional.

Aunque podemos suponer que la salinidad ronda el valor de 35 g/kg (treinta y cinco gramos por kilogramo de agua), lo cierto es que en distintas zonas del planeta este valor varía sensiblemente. Así la salinidad en zonas más cerradas como el Mediterráneo o el mar rojo es muy superior a este valor medio y en otras como el Mar Báltico, con gran aporte fluvial, desciende bastante por debajo

del mismo. En la figura 1.2 se presenta la composición de iones para cuerpos de agua dulce y agua salada.

Iones	Agua Dulce (mg/L)	Agua de Mar (mg/L)
Aniones:		
CO ₃ ⁼	58.4	140
SO ₄ ⁼	12.2	271
Cl ⁻	7.8	19,440
TOTAL	77.4	22,290
Cationes:		
Ca ⁺⁺	15.0	410
Mg ⁺⁺	4.1	1,300
Na ⁺	6.3	10,810
K ⁺	2.3	390
TOTAL	27.7	12,910

Fuente: Webber, Herbert H. /Thurman, Harold V. 1991. HarperCollinsPublishers (New York, N.Y.) Book (ISBN 0673399133), 2nd edition, Marine biology, QH91 .W43 1991, 102-897-541 (Last edited on 2002/02/27 18:23:15 US/Mountain).

Figura 1.2. Composición de iones para cuerpos de agua dulce y agua salada.

1.1.3.- Evaporación y condensación

Se deben tomar en cuenta dos procesos de relevancia en el tema, los cuales están directamente implicados durante todo el proyecto: Evaporación y condensación.

El agua de los océanos es la reserva más grande, la atmósfera la reserva más pequeña y las reservas más grandes de agua del subsuelo son los mantos acuíferos, estratos porosos del subsuelo, a menudo de piedra caliza, arena o grava, limitados por rocas impermeables o barro que retiene el agua, como si fuesen una tubería gigante o una gran cisterna. Y es precisamente en los océanos en donde empieza y termina este ciclo. De manera simple se puede mencionar que las consideraciones básicas de este ciclo son:

1. La radiación solar promueve la evaporación.
2. El enfriamiento de las masas de aire húmedo promueven la condensación del vapor de agua, acción contraria a la evaporación, es decir el vapor se transforma en gotas (estado líquido).
3. Para que el agua retorne a la atmósfera, puede seguir infinidad de rutas.

El ciclo del agua incluye la evaporación, transpiración, condensación, precipitación e infiltración de este líquido.

- **Evaporación.** Esta etapa del ciclo del agua consiste en la conversión del agua líquida a vapor, de esta forma, el agua alcanza la atmósfera. El agua se evapora de los océanos, de las aguas continentales y de las plantas (transpiración). Solo en los océanos hay aproximadamente siete veces más evaporación que desde la superficie terrestre.
- **Transpiración.** Es otra vía por la cual el agua pasa a la atmósfera, a diferencia de la evaporación, la transpiración es realizada por las plantas y es el proceso por el que ellas emiten agua por medio de sus estomas pequeños orificios en el anverso de las hojas que están conectados por el tejido vascular. Ocurre principalmente durante la fotosíntesis, cuando las estomas de las hojas están abiertas para la transferencia de dióxido de carbono y oxígeno.
- **Condensación.** Una vez en la atmósfera, por el decremento de la temperatura, el agua se condensa, es decir, se vuelve líquida nuevamente, esas gotas van formando nubes, cuando una nube está lo suficientemente saturada sufre un fenómeno de precipitación.
- **Precipitación.** Se refiere a cuando el agua, por gravedad, cae de nuevo hacia la superficie terrestre, ya sea en forma líquida o sólida.

1.1.4.- Destilación.

La destilación consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes volátiles pasen a la fase de vapor y después se enfría el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación. Sus orígenes de la destilación datan del siglo X d.C. cuando en esta época se inventa el alambique por el persa Al-Razi ilustrado en la figura 1.3.

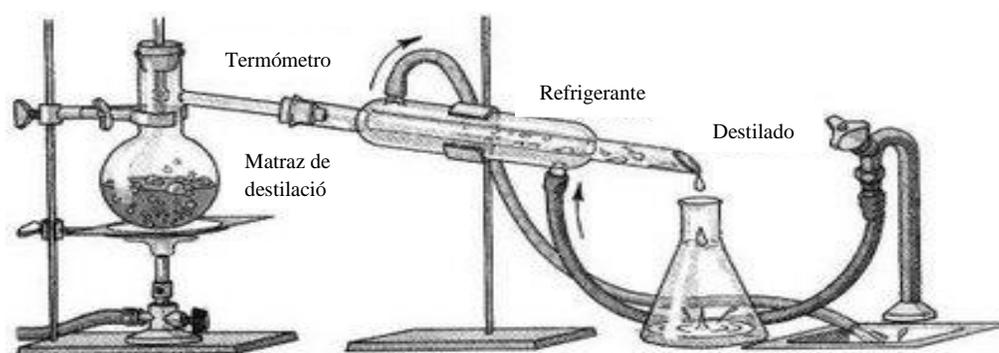


Fuente: <http://desalinizandoelaguakvp.blogspot.mx/p/destilacion.html>

Figura 1.3. Alambique.

El alambique es una herramienta de destilación de líquidos que funciona mediante el proceso de evaporación por calentamiento y condensación por enfriamiento. Está constituida por una caldera donde se calienta la mezcla, los vapores salen por la parte superior y se enfrían en un serpentín situado en un recipiente refrigerado por agua. Al final se recoge el líquido resultante en un depósito.

Para la destilación en el laboratorio los instrumentos suelen ser de vidrio y se ocupan diferentes tipos de instrumentos como el matraz redondo de destilación, soporte universal, condensador de tubo recto, matraz Erlenmeyer y como fuente de calor mechero de bunsen o calentadores eléctricos para controlar las temperaturas, como se ilustran en la figura 1.4.



Fuente: <http://www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?ID=133092>

Figura 1.4. Destilación en el laboratorio.

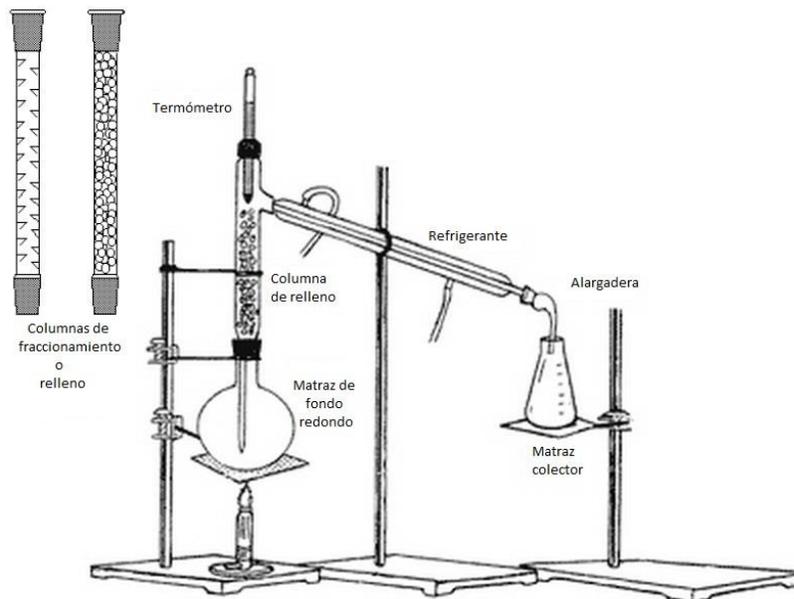
1.1.4.1.- Tipos de destilación.

Existen 3 formas básicas de destilación que actualmente se usan en los laboratorios, entre ellas:

Destilación simple

La destilación simple mostrada en la figura 1.4, se utiliza cuando la mezcla de productos líquidos a destilar contiene únicamente una sustancia volátil, o bien, cuando ésta contiene más de una sustancia volátil, pero el punto de ebullición del líquido más volátil difiere del punto de ebullición de los otros componentes en al menos 80 °C. El resultado final es la destilación de un solo producto, ya sea porque en la mezcla inicial sólo había un componente o en la mezcla inicial uno de los componentes era mucho más volátil que el resto.

- **Destilación simple a presión atmosférica:** La destilación a presión atmosférica es aquella que se realiza a presión ambiental. Se utiliza fundamentalmente cuando la temperatura del punto de ebullición se encuentra por debajo de la temperatura de descomposición química del producto.
- **Destilación simple a presión reducida:** La destilación a presión reducida o al vacío consiste en disminuir la presión en el montaje de destilación con la finalidad de provocar una disminución del punto de ebullición del componente que se pretende destilar. Se utiliza fundamentalmente cuando el punto de ebullición del compuesto a destilar es superior a la temperatura de descomposición química del producto. Para llevar a cabo este tipo de destilación es necesario un sistema de vacío incluyendo el adaptador.
- **Destilación fraccionada:** Se utiliza cuando la mezcla de productos líquidos que se va a destilar contiene sustancias volátiles de diferentes puntos de ebullición con una diferencia entre ellos menor a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Al calentar una mezcla de líquidos de diferentes presiones de vapor, el vapor se enriquece en el componente más volátil y esta propiedad se aprovecha para separar los diferentes compuestos líquidos mediante este tipo de destilación. El rasgo más característico de este tipo de destilación es que necesita una columna de fraccionamiento. Este proceso se muestra en la figura 1.5.

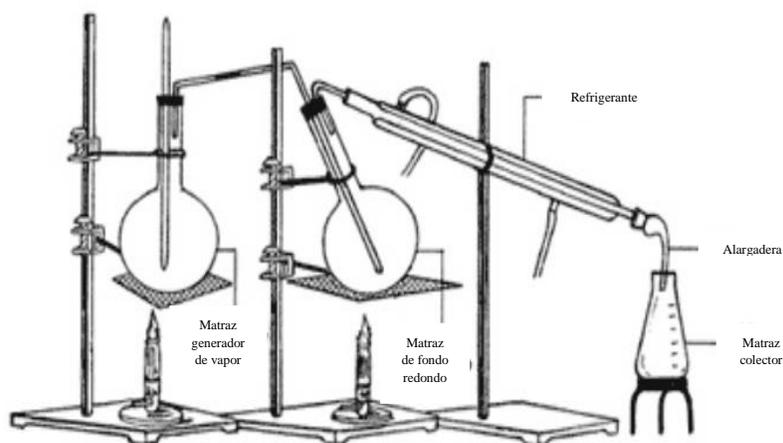


Fuente: http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/ap-teclabquim-12/28.html

Figura 1.5. Destilación fraccionada.

Destilación por arrastre de vapor

La destilación por arrastre de vapor posibilita la purificación o el aislamiento de compuestos de punto de ebullición elevado mediante una destilación a baja temperatura (siempre inferior a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$). Es una técnica de destilación muy útil para sustancias de punto de ebullición muy superior a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ y que se descomponen antes o al alcanzar la temperatura de su punto de ebullición. Es una técnica de destilación que permite la separación de sustancias insolubles en H_2O y ligeramente volátiles de otros productos no volátiles. La mezcla que contiene el producto que se pretende separar, se le adiciona un exceso de agua y el conjunto se somete a destilación. En el matraz de destilación se recuperan los compuestos no volátiles y/o solubles en agua caliente y en el matraz colector se obtienen los compuestos volátiles e insolubles en agua. Finalmente, el aislamiento de los compuestos orgánicos recogidos en el matraz colector se realiza mediante una extracción. En la figura 1.6 se muestra el proceso de destilación.



Fuente: <http://germanbravolopez.wordpress.com/2012/04/29/tipos-de-destilaciones/>

Figura 1.6. Destilación por arrastre de vapor.

1.2.- El sol.

El Sol es una inmensa esfera de gases que debido a las reacciones nucleares de fusión que se llevan a cabo en su núcleo se encuentra a muy altas temperaturas (se estiman $6000\text{ }^{\circ}\text{K}$ en la fotosfera) tiene un diámetro de aproximadamente $1.39 \times 10^6\text{ km}$ y se encuentra situado a una distancia media de 150 millones de kilómetros de la Tierra. La distancia Tierra-Sol, el diámetro solar y su temperatura es lo que determina el flujo de energía casi constante que incide en la superficie terrestre y aunque existen varios modelos para calcularlo, el valor comúnmente aceptado es de 1.354 W/m^2 ; que en otras unidades equivale a: $1.940\text{ cal/cm}^2\text{min}$, $428\text{ Btu/ft}^2\text{hr}$ y $4871\text{ MJ/m}^2\text{hr}$. Este valor se define cómo el flujo de energía proveniente del Sol que incide sobre una superficie de un metro cuadrado,

ubicada fuera de la atmósfera terrestre, perpendicular a los rayos solares y a una distancia media de la Tierra al Sol y es conocido como Constante solar, mostrada en la figura 1.7.

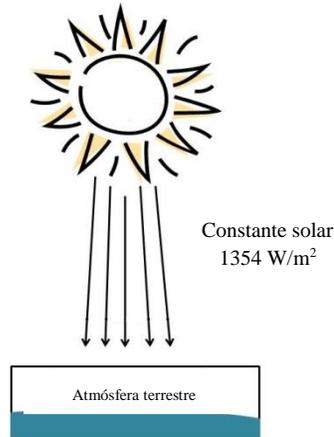
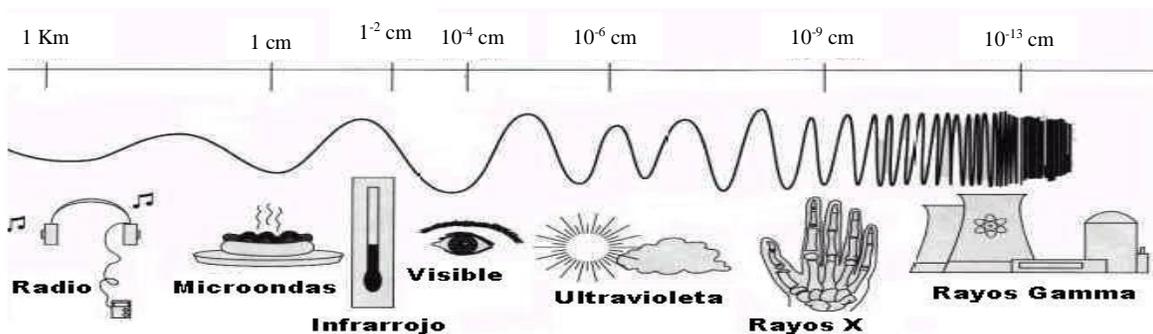


Figura 1.7. Constante Solar.

La energía proveniente del Sol viaja en forma de ondas electromagnéticas las cuales no requieren ningún medio para propagarse y en el vacío viajan con una rapidez de 300.000 km/s . Las ondas electromagnéticas se clasifican según su longitud de onda, esta clasificación la podemos ver en el espectro electromagnético mostrado en la figura 1.8. Comenzando con las que tienen una longitud de onda más larga, están: las ondas de radio, microondas, radiación infrarroja, luz visible al ojo humano, radiación ultravioleta, rayos X y rayos gamma, entre otras.

Al igual que el Sol, todos los cuerpos emiten cierta cantidad de radiación en virtud de su temperatura. A mayor temperatura la intensidad de la emisión es mayor y el tipo de radiación cambia hacia una menor longitud de onda.



Fuente: <http://earth-www.larc.nasa.gov/ceresweb/IWG/glossary/e.html>

Figura 1.8. Espectro Electromagnético.

Aunque el Sol emite radiación en toda la gama del espectro electromagnético, desde los rayos gamma hasta las ondas de radio, prácticamente toda su radiación es térmica, que corresponde a una radiación que va desde el ultravioleta ($\sim 0,1 \mu m$) hasta el infrarrojo lejano ($\sim 100 \mu m$) pasando por la radiación visible. En el camino del Sol a la Tierra las ondas apenas sufren cambios porque se desplazan en un medio sin materia; al llegar a la atmósfera terrestre (donde se encuentra con polvo, vapor de agua, polución, aerosoles, dióxido de carbono y otros gases) la radiación solar sufre de ciertas transformaciones debidas a los efectos de reflexión, refracción y absorción. Hablando en términos generales, podemos decir que en un día claro (sin nubes y contaminación) la radiación que llega a la superficie es aproximadamente 3% de ultravioleta, 57% visible y el 40% infrarrojo.

Además de los gases que conforman la atmósfera terrestre, la radiación encuentra diferentes “obstáculos” que hacen variar su intensidad. Las nubes, por ejemplo, desvían los rayos solares y provocan que la intensidad de éstos al llegar a la superficie terrestre sea menor. A partir de estos fenómenos podemos clasificar a la radiación solar, como radiación directa o difusa, como se muestra en la figura 1.9.



Fuente: Ingenios solares: manual práctico para la construcción de aparatos sencillos relacionados con la energía solar. Jose Manuel Jiménez Bolaño. Ed. Pamiela. 2000.

Figura 1.9. Debido a los efectos de reflexión, refracción y absorción, no toda la radiación proveniente del Sol llega a la tierra como radiación directa.

- Radiación directa es la radiación solar que llega en línea recta a la superficie de la tierra sin haber sido difundida por la atmósfera; forma sombras definidas ante algún obstáculo y puede enfocarse por medios ópticos.

- La radiación difusa es radiación solar que se dispersa al atravesar la atmósfera por causa de moléculas de aire, vapor de agua, polvo, etc., de tal modo que llega a la superficie de la tierra como si procediera de todo el cielo. No da sombras nítidas ni puede enfocarse con un instrumento óptico.

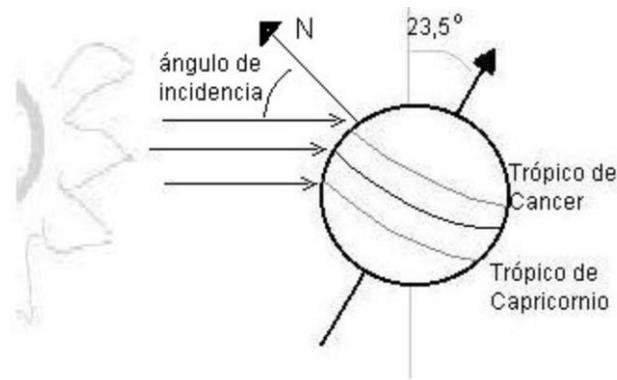
La suma de estos dos tipos de radiación se conoce como la radiación global. En un día muy despejado, la mayor parte de la radiación proviene del cielo azul, en forma de radiación directa; mientras que una parte relativamente pequeña se convierte en radiación difusa. En cambio, en un día nublado la redistribución de la radiación es mucho más notable, las nubes densas tienen un albedo (fracción de energía reflejada) muy alto, lo cual hace que una gran parte de la radiación solar se refleje al espacio exterior. Además, la energía que logra pasar a través de las nubes, es, prácticamente, sólo radiación difusa.

1.2.1.- Distribución geográfica de la radiación solar.

La Tierra está animada principalmente por dos movimientos: la traslación alrededor del Sol y la rotación alrededor de su eje. La trayectoria que describe la tierra al girar alrededor del Sol no es circular sino elíptica, lo que significa que la distancia Sol-Tierra a lo largo del año no es siempre la misma. El 21 de diciembre la tierra se encuentra más cerca del sol, mientras que en 21 de junio se encuentra en el punto más lejano dependiendo de la posición geográfica.

Aunque la distancia de la Tierra al Sol influye en la cantidad de radiación solar que incide en la superficie terrestre, la variación se debe principalmente al ángulo de incidencia de los rayos solares en la superficie terrestre.

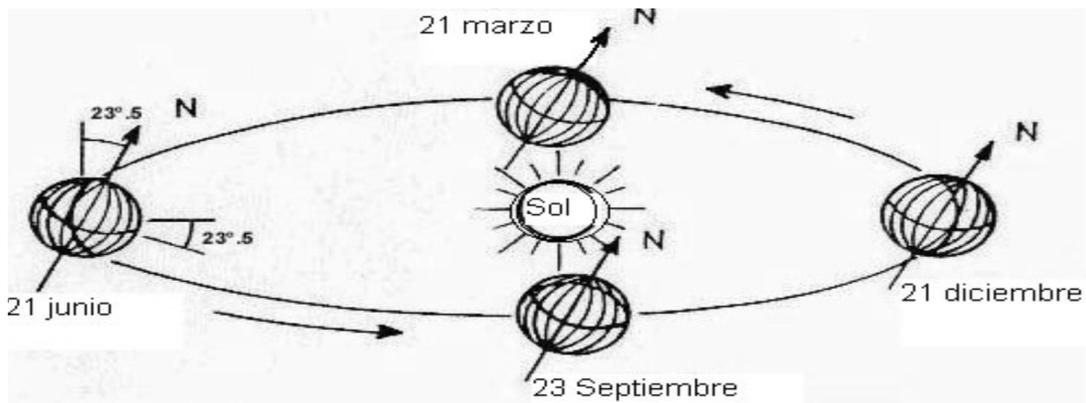
- El ángulo de incidencia es el que forma la normal (línea perpendicular a la superficie) a la superficie con la dirección de propagación de la radiación Solar.
- El eje de rotación de la Tierra está inclinado 23.5° con respecto a un eje perpendicular a la órbita que describe la Tierra al girar alrededor del Sol (figura 1.11), como esta inclinación permanece constante los rayos solares inciden, en una misma latitud, con diferente inclinación a lo largo del año. En la figura 1.10 se ilustra lo antes comentado.



Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6339/1/CD-4863.pdf>

Figura 1.10. Ejemplo detallado del Solsticio de Invierno.

Por ejemplo, en la figura 1.11, alrededor del 21 de diciembre se produce el solsticio de invierno, cuando el Sol ilumina más directamente el Hemisferio Sur. Sus rayos caen perpendiculares al Trópico de Capricornio (aproximadamente latitud 23.5° Sur), el Polo Sur tiene Sol las 24 horas del día mientras que el Polo Norte está en sombra.



Fuente: http://blogs.eluniversal.com.mx/weblogs_detalle11358.html

Figura 1.11. Posición e inclinaciones de la Tierra en las diferentes estaciones del año.

Seis meses más tarde, cerca del 21 de junio se produce el solsticio de verano, que es cuando el Sol ilumina más directamente el Hemisferio Norte. Sus rayos caen ahora perpendiculares al Trópico de Cáncer (aproximadamente latitud 23.5° Norte). En el Polo Norte el Sol está sobre el horizonte las 24 horas del día, y el Polo Sur permanece en sombras.

Hay dos momentos en el año que marcan el cambio entre la iluminación de los polos Norte y Sur, son aquellos para los cuales los rayos solares inciden de manera perpendicular al Ecuador (latitud

0°) iluminando ambos hemisferios por igual. Ocurren aproximadamente el 21 de marzo y el 23 de septiembre, el día dura lo mismo que la noche, 12 horas.

El ángulo de inclinación de los rayos solares es importante debido a dos fenómenos:

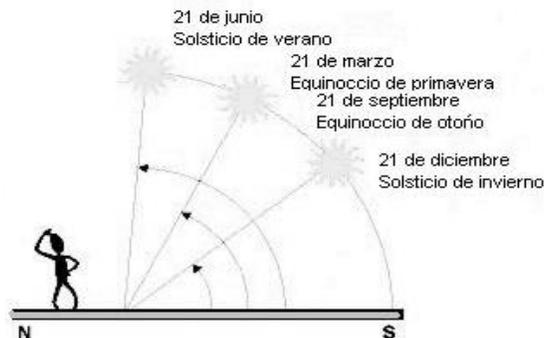
La radiación solar es menos intensa cuando el ángulo de incidencia es mayor. Al mediodía, cuando los rayos solares caen perpendicularmente a la superficie terrestre (ángulo de incidencia nulo) son más intensos que al atardecer o al amanecer (ángulo de incidencia máxima).

La cantidad de atmósfera que atraviesa varía con el ángulo de incidencia. Cuando los rayos solares vienen del horizonte tienen que atravesar más masa atmosférica para llegar a la superficie.

1.2.2.- Trayectoria aparente del sol.

Entender cómo varía la radiación solar durante el día y a lo largo de todo el año es básico para su aprovechamiento. Si la explicación sobre las estaciones del año e inclinación del eje terrestre no es del todo clara, existe otra manera de comprenderlo. El punto de referencia pasa de estar en el Sol a un observador en la superficie terrestre.

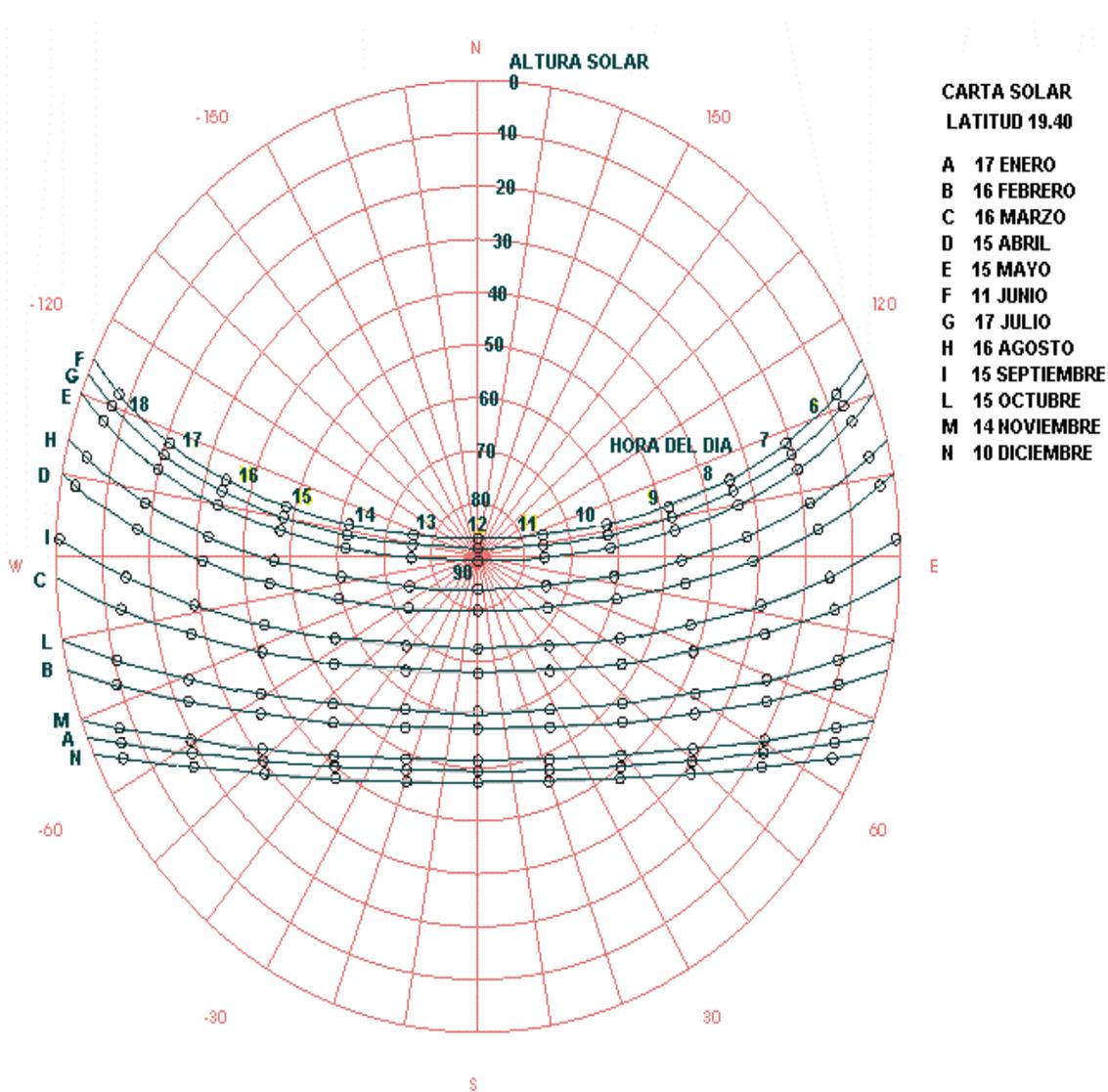
El Sol cada día saldrá por el Este y se ocultará en el Oeste, pero su altura varía dependiendo del día del año; más alto en los meses de verano y bajo en invierno. Las líneas que describe el Sol en la bóveda celeste durante un año son conocidas como trayectorias aparentes. En la figura 1.12 se ilustra la trayectoria del sol.



Fuente: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/097/htm/sec_11.htm

Figura 1.12. Trayectorias de sol.

En verano la trayectoria del Sol es más alta sobre el horizonte y el día es más largo que en invierno. En invierno la trayectoria es más baja, el día más corto y, aunque la tierra se encuentra más cercana al Sol, la cantidad de masa atmosférica que atraviesan los rayos solares es mayor que en verano por lo que la intensidad de la radiación es menor. Es por eso que la inclinación de los rayos solares es más importante que la distancia Tierra-Sol. En la figura 1.13 se muestra la trayectoria solar para una latitud de 19.40° correspondiente a Cuautitlán Izcalli, Estado de México en donde se realizaron las pruebas experimentales del proyecto.

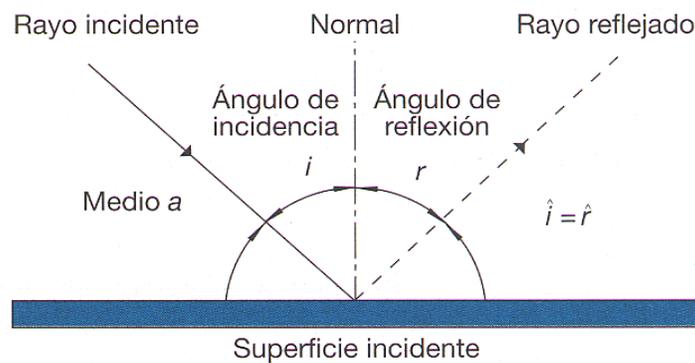


Fuente: Geosol V.2.0 para Windows

Figura 1.13. Carta solar para el Municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México.

1.3.- Reflexión y refracción.

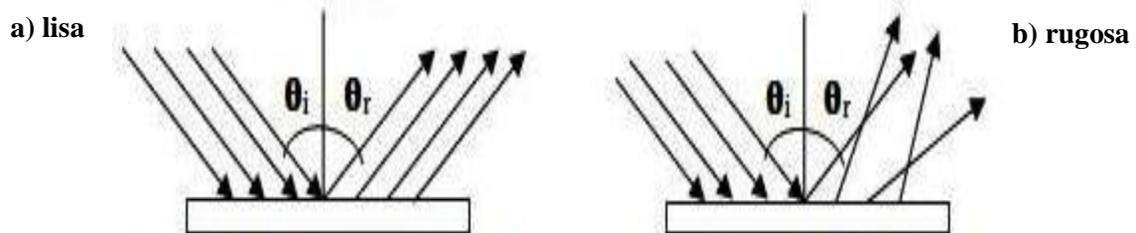
Cuando los rayos solares inciden sobre algún objeto, éstos pueden ser absorbidos, reflejados o refractados dependiendo de las características del material receptor. Un material que se denomine como buen absorbente de energía radiante, refleja muy poco de ella, en consecuencia, la superficie se ve oscura. Un buen absorbente parece oscuro y un absorbente perfecto no refleja energía radiante, parece totalmente negro y la energía que se absorbe aumentará su temperatura. Todos los materiales, al no ser ideales, producen los tres fenómenos. La reflexión y absorción son procesos opuestos. Los buenos reflectores son malos absorbentes. Cuando la radiación llega a la superficie de un material ideal reflexivo, es rechazada y emitida de regreso. En la figura 1.14 se observa que el ángulo con que incide con respecto a la normal es el mismo con el que es reflejado.



Fuente: <http://cocinasolares.blogspot.mx/2011/01/trayectorias-del-sol.html>

Figura 1.14. Reflexión de un rayo luminoso en un material reflexivo ideal.

En la figura 1.15a se observa que cuando la superficie donde se refleja la luz es muy lisa, los rayos reflejados apenas sufrirán cambios y todos se reflejarán con el mismo ángulo; lo que sucede en un buen espejo. En la figura 1.15b se observa que mientras más rugosa es la superficie los rayos que inciden encuentran diferentes ángulos (a escala microscópica) por lo que el ángulo de reflexión será muy variado y la radiación saldrá en todas direcciones.



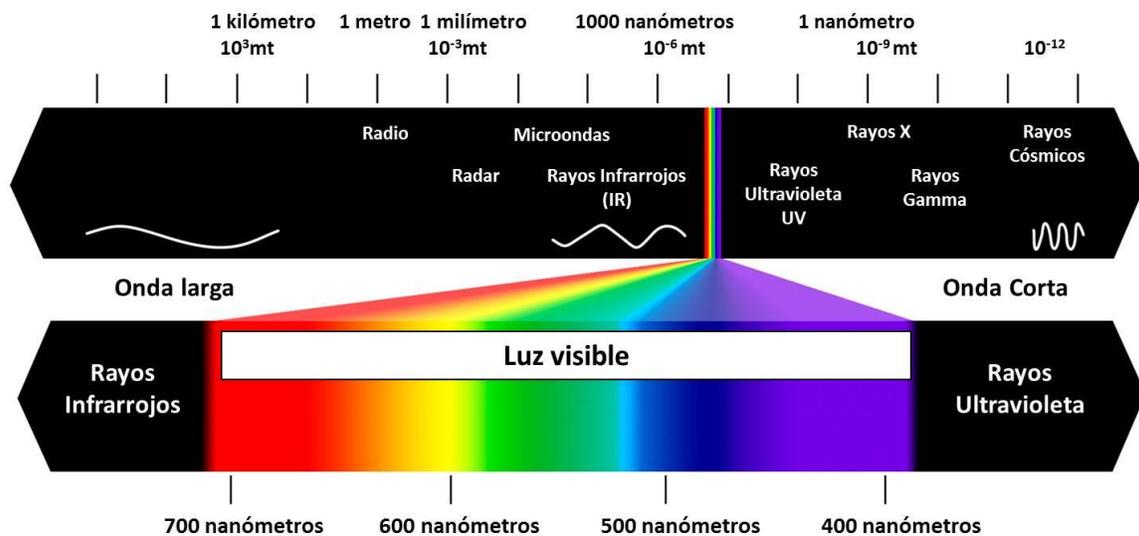
Fuente: <http://lecturasinfisicaonce.blogspot.mx/2012/03/lectura-11-reflexion-de-la-luz-espejos.html>

Figura 1.15. Reflexión en una superficie

En consecuencia, si el interés es reflejar la luz solar en una dirección concreta, se debe considerar la calidad de la superficie y no sólo las propiedades reflexivas del material. La refracción sucede cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro con características distintas, lo que produce un cambio en la dirección del rayo. Este cambio se debe que la dirección y rapidez de la luz varía al pasar de un medio a otro. Si la luz incide perpendicularmente sobre la superficie no sufrirá desviación y seguirá en línea recta su trayectoria.

1.4.- El color.

La luz blanca está compuesta por una serie de colores, cada uno de los cuales se caracteriza por una longitud de onda determinada. En la figura 1.16 se observa que la región del espectro electromagnético que corresponde a la luz blanca (luz visible por el ojo humano), va desde el violeta, con una longitud de onda mínima, hasta el rojo, longitud de onda máxima. Entre estas dos está la cantidad indefinida de tonos que forman el espectro de colores, aunque no están nítidamente divididos, sino que forman un espectro continuo, por convención se han agrupado en siete colores: rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, índigo y violeta.

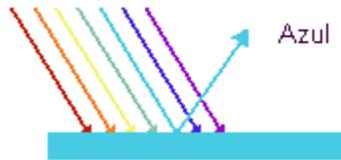


Fuente: <http://www.artinaid.com/2013/04/que-es-la-luz-o-el-electromagnetismo/>

Figura 1.16. Espectro de luz visible.

Cuando un objeto recibe un rayo luminoso, un porcentaje de éste se absorbe y otro se refleja; la longitud de onda del rayo reflejado es lo que define su color. Un objeto parece azul, si al recibir un

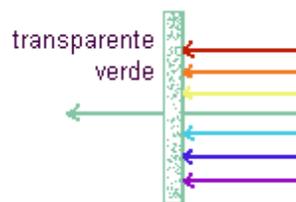
haz de luz blanca absorbe todas las longitudes de onda menos el azul, como se muestra en la figura 1.17. Si refleja toda la luz que recibe el objeto parece ser blanco y si absorbe todo, el objeto se verá negro (ausencia de luz). El color no es intrínseco al objeto, dependen del tipo de luz que recibe. Por ejemplo, si colocamos una hoja de papel que a la luz solar consideramos blanca bajo una luz artificial azul, la hoja parecerá azul, lo que significa que refleja todas las longitudes de onda que recibe; azul bajo la luz azul y blanca (combinación de todo el espectro) bajo la luz del Sol.



Fuente: <http://fisica11c.wordpress.com/imagenes-por-reflexion/>

Figura 1.17. Un objeto bajo la luz blanca se ve azul porque la longitud de onda que se refleja es la que corresponde a este color.

En los materiales semitransparentes sucede algo similar, el color con el que lo percibimos dependerá de la luz que permita pasar (en el caso en que el material se encuentre entre nosotros y el punto de luz). Por ejemplo, en la figura 1.18 se observa que un trozo de vidrio parecerá verde si éste absorbe todas las longitudes del espectro visible menos el correspondiente al color verde, que es el que transmite figura 1.18.



Fuente: <http://fisica11c.wordpress.com/imagenes-por-reflexion/>

Figura 1.18. Un cristal se verá verde si permite pasar sólo la longitud de onda correspondiente al color verde.

1.5.- El calor.

El calor es la energía que se transmite de cuerpos calientes a otros más fríos. Al estar en contacto dos cuerpos con diferentes temperaturas los que están más calientes se enfrían y los que están más

fríos se calientan, tienden a alcanzar una temperatura común. Ésta transferencia de calor se lleva a cabo de tres maneras: por conducción, convección y radiación.

- La conducción es una transferencia de calor entre cuerpos sólidos o fluidos estancados (velocidad de 0). Si tomamos con la mano una barra de acero y colocamos uno de los extremos al fuego, al cabo de un rato no podremos sostenerla más, la energía del fuego se transmite a través de los electrones del metal rápidamente y provoca un aumento de la temperatura a lo largo de toda la barra. En la figura 1.19 se muestra este fenómeno.
- La convección se presenta en líquidos o gases, implica el movimiento de masa, y se debe al movimiento del fluido. Si se calienta agua en la estufa, a medida que el fluido de abajo se calienta las moléculas comienzan a moverse con más rapidez, se apartan entre sí, el agua menos densa (la más caliente) se mueve hacia arriba, lo que hace que el fluido más frío y denso quede en la parte inferior. De este modo se forman corrientes de convección que se mantienen en movimiento a medida que el fluido aumenta de temperatura.
- La radiación térmica son ondas electromagnéticas que un cuerpo emite debido a su temperatura y a diferencia de la convección y de la conducción, ocurre sin necesidad de un medio a través del cual se pueda transferir el calor. Todos los cuerpos emiten esta radiación y a su vez absorben la radiación térmica del medio que les rodea.



Figura 1.19. Conducción.

Los metales debido a su estructura molecular, son excelentes conductores de calor, mientras que el aire y la mayoría de los líquidos y gases no lo son. Es por esto que las buenas propiedades aislantes de algunos materiales como plumas, corcho o piel se deben principalmente a los espacios de aire que contienen.

1.6.- Efecto invernadero.

El efecto invernadero obtiene su nombre de las estructuras de vidrio que se utilizan en la agricultura para “atrapar” la energía solar. El vidrio, al igual que algunos otros materiales, es transparente a las ondas de luz visible y opaco a rayos ultravioleta e infrarrojos. Las ondas cortas de la luz solar atraviesan el vidrio y se absorben en las plantas y el suelo. A su vez las plantas y suelo emiten ondas largas infrarrojas que no pueden atravesar el vidrio, esta energía queda “atrapada” en el invernadero y eleva la temperatura del ambiente. En la figura 1.20 se ilustra el efecto invernadero.

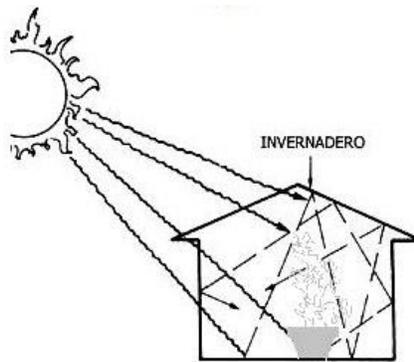
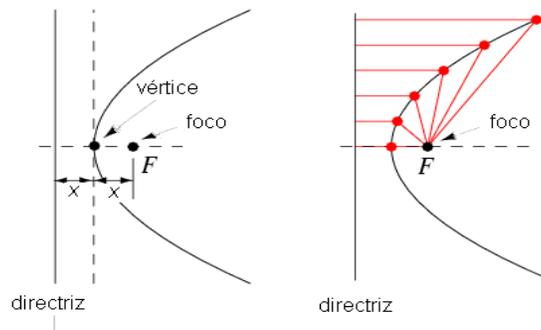


Figura 1.20. Efecto Invernadero.

1.7.- Parábola.

La definición matemática de parábola es: conjunto de puntos en un plano que equidistan de un punto fijo llamado foco, F , y de una línea recta llamada directriz, es decir, si tomamos cualquier punto de la parábola, la distancia de este punto al foco será igual a la distancia del mismo punto a la directriz. En la figura 1.21 se ilustra las partes principales de una parábola.



Fuente: <http://prendetuneurona.blogspot.mx/2010/04/formulario-sobre-parabolas.html>

Figura 1.21. Parábola.

El eje de la parábola (línea que une al foco y directriz) es el eje de simetría. Si construimos una parábola con algún material reflectante y la orientamos a los rayos solares, es decir que la línea que dibujan los rayos solares sea paralela al eje de simetría, la radiación que recibe la parábola se refleja y concentra en el punto focal F . Es en éste punto donde se tiene la mayor concentración de radiación solar. Por otro lado, el área de captación se entiende como la proyección de la parábola en un plano perpendicular a los rayos solares, como se muestra en la figura 1.22.

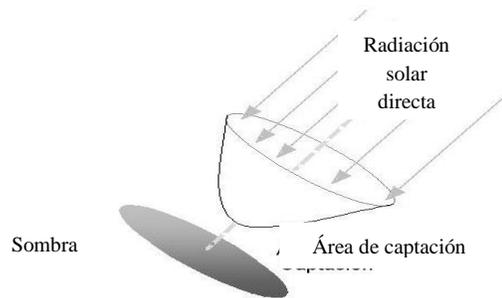
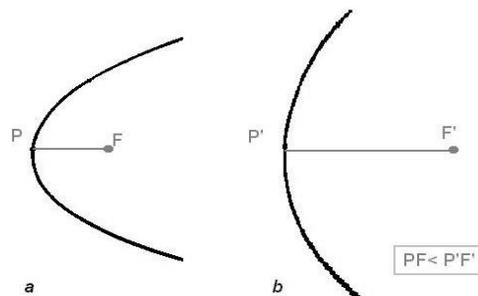


Figura 1.22. El área de captación de una parábola, es la proyección de la parábola en un plano perpendicular al eje de la radiación solar (su sombra).

La distancia focal se define como la distancia sobre el eje de simetría, entre la parábola y el punto focal. Esta distancia está determinada por el perfil de la parábola. En la figura 1.23 se observa que mientras la parábola sea más profunda, el foco se acerca más a la parábola y la distancia focal disminuye. La definición de la concentración de los rayos solares en el foco está determinada por la calidad de la parábola, tanto de la forma como del material reflexivo. Si el material es de baja calidad, la reflexión tomará diferentes caminos, por lo que no toda llegará al punto focal, formando una zona de concentración amplia. En un perfil parabólico la distancia focal disminuye cuando la profundidad aumenta.

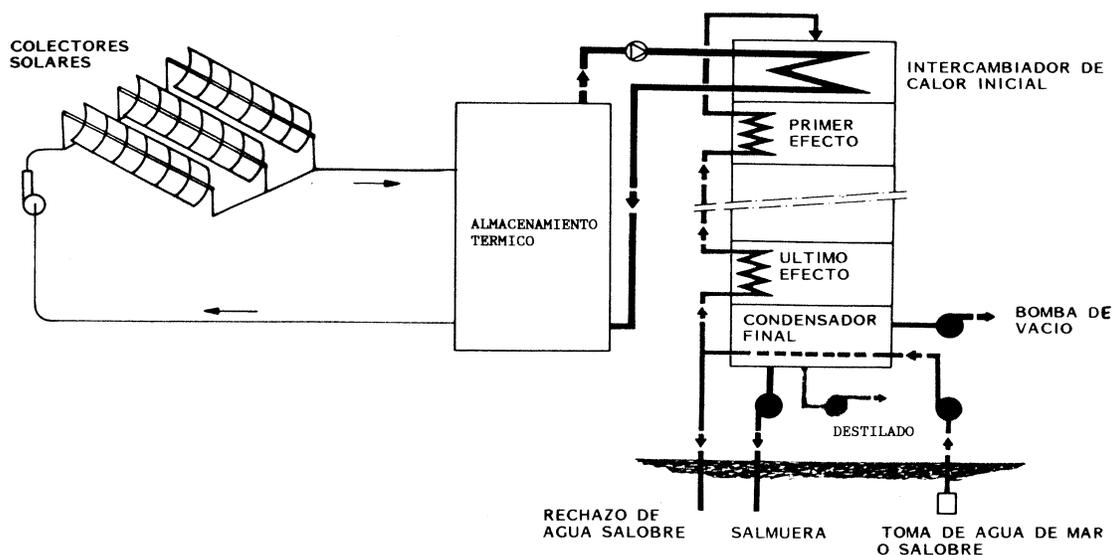


Fuente: <http://prendetuneurona.blogspot.mx/2010/04/formulario-sobre-parabolas.html>

Figura 1.23. Distancia Focal.

El evaporador es el elemento en el cual se produce el aporte energético al proceso en forma de energía térmica. Como consecuencia del aporte térmico que se realiza en el evaporador, una parte del agua que se encuentra en él se evapora y pasa al condensador. Una vez en el condensador, éste vapor se condensa gracias al agua de refrigeración que circula en su interior. En el caso de la figura 1.24, el agua de alimentación se utiliza como refrigerante, ya que se encuentra a temperatura ambiente. De este modo se disminuye la cantidad de calor que hay que aportar en el evaporador, debido a que el agua se precalienta antes de entrar a él.

En las plantas de destilación de múltiple efecto MED conocidas así por sus siglas en inglés “Multi Effect Distillation”, es mayor el número de efectos debido a evaporaciones consecutivas con temperaturas que disminuyen, recuperando el calor latente de evaporación. En la figura 1.25 se muestra un esquema de una planta de desalación solar tipo MED, ésta funciona con energía solar, donde la radiación solar es transformada en energía térmica y ésta circula a través de una determinada cantidad de efectos.



Fuente:

<http://ingenieroambiental.com/2070/DESALACION%20DEL%20AGUA%20MEDIANTE%20ENERGIA%20RENOVABLES>
.doc

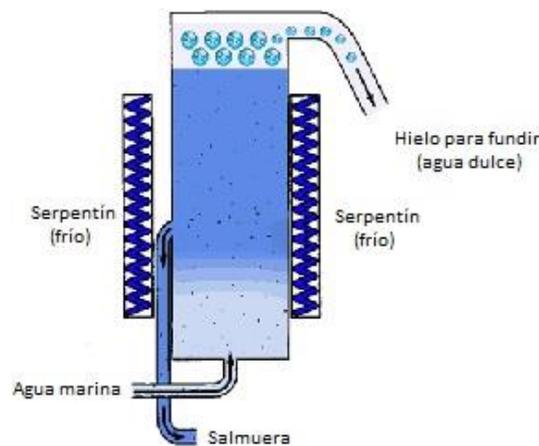
Figura 1.25. Esquema de una planta de desalación tipo MED.

Los colectores o concentradores se encargan de transformar la radiación solar en energía térmica. Para lograr esto se hace circular un fluido que pasa por ellos y se calienta a medida que avanza a

través de los mismos. Existen diferentes tipos de colectores y concentradores solares pero se debe de diseñar alguno que sea capaz de calentar el fluido a una temperatura aproximada de 90° C.

1.8.2.- Congelación.

Este método consiste en enfriar el agua salada para formar cristales de hielo bajo condiciones controladas para posteriormente fundirlos y obtener un agua dulce independientemente de la concentración del agua inicial. Este proceso aún tiene problemas de adaptación para su implantación a escala industrial, ya que el aislamiento térmico para mantener el frío y los mecanismos para la separación de los cristales de hielo deben mejorarse para que este proceso sea algún día competitivo, así como adaptar la tecnología a intercambiadores de frío. No se ofrecen datos del consumo específico de este proceso porque sólo existen experimentos de pequeña escala. En la figura 1.26 se muestra el proceso de desalación por congelación.



Fuente: <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/diciex/proyectos/agua/mares.html>

Figura 1.26. Desalación por congelación.

El agua de mar es llevada a un estado termodinámico en el cual el componente con el punto de congelación más alto (el agua) se separa espontáneamente, mediante la cristalización, dentro de la misma solución salina, la cual se va paulatinamente concentrando más y más. Esta concentración creciente del agua de mar que está en fase líquida, hace disminuir su punto de congelación. Los cristales de agua pura son lavados y extraídos. El agua se separa primero por congelación al ir bajando la temperatura. Naturalmente bajando la temperatura más allá de un determinado valor, la sal también empieza a cristalizar. Es por este motivo que la temperatura de trabajo típica de este

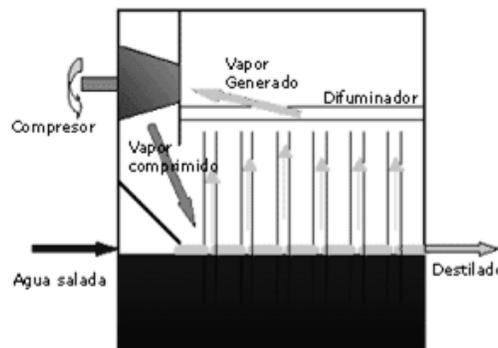
tipo de proceso está en el rango comprendido entre $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la temperatura ambiente. Los cristales de agua pura pueden ser extraídos mediante centrifugación. No obstante, hay una diversidad de métodos que se pueden utilizar para este proceso. Actualmente no existe una amplia implementación de este tipo de plantas desalinizadoras y puede decirse que su tecnología no está aún madura. El interés de este tipo de proceso radica en que la energía requerida para congelar un kg de agua es aproximadamente igual a la sexta parte de la que se necesita para evaporarla.

1.8.3.- Compresión de vapor.

Es el proceso en el que la evaporación del agua se obtiene mediante la aplicación del calor suministrado por la condensación de vapor comprimido. La compresión del vapor se obtiene de dos diferentes formas:

- Compresión Térmica o Termocompresión: Ésta consiste en utilizar un eyector de vapor alimentado por una fuente de vapor externa, que produce la compresión deseada mediante el efecto Venturi originado en el eyector.
- Compresión mecánica: Consiste en comprimir el vapor mediante un dispositivo mecánico que funciona eléctricamente.

Cuando el vapor es comprimido aumenta su temperatura y pasa a un intercambiador de calor de placas que forman el evaporador-condensador, donde se condensa y libera calor que sirve para evaporar una parte del agua salada que circula por el otro lado del evaporador-condensador. En la figura 1.27 se presenta el diagrama de la compresión de vapor con evaporador de tubos verticales.



Fuente: <http://www.ingenieriaquimica.net/articulos/289-la-situacion-actual-de-ladesalinizacion>

Figura 1.27. Diagrama de la compresión de vapor.

1.8.4.- Desalación solar.

Se tratan de sistemas que funcionan exclusivamente con energía solar y trabajan mediante los fenómenos de evaporación y condensación. Aprovechan de un modo pasivo la energía solar, haciendo uso del efecto invernadero que se explica en el punto 1.8.4.1. De la desalación solar se obtiene agua condensada sin sales y residuos sólidos.

Debido a que este es el sistema que mejor se acopla a sistemas de aprovechamiento solar se mencionara a continuación su funcionamiento, el efecto invernadero que surge dentro del desalador, la clasificación de éstos, sus antecedentes, así como los desaladores existentes en el mercado.

1.8.4.1.- Efecto invernadero aplicado a la desalación solar.

El efecto invernadero que se produce en el desalador consiste en:

1. La radiación solar exterior atraviesa la superficie de la cubierta, que ésta a su vez actúa como una trampa térmica. La radiación solar es absorbida en parte por el agua que se encuentra adentro y la demás es emitida con una longitud de onda mayor que la radiación incidente, esta radiación queda “atrapada” en el interior y eleva la temperatura ambiente interna.
2. Al elevarse la temperatura ambiente interna favorece a la evaporación del agua allí existente.
3. El vapor se condensa al entrar en contacto con la cara interior de la cubierta, formando pequeñas gotas de agua destilada que terminan uniéndose entre si y se deslizan siguiendo la pendiente de la cubierta, para ser finalmente recogidas y canalizadas por los conductos colectores que terminan en los depósitos de almacenamiento de agua destilada.

En la figura 1.28 se muestra el efecto invernadero dentro de un desalador solar tipo caseta.

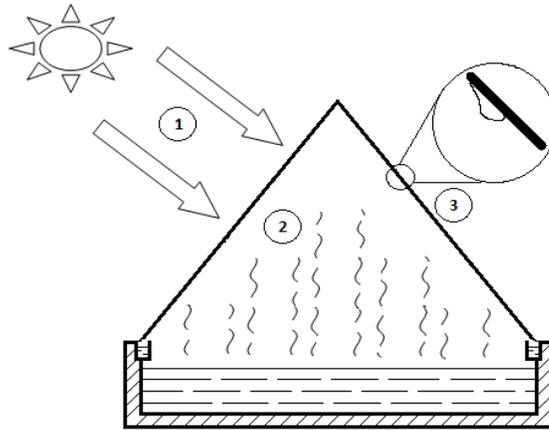


Figura 1.28. Proceso de evaporación dentro de un desalador solar tipo caseta.

1.8.4.2.- Antecedentes.

Los desaladores solares son atractivos para pequeñas instalaciones especialmente en zonas remotas con escasos recursos energéticos y un buen nivel de radiación solar. México es uno de los países con más alta radiación solar anual y a su vez hay lugares alejados de la ciudad pero por lo regular cuentan con aguas salobres, ríos, lagos y pozos. Esta alta radiación puede ser utilizada para separar el agua de los sólidos disueltos por medio de procesos de evaporación - condensación. También debido a su bajo costo, ya que el sol representa el único requerimiento energético del sistema de desalación.

La primera instalación de destilación que aprovechaba la energía solar data del año de 1872 en Las Salinas (Chile) y fue construida por el sueco Carlos Wilson para abastecer de agua a mineros de la zona. El proyecto estaba formado por desaladores tipo caseta (por ser lo más económico) en serie y producía 22.500 litros de agua por día. En 1951 en la provincia de Antofagasta, Chile se construyó una instalación con una superficie de 44,000 m^2 y producía 236,000 litros de agua por día.

En 1888 en Egipto Theodor Ziem desarrolla un desalador que constaba de un recipiente plano en forma de cajón, cuyas paredes laterales y el fondo se hallaban protegidos contra pérdidas térmicas mediante materiales no conductores de calor. El recipiente se encontraba cubierto con una placa inclinada. El vapor se condensaba en la cara interna de la placa y deslizaba en formas de gotas hacia unas ranuras o canaletas de vidrio, siendo recogidas en un recipiente cuando la temperatura interior era superior a la externa.

En Westlaboratory de Phoenix, Arizona en E.U. William Rhodes sustituye la placa de vidrio que funcionaba como condensador por una placa de acero inoxidable a prueba de fugas, en el recipiente de almacenamiento colocó un sistema de tubos de neopreno. Según el constructor su sistema producía 9 litros de agua por día.

En la Unión Soviética el director del departamento heliotécnico del Instituto de Energía Eléctrica de la Academia de Ciencias, profesor Valentín Baum, de Tashkent, desarrollo unos reflectores paraboloideos para la destilación de agua. Los destiladores se basan en el principio del calor perdido. El vapor obtenido con ayuda de la energía solar, en lugar de condensarse sobre el vidrio, va a parar a un intercambiador refrigerado por agua salada. Al condensarse el vapor cede su temperatura y calienta el agua que rodea el intercambiador. El vapor así producido es condensado en otro intercambiador. De esta forma es como surgen las instalaciones de tres fases o etapas. El espejo parabólico que funcionaba para calentar el agua lo construyo con un diámetro de 10m siendo su capacidad de producción de alrededor de 1000 litros de agua diariamente.

En Francia la industria Patnic, de Antibes desarrolla un desalador de menor escala con unas dimensiones de 1.05m x 0.90m. Cuanta con un deposito negro, hermético al exterior, para depositar el agua a destilar, tiene una cubiertas de vidrio inclinadas a 30° para que el agua que se evapora se condensa y escurre hacia unas canaletas colocadas a los costados de ésta. Los análisis demuestran que el agua que produce el aparato está totalmente desprovista de sales minerales.

En Japón el director Kobayashi, del Japan Research Institute crea un destilador que va colocado sobre una porción plana de tierra, ésta parte del principio de que prácticamente en todos los lugares hay agua subterránea, este consistía en un destilador tipo caseta colocado sobre la tierra, demostró que de un metro cuadrado de suelo arenoso se podía extraer un litro de agua en 24 horas.

1.8.4.3.- Clasificación.

1.8.4.3.1.- Desaladores solares a gran escala.

Existen modelos de desaladores solares de gran tamaño, se tratan de estructuras de invernaderos que en su interior se sitúa un estanque de agua de poca profundidad y de color negro. El funcionamiento

de este también aprovecha el efecto invernadero, con ellos el proceso de evaporación y condensación. Los elementos básicos que lo componen son:

- Piscina o estanque: es el lugar donde se encuentra almacenada el agua que se pretende desalar. Éstas suelen construirlas o aprovechan las deformaciones del suelo.
- Cubierta: es una superficie transparente que por lo regular utilizan vidrio, plástico o acrílico que se coloca por encima del estanque.
- Zona de recuperación: son conductos ó canales colectores ubicados en los costados o al centro de la piscina o estanque con la finalidad de que el agua ya sin sales sea recuperada y no se mezcle con la salada.

En la figura 1.30 se muestran algunos de los diseños que se han construido.

1.8.4.3.2.- Desalador solar tipo caseta.

La destilación se utiliza para tratar las aguas contaminadas con sales disueltas indeseables. La desalación por medio de evaporación y condensación es la que más se acopla a sistemas de aprovechamiento solar. Mediante el proceso de la desalación solar se obtiene agua condensada sin sales y residuos sólidos.

Son sistemas que utilizan el proceso de evaporación, condensación y el conocido como “efecto invernadero”, éstos aprovechan la radiación emitida por el sol para su funcionamiento. Los elementos que lo componen se muestran en la figura 1.29.

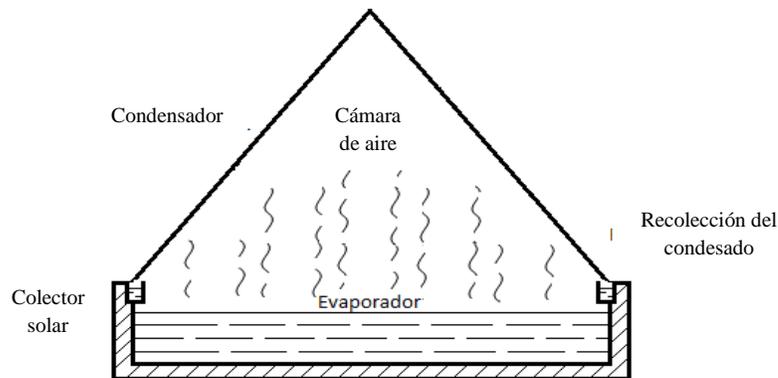
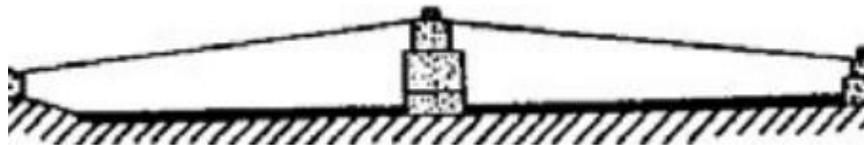
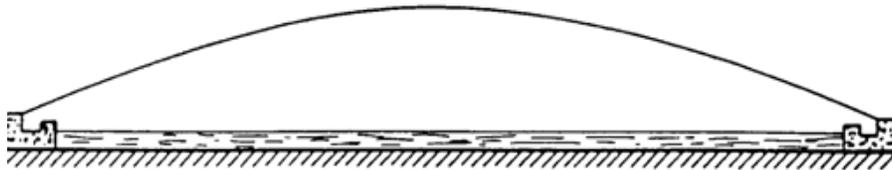


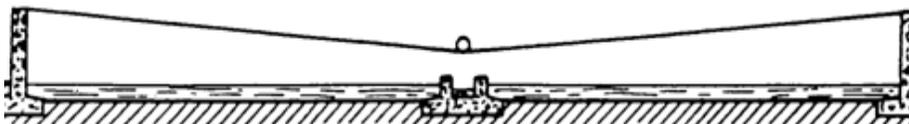
Figura 1.29. Elementos del desalador solar tipo caseta.



Batelle-Lof.



Con cubierta de plástico.



Cubierta en "V".



Cubierta de vidrio inclinada.



Australiano (CSIRO).



Grecia (Delyannis).



Delyannis modificado.

Fuente: http://en.howtopedia.org/wiki/How_to_Purify_Water_With_Solar_Distillation

Figura 1.30. Diseños de desaladores a gran escala.

- Evaporador:

La región en la que se lleva a cabo la evaporación del agua, técnicamente recibe el nombre de evaporador. En el caso particular del destilador de caseta, el evaporador es el mismo recipiente que funciona como colector. Más específicamente la superficie superior del destilando, es decir, el espejo de agua, es propiamente el evaporador. Con el objeto de que el agua logre temperaturas relativamente altas (del orden de 60 a 70° C), es necesario que la profundidad de agua sea pequeña. Las temperaturas altas favorecen el proceso de evaporación al aumentar exponencialmente la presión de vapor del agua. Por otro lado, como se explicó anteriormente, la eliminación de microorganismos requiere también de temperaturas altas. Sin embargo, en los destiladores de caseta es posible evaporar alrededor de 0.5 cm de profundidad de agua en un día. Debido a esto, no es recomendable que la profundidad sea menor que esta distancia, para evitar que se seque el agua del evaporador. Cabe señalar que existen otros diseños más sofisticados, en los que el evaporador es una unidad aparte del colector.

- Cámara de aire:

Sobre el evaporador existe una región con aire, que separa a éste del condensador. La función del evaporador es transferir agua al aire para saturarlo. La única función del aire es servir como medio de transporte para las moléculas de agua que viajan del evaporador al condensador. Los destiladores solares pequeños utilizan como medio para este "viaje" la difusión molecular. Para el proceso de difusión molecular, la distancia es un elemento de resistencia al transporte de las moléculas. Por tanto, la distancia que separa el evaporador del condensador debe ser tan pequeña como sea prácticamente posible, tomando en cuenta las limitaciones que mencionaremos a continuación.

- Condensador:

El aire que separa el evaporador del condensador normalmente se encuentra saturado. Esto propicia la extracción del agua, en forma líquida, en alguna región que se encuentre a temperatura menor que el resto del sistema y particularmente que la temperatura del evaporador. Esta región se llama condensador. En un destilador de caseta, esto se logra colocando una cubierta de algún material transparente (comúnmente se utiliza vidrio, o algunos plásticos), a una cierta distancia sobre el evaporador. Para que el condensador funcione eficientemente, en un destilador de caseta, debe tener varias características. Por ejemplo, debe ser un área relativamente grande, por lo menos semejante al área del

evaporador. Debe estar ventilado (no aislado) para que se den los flujos de calor hacia el ambiente, tales que lo mantengan a menor temperatura que el resto del destilador. Debe tener una cierta inclinación, con el objeto de que el agua que se condensa sobre la cara interna del destilador escurra en la dirección deseada (las inclinaciones típicas que se manejan son del orden de 20 °C a 30 °C respecto de la horizontal, pero algunos autores han recomendado hasta 60 °C). La inclinación del condensador establece algunos riesgos: por un lado, si está demasiado cercano a la horizontal, el agua condensada puede gotear hacia la salmuera, disminuyendo con ello la eficiencia del destilador; por otro lado, si el condensador está muy inclinado, la separación entre evaporador y condensador puede aumentarse inconvenientemente, ya que se desfavorece el proceso de difusión descrito anteriormente.

- Elementos para la recolección del condensado:

El destilado que escurre, a lo largo de la cubierta del condensador, debe ser recolectado de forma que no se contamine y no se reevapore. Para ello se utilizan unos pequeños canales casi horizontales, colocados en la parte baja del condensador, pero protegidos adecuadamente contra la posibilidad de que el destilado se mezcle con el destilando. Estos canales colectores se conectan con tuberías que conducen el destilado al punto deseado, que suele ser un depósito cercano.

Los materiales utilizados en la construcción de los elementos que conducen el destilado son muy importantes debido a que el agua destilada es, por sí misma, inodora e insípida. Sin embargo, es muy ávida de adquirir sabores y olores extraños. La mayoría de los metales, los plásticos y los materiales cerámicos, transfieren al agua destilada un sabor peculiar. Los únicos materiales que se han encontrado que no alteran el sabor del destilado son: el vidrio, el acero inoxidable y algunos plásticos (silicón, acrílico, PET) cuando están completamente tratados.

1.8.4.4.- Desaladores solares existentes en el mercado.

Los desaladores solares tipo caseta son el modelo más utilizado debido a su sencillez de fabricación y operación. Su funcionamiento es igual a los antes mencionados. A continuación se presentan los modelos más comerciales:

Destilador Rainkit 990.

SolAqua tiene a la venta un destilador de caseta basado en el modelo de El Paso Solar Energy Association (EPSEA). Éste destilador se distribuye en un paquete de “constrúyalo usted mismo”; recomendado para personas con conocimientos básicos de carpintería. El paquete, llamado Rainkit 990 sólo incluye algunos de los elementos necesarios para montar el destilador. Otros como planchas de madera, guías metálicas y vidrio deben conseguirse localmente, de esta manera se reduce el volumen y los gastos de envío. En la figura 1.31 se muestra el equipo Rainkit 990 que incluye:



Fuente: <http://www.solaqua.com/solaquakit2.html>

Figura 1.31. Destilador solar Rainkit 990.

- Planos de construcción
- Tubería de silicona para el cubo de almacenamiento del agua tratada
- Membrana impermeable de fibra de vidrio.
- Tubos de silicona para las conexiones
- Silicona para sellar las juntas

Especificaciones:

- Dimensiones: El cristal es de 86 x 196 cm
- Área: 1,74 m²
- Materiales: Madera, membranas impermeables, tubos de silicona, cristal.
- Producción: En los meses de verano produce alrededor de los 11 litros por día. En invierno baja al 50% la producción.
- Planos

Disponibilidad comercial:

El costo de este paquete es de \$245 dls, precio que incluye los gastos de envío dentro de EE.UU. Se fabrica en Texas y las ventas son sólo locales. Para ventas internacionales es necesario ponerse en contacto con la compañía.

Los planos de constrúyalo usted mismo tienen un costo de \$27 dls.

Contacto: SolAqua

P.O.Box 4976

El Paso, Texas 79914-4976

Llamada gratuita: 1-866 SolAqua (765-2782)

(915) 822-1132.

Stillwater solar.

En la figura 1.32 se muestra el destilador tipo caseta que cuenta con un espejo que sirve como reflector de la radiación solar. Con el espejo aumenta la producción diaria de agua, en invierno al colocar el espejo a un ángulo de 10° mejora la eficiencia en la condensación.



Fuente: <http://www.stillwatersolar.com/>

Figura 1.32. Stillwater solar.

Especificaciones:

Dimensiones: 36 "x72"

Materiales: Acero inoxidable con aislamiento de polipropileno que evita fugas, piernas de acero ajustables para nivelación (No hay bloques de hormigón o tubos de PVC), cubierta de vidrio templado.

Producción: Produce 3 galones por día durante el verano y en promedio 2 galones por día en el transcurso del año.

Disponibilidad comercial:

Es distribuido por el diseñador y constructor del mismo Terry Thompson tiene un costo de \$730 *dls* más gastos de envío.

Contacto: Stillwater Solar

Terry Thompson

HCR 20, Box 2424

Blythe, CA 92225

e-mail: terry@stillwatersolar.com

NMSS (PTY) LTD.

En la figura 1.33 se muestra un destilador de caseta que con una buena radiación produce agua potable suficiente para una familia de dos o tres miembros. Su operación es en tandas, es decir, se introduce el agua a destilar y antes de que se seque el residuo salino se limpia y se introduce de nuevo agua a tratar. Es un diseño modular, permite conectar varios de estos destiladores y obtener una planta de destilación con mecanismos autónomos. Este destilador familiar es uno de los productos que ofrece la compañía NMSS (PTY) LTD instalada en Sudáfrica.



Fuente: <http://home.intekom.com/canichem/canichem/home.html>

Figura 1.33. NMSS (PTY) LTD.

Especificaciones:

Dimensiones: El área de captación es de 2 x 1 m y su capacidad es de 50 litros.

Área: 2 m²

Producción: La producción es variable. El fabricante presenta una gráfica en dónde se tiene la relación de los litros destilados al día con la potencia de la radiación solar.

Disponibilidad comercial:

Este destilador es comercializado en Sudáfrica y su costo es de \$300 dls si el pedido es de menos de 10 unidades y de \$240 dls para más 10 unidades.

Contacto:

MSS (PTY) LTD

PO Box 3067

Matieland, Western Cape 7602, Sudáfrica

Teléfono: +27(0)83 2704506

e-mail: stills@intekom.co.za

Rainmaker 550.

En la figura 1.34 se muestra un destilador de caseta comercial de uso doméstico distribuido por SolAqua. El diseño es sencillo y no tiene partes móviles, con lo que el fabricante asegura un funcionamiento durante años sin necesidad de mantenimiento, sólo con una limpieza periódica de las impurezas.



Fuente: <http://www.solaqua.com/solstils1.html>

Figura 1.34. Rainmaker 550.

Especificaciones:

- Dimensiones: 76 cm x 122 cm
- Área: 0.93 m²
- Peso: 26.4 kg

Materiales:

- Cubierta de vidrio templado fácil de mover para limpieza.
- El cuerpo está fabricado en plástico moldeado
- Caja exterior de fibra de vidrio
- Patas de PVC

Producción: En días de verano produce más de seis litros al día y aproximadamente tres en los meses de invierno. La eficiencia térmica (60%) equivale a los 550 W cuando opera con radiación directa. Su producción es cerca a los 0.8 litros por hora.

Accesorios: Incluye un filtro de carbón y un adaptador para mangueras de jardín, además está disponible un cubo para almacenar el agua ya destilada (bajo pedido)

Disponibilidad comercial

El costo de este destilador solar es de \$489 dls. Se fabrica en Texas y las ventas son sólo locales. Para ventas internacionales es necesario ponerse en contacto con la compañía. El destilador se envía sin ensamblar, y es sencillo montarlo sin herramientas.

Contacto: SolAqua

P.O.Box 4976 El Paso, Texas 79914-4976

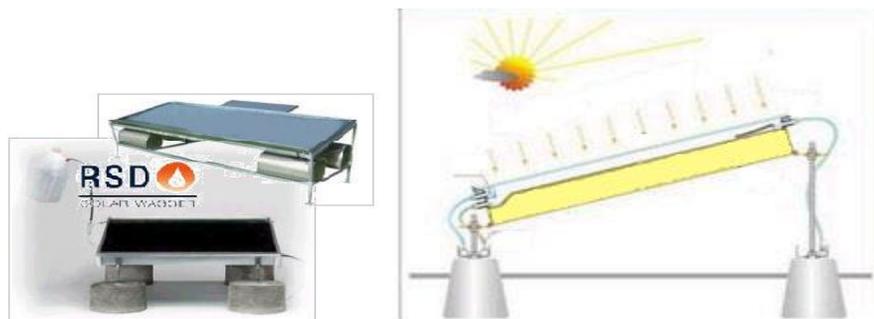
Teléfono: 1-866 SolAqua (765-2782)

(915) 822-1132

RSD Solar Wasser.

Aunque los destiladores de la compañía RSD Solar Wasser, parecen los ya conocidos destiladores de caseta, el sistema de funcionamiento difiere en algunos puntos. En la figura 1.35 se muestra el sistema llamado Rsoendahl, el cual consiste en lo siguiente, la cantidad de agua a tratar que entra en el colector está regulada por un sistema de monitoreo, que con ayuda de un sensor de radiación permite el paso sólo del flujo que el destilador puede procesar correspondiente a la radiación solar que exista en ese momento (en el modelo mini se regula manualmente). El agua al entrar al sistema se filtra mediante las mechas sobre un vellón absorbente negro. Por la radiación solar, este vellón se

calentará hasta los 80/90°C y alrededor del 50% del agua se evaporará en el cristal que estará a temperaturas menores. La base está aislada para evitar pérdidas térmicas por la parte inferior del colector. El agua una vez condensada en el cristal, se recolecta en canal de condensados. El agua que no ha sido evaporada sale del colector con las sales y residuos depositados.



Fuente: <http://www.rsd-solar.com/>

Figura 1.35. RSD Solar Wasser.

Especificaciones:

	Modelo	MINI	F8-250	F8-375
Largo:		1006 mm	2520 m	3006 mm
Ancho:		806 mm	1050 m	1306 mm
Altura colector:		95 mm	800 mm	95 mm
Área:		0,81 m ²	2,5 m ²	3,75 m ²
Peso:		16 kg	90 kg	100 kg
Producción:		5 l/d	5 - 20 l/d	5 - 31 l/d

Materiales:

Todos los componentes que se encuentran en contacto con el agua son de acero inoxidable. Los elementos externos son galvanizados.

Accesorios:

Los destiladores F 8-250 y F 8-375, incluyen tanques para agua a tratar y agua destilada (45 litros), bomba, controles de automatización, celda solar para el suministro eléctrico y una válvula magnética.

Disponibilidad comercial:

Estos tres destiladores son comercializados en Alemania por sus fabricantes, pero tienen socios alrededor del mundo. Para conocer los costos de alguno de ellos es necesario contactar con la compañía, pues dependerá de diferentes factores a evaluar.

Contacto: Buchholzer Strasse 84 o Palaststrasse 10

D-30629 Hannover D-54290 Trier

Teléfono: +49 (0)651 436 2225

Móvil: +49 (0)171 882 76 44

e-mail: oliver.kopsch@rsd-solar.com

AquaCone.

En la figura 1.36 se muestra el equipo AquaCone, el cual es un destilador muy ligero y flotante diseñado para destilar agua directamente en espacios acuáticos, ya sea de un lago, un río, el mar o incluso una alberca. Está conformado por dos partes, el condensador y una base. El condensador (con forma cónica) está construido de una película de poliuretano flexible sin partes rígidas. La base del cono está compuesta por un aislante inflable unido a una superficie negra que absorbe la humedad y mantiene cálido el interior del cono.



Fuente: <http://star-tides.net/node/2957>

Figura 1.36. Aqua Cone.

Cuando se coloca el AquaCone en el agua. El domo se infla y mantiene su forma debido a la presión de aire en el interior. Los fabricantes de este producto dicen ofrecer el único destilador solar que también funciona de noche. La diferencia de temperaturas entre el agua (calentada durante el

día por el Sol) y el aire frío nocturno, producen una condensación en las paredes del destilador, que puede superar la producción de agua durante el día.

Especificaciones:

Dimensiones: 116 cm de diámetro de base y 78 cm de altura

Peso: 2 kg aprox.

Materiales: Poliuretano flexible y muy resistente, contiene inhibidores de rayos UV lo que alarga su tiempo de vida. Este material ha sido utilizado en la industria alimenticia y farmacéutica.

Producción: AquaCone produce entre 1,5 y 2,5 litros de agua destilada en un día soleado de verano.

Disponibilidad comercial:

El AquaPak es fabricado y distribuido por Solar Solutions (www.solarsolutions.info/main.html) tiene un costo de \$200 dls. Los cargos por envío son de 4.95 \$ dentro de EE.UU. Para otros países hay que ponerse en contacto con la compañía para establecer los costos.

Contacto: Solar Solutions

10080 Willow Creek Road

San Diego, California, 92131

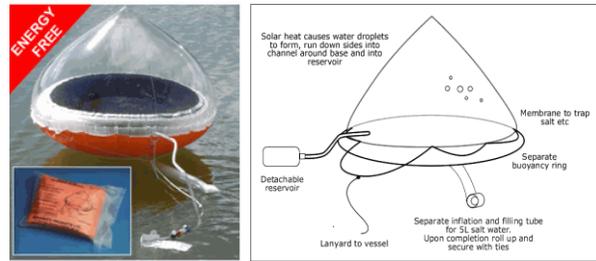
Teléfono: (858) 695-3806

e-mail: contact@solarsolutions.info

Web: www.solarsolutions.info

Aquamate Solar Still.

En la figura 1.37 se muestra el sistema Aquamate el cual es un producto fabricado por Echomax, es un destilador inflable, ligero, compacto y fácil de usar. Utiliza la radiación solar para extraer y recoger el agua potable desde el mar o el agua impura. Se infla soplando, el agua ya pura se capta en una bolsa aparte, la base es de color naranja de alta visibilidad e incluye una cuerda de seguridad para evitar extravío. Fabricado con la norma ISO 9002 con la OTAN, código RS, ha sido utilizado por los servicios militares y civiles en todo el mundo durante los últimos 40 años. Equipo indispensable para la seguridad de cualquier navegante.



Fuente: <http://www.landfallnavigation.com/memss.html>

Figura 1.37. Aquamate Solar Still.

Especificaciones:

Dimensiones: mide alrededor de 26 x 23 x 7 cm. pesa sólo 1.075 gramos

Peso: 1.075 gramos

Producción: Produce entre 1 y 4 litros de agua por día

Disponibilidad comercial: El aquamate solar still lo distribuye Landfall y se puede conseguir a través de su página de internet y tiene un costo de \$239.95 *dls.*

Contacto: Landfall Navigation

151 Harvard Avenue

Stamford, CT 06902

800-941-2219

Teléfono: (203) 487-0775

e-mail: info@landfallnavigation.com

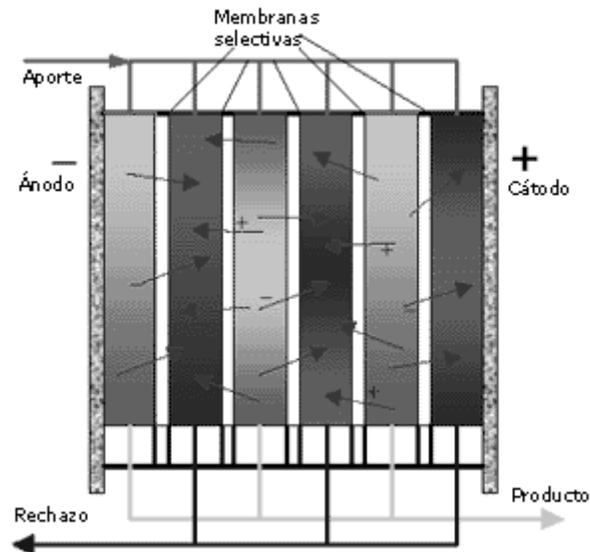
1.8.5.- Electrodiálisis.

Este proceso no realiza un cambio de fase para desalinizar el agua. Se basa en hacer circular por una solución iónica una corriente continua, los iones que están cargados positivamente (cationes) se desplazan hacia el electrodo negativo (cátodo). Así mismo los iones cargados negativamente (aniones) se desplazan en dirección del electrodo positivo (ánodo). En la figura 1.38 se muestra el proceso.

Entre el ánodo y cátodo se colocan membranas semipermeables, una que es permeable a los cationes y otra que es permeable a los aniones. Paulatinamente se irá formando una zona de baja salinidad entre las membranas.

A partir de 1940 se fabricaron membranas que permitían la implementación comercial de este tipo de plantas para desalinizar aguas de baja salinidad a diferencia de las membranas antiguas que eran parcialmente selectivas.

La electrodiálisis requiere de un cuidadoso pre tratamiento del agua de entrada con el fin de no dañar las membranas.

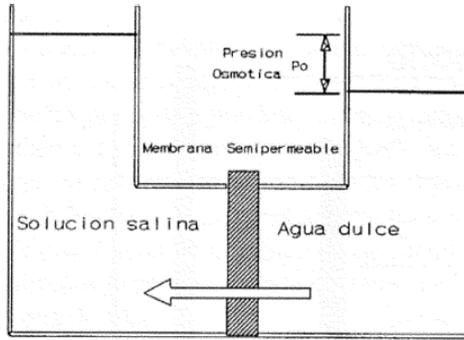


Fuente: http://www.acquamatter.com/desalacion_del_agua.htm

Figura 1.38. Proceso de la electrodiálisis.

1.8.6.- Ósmosis Inversa.

Está se basa en la presión osmótica que se puede explicar como si en el interior de un recipiente se separara mediante una membrana semipermeable una solución salina y agua dulce, se verá que en una parte del agua dulce pasará a la solución salina elevando el nivel de esta. La presión estática P_o correspondiente a esta diferencia de nivel es lo que se le denomina presión osmótica de esa solución salina. En las figuras 1.39 y 1.40 se presentan los procesos.

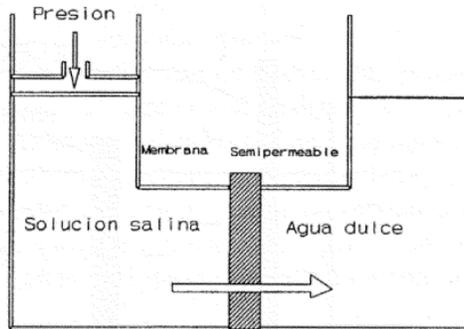


Fuente: Dialnet-DesalinizacionDelAguaDelMarMedianteEnergiasRenovab-566687

Figura 1.39. Presión osmótica.

Si se le aplica sobre la superficie de la solución salina una presión mayor a la presión osmótica, el agua pasará de la solución salina a la dulce. A este proceso se le conoce como osmosis inversa y es el principio de funcionamiento de los modelos de osmosis.

El consumo de energía de una planta de osmosis inversa es eléctrico para que funcionen las motobombas de alta presión así como equipos auxiliares con un menor consumo eléctrico.



Fuente: Dialnet-DesalinizacionDelAguaDelMarMedianteEnergiasRenovab-566687

Figura 1.40. Osmosis inversa.

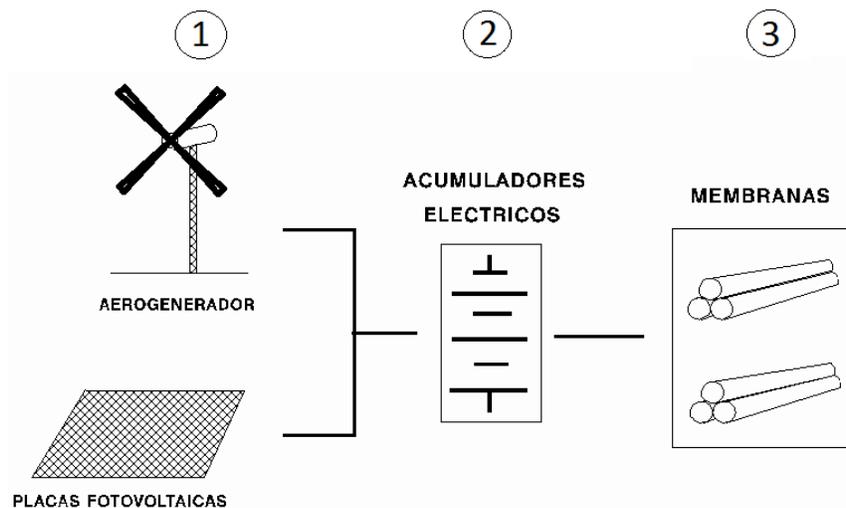
1.8.7.- Desalación fotovoltaica y eólica.

Los sistemas tanto fotovoltaicos como eólicos producen energía eléctrica. Los sistemas fotovoltaicos transforman la energía de los fotones de la radiación solar en energía eléctrica. Los sistemas eólicos transforman la energía cinética del viento en energía eléctrica. Ambos sistemas se pueden adaptar a cualquier proceso de desalación que consuma este tipo de energía, como son: la

electrodialisis y la osmosis inversa. Estas dos pueden ser acopladas dependiendo los factores meteorológicos que predominen en la zona, ya sea el viento o el sol.

Los elementos que componen a estos sistemas se muestran en la figura 1.41 y son:

1. Sistema de generación eléctrica.
2. Sistema de almacenamiento.
3. Planta desaladora.



Fuente:

<http://ingenieroambiental.com/2070/DESALACION%20DEL%20AGUA%20MEDIANTE%20ENERGIAS%20RENOVABLES>
.doc

Figura 1.41. Sistema eólico - solar.

Capítulo 2.- Diseño del desalador

2.1.- Antecedentes.

Se realizó un estudio sobre los diferentes diseños de destiladores solares, de los cuales se analizaron detalladamente sus beneficios y sus inconvenientes, para seleccionar un diseño acorde a las necesidades domésticas en México. Al hacer esta selección se tomaron en cuenta patrones como las dimensiones, el costo de fabricación, tipos de materiales, la facilidad de conseguir dichos materiales, la facilidad de construcción, el desempeño de los mismos de acuerdo a la captación de agua de cada uno de ellos. En base al estudio y a las especificaciones de los destiladores ya construidos y disponibles en el mercado se optó por construir un evaporador de dos vertientes, o mejor conocido como destilador solar de caseta, por la sencillez en su construcción y la eficacia.

Otros factores importantes en la selección de este diseño son las ventajas en cuanto a su fabricación ya que considerando que algunos de los diseños analizados tienen un costo elevado en comparación con el evaporador de tipo caseta. Además de que el uso que se le dará a este evaporador será de uso doméstico, por lo tanto debe ser accesible para la mayoría de la población.

Para retirar las sales y residuos sólidos del agua se construyó una cámara aislada expuesta al sol para aprovechar el efecto invernadero que surge dentro de esta para evaporar el agua y separarla de las sales o minerales que se encuentran disueltas.

Depositar el agua a evaporar en una charola negra para una mejor absorción de los rayos solares.

Para hacer más eficiente este evaporador se le adicionará un sistema de calentamiento para acelerar la evaporación del agua, tratando así de obtener resultados óptimos en cuanto a recolección de agua. El sistema de calentamiento del agua que se añade en el evaporador consiste en un diseño guiado por un serpentín construido de tubo de cobre por el cual circula aceite hirviendo para acelerar el proceso. Así mismo este sistema cuenta con el diseño de una parábola, la cual se encarga de calentar un recipiente con aceite, el mismo que circula a través del serpentín.

2.2. - Diseño del condensador.

2.2.1.- Selección del ángulo de las caras del condensador.

Para obtener el ángulo adecuado para la construcción del condensador, se realizaron pruebas simultáneas con tres prototipos. Los prototipos fueron construidos con hule, madera y seis recipientes de plástico, tres de ellos de menor capacidad con la finalidad de que se simulara todo el contenedor. Los 3 recipientes chicos fueron pintados de negro en el interior y los tres grandes del exterior quedaron transparentes. Se empleó un recipiente graduado para verter la misma cantidad de agua en cada bandeja chica. La primera prueba se realizó con ángulos a 15°, 30° y 45°. En la figura 2.1 se observan los tres prototipos empleados para la experimentación.



Figura 2.1. Prototipos empleados para la determinación de la inclinación del condensador.

Los pesos en gramos de cada uno de los prototipos se presentan en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Peso en (g) de cada uno de los prototipos experimentales.

Ángulo.	Peso bandeja recolección.	Peso bandeja negra.	Peso botella graduada.
45°	85.9	72.6	116.9
30°	87.5	67.2	
15°	88.5	68.1	

Se pesó cada uno de los componentes de los modelos experimentales para así obtener el total de agua recolectada. Se colocaron los tres modelos al mismo tiempo exponiéndose al sol en un promedio de 5 hrs. durante seis días, los datos a analizar fueron los siguientes:

- Temperatura del agua y medio ambiente en °C al inicio.
- Temperatura del agua y medio ambiente en °C al final.

- El total de agua recolectada al final de la prueba en gramos.

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Tabla de resultados (ángulos de prueba: 45°, 30°, 15°).

Fecha	Ángulo	ml	Inicio			Fin			Peso bandeja c/agua (gr)	Total agua (ml)
			Hora	T_1 (°C)	T_A (°C)	Hora	T_2 (°C)	T_A (°C)		
15/03/2011	45°	1118.90	10:47	19.00	19.10	15:47	47.90	24.00	114.50	28.60*
15/03/2011	30°	1116.50	10:50	19.20	19.20	15:48	47.90	24.90	111.40	23.90***
15/03/2011	15°	1116.60	10:53	19.90	19.20	15:50	49.80	23.50	113.50	25.00**
Promedio				19.37	19.17		48.53	24.13		

Fecha	Ángulo	ml	Inicio			Fin			Peso bandeja c/agua (gr)	Total agua (gr)
			Hora	T_1 (°C)	T_A (°C)	Hora	T_2 (°C)	T_A (°C)		
16/03/2011	45°	1117.00	10:50	20.20	18.00	15:50	47.70	24.50	113.40	27.50*
16/03/2011	30°	1116.90	10:54	20.90	18.90	15:51	47.50	23.70	112.80	25.30**
16/03/2011	15°	1116.00	11:03	21.40	19.50	15:52	49.40	24.20	110.60	22.10***
Promedio				20.83	18.80		48.20	24.13		

Fecha	Ángulo	ml	Inicio			Fin			Peso bandeja c/agua (gr)	Total agua (gr)
			Hora	T_1 (°C)	T_A (°C)	Hora	T_2 (°C)	T_A (°C)		
17/03/2011	45°	1116.70	12:15	26.50	22.30	17:28	36.90	22.50	108.40	22.50*
17/03/2011	30°	1115.70	12:18	23.30	21.40	17:29	37.20	22.30	104.40	16.90***
17/03/2011	15°	1117.00	12:24	22.20	21.10	17:30	38.10	22.50	110.70	22.20**
Promedio				24.00	21.60		37.40	22.43		

Fecha	Ángulo	ml	Inicio			Fin			Peso bandeja c/agua (gr)	Total agua (gr)
			Hora	T_1 (°C)	T_A (°C)	Hora	T_2 (°C)	T_A (°C)		
23/03/2011	45°	1116.70	10:39	19.70	18.30	15:42	47.00	24.40	112.40	26.50*
23/03/2011	30°	1115.60	10:41	17.80	18.50	15:43	47.80	25.70	110.70	23.20**
23/03/2011	15°	1117.10	10:43	18.30	18.20	14:44	48.50	25.90	109.10	20.60***
Promedio				18.60	18.33		47.77	25.33		

Fecha	Ángulo	ml	Inicio			Fin			Peso bandeja c/agua (gr)	Total agua (gr)
			Hora	T_1 (°C)	T_A (°C)	Hora	T_2 (°C)	T_A (°C)		
24/03/2011	45°	1116.90	10:57	20.00	17.90	16:20	43.90	23.50	117.60	31.70*
24/03/2011	30°	1116.60	10:59	20.10	18.00	16:21	46.10	23.90	115.60	28.10**
24/03/2011	15°	1117.00	11:01	20.80	18.30	16:23	46.20	23.80	108.40	19.90***
Promedio				20.30	18.07		45.40	23.73		

Fecha	Ángulo	ml	Inicio			Fin			Peso bandeja c/agua (gr)	Total agua (gr)
			Hora	T_1 (°C)	T_A (°C)	Hora	T_2 (°C)	T_A (°C)		
28/03/2011	45°	1111.70	11:04	19.20	13.90	16:09	41.00	18.00	110.40	24.50**
28/03/2011	30°	1117.10	11:05	18.80	14.30	16:11	43.30	17.90	113.50	26.00*
28/03/2011	15°	1116.70	11:06	20.20	14.20	16:12	42.80	17.30	105.80	17.30***
Promedio				19.40	14.13		42.37	17.73		

Dónde:

T_1 – es la temperatura inicial del agua.

T_2 - es la temperatura final del agua.

T_A - es la temperatura ambiente.

ml - mililitros

En la tabla 2.3 se presenta el promedio de resultados

Tabla 2.3.- Promedio de agua recuperada 1er prueba.

Resultados	
Angulo	Promedio (gr.)
45°	26.88*
30°	23.90**
15°	21.18***

Una vez arrojadas las primeras pruebas se dispuso a comparar los ángulos con mayor cantidad de agua recolectada, que fueron los de 45° y 30°, contra un ángulo de 60°. En la tabla 2.4 se presenta los pesos de la bandeja de recolección y en la tabla 2.5 los resultados obtenidos en la prueba.

Tabla 2.4. Peso en (g) de cada uno de los prototipos experimentales.

Ángulo.	Peso bandeja recolección.	Peso bandeja negra.	Peso botella graduada.
60°	88.5	72.6	116.9
45°	85.9	67.2	
30°	87.5	68.1	

En la tabla 2.6 se presenta el promedio de los resultados obtenidos en la segunda prueba y en la tabla 2.7 se presenta el condensado del agua recuperada en las dos pruebas.

Tabla 2.6. Promedio de agua recuperada 2da prueba.

Resultados	
Angulo	Promedio (g)
60°	19.17***
45°	24.83**
30°	26.82*

Tabla 2.7. Promedio de agua recuperada total.

Resultados totales	
Angulo	Promedio(gr)
60°	19.17
45°	25.86*
30°	25.36
15°	21.18

Se obtuvieron los siguientes resultados comparativos:

Tabla 2.5. Tabla de resultados (ángulos de prueba: 60°, 45°, 30°).

Fecha	Ángulo	ml	Inicio			Fin			Peso bandeja c/agua (gr.)	Total agua (gr)
			Hora	T ₁ (°C)	T _A (°C)	Hora	T ₂ (°C)	T _A (°C)		
15/03/2011	60°	1118.90	10:48	19.30	17.80	16:10	33.30	20.50	104.50	16.00***
15/03/2011	45°	1116.50	10:49	18.90	18.10	16:11	34.50	20.80	102.20	16.30**
15/03/2011	30°	1116.60	10:50	20.00	17.60	16:12	35.80	20.40	106.20	18.70*
Promedio				19.40	17.83		34.53	20.57		

Fecha	Ángulo	ml	Inicio			Fin			Peso bandeja c/agua (gr.)	Total agua (gr)
			Hora	T ₁ (°C)	T _A (°C)	Hora	T ₂ (°C)	T _A (°C)		
16/03/2011	60°	1116.40	10:57	19.90	18.50	16:50	39.80	21.90	112.40	23.90***
16/03/2011	45°	1117.00	11:02	20.00	18.40	16:51	42.00	22.30	116.30	30.40**
16/03/2011	30°	1116.30	11:06	20.80	19.70	16:52	43.60	22.50	119.10	31.60*
Promedio				20.23	18.87		41.80	22.23		

Fecha	Ángulo	ml	Inicio			Fin			Peso bandeja c/agua (gr.)	Total agua (gr)
			Hora	T ₁ (°C)	T _A (°C)	Hora	T ₂ (°C)	T _A (°C)		
17/03/2011	60°	1116.90	10:40	18.50	18.60	15:53	42.70	22.60	107.20	18.70***
17/03/2011	45°	1116.80	10:42	18.30	19.00	15:54	45.60	22.50	111.70	25.80**
17/03/2011	30°	1116.80	10:44	18.10	19.50	15:55	47.30	22.50	114.40	26.90*
Promedio				18.30	19.03		45.20	22.53		

Fecha	Ángulo	ml	Inicio			Fin			Peso bandeja c/agua (gr.)	Total agua (gr)
			Hora	T ₁ (°C)	T _A (°C)	Hora	T ₂ (°C)	T _A (°C)		
23/03/2011	60°	1116.30	10:45	20.10	20.80	16:01	44.00	25.00	108.60	20.10***
23/03/2011	45°	1116.70	10:47	20.60	21.60	16:02	47.00	24.50	114.20	28.30*
23/03/2011	30°	1116.80	10:49	21.60	21.00	16:03	48.60	25.00	114.40	26.90**
Promedio				20.77	21.13		46.53	24.83		

Fecha	Ángulo	ml	Inicio			Fin			Peso bandeja c/agua (gr.)	Total agua (gr)
			Hora	T ₁ (°C)	T _A (°C)	Hora	T ₂ (°C)	T _A (°C)		
24/03/2011	60°	1115.50	11:40	18.90	21.50	17:19	41.60	25.00	109.60	21.10***
24/03/2011	45°	1116.70	11:42	22.00	21.90	17:21	43.30	24.80	116.30	30.40**
24/03/2011	30°	1116.40	11:43	23.90	22.30	17:22	45.30	25.30	121.50	34.00*
Promedio				21.60	21.90		43.40	25.03		

Fecha	Ángulo	ml	Inicio			Fin			Peso bandeja c/agua (gr.)	Total agua (gr)
			Hora	T ₁ (°C)	T _A (°C)	Hora	T ₂ (°C)	T _A (°C)		
28/03/2011	60°	1116.60	10:51	21.40	24.30	16:00	43.20	28.40	103.70	15.20***
28/03/2011	45°	1116.30	10:52	21.90	23.90	16:01	45.20	28.40	103.70	17.80**
28/03/2011	30°	1116.90	10:53	22.70	23.50	16:02	47.00	28.00	110.30	22.80*
Promedio				22.00	23.90		45.13	28.27		

Nota:

*	Ángulo que registró la mayor cantidad de agua recolectada.
**	Ángulo que registró el nivel medio de cantidad de agua recolectada.
***	Ángulo que registró la menor cantidad de agua recolectada

2.2.2.- Materiales seleccionados para la construcción del condensador.

Con base en los resultados de la tabla 2.7, se diseñó el condensador con vidrio de $6mm$ de espesor y con un ángulo de 45° , ya que fue el ángulo que mayor agua recolectó. El soporte del vidrio se diseñó con aluminio calibre 20 y con 13 perforaciones de $3/16''$ para que se pueda fijar al depósito. Con la finalidad de facilitar su limpieza y mantenimiento se seleccionaron tornillos de $3/16''$ con sus respectivas rondanas y tuercas. En la figura 2.2 se muestra el condensador y en la sección 2.2.3 el plano con sus especificaciones.

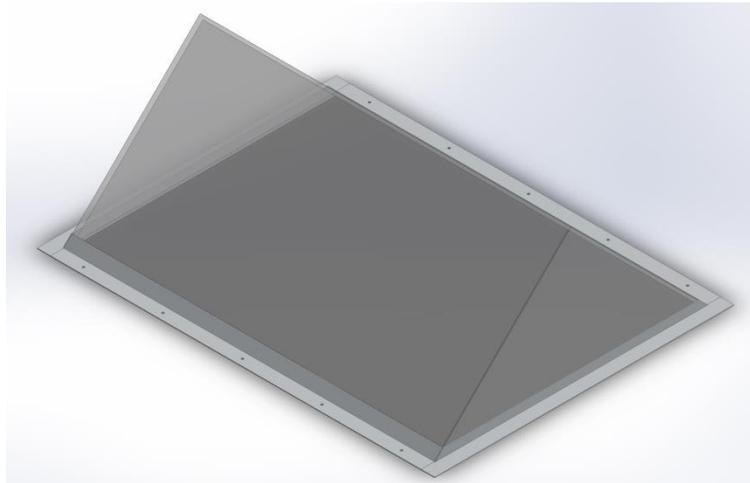
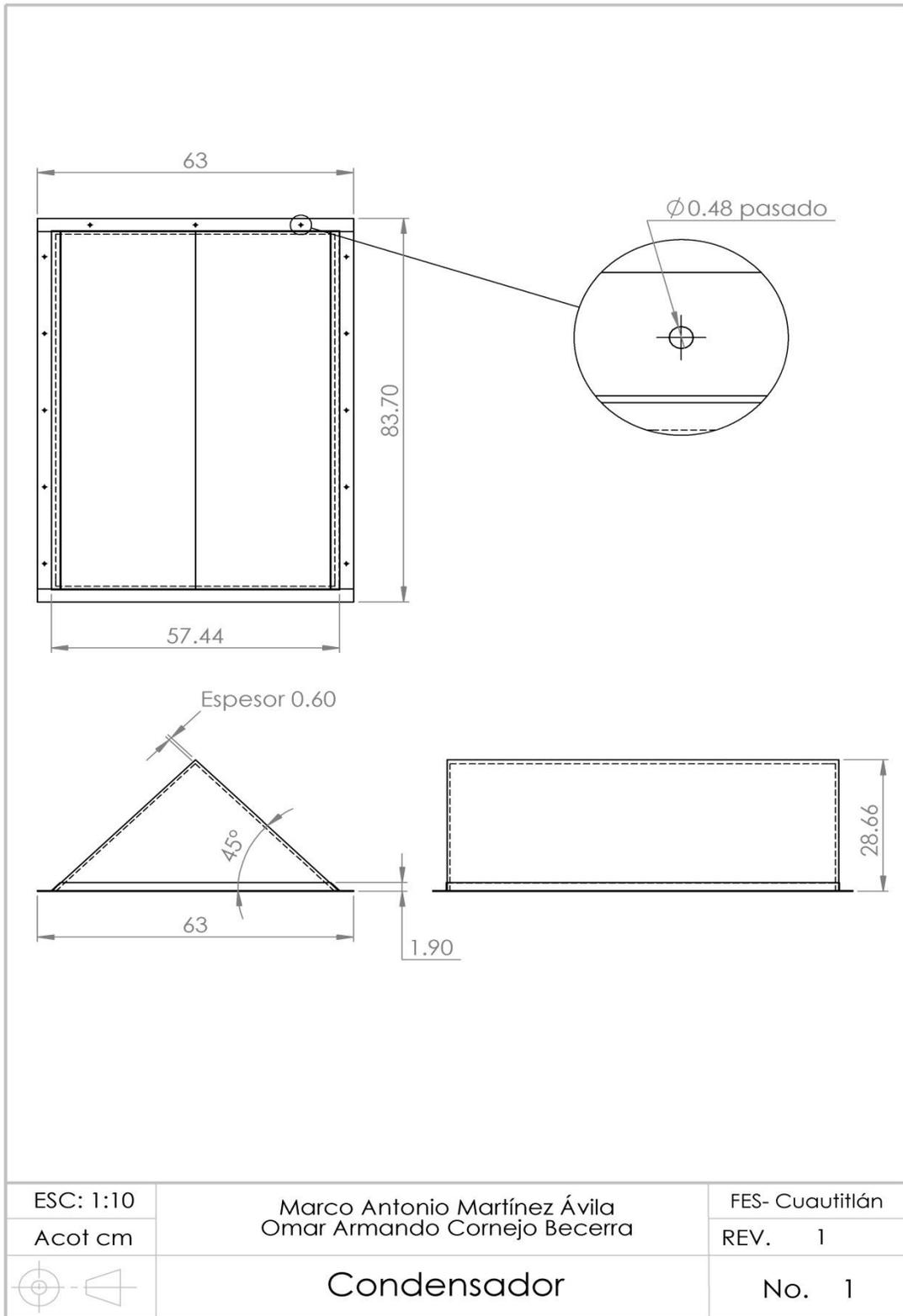


Figura 2.2. Condensador.

2.2.3.- Plano del condensador.



2.3.- Diseño de empaque.

La función del empaque es únicamente de evitar la fuga de vapor entre el condensador y el depósito, realizando un sistema herméticamente sellado, por lo que deberá tener las mismas dimensiones y perforaciones de la base del condensador.

2.3.1.- Materiales seleccionados para la construcción del empaque.

Se seleccionó un empaque de neopreno de 1" de ancho por 1/8" de espesor para evitar fugas de vapor. En la figura 2.3 se muestra el empaque del condensador y en la sección 2.3.2 el plano con sus especificaciones.

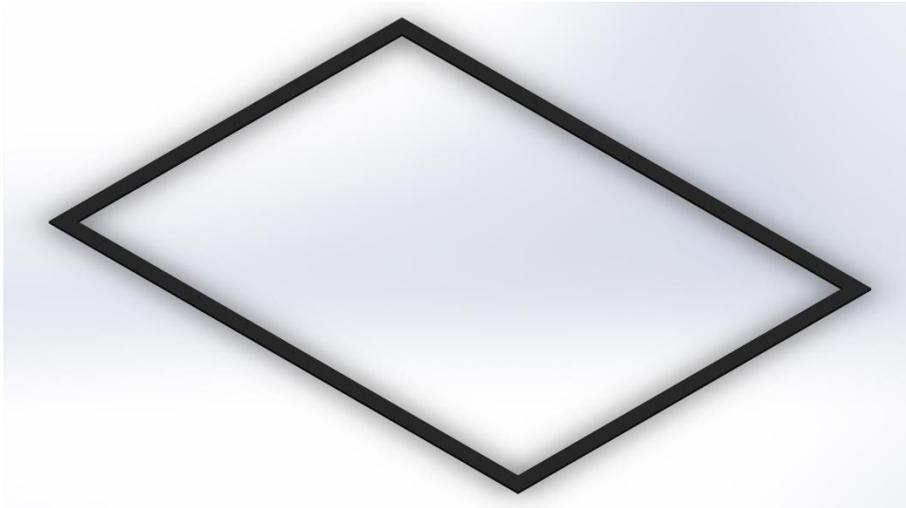
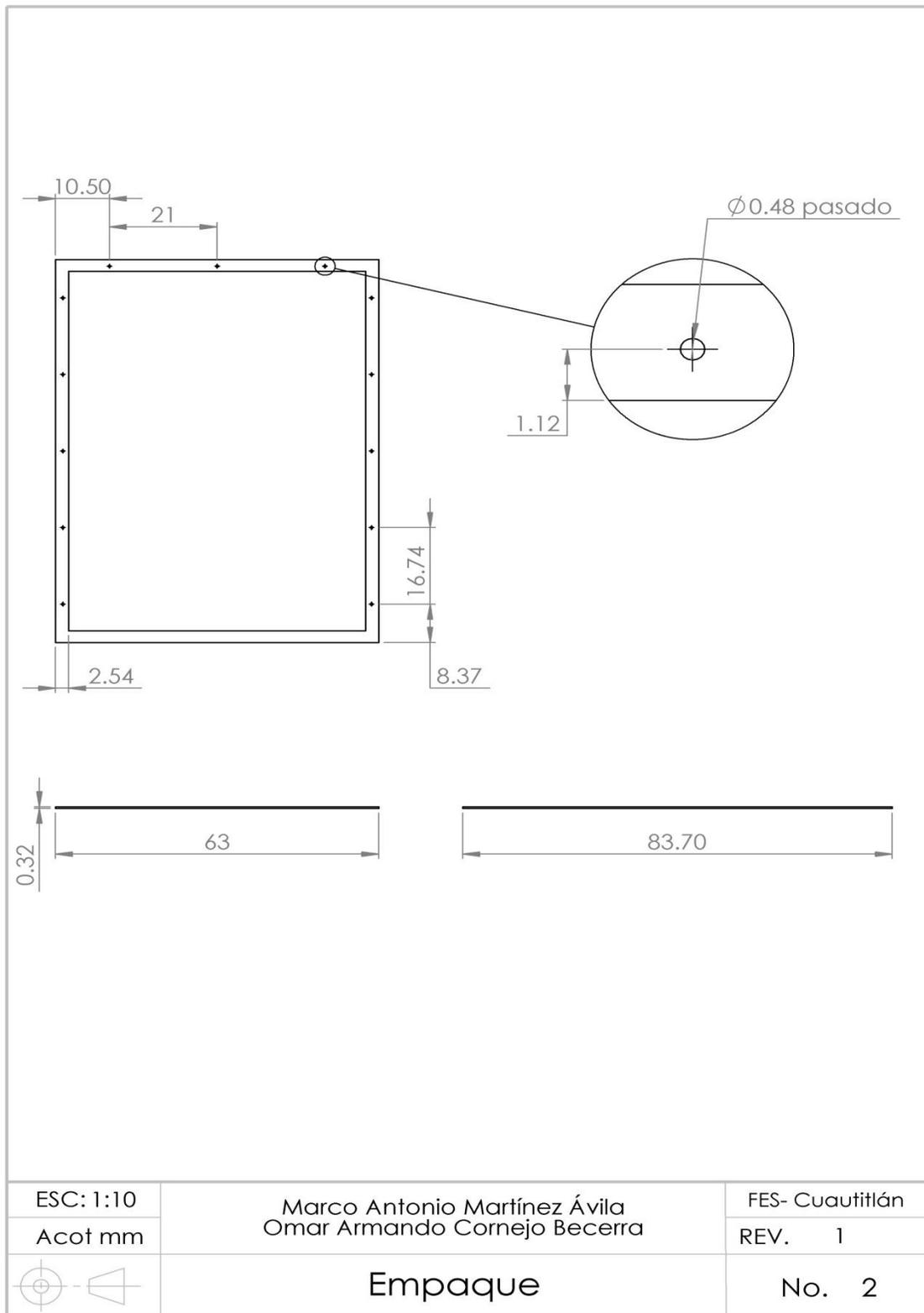


Figura 2.3. Empaque del condensador.

2.3.2.- Plano del empaque del condensador.



2.4.- Diseño del depósito.

El depósito que se muestra en la figura 2.4 tiene un volumen total de 124.06 litros, está diseñado para contener 55.64 litros de agua libre de sales y residuos sólidos. El agua que contiene la charola se evaporará y escurrirá por el condensador llegando a éste.

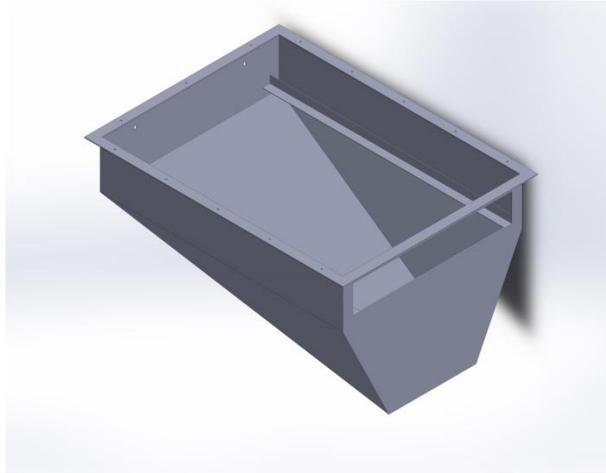


Figura 2.4. Depósito.

2.4.1.- Materiales seleccionados para la construcción del depósito.

Se diseñó con fibra de vidrio debido a su fácil moldeo y resistencia a la intemperie. Para que la charola pueda entrar y salir del depósito, se diseñaron dos guías con ángulos de aluminio perpendiculares a la entrada. Para sellar la entrada se diseñó una puerta con lámina de acero calibre 20, el cual tiene un empaque magnético para evitar la fuga del vapor. Así mismo llevará una perforación de 1" de diámetro para la extracción del agua recolectada, conformada por una brida para tinaco, un cople y una válvula de bola. En la figura 2.5 se muestra el despiece del sistema de extracción del agua recolectada, en la figura 2.6 la puerta de acceso de la charola y en la sección 2.4.2 el plano con sus especificaciones.

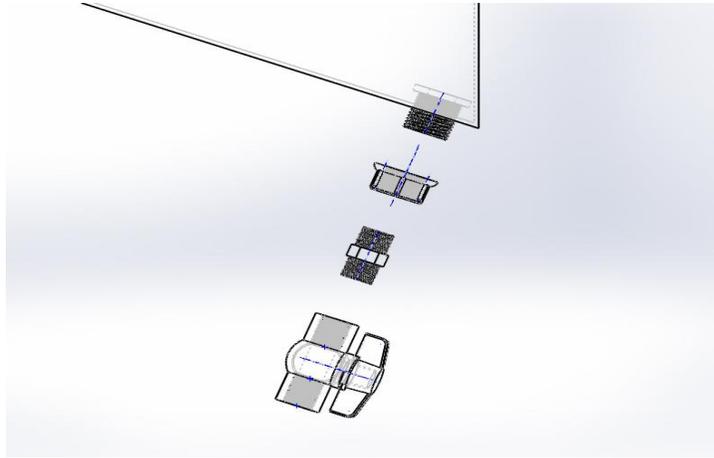


Figura 2.5. Complementos del depósito.

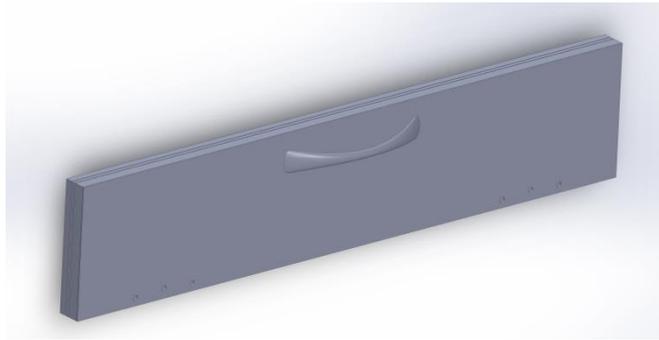
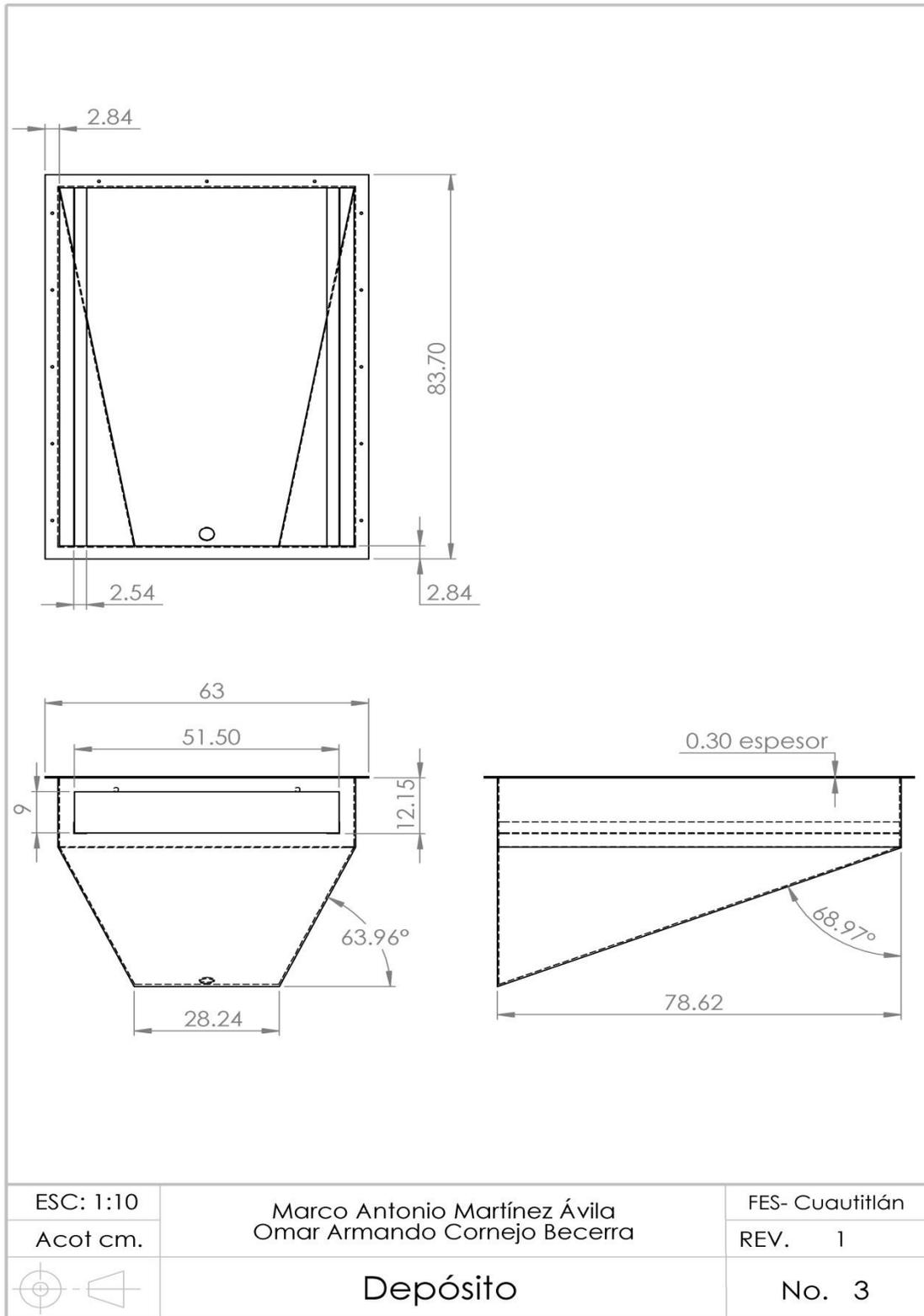


Figura 2.6. Puerta del depósito.

2.4.2.- Plano del depósito.



2.5.- Diseño de la parábola.

2.5.1.- Cálculo de la parábola.

Para el cálculo de la parábola se tomó en cuenta que el depósito donde se calentará el aceite, se colocará a 15 cm. del vértice. Teniendo en cuenta la ecuación de la parábola con vértice en (0,0) y foco en (0,p) cuya ecuación es:

$$x^2 = 4py \dots\dots\dots (1)$$

Sabiendo que p es igual a 15 cm. tenemos:

$$x^2 = 4(15)y \dots\dots\dots (2)$$

Simplificándola:

$$x^2 = 60y \dots\dots\dots (3)$$

Despejando y:

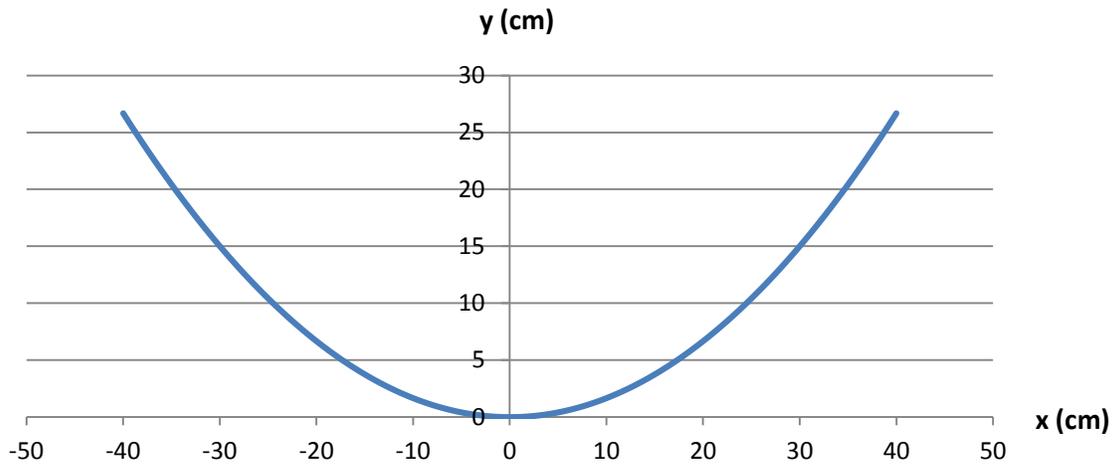
$$y = \frac{x^2}{60} \dots\dots\dots (4)$$

Con el apoyo del software Excel, se tabuló la fórmula 4 con el rango $-40 \leq x \leq 40$. En la tabla 2.8 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 2.8.- Resultados al aplicar la fórmula 4.

x(cm)	y (cm)						
-40	26.67	-19	6.02	3	0.15	25	10.42
-39	25.35	-18	5.40	4	0.27	26	11.27
-38	24.07	-17	4.82	5	0.42	27	12.15
-37	22.82	-16	4.27	6	0.60	28	13.07
-36	21.60	-15	3.75	7	0.82	29	14.02
-35	20.42	-14	3.27	8	1.07	30	15.00
-34	19.27	-13	2.82	9	1.35	31	16.02
-33	18.15	-12	2.40	10	1.67	32	17.07
-32	17.07	-11	2.02	11	2.02	33	18.15
-31	16.02	-10	1.67	12	2.40	34	19.27
-30	15.00	-9	1.35	13	2.82	35	20.42
-29	14.02	-8	1.07	14	3.27	36	21.60
-28	13.07	-7	0.82	15	3.75	37	22.82
-27	12.15	-6	0.60	16	4.27	38	24.07
-26	11.27	-5	0.42	17	4.82	39	25.35
-25	10.42	-4	0.27	18	5.40	40	26.67
-24	9.60	-3	0.15	19	6.02		
-23	8.82	-2	0.07	20	6.67		
-22	8.07	-1	0.03	21	7.35		
-21	7.35	0	0	22	8.07		
-20	6.67	1	0.02	23	8.82		
		2	0.07	24	9.60		

Con los datos obtenidos en la tabla 2.8 se construyó la gráfica 2.1.



Gráfica 2.1. Parábola.

2.5.2.- Materiales seleccionados para la construcción del paraboloide.

El paraboloide que se muestra en la figura 2.7 se diseñó de fibra de vidrio debido a su resistencia y a su fácil moldeo; cuenta con una base de lámina de acero calibre 20, cubierta de fibra de vidrio para evitar su corrosión, con dos perforaciones a los costados de 3/8", por el cual pasa un esparrago de acero inoxidable que sostiene al paraboloide. Se diseñó con una película reflejante de la marca "Parasol" en la superficie interna de la parábola con la intención de reflejar los rayos solares a su foco. En la tabla 2.9 se presentan las características de la película "Parasol"

Tabla 2.9. Película adherible tipo súper plata.

Total de energía solar rechazada	90 %
Coefficiente de sombra	0.016 %
Luz ultravioleta	< 2 %
Energía solar absorbida	20 %
Energía solar reflejada	75 %
Energía solar transmitida	5 %
Luz visible reflejada	75 %
Luz visible transmitida	6 %

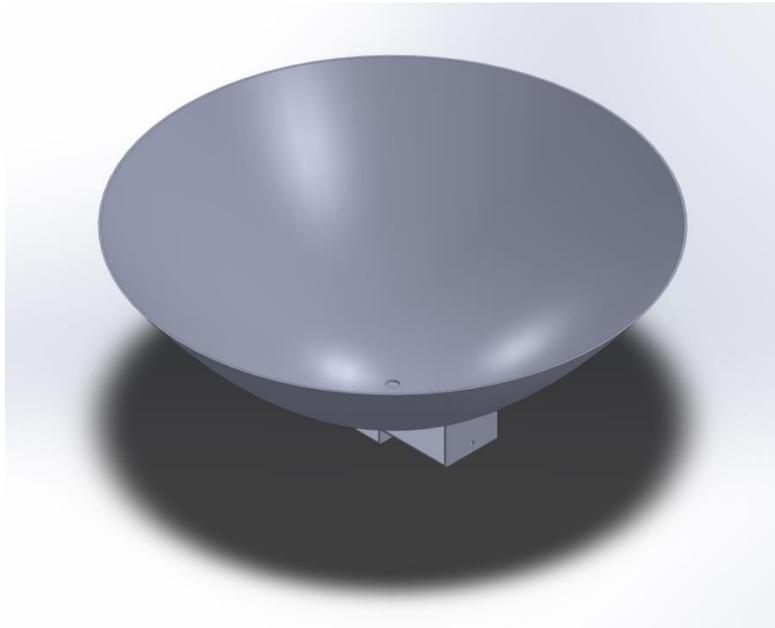


Figura 2.7. Diseño paraboloid.

En la figura 2.8 se presenta el soporte con forma de omega que se le agrego a la base del paraboloid, el cual fue atornillado y sostiene al tubo que es parte del depósito de aceite. En la sección 2.5.3 se presenta el plano del paraboloid.

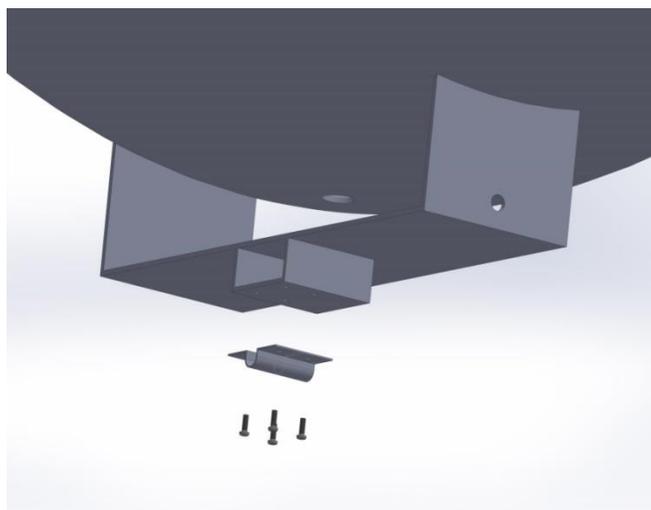
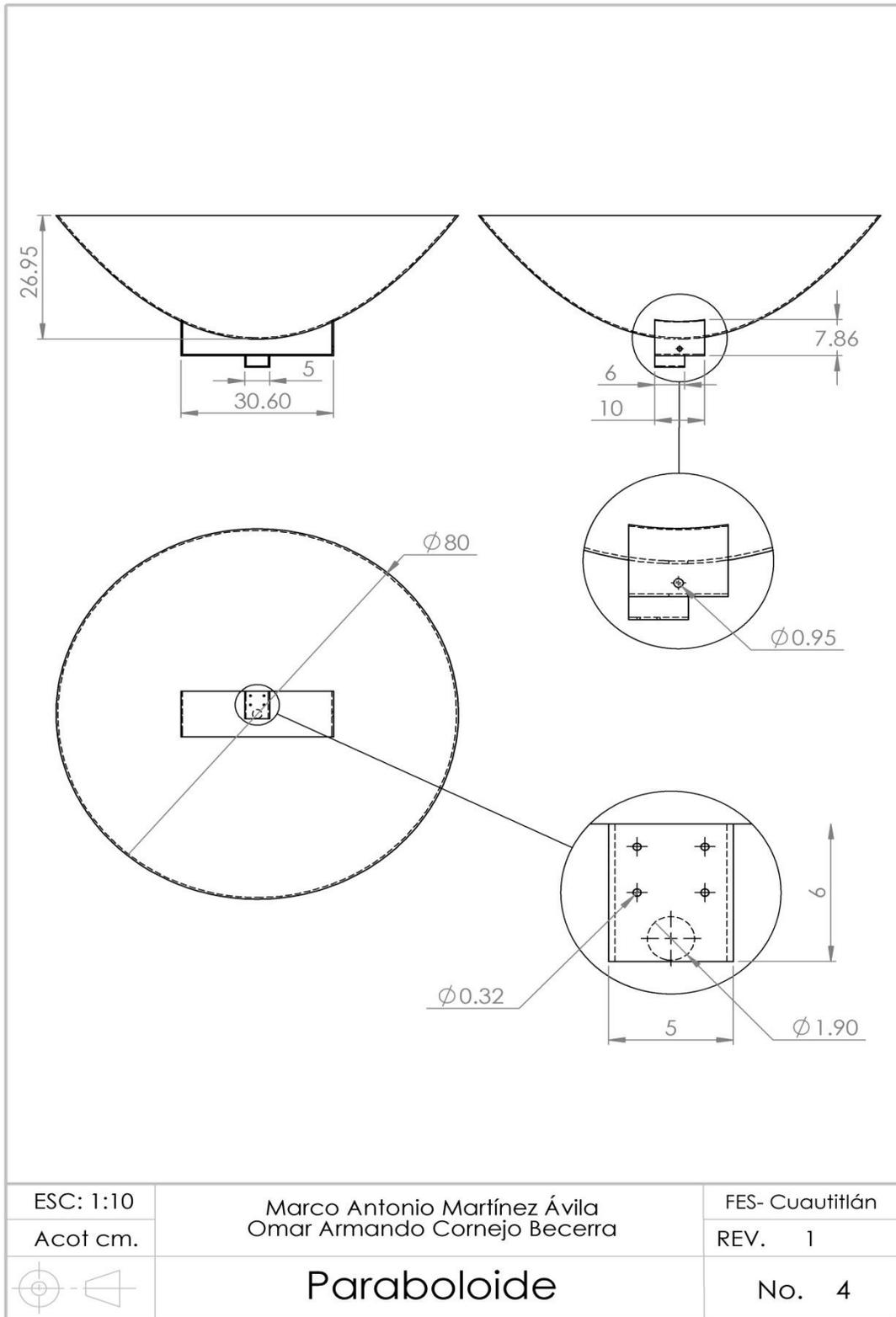


Figura 2.8. Complementos del paraboloid.

2.5.3.- Plano del paraboloide.



2.6.- Diseño del evaporador.

En la figura 2.9 se presenta el evaporador, el que consiste en una charola en la cual se almacenará el agua a evaporar, su volumen es de 24.50 litros, es decir puede llenarse con 20 litros de agua dispuesta a desalar durante una semana. Se le colocaron dos agarraderas para facilitar la extracción del depósito.

2.6.1.- Materiales seleccionados para la construcción del evaporador.

Se diseñó con fibra de vidrio y un acabado de color negro para tratar de absorber la mayor cantidad irradiación proporcionada por el sol. En la sección 2.6.2 se presenta el plano del evaporador.

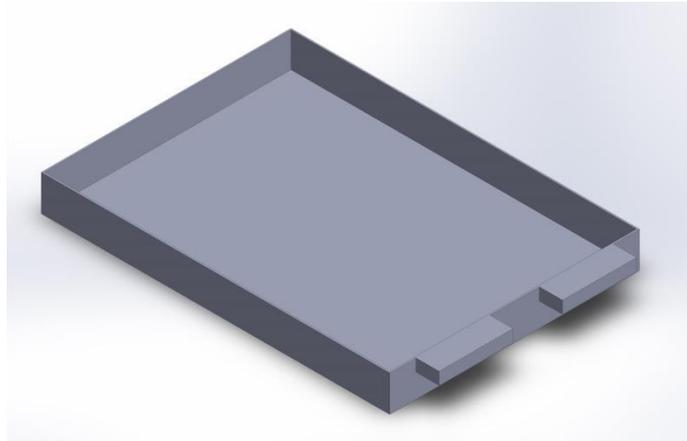
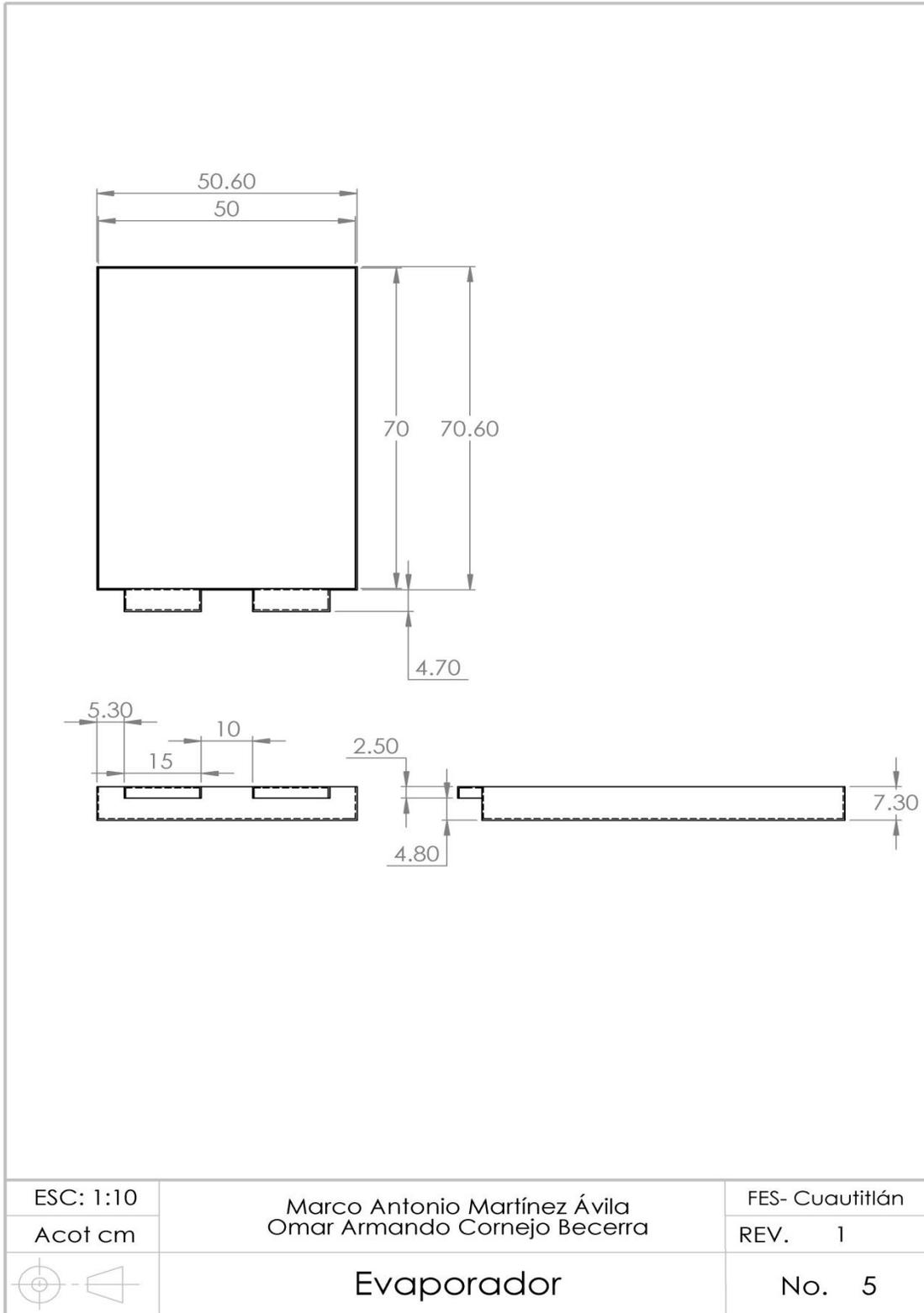


Figura 2.9. Evaporador.

2.6.2.- Plano del evaporador.



2.7.- Diseño del serpentín.

El serpentín del desalador mostrado en la figura 2.10, es el componente del equipo cuya función es transferir el calor entre el aceite previamente calentado en el paraboloide y el agua de la charola de almacenamiento.

2.7.1.- Materiales seleccionados para la construcción del serpentín.

Se diseñó con tubo de cobre flexible de 3/8". Se consideró por su fácil manufactura, bajo costo y buena conductividad térmica. En la sección 2.7.2 se presenta el plano del serpentín.

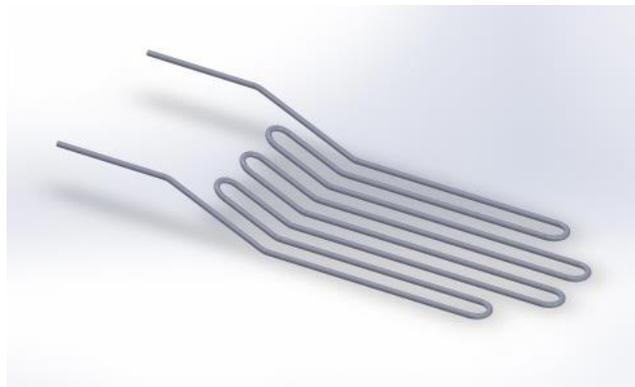
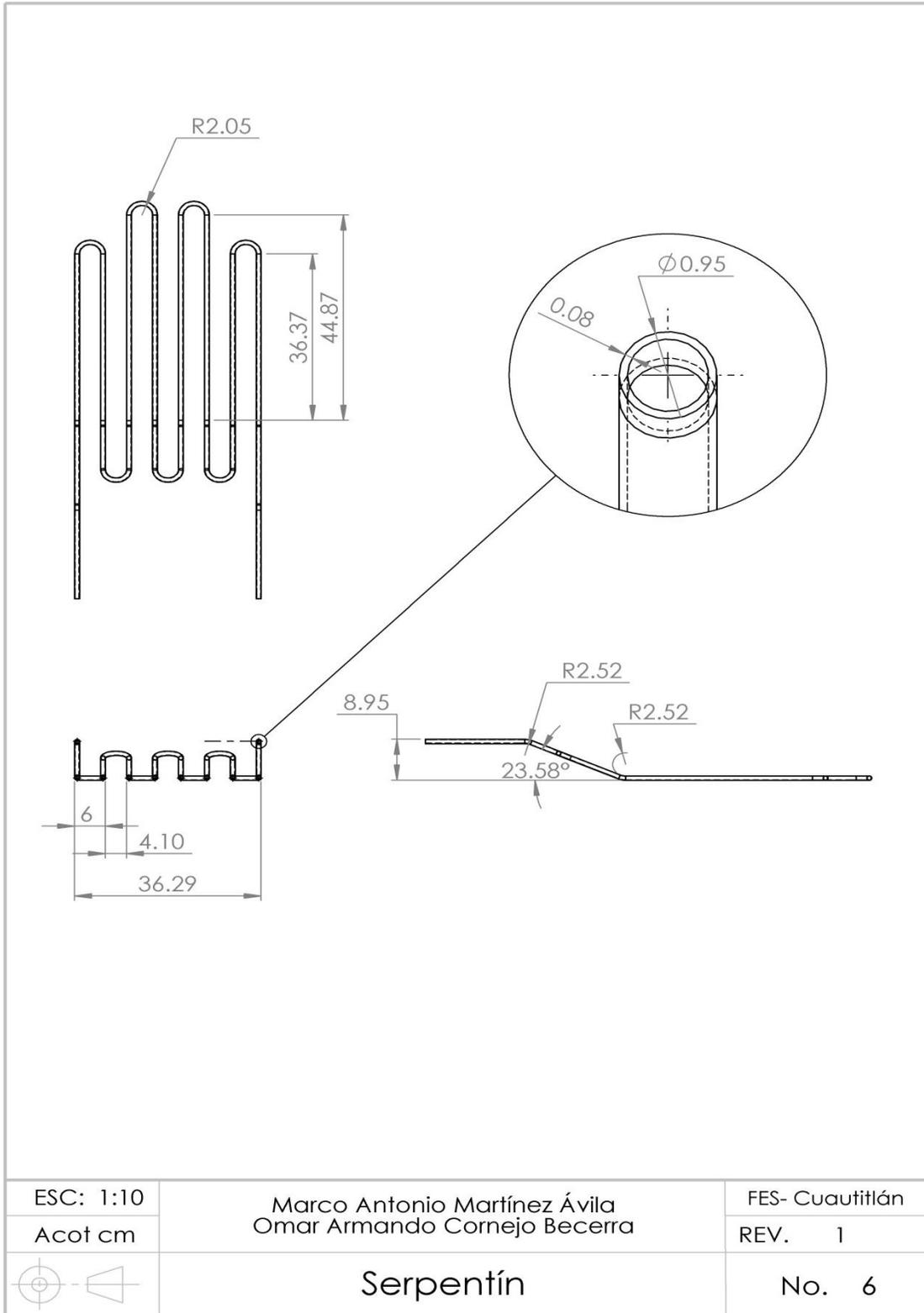


Figura 2.10. Serpentín.

2.7.2.- Plano del serpentín.



2.8.- Diseño del depósito de aceite.

El depósito mostrado en la figura 2.11 se encargara de contener el aceite a calentar, en éste incidirán los rayos solares con apoyo del paraboloide. Llevará dos tubos (uno de entrada y otro de salida) por el cual fluirá el aceite. El objetivo de este diseño es que actué por el “efecto termosifón” el cual consiste en que al calentarse un fluido se dilata, disminuye su densidad y éste sufre un desplazamiento ascendente sobre la porción de fluido más frío. Todo esto actúa por convección natural.

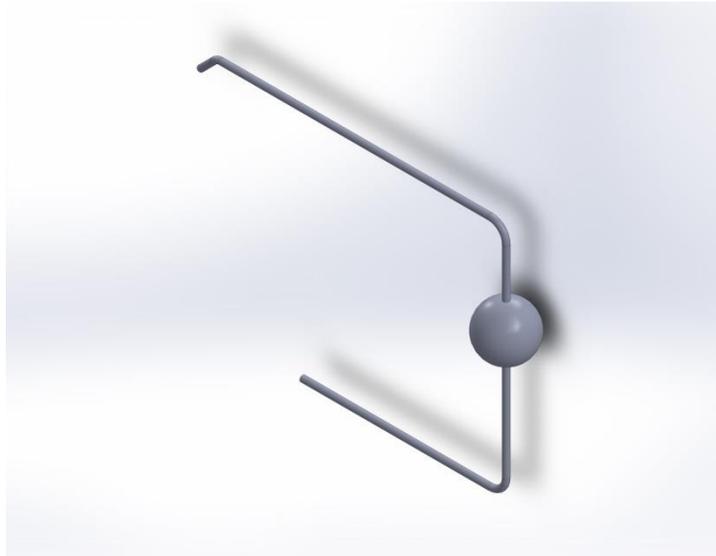
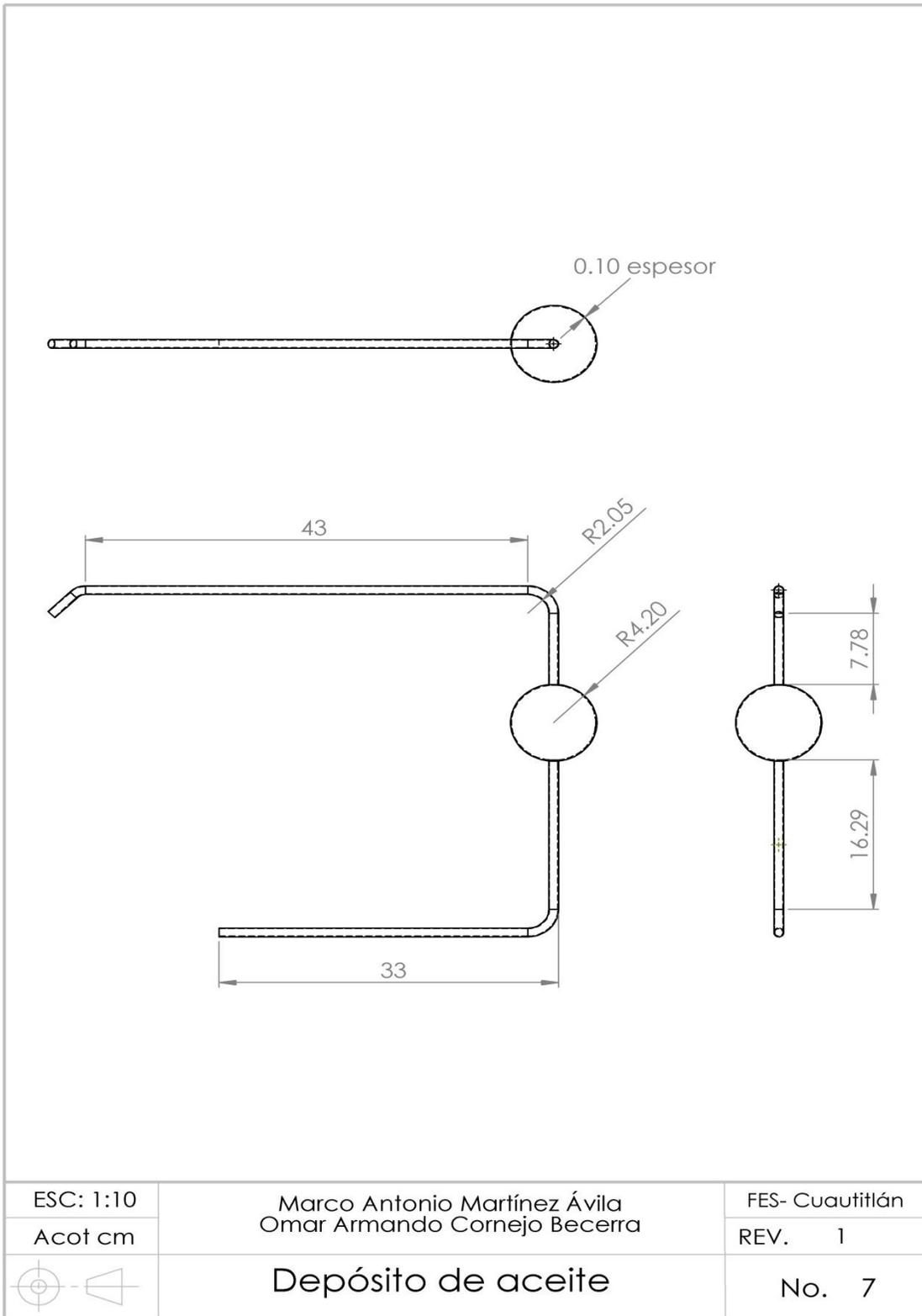


Figura 2.11. Depósito de aceite.

2.8.1.- Materiales seleccionados para la construcción del depósito de aceite.

Debido a que se busca ocupar los materiales disponibles en el Laboratorio de Investigación en Energías Renovables, se diseñó con un flotador de cobre de 8.40 *cm* de diámetro, al cual se le acopló tubo de cobre flexible de 3/8 “, uno en la parte superior, que es el que conducirá el aceite caliente, y uno en la parte inferior, que es por el cual entrará el aceite frío, ambos unidos al serpentín En la sección 2.8.2 se muestra el plano del depósito de aceite.

2.8.2.- Plano del depósito de aceite.



2.9.- Diseño del soporte.

La estructura que sostiene a todos los componentes se muestra en la figura 2.12 En la parte superior de la estructura se colocó el depósito junto con el condensador; Por la parte frontal se colocó el esparrago que une la estructura con el paraboloide. Por último, para facilitar su traslado y orientación se le colocaron 4 ruedas.

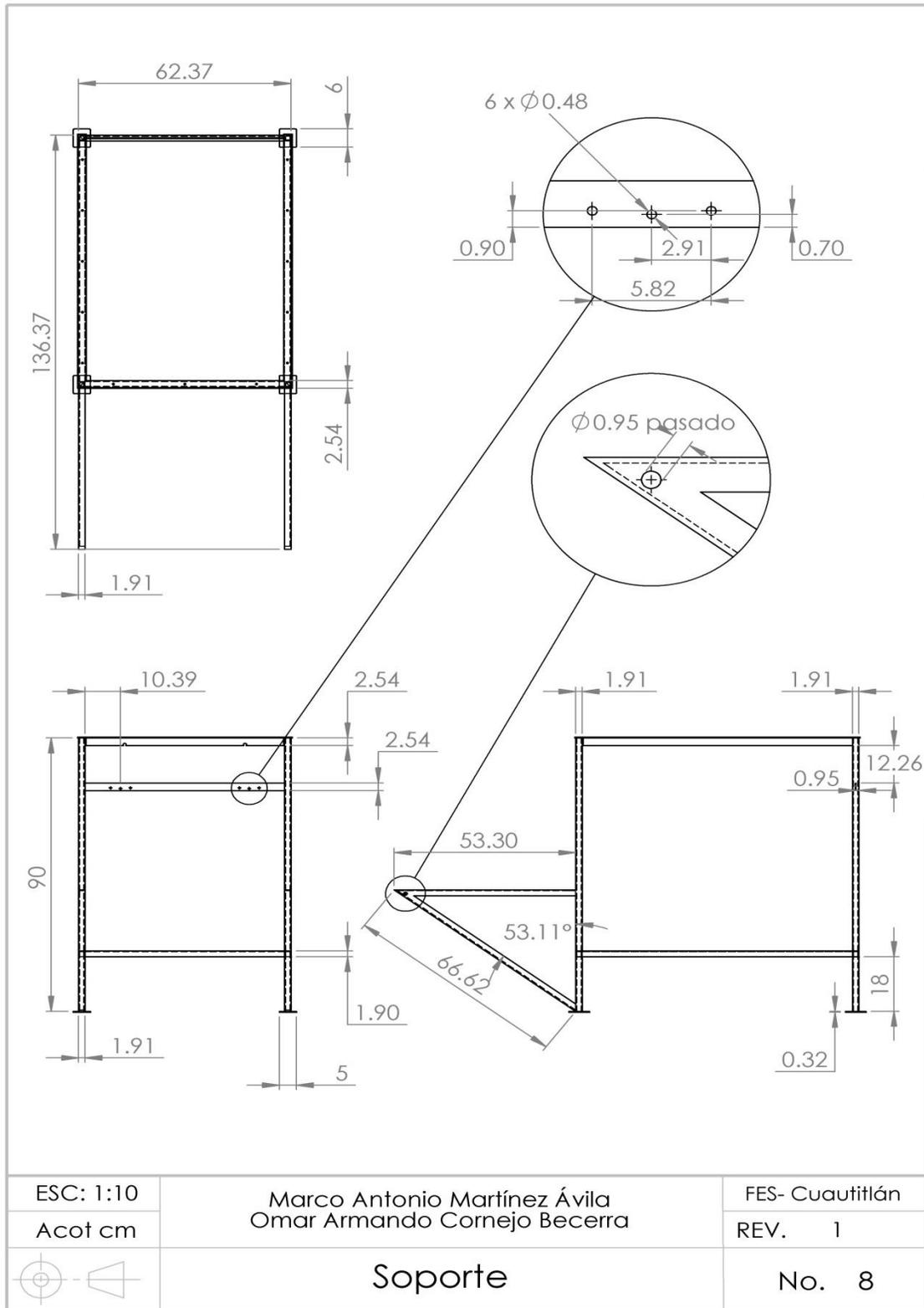


Figura 2.12. Soporte.

2.9.1.- Materiales seleccionados para la construcción del soporte.

Se diseñó con ángulos de fierro de 1" y $\frac{3}{4}$ ", solera de 1" y perfil tubular rectangular (PTR) de $\frac{3}{4}$ ". En la sección 2.9.2 se muestra el plano del soporte, en la figura 2.13 se presenta el ensamble de todos los componentes que integran el desalador solar y en la figura 2.14 se muestra el despiece del desalador solar.

2.9.2.- Plano del soporte.



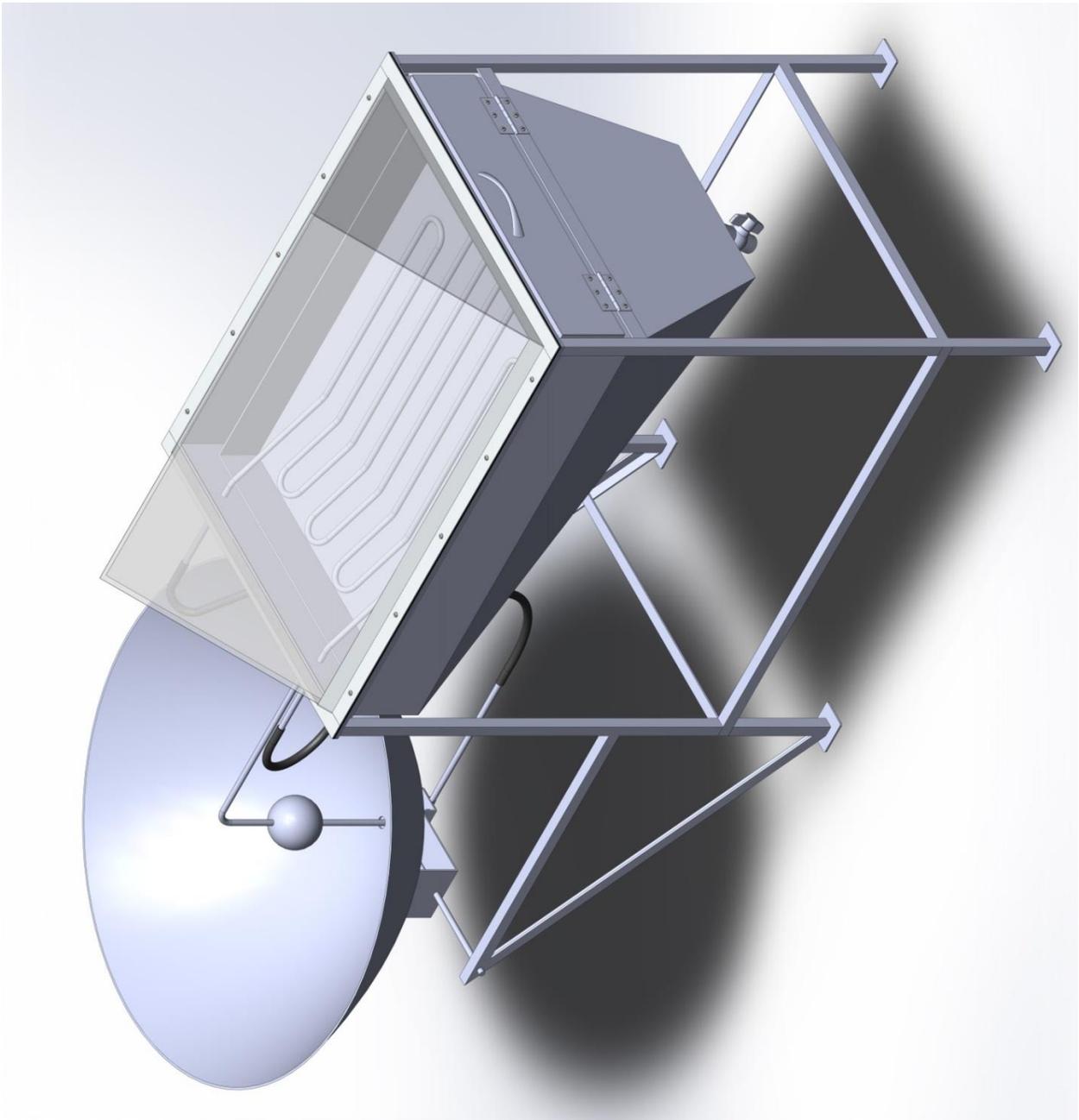


Figura 2.13. Ensamble del desalador.

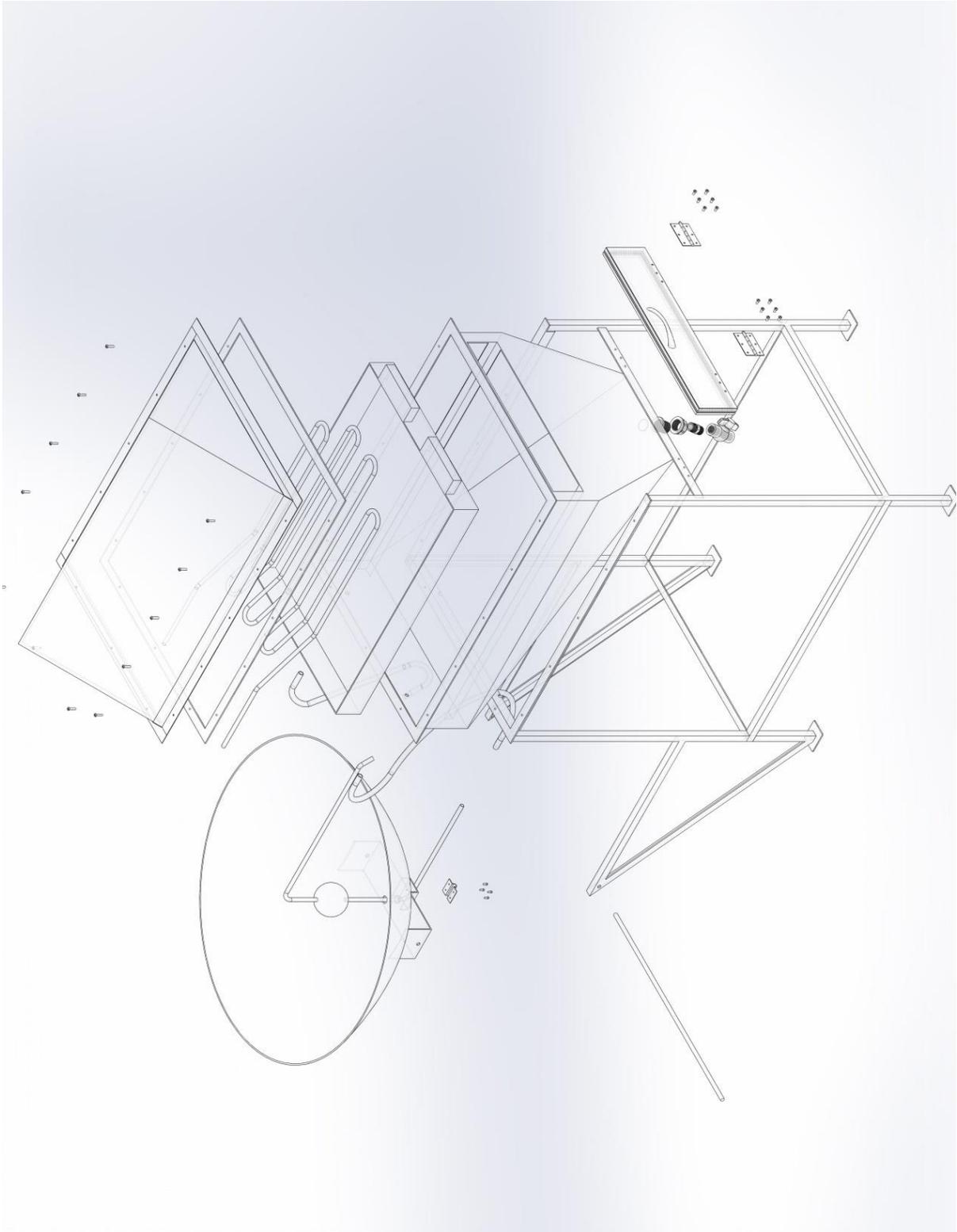


Figura 2.14. Vista explosionada del prototipo de desalador.

2.10.- Propiedades de los materiales a utilizar.

2.10.1.- Propiedades de la fibra de vidrio.

La fibra de vidrio es usada en diversas áreas y tienen numerosas aplicaciones debido a la cantidad de propiedades que el material tiene, entre ellas:

- Piezas fuertes, confiables y resistentes.
- Alta resistencia a la compresión, flexión e impacto.
- Ligereza.
- Puede ser utilizado como aislante ya que la fibra de vidrio no conduce electricidad, así como también puede utilizarse para impedir la transferencia de calor
- Debido a que es fácil de moldear es posible hacer piezas complejas, con valor estético y funcional.
- Resistente a ambientes agresivos y a la corrosión.
- Gracias a su bajo coeficiente de dilatación térmica y a la reducida absorción de agua, las piezas construidas de fibra de vidrio se mantienen inalteradas en dimensión y forma incluso en condiciones extremas.

En la figura 2.13 se muestran los materiales utilizados para manufacturar las piezas de fibra de vidrio.



A: Resina.
B: Catalizador.
C: Cera desmoldante.
D: Fibra de vidrio.
E: Gel coat.

Figura 2.13. Materiales para fibra de vidrio.

2.10.2.- Propiedades del acero.

Se define como aquel material en el que el hierro (elemento químico) es el elemento predominante, de manera general con un porcentaje de carbono menor al 2% en la aleación, y otros cuantos

elementos aleantes. El límite de 2% de carbono separa el acero de lo que se denomina fundición o hierro colado.

En la tabla 2.10 se presenta una comparación de los diferentes tipos de acero.

Tabla 2.10.- Tabla comparativa de aceros.

	Aceros dulces	Aceros semidulces	Aceros semiduros	Aceros duros
% de carbono	0.25 % o menor	0.26-0.35%	0.36-0.45%	0.55% o mayor
Dureza	135-160 HB	150-170 HB	280 HB	200-220 HB
Resistencia mecánica	70 kg/mm ² o menor	80 kg/mm ² *	90 kg/mm ² *	100 kg/mm ² *

*La dureza se mide en HB y se alcanza con un tratamiento térmico de temple.

En la figura 2.14 se observan los materiales de acero que se utilizaron para la elaboración de algunas piezas del desalador.



Figura 2.14. Muestras de materiales de acero.

2.10.3.- Propiedades del aluminio.

El aluminio es el elemento metálico más abundante que está presente en la corteza terrestre y es uno de los materiales con más aplicación en la industria a últimas fechas. El aluminio en su forma pura, no tiene uso en la industria debido a sus características mecánicas, pobres en cuanto a estos usos. Sin embargo al alearse con otros elementos adquiere cualidades que le permiten adquirirlas. Los elementos que se encuentran en mayor porcentaje como coadyuvantes del aluminio son Cu, Si, Mg, Zn y Mn claro está que no son los únicos y también podemos encontrar Fe, Cr y Ti, al igual que otros para obtener aleaciones especiales.

Las aleaciones del aluminio se designan con un número de 4 dígitos de acuerdo a la Aluminium Association. El primer dígito indica el tipo principal de aleación de acuerdo con el elemento aleante principal. En la tabla 2.11 se presenta la designación de materiales aleantes.

Tabla 2.11.- Designación de materiales aleantes en aluminio.

Componente principal	Número Grupo de aleación
Aluminio sin alear 99%	1
Cu	2
Mn	3
Si	4
Mg	5
Mg, Si	6
Zn	7
Otros	8

En la figura 2.15 se muestran algunos de los materiales utilizados para las pruebas del depósito de aceite. Estos materiales son de aluminio.



Figura 2.15. Materiales de aluminio.

2.10.4.- Propiedades del cobre.

El cobre después del acero y el aluminio es uno de los metales más consumidos en la industria.

Dentro de las características del cobre se encuentran:

En la tabla 2.12 se presentan las características mecánicas del cobre.

Tabla 2.12.- Características mecánicas del cobre.

Características Mecánicas del Cobre			
Estado	Resistencia a la tracción, kg/mm ²	Límite elástico, kg/mm ²	Alargamiento en la rotura, %
Fundido	15 – 22	-	25 - 15
Recocido	21 – 24	9	46 - 47
Templado	37 – 41	36	5 - 6

La dureza es otra de las características que se toman en cuenta. En la tabla 2.13 se hace una comparativa de dureza entre el cobre y algunos otros materiales comunes en la industria.

Tabla 2.13.- Comparativa de dureza entre materiales comunes

Material	Dureza Brinell
Cobre	35 HB
Aluminio	15 HB
Acero (blando)	120 HB
Acero de herramientas	500 HB
Acero inoxidable	250 HB

Los materiales utilizados para la fabricación del serpentín se muestran en la figura 2.16.



Figura 2.16. Materiales de cobre.

2.10.5.- Propiedades del aceite térmico Mobiltherm 603.

Este aceite es de base parafínica y tiene una excelente conductividad térmica, se utiliza en sistemas cerrados donde no se puede utilizar agua en el mismo.

El Mobiltherm 603 se utiliza en sistemas cerrados de transferencia de calor, donde se manejen temperaturas desde los 300 °C hasta los -7 °C.

Algunas características de este aceite se mencionan a continuación:

- Se pueden alcanzar temperaturas elevadas a presión atmosférica o a presiones moderadas.
- Excelente transferencia de calor sostenida durante periodos de uso prolongado.
- Protección contra la corrosión.
- Buena fluidez a baja temperatura al momento del arranque.
- Excelente conductividad térmica.
- Baja viscosidad.

El aceite utilizado se observa en la figura 2.17.



Figura 2.17. Aceite Mobiltherm 603.

Capítulo 3.- Proceso de construcción

3.1.- Construcción del condensador.

Para la construcción del condensador se cortó una hoja de vidrio de 6 mm de espesor, dos con forma de triángulo equilátero de 57.66 cm de base por 28.66 cm de altura y dos en forma rectangular de 78.02 cm de base por 28.66 cm de altura de acuerdo a las mediadas del diseño. En la figura 3.1 se muestran algunos cortes del vidrio.



Figura 3.1. Corte del vidrio.

Las piezas de vidrio, se unieron con silicón transparente de uso profesional mediante una pistola calafateadora, con la intención de aplicar uniformemente una capa de silicón sobre el vidrio. En la figura 3.2 se muestra el proceso de ensamblado del condensador.



Figura 3.2. Aplicación de silicón y ensamble del vidrio.

Para asentar el condensador sobre la charola se utilizó lámina de aluminio calibre 20 recortada y doblada en ángulo de acuerdo al diseño. El vidrio y el aluminio fueron ensamblados con silicón. Para evitar fugas, como empaque se colocó hule recortado de acuerdo a las dimensiones especificadas en el plano de la sección 2.3.2, posteriormente se adhirió sobre la base de aluminio. En la figura 3.3 se observa la etapa final de la construcción del condensador y en la figura 3.4 la pieza final.



Figura 3.3. Ensamble del condensador.



Figura 3.4. Condensador.

3.2.- Construcción del depósito.

Para la construcción del depósito primero se construyó un molde con material MDF (hoja de fibra de densidad media). En la figura 3.5 se observa el corte con sierra circular del MDF, de acuerdo a las especificaciones del plano que se muestra en la sección 2.4.2.



Figura 3.5. Corte de MDF.

Después de realizar todos los cortes, se ensamblaron todas las piezas con pegamento para madera y en los bordes se utilizó pasta para resanar madera. Se le aplicaron 3 capas de cera desmoldante dejando secar la cera durante 15 *min* entre cada capa. En la figura 3.6 se observa la aplicación de la cera desmoldante sobre la superficie externa del molde.



Figura 3.6. Molde del depósito.

Después se le aplicaron tres capas de gel coat ortoftálico blanco preparado al 2% de catalizador por el total del gel coat y se dejó secar durante 10 *min* entre una capa y otra. Una vez que el gel coat se secó, se le aplicó la resina preparada al 2% de catalizador y se colocó la fibra de vidrio hasta llegar a tres capas, con la finalidad de asegurar que no existieran fugas en el depósito. En la figura 3.7 se muestra la parte externa del molde cubierta de fibra de vidrio.



Figura 3.7. Aplicación de la fibra de vidrio.

Una vez que se secó la resina que se le aplicó junto con la fibra de vidrio, se le retiró el molde de MDF como se observa en la figura 3.8 y se obtuvo la pieza final del depósito que se muestra en la figura 3.9.



Figura 3.8. Extracción del molde.



Figura 3.9. Depósito sin acabado.

En la figura 3.10 se muestra el corte rectangular sobre el depósito, que sirve como entrada del evaporador. Para realizar el corte se utilizó un moto tool rectificador con discos de corte para fibra de vidrio, además, se añadió un marco de solera de ½” para que la puerta magnética cumpla su función de mantener herméticamente sellado el depósito.



Figura 3.10. Corte de la puerta del depósito.

Con la misma herramienta rectificadora, pero con una punta de diamante de cono, se realizaron dos perforaciones en forma de “L” y dos circulares en la parte trasera del depósito para colocar dos ángulos de aluminio, que son los que servirán como soporte del evaporador dentro del depósito y los circulares para colocar el serpentín. En la figura 3.11 se muestra como se realizaron las perforaciones.



Figura 3.11. Perforaciones del depósito.

Con la finalidad de darle un buen acabado se le cortaron y lijaron todos los excesos de fibra de vidrio y posteriormente se pintó de blanco. En la figura 3.12 se muestra el uso de una lijadora orbital con la finalidad de darle un buen acabado.



Figura 3.12. Acabado del depósito.

3.2.1.- Construcción de la puerta del depósito.

Para la construcción de la puerta de acceso de la charola, se utilizó la misma pieza de fibra de vidrio que se cortó del depósito, se le colocó un empaque magnético y una lámina exterior con agarradera y dos bisagras. Posteriormente se le aplicó una capa de “Primer” anticorrosivo y se pintó de color blanco. En la figura 3.13 se muestra la puerta del depósito.



Figura 3.13. Puerta del depósito.

3.3.- Construcción del paraboloides.

En base a la gráfica 2.1 de la parábola, se trazó el patrón en papel milimétrico y se pegó sobre una lámina, la cual se cortó de acuerdo al patrón, se le soldó un eje y se le clavarón segmentos de madera como soporte para su fácil rotación. En la figura 3.14 se muestra el perfil del paraboloides.



Figura 3.14. Perfil del paraboloides.

Sobre una base plana de madera se colocó el perfil y se vació una mezcla de yeso con cemento. El perfil se rotó mientras se vertía la mezcla. En la figura 3.15 se muestra como se construyó el molde del paraboloides.



Figura 3.15. Molde del paraboloides.

Una vez seco el paraboloides de cemento y yeso se le aplicaron tres capas de cera desmoldante, tres capas de gel coat ortoftálico blanco y dos capas de fibra de vidrio con su respectiva resina preparada. En la figura 3.16 se muestra la fibra de vidrio que se le aplico al molde del paraboloides.



Figura 3.16. Aplicación de la fibra de vidrio.



Figura 3.17. Extracción del paraboloid.

En la figura 3.17 se muestra la pieza de fibra de vidrio que se extrajo del molde de cemento. Para que la superficie quedara totalmente lisa se lijó, ya que es la parte donde lleva la película reflejante. En la figura 3.18 se muestra como se lijó el paraboloid.



Figura 3.18. Lijado del paraboloid.

Para verificar que el foco estuviera a los 15 *cm* del vértice, se realizó una prueba experimental forrando el paraboloid con papel aluminio y se expuso a la radiación solar, como se muestra en la figura 3.19. Se colocó un tubo de acero de ½” que salía del vértice y por dentro se le colocó un cable termopar a 15 *cm* de altura, el termómetro digital registró temperaturas entre los 300 °C y 350 °C, con una irradiación de 1125 W/m^2 .

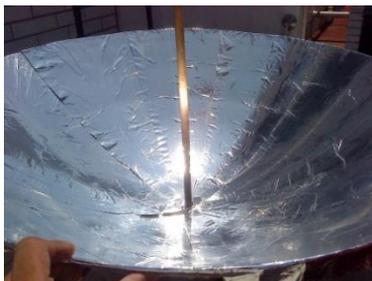


Figura 3.19. Paraboloid forrado con papel aluminio.

Para aplicar la película reflejante se utilizó una pistola de calor, agua y una espátula de goma. Se recortaron segmentos en forma de triángulos isósceles, se roció agua en el paraboloide, se colocó la película y con la espátula de goma se pegó uniformemente como se muestra en la figura 3.20 hasta que quedara cubierta en su totalidad. En caso de que se formara una burbuja de aire dentro de la película se retiraba con la pistola de calor a no más de 120 °C.

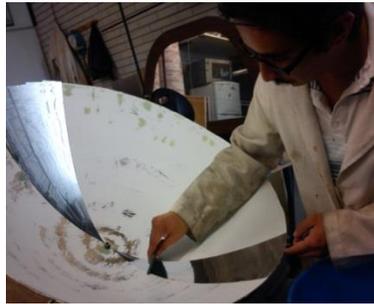


Figura 3.20 Aplicación de la película reflejante al paraboloide.

3.4.- Construcción del evaporador.

El evaporador se construyó llevando el mismo proceso que el depósito a excepción de que se le aplicó gel coat vinilester isoftálico negro, este gel coat presenta una mayor resistencia a la corrosión, al calor y a la absorción del agua. Se fabricó un molde de MDF de acuerdo a las medidas del diseño, se le aplicaron tres capas de cera desmoldante, tres capas de gel coat, y tres de fibra de vidrio con su respectiva resina preparada como se muestra en la figura 3.21.



Figura 3.21. Aplicación de la fibra de vidrio al evaporador.

Cuando se secó la resina se retiró el molde de MDF obteniendo la charola que funciona como evaporador. En la figura 3.22 se muestra el evaporador.



Figura 3.22. Evaporador.

3.5.- Construcción del serpentín.

El serpentín se construyó cortando una tira de 5.31 m de tubo de cobre flexible de 3/8" y se utilizó un doblador de tubo con capacidad de hasta 180°, conforme al diseño. En la figura 3.23 se muestra la herramienta utilizada para doblar el tubo de cobre flexible.



Figura 3.23. Doblado de tubo.

La pieza final se observa en la figura 3.24.



Figura 3.24. Serpentín.

3.6.- Construcción del depósito de aceite.

El primer depósito de aceite se construyó con dos medias esferas de cobre de 4.20 *cm* de radio, las cuales fueron soldadas con un soplete y soldadura de plata al 15%. A la esfera se le soldó tubo de cobre de 3/8” en la parte superior e inferior, para la entrada y salida del aceite. En la figura 3.25 se muestra el proceso de doblado del depósito de aceite.



Figura 3.25. Depósito de aceite construido con cobre.

Se realizó una prueba experimental exponiendo la parábola al sol con el depósito de aceite colocado, se le introdujo aceite y se produjo un vacío, la esfera no resistió y se deformó como se muestra en la figura 3.26.



Figura 3.26. Prueba experimental del depósito de aceite construido con cobre.

El segundo depósito de aceite se construyó con aluminio, de forma cilíndrica y con el mismo volumen de la esfera de cobre que es de 310.34 *cm*³, se soldó con un soplete y material de aporte de aluminio 4043 y 4047. Se realizaron pruebas experimentales con los dos tipos de materiales de aporte y el que mejor resultado obtuvo fue el de 4047. Esta esfera fue descartada debido a que la soldadura llegó a tener fisuras por donde se le fugaba el agua. En la figura 3.27 se muestra el cilindro de aceite en el proceso de soldar.



Figura 3.27. Proceso de soldado del cilindro de aluminio.

El tercer depósito se construyó con una esfera de acero de 4.20 *cm* de radio y tubo de 3/8" de acero. La esfera y el tubo se soldaron con bronce como material de aporte y un soplete. En la figura 3.28 se muestra la esfera de acero pintada de negro.



Figura 3.28. Esfera de acero.

La esfera de acero se sometió a la misma prueba experimental que la de bronce y obtuvo mejor resultado mostrando mayor resistencia al no deformarse.

3.7.- Construcción del soporte.

Para la construcción del soporte se cortaron 4 piezas de PTR de 3/4" por 90 *cm* de largo cada una, 2 ángulos de 3/4" por 53.30 *cm* de largo, 2 ángulos de 3/4" por 66.20 *cm* de largo, 2 ángulos de 3/4" por 77.99 *cm* de largo, 2 ángulos de 3/4" por 57.29 *cm* de largo, 2 ángulos de 1" por 83.03 *cm* de largo y 1 ángulo de 1" por 62.37 *cm* de largo. Todas las piezas fueron soldadas de acuerdo al diseño con soldadora de arco, y se utilizaron electrodos 6013 de 1/8" y 3/32". En la figura 3.29 se muestra el proceso de ensamblado de las piezas.



Figura 3.29. Proceso para soldar el soporte.

Para darle un acabado fino se esmerilaron todos los excesos de soldadura y se pintó como se muestra en la figura 3.30.



Figura 3.30. Esmerilado y pintado.

Se le colocó la puerta del depósito, además unas ruedas para su fácil transporte y direccionamiento. En la figura 3.31 se muestra la pieza final.



Figura 3.31. Soporte.

En la figura 3.32 se muestra el prototipo de desalador solar terminado.



Figura 2.32. Desalador solar.

Capítulo 4.- Puesta en marcha y pruebas experimentales

Para la puesta en marcha fue necesario instrumentar al prototipo empleando un adquisidor de datos NetDAQ modelo 2640A de la marca Fluke, para recopilar de forma simultánea la medición de las variables involucradas en el proyecto.

4.1. Instrumentación.

Para facilitar la obtención de datos se manufacturaron termopares tipo *K* de 1 *m* de longitud los cuales se colocaron de la siguiente forma:

- 1 en el condensador para medir la temperatura del aire interno (*interna*).
- 3 en el serpentín para medir la temperatura de entrada (*T_i*), la temperatura a la mitad del serpentín (*T_m*) y la temperatura a la salida (*T_f*).
- 1 en el evaporador para medir la temperatura del agua a desalar (*agua*).
- 1 en el depósito de aceite para medir la temperatura del aceite (*aceite*).
- 1 atrás de la parábola para medir la temperatura ambiental (*ambiental*).

Además se colocó un piranómetro modelo SP LITE de la marca Kipp & Zonen para medir la irradiación solar (*irradiación*) directa que incide en el paraboloide. En la figura 4.1 se muestra el material empleado para la manufactura de los termopares del proyecto y en la figura 4.2 se observa la instalación del termopar en el serpentín.



Figura 4.1. Material utilizado para la manufactura de los termopares.

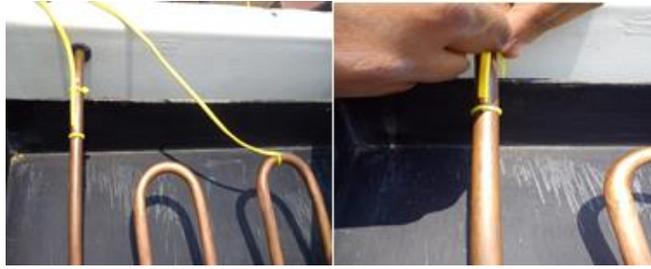


Figura 4.2. Instalación de los termopares del serpentín.

Para la conexión de los termopares y del sensor de radiación solar al sistema de adquisición de datos Fluke, se colocó cable de par trenzado UTP con conectores SLIM al módulo universal FLUKE.

En la figura 4.3 se muestra el equipo NetDAQ modelo 2640A de la marca Fluke así como su módulo universal y en la en la figura 4.4 se muestra la manufactura de los conectores SLIM.



Figura 4.3. Adquisidor de datos.

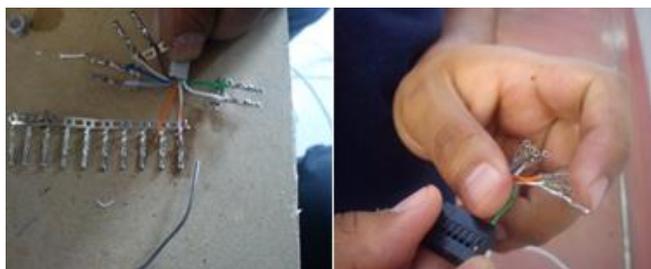
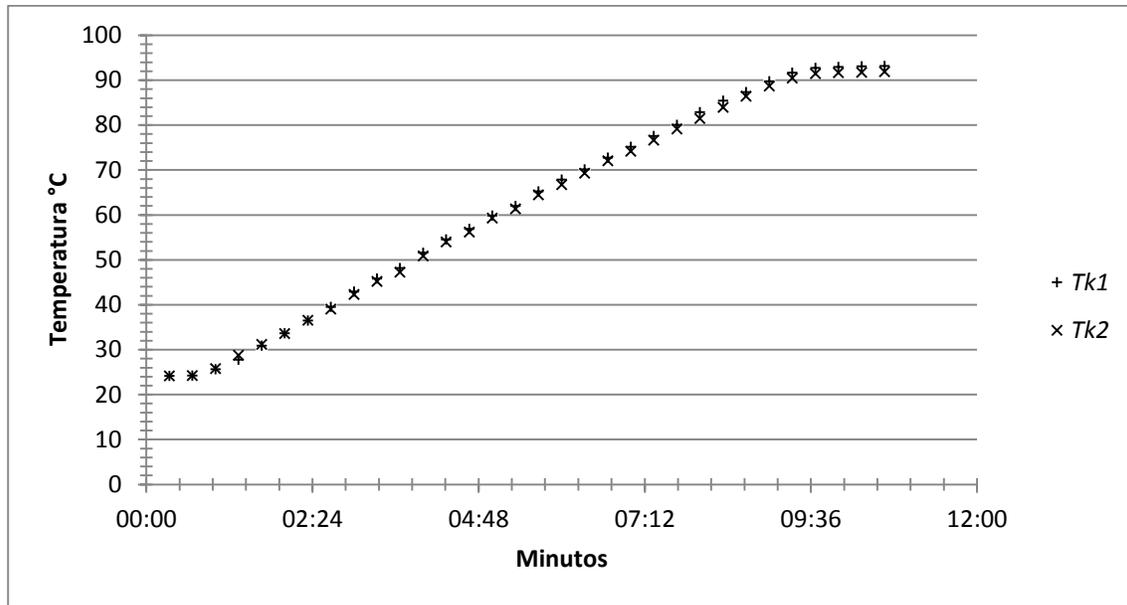


Figura 4.4. Manufactura de conectores SLIM.

Para caracterizar los termopares a emplear en el proyecto, se realizó una prueba en la cual se sumergieron en agua, el termopar fabricado (*Tk1*) y el termopar calibrado de fábrica (*Tk2*), se incrementó la temperatura del agua paulatinamente y se tomaron mediciones en ambos termopares. En la gráfica 4.1 se muestra el comportamiento de los termopares.



Gráfica 4.1. Caracterización de los termopares.

Se encontró una diferencia promedio de $0.69\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre sí y contemplando que el termopar tipo K puede tener una tolerancia de $\pm 2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ o del 0.75% , se consideraron adecuados para el proyecto. En la figura 4.5 se muestra el prototipo de desalador instrumentado.



4.5. Desalador instrumentado.

Para que el efecto termosifón tuviera resultado, se necesitó verter el aceite en el serpentín y depósito de aceite cuidando que no quedara aire atrapado en su interior, para esto se creó un vacío dentro del

serpentín y depósito de aceite, apoyándose de una bomba de vacío de dos etapas. En la figura 4.6 se muestra la bomba de vacío empleada en el proyecto.



Figura 4.6. Bomba de vacío.

Para que el aceite no fuera absorbido por la bomba de vacío, se construyó una trampa de aceite con material de reúso, la cual se muestra en la figura 4.7.



Figura 4.7. Trampa de aceite.

En la figura 4.8 se muestra el proceso de llenado del serpentín con el aceite, realizando los pasos siguientes:

1. El aceite que se encuentra en un bote es succionado por la bomba y entra al sistema.
2. El aceite que ha atravesado el sistema es captado en la trampa de aceite.
3. La bomba se encarga de succionar el aire que se encuentra en el sistema.



Figura 4.8. Pasos para crear el vacío en el sistema.

Una vez que se vertió el aceite en el depósito y serpentín, se expuso a la radiación solar para comprobar que el efecto termosifón diera resultado. En la figura 4.9 se muestra el paraboloide expuesto al sol.

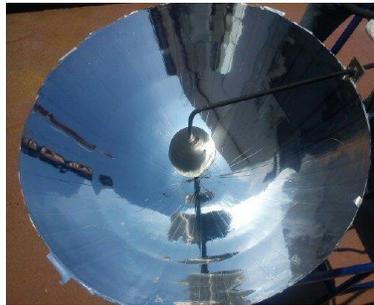
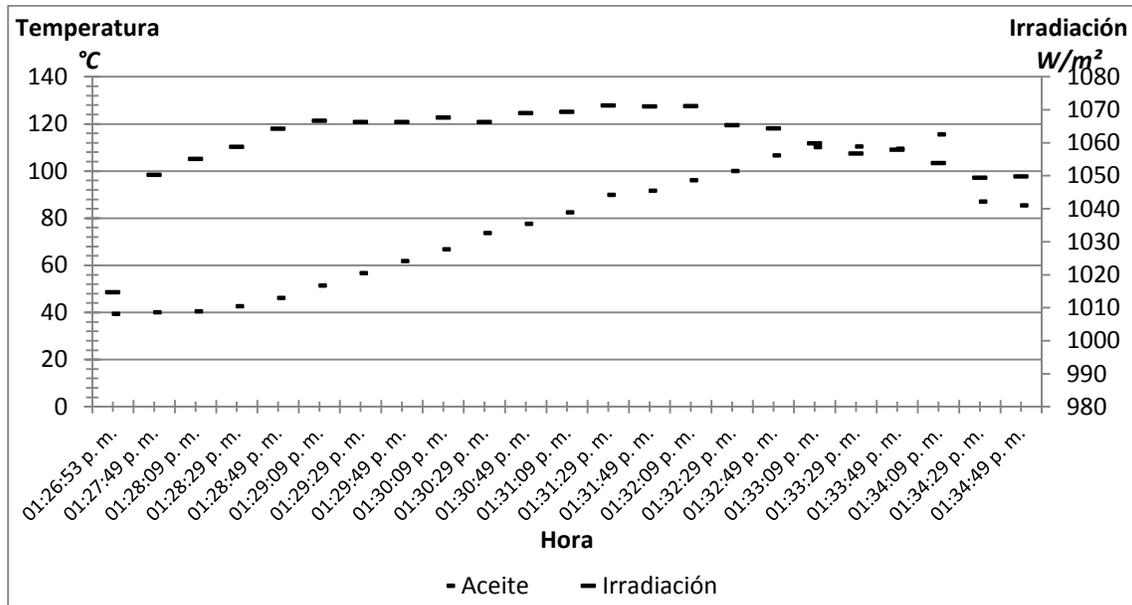


Figura 4.9. Prueba de efecto termosifón.

Al dirigir el paraboloide a la radiación solar, éste reflejó los rayos del sol concentrándolos en el depósito de aceite, el aceite se calentó alcanzando temperaturas superiores a los 100 °C, las cuales se observan en la gráfica 4.2.



Gráfica 4.2. Valores máximos alcanzados por el aceite.

Aunque las temperaturas alcanzadas por el aceite fueron altas y el efecto termosifón no se cumplió, el aceite caliente se concentra en la parte más alta del sistema, por lo que el flujo se entorpece. Al dilatarse el aceite, buscó el punto más débil del serpentín y del depósito para salir, dañando el depósito de aceite. Para resolver el problema de termosifón, se adaptó una bomba de gasolina de 12 V de reúso la cual se muestra en la figura 4.10.



4.10. Bomba de circulación para el aceite.

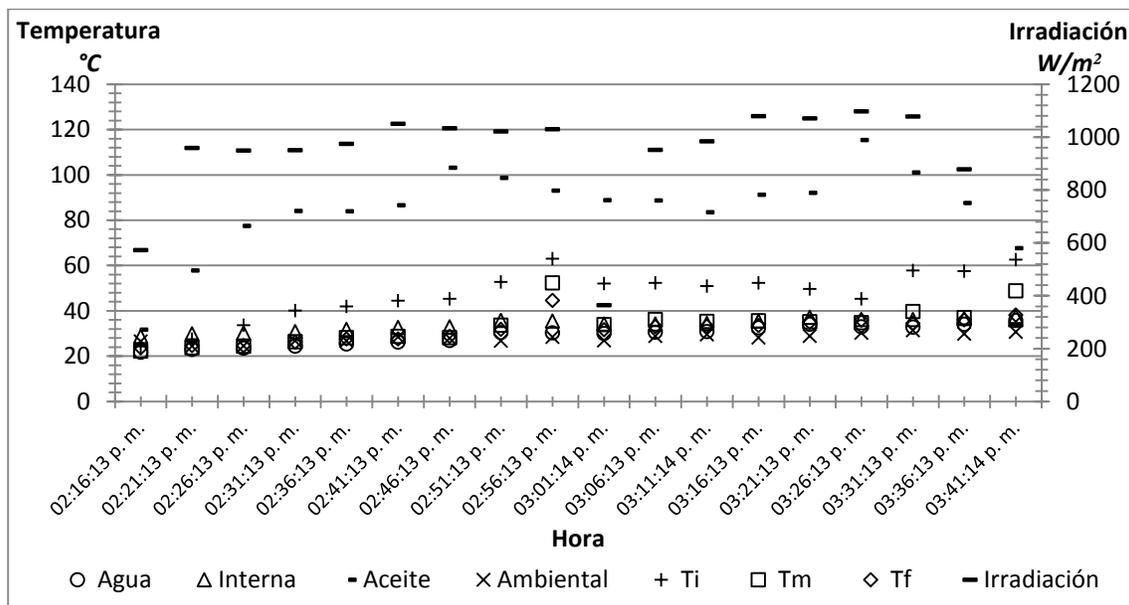
La bomba se colocó en un recipiente entre el depósito de aceite y el serpentín. La finalidad es la de recircular el aceite frío que se encuentra en el serpentín al depósito de aceite para su calentamiento. En la figura 4.11 se muestra la ubicación de la bomba.



4.11. Ubicación de la bomba.

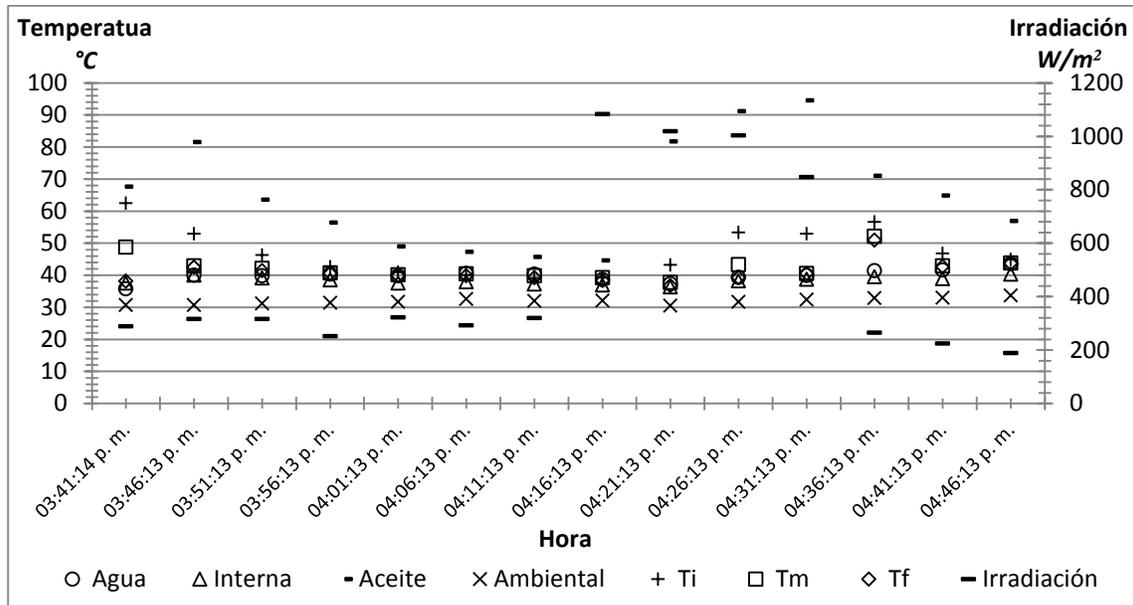
Con la finalidad de conocer el comportamiento térmico del prototipo, se realizaron varias corridas experimentales, que a continuación se describen.

Se realizó una prueba en la cual se buscó de manera empírica conocer el tiempo en el que el aceite caliente del depósito llega al serpentín. Se activó la bomba durante 7 segundos cada 5 minutos y los resultados se muestran en la gráfica 4.3.



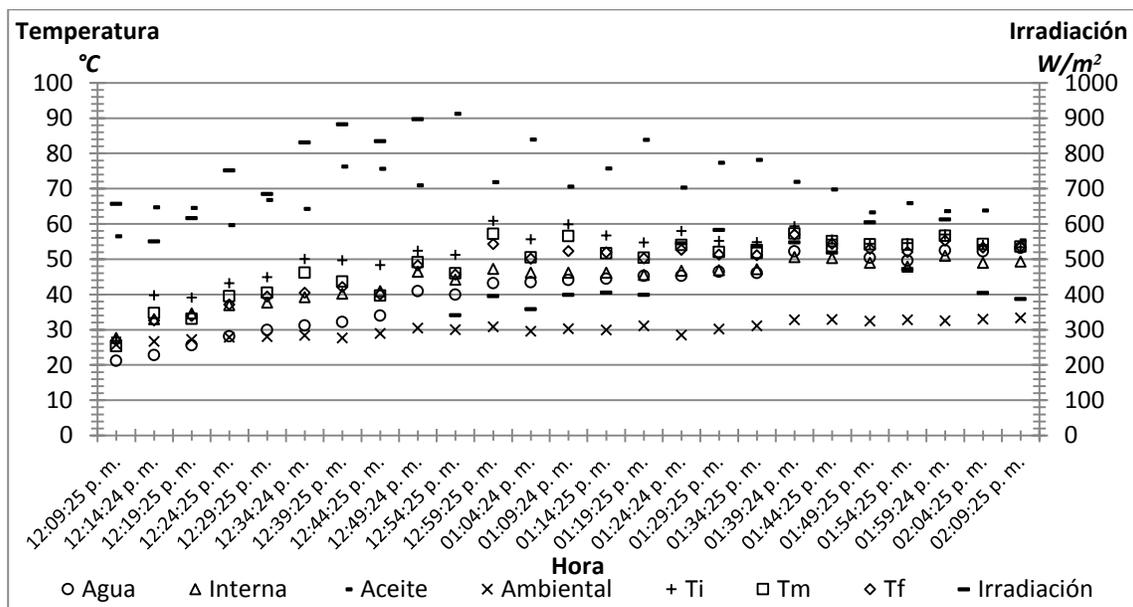
Gráfica 4.3. Prueba de bombeo para transferencia de calor.

Continuando con la misma prueba, variamos el tiempo de bombeo a 15 segundos cada 5 minutos. En la gráfica 4.4 se muestran los resultados de la prueba.



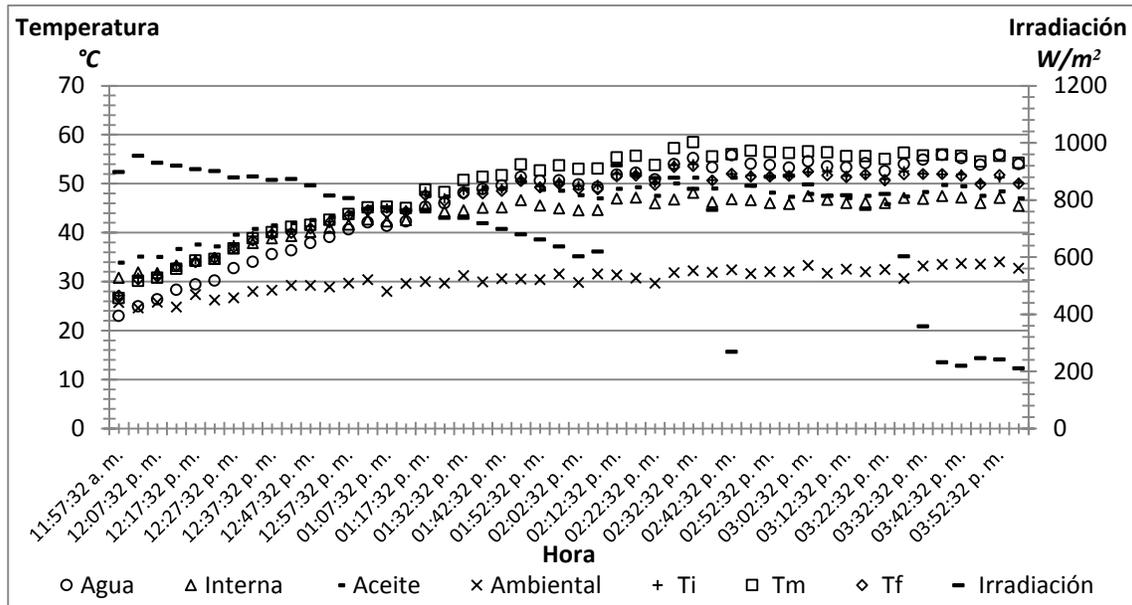
Gráfica 4.4. Prueba de bombeo para transferencia de calor.

Se realizó una prueba en la cual se expuso el desalador durante un tiempo de dos horas. El tiempo de bombeo dependió de la estabilización de las temperaturas en T_i , T_m y T_f del serpentín. Así se busca tener un tiempo de bombeo promedio para transferir el calor del aceite al serpentín. En la gráfica 4.5 se muestra el comportamiento del desalador.



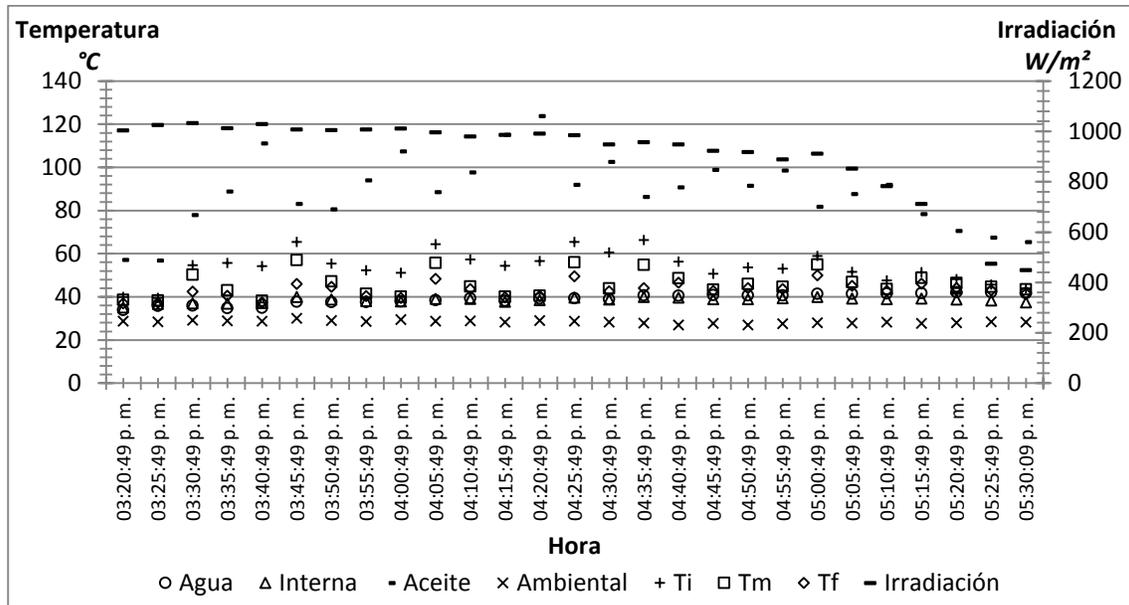
Gráfica 4.5. Prueba de bombeo basada en la estabilización del serpentín.

Se realizó otra prueba con una duración de cuatro horas, en esta prueba se cubre la parábola para que los rayos del sol no incidan en ésta y calienten el depósito de aceite. De esta manera se puede observar cómo actúa el efecto invernadero dentro del desalador. En la gráfica 4.6 se muestran los datos obtenidos.



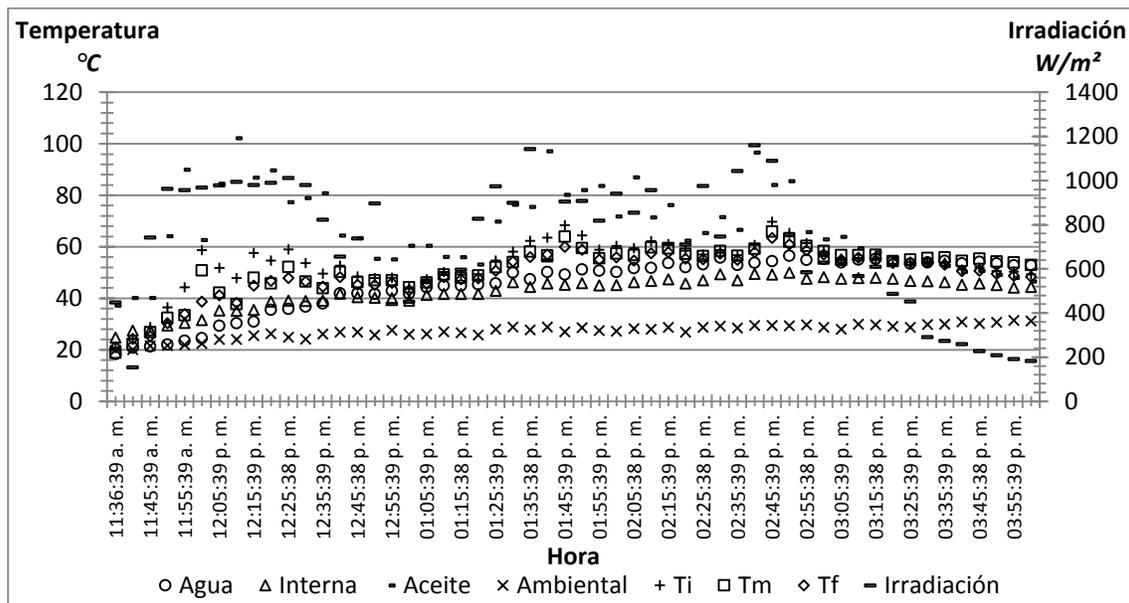
Gráfica 4.6. Prueba de efecto invernadero.

Posteriormente se realizó una prueba para observar el comportamiento térmico del prototipo empleando sólo el calentamiento por medio de la parábola, por lo que se cubrió el condensador. Se estuvo bombeando el aceite durante 13 segundos cada 3.5 minutos. Los resultados se muestran en la gráfica 4.7.

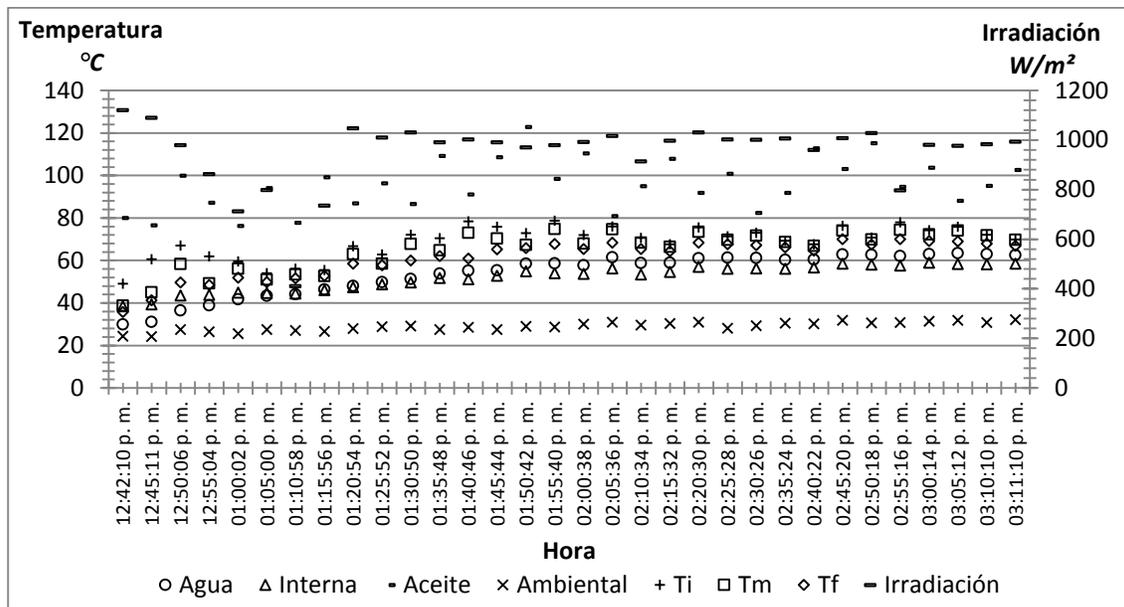


Gráfica 4.7. Prueba serpiente-deposito aceite.

Se realizaron dos corridas por dos días seguidos, durante las horas en que había más radiación solar, y así determinar la eficiencia del desalador y verificar cuánta agua puede recuperarse durante ese tiempo. En las gráficas 4.8 y 4.9 se muestra cómo actúa el desalador.



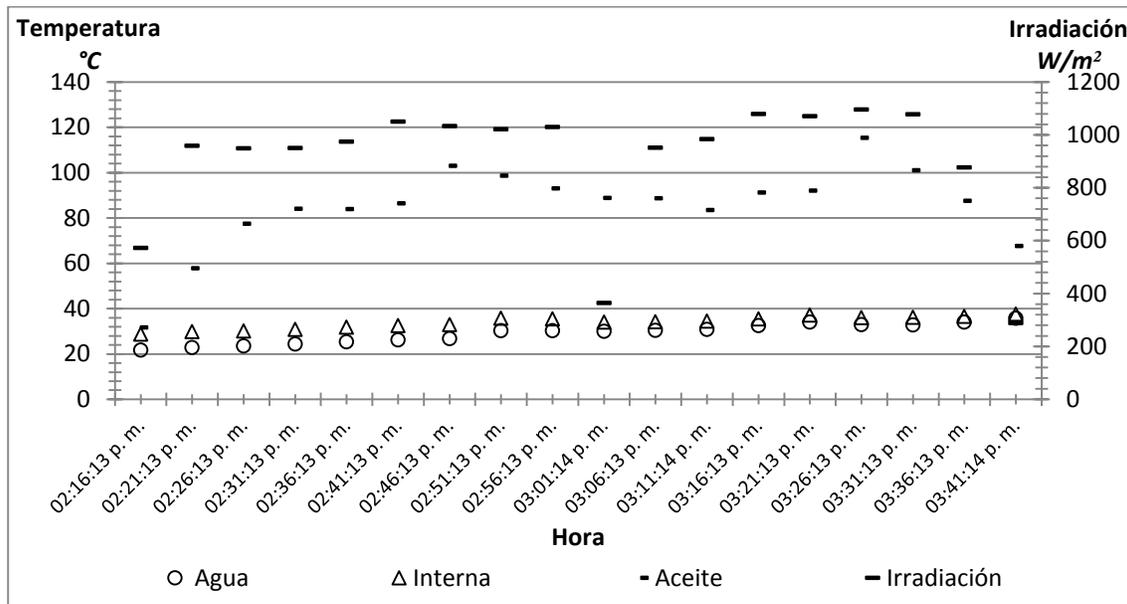
Gráfica 4.8. Prueba de eficiencia 1.



Gráfica 4.9. Prueba de eficiencia 2.

Capítulo 5.- Resultados y discusión

Gracias a la prueba de bombeo para transferencia de calor obtenemos la gráfica 5.1 en la que observamos que en el periodo comprendido entre las 14:16 hasta las 14:36, existe una tendencia ascendente rápida, el aceite va desde 31.74 °C hasta los 84.13 °C y la irradiación va desde los 572.95 W/m² hasta 974.93 W/m², mientras la temperatura del agua comienza a aumentar paulatinamente partiendo de los 21.75 °C hasta los 25.43 °C.

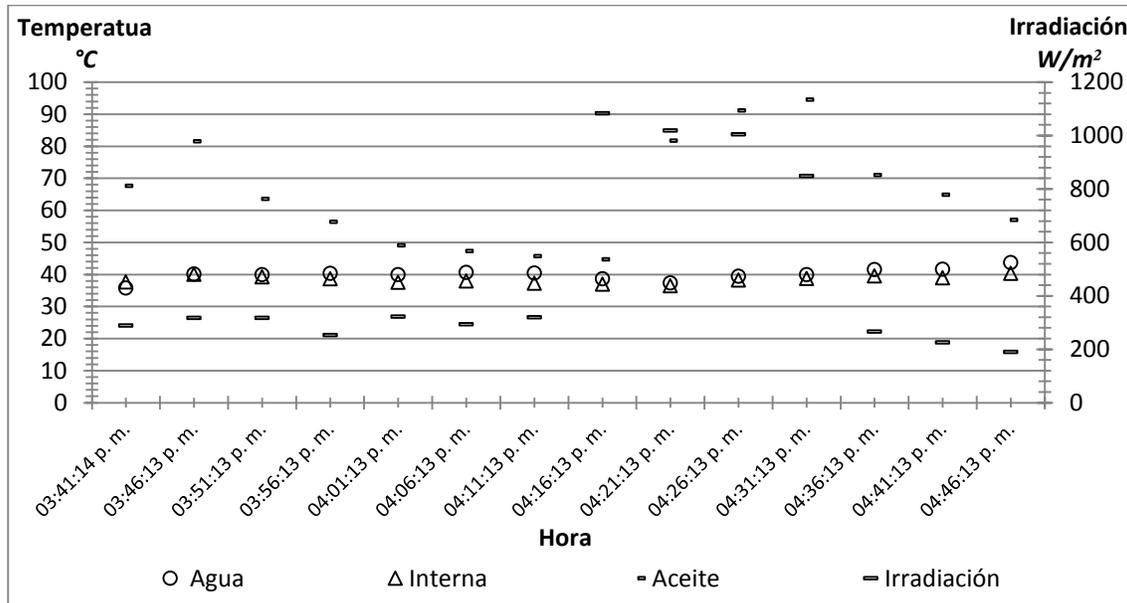


Gráfica 5.1. Resultado comparativo entre agua, aceite, temperatura interna e irradiación. Prueba de bombeo cada 5 min con duración de 7 s.

De las 14:41 y las 15:36 horas, se mantiene un promedio de 969.99 W/m² para la irradiación y de 94.15 °C para el aceite en el depósito, en tanto la temperatura del agua mantiene valores ascendentes que van desde 26.20 °C hasta 35.80 °C. En esta misma sección encontramos representada entre las 14:56 y las 15:06 horas una disminución drástica en la irradiación, observando 364.90 W/m² como el valor más bajo, lo que sucedió debido a un periodo nublado. Sin embargo gracias al efecto invernadero la temperatura del agua refirió un pequeño ascenso de 0.54 °C. Este fenómeno se explica por la tendencia ascendente de la temperatura interna en el prototipo y el mantenimiento de la misma.

Se observa una caída de los valores entre las 15:36 y las 15:41 horas, desde los 877.78 W/m² hasta 289.00 W/m² para la irradiación, y de 87.60 °C hasta 67.68 °C para el aceite, pero observamos un incremento en la temperatura del agua de 34.05 °C a 35.80 °C.

Observando los cambios de valores en el adquisidor de datos se puede apreciar que la temperatura es percibida hasta la mitad del recorrido del serpentín. Concluimos que el tiempo de bombeo de 7 segundos es insuficiente para que el aceite logre el recorrido completo del serpentín.



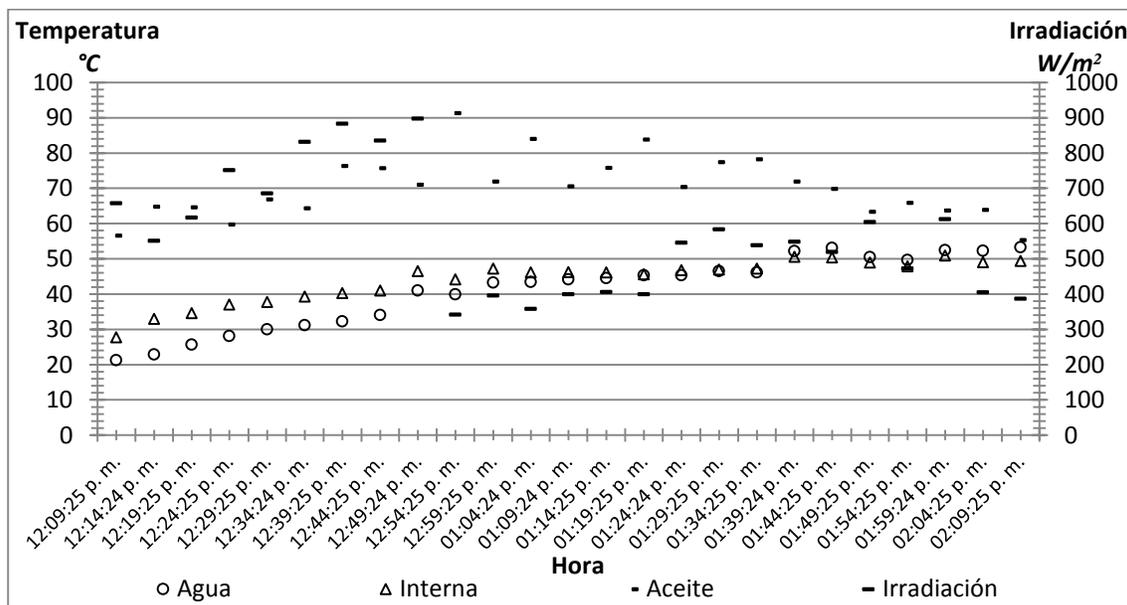
Gráfica 5.2. Prueba de bombeo para transferencia de calor (continuación).

Continuando con la prueba anterior, de la gráfica 4.4 se obtuvo la gráfica 5.2 en la que observamos el periodo comprendido entre las 17:46 y las 16:11. En este lapso encontramos una irradiación promedio de 303.96 W/m^2 durante un día nublado. Los valores del aceite tienden a descender, de $81.56 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta $45.74 \text{ }^\circ\text{C}$ en el mismo lapso. La temperatura del agua se mantiene entre los $39.93 \text{ }^\circ\text{C}$ y los $40.41 \text{ }^\circ\text{C}$ con un promedio de $40.23 \text{ }^\circ\text{C}$.

Entre las 16:16 y las 16:26 horas, se presentó un ascenso rápido en la irradiación, con un promedio de 1035.91 W/m^2 , el aceite muestra una elevación considerable pero gradual desde los $44.68 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta los $91.21 \text{ }^\circ\text{C}$. La temperatura del agua muestra una pequeña caída con respecto de la sección anterior, por lo que encontramos un promedio de $38.52 \text{ }^\circ\text{C}$.

Entre las 16:31 hasta las 16:46, se observó otro descenso brusco en la irradiación, de 848.55 W/m^2 a 189.94 W/m^2 . La temperatura del aceite sufre igualmente una caída radical de los $94.58 \text{ }^\circ\text{C}$ a los $57.02 \text{ }^\circ\text{C}$. En la temperatura del agua se aprecia un aumento lento de $39.98 \text{ }^\circ\text{C}$ a los $43.73 \text{ }^\circ\text{C}$.

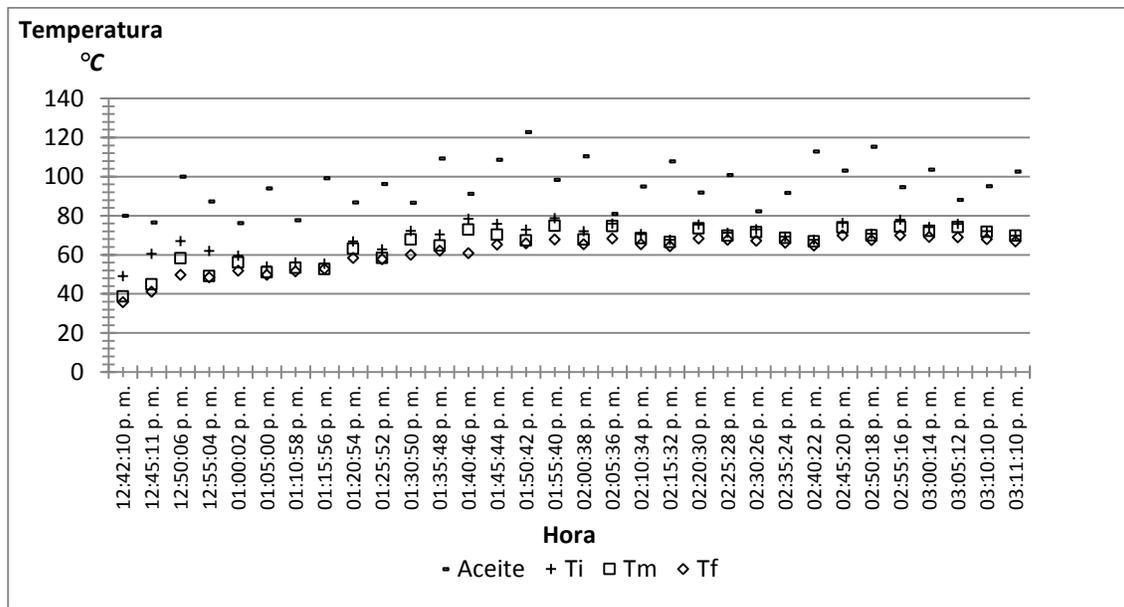
Durante casi todo el periodo existe una elevación de temperatura mayor en el agua con un promedio de 39.98 °C con respecto de la temperatura interna, la cual tuvo un promedio de 38.43 °C. Esto demuestra que el tiempo de bombeo resulto tener un mayor efecto que el anterior, gracias a la ganancia de calor registrada en el agua y su comparación con la temperatura interna. En la gráfica 4.5 se observó un periodo comprendido entre las 12:41 h y las 15:11 h Lo que se hizo en esta prueba fue dar un tiempo promedio para la estabilización de las temperaturas en el serpentín (T_i , T_m , T_f), lo cual dio como resultado que el aceite caliente se encontrara en todo el recorrido del serpentín. La variación y estabilización de las temperaturas se muestra en la gráfica 5.1. Con los datos recabados, se obtuvo un promedio de tiempo de 12.70 segundos para el bombeo. Se muestran los tiempos de bombeo máximo, mínimo y promedio en la tabla 4.1.



Gráfica 5.3. Prueba de bombeo basada en la estabilización del serpentín.

Tabla 4.1. Tiempos de bombeo.

Periodos	Tiempos de bombeo [segundos]		
	Máximo	Mínimo	Promedio
12:41-13:10	19.72	10.49	12.77
13:11-13:40	24.68	13.43	14.03
13:41-14:10	11.48	10.07	11.23
14:11-14:40	15.54	11.34	12.94
14:41-15:11	12.67	12.36	12.52

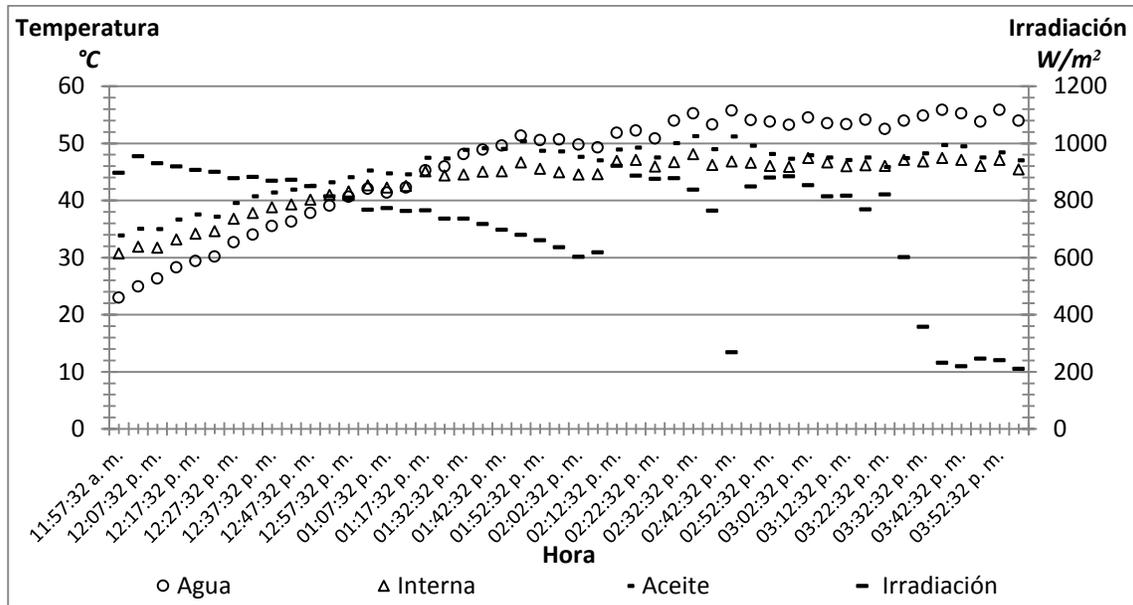


Gráfica 5.4. Temperaturas del serpentín.

Durante la prueba, mostrada en la gráfica 5.4, se bombeó cada 5 minutos el aceite, mientras fue monitoreada la estabilización de las temperaturas del serpentín, se observó que durante este intervalo en el que se mantiene el depósito de aceite en el foco de la parábola para su calentamiento, sólo en los primeros 3.5 minutos en promedio, se mantiene una elevación de la temperatura en el depósito de aceite. En los siguientes 1.5 minutos, existe una fluctuación muy pequeña, esta incertidumbre es de ± 0.70 °C por lo que la consideramos despreciable para fines prácticos.

Con base en lo anterior para las pruebas posteriores se consideró un bombeo de aceite cada 3.5 minutos.

La gráfica 5.4 muestra el comportamiento del desalador expuesto al sol, por un lapso de 4 hrs. y con el paraboloide cubierto. Se le vertieron 5 l al evaporador.



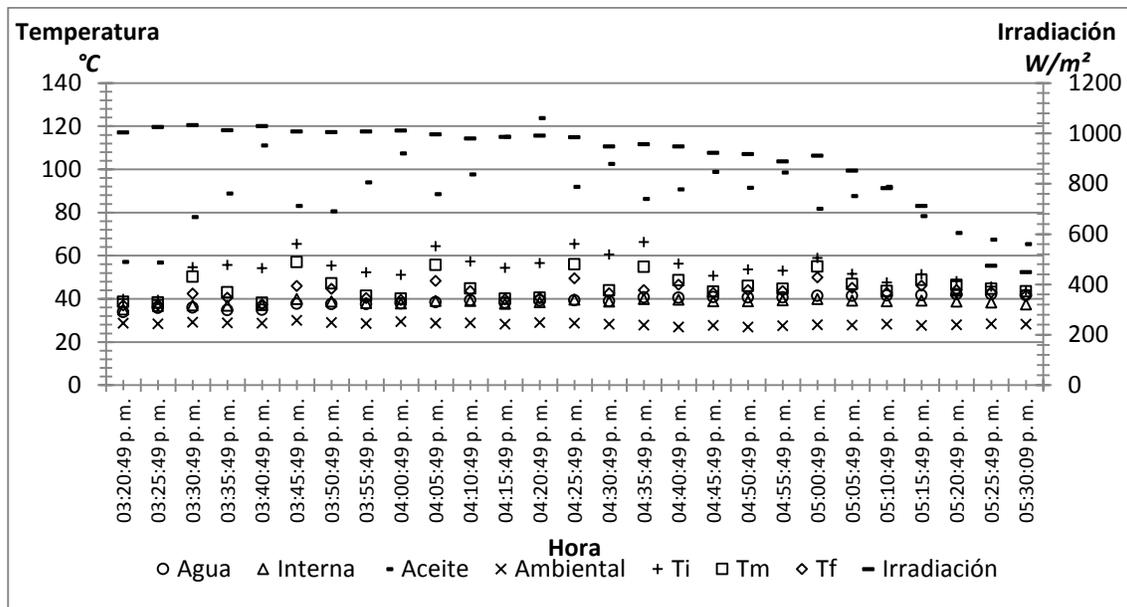
Gráfica 5.5. Resultado comparativo entre agua, aceite, temperatura interna e irradiación de la prueba de efecto invernadero.

En la gráfica 5.5 se puede observar que la línea de irradiación es descendente comenzando a las 11:57 am con una irradiación de 898.43 W/m², a las 02:03 pm la irradiación disminuye a los 369 W/m². Este descenso se debe a la llegada de nubosidad durante el día, a partir de las 02:03 pm la constante llegada de nubes hace que la irradiación captada por el piranómetro varíe drásticamente con ascensos y descensos desde los 933 W/m² a los 211 W/m².

La temperatura ambiental promedio fue de 30.34 °C y se mantuvo estable durante el periodo de la prueba, mientras que la temperatura interna fue ascendente y promedia 43.44 °C durante la prueba, teniendo así una ganancia de 13.10 °C en el ambiente interno por el efecto invernadero.

El agua parte de 23.02 °C y se eleva hasta los 56.52 °C en un lapso de 3.37 h El serpentín tiende a adquirir una temperatura similar a la del agua +/- 2.86 °C en promedio durante toda la prueba.

A pesar de que la irradiación es baja, la temperatura del agua continua en ascenso, todo esto debido al efecto invernadero que surge dentro del desalador solar. Se obtuvieron 300 ml de agua en 2 horas con 7 minutos.



Gráfica 5.6. Resultado comparativo entre agua, aceite, temperatura interna e irradiación de la prueba serpentín-deposito aceite.

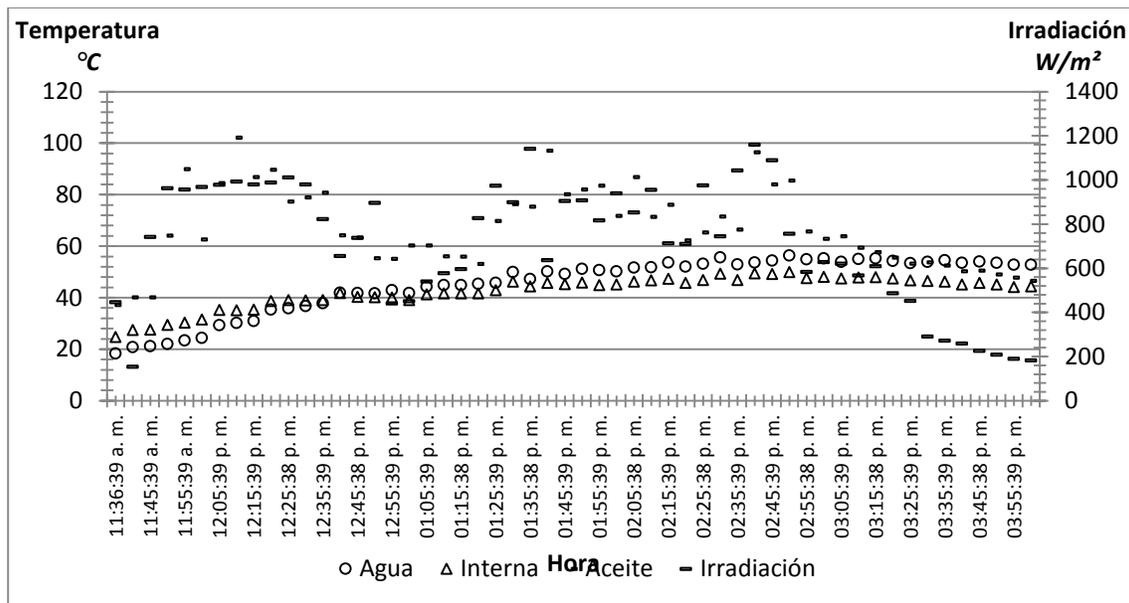
En la gráfica 4.7 tenemos un periodo comprendido entre las 15:20 y las 17:27 horas, tiempo en el que se mantuvo cubierto el condensador del prototipo para observar el comportamiento del sistema parábola-serpentín. Los datos observados en la gráfica 5.6 nos muestran una tendencia de irradiación decreciente, y alrededor de las 17:00 h encontramos una variación importante en los valores y una importante caída de la misma.

El aceite se mantiene con una temperatura promedio de 102.67 °C, variando en los tiempos de bombeo. Mientras las temperaturas del serpentín T_i , T_m y T_f también se mantienen con valores con la misma tendencia que el aceite en el depósito.

Se observa la tendencia de las temperaturas del agua e interna en el prototipo, variando entre ellas ligeramente en los primeros minutos de las 15:20 a las 15:52 horas, durante este lapso la temperatura interna (37.76 °C en promedio) estuvo por encima de los valores de la temperatura del agua (36.28 °C en promedio). Mientras el resto del periodo desde las 15:53 h hasta las 17:27 horas la temperatura del agua (40.42 °C en promedio) se mantuvo por encima de la temperatura ambiente (39.17 °C en promedio).

Existe una ganancia de $8.44\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la temperatura del agua durante todo este periodo, mientras en la temperatura interna hay una ganancia de $3.88\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se observa que realmente existe una ganancia de calor en el agua gracias al serpentín. Existe una ganancia en la temperatura interna gracias al incremento de la temperatura del agua. Se vertieron 5 l de agua y se recuperan 500 ml de destilado durante las 2 horas con 7 minutos de prueba.

De la prueba de eficiencia 1 (mostrada en el gráfica 4.8) se extrae la gráfica 5.7 realizando un análisis de las temperaturas del agua, interna, aceite e irradiación. En esta prueba se expuso el desalador al sol en un día seminublado por un periodo de 4 h con 24 min con una temperatura ambiental promedio de $27.29\text{ }^{\circ}\text{C}$, se le vertió 5 l de agua al evaporador y se estuvo bombeando el aceite por 13 s cada 3.5 min .



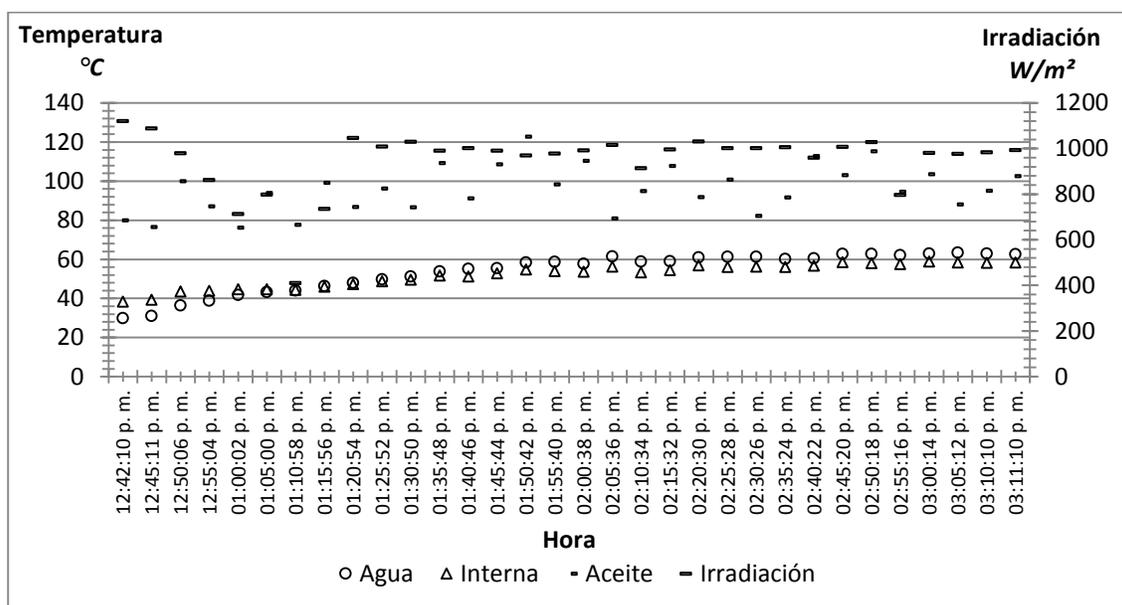
5.7.- Prueba de eficiencia 1.

Se puede observar que la irradiación es variable debido al constante paso de nubes, al inicio de la prueba se registra una irradiación de 444.74 W/m^2 la cual desciende a los 127.12 W/m^2 a las $11:38\text{ am}$, posteriormente se nota un incremento y se registra una irradiación de 1025.42 W/m^2 a las $11:48\text{ am}$, a partir de ese momento se observa una fluctuación de irradiación hasta las $03:29\text{ pm}$ donde la irradiación comienza a descender paulatinamente y concluir la prueba con una irradiación de 184.56 W/m^2 . La irradiación máxima registrada fue de 1223.38 W/m^2 a las $02:36\text{ pm}$ y la mínima de 104.80 W/m^2 a las $11:40\text{ am}$.

La temperatura del aceite depende de la irradiación solar, al inicio de la prueba el aceite se encuentra a una temperatura de 36.99 °C y en 17 min. se eleva a 94.99 °C , de las 11:53 pm a las 12:32 pm el aceite se mantiene en promedio a los 83.11 °C, a partir de las 12:32 pm la temperatura del aceite comienza a descender y se mantiene en promedio a los 60.08 °C hasta la 1:22 pm. A partir de la 1:22 pm la temperatura del aceite comienza a ascender nuevamente y se observó una fluctuación hasta las 2:44 pm promediando el aceite una temperatura de 77.09 °C, la temperatura del aceite comienza a descender paulatinamente a partir de las 2:44 pm debido a la baja irradiación hasta finalizar la prueba. La temperatura máxima del aceite fue de 108.97 °C y la mínima de 31.85 °C promediando durante la prueba 67.73°C.

La temperatura ambiental interna promedio fue 42.60 °C la cual es en promedio 15.31 °C superior a la temperatura ambiental externa durante la prueba.

La temperatura del agua inicial fue de 18.13 °C y se mantuvo en constante aumento durante la prueba, obteniéndose una temperatura máxima del agua de 56.74 °C. Al final de la prueba se recolectaron 823 ml de agua durante las 4 horas con 20 minutos.



5.8.- Prueba de eficiencia 2.

En la gráfica 5.8 se muestran los resultados de una segunda prueba de eficiencia, para la cual tenemos un periodo de fluctuación importante en la irradiación entre las 12:45 y las 13:12 horas debido a nubosidad, con valores que van desde los 1354.00 hasta los 409.26 W/m^2 . Durante este periodo encontramos un descenso en los valores de la temperatura del aceite en el depósito con variantes que van desde los 70 °C hasta los 120 °C.

En parte también gracias al efecto invernadero se observa que la temperatura del agua y la temperatura interna se mantienen en un estado constante de elevación, en un inicio la temperatura interna es mayor que la del agua (promediando una diferencia de 4 °C), esto hasta las 13:45 horas, tiempo en el que la temperatura de agua sobrepasa a la temperatura interna, siendo de esta manera hasta el final con una diferencia promedio de 3.74 °C.

Durante esta prueba se obtienen 743 *ml* de destilado en un lapso de 2 horas con 29 minutos.

Conclusiones.

El desalador se manufacturó con material, equipo y herramienta de fácil acceso para un gran porcentaje de la población lo que da como resultado que sea económico. Su costo fue de \$ 2103.12 M.N. por lo que a comparación de los desaladores solares disponibles en el mercado, de los cuales el de menor costo tiene un valor de \$2600.00 M.N. (considerando el dólar a \$13.00 M.N.) más gastos de envío, es económico, además de que el diseño puede llegar a tener modificaciones adaptándose al terreno en el que se utilice, lo que repercutiría en el precio del mismo.

Otro de los puntos de comparación es la superficie requerida por cada uno de los equipos presentados. Todos estos equipos fueron diseñados con una superficie mayor a los $0.80 m^2$, mientras el desalador propuesto en este trabajo requiere de una superficie de $0.35 m^2$ de superficie útil.

En las pruebas que se le realizaron al desalador muestran que el aceite se llega a calentar en promedio $99.80 ^\circ C$ a una irradiación de $989.33 W/m^2$, el agua que se encuentra en el evaporador alcanza un valor promedio de $55.15 ^\circ C$, la temperatura ambiente interna llega a ser superior a la temperatura ambiental teniendo una diferencia de $17.04 ^\circ C$ en promedio. El agua que se recuperó en un día en óptimas condiciones ambientales es de $149.40 ml/hr$. Por lo que puede ser una aplicación viable para su uso en zonas donde el abastecimiento de agua es insuficiente. Gracias a los resultados obtenidos, observamos la funcionalidad de ambos sistemas (efecto invernadero y parábola-serpentín). Por ambos sistemas tenemos una ganancia de calor significativa en la temperatura del agua y en la temperatura interna, siempre con la primera por encima durante la mayor cantidad de tiempo. Estos resultados nos hablan de un buen funcionamiento del prototipo.

Comparando la superficie útil con la producción/día de agua obtenemos una relación que compete con los otros diseños, por ejemplo el promedio de agua recuperada durante 10 horas de operación fue de 1.5 litros de destilado por día, lo que equivale a $4.29 l/m^2$, comparándolo contra el AquaCone que produce $1.41 l/m^2$, se observa que el nuestro presenta una mayor eficiencia. Esto comprueba que se lograron los objetivos de esta tesis.

Con el prototipo construido alumnos interesados podrán realizar diferentes pruebas para obtener una mayor eficiencia o pruebas con distinto tipo de agua. Dentro de las mejoras posibles, para aumentar la eficiencia podemos listar las siguientes:

- Separar el depósito de agua destilada del área del condensador.
- Cambiar el material de manufactura del serpentín.

- Cambiar el diseño del serpentín considerando la altura máxima.
- Manufactura del depósito de agua con un material distinto.
- Depósito de aceite con distinta geometría.

Con este proyecto se promueve el desarrollo de tecnología nacional y se pretende evitar la dependencia tecnológica con el extranjero, la cual nos beneficia a todos.

Bibliografía.

Bibliografía

Almanza, R. y Muñoz- Gutiérrez, F. Ingeniería de la energía solar. 1ª Edición, México, Cromocolor, 2004.

Blanca Jiménez y Alma Chavez. “Tecnología de bajo costo para aprovechar confiablemente las aguas de la Ciudad de México en riego agrícola”. Instituto de Ingeniería. UNAM. México, 1999.

Blanca. J. Cisneros, H. Garduño and R. Domínguez. “Water availability in Mexico considering quantity, quality and uses”. Instituto de Ingeniería, UNAM, México, 1998.

Comisión Nacional del Agua. “Factibilidad del proyecto integral para el abastecimiento de agua potable a la zona metropolitana del Valle de México”. Gerencia del proyecto de abastecimiento de agua potable a la zona metropolitana del Valle de México. Grupo de ingeniería en consultoría y obras, S. A. de C. V. México, 1997.

John A. Duffie And William A. Beckman. Solar engineering of thermal processes. John wiley & sons. 1991.

Omar Guillén, Solís. Energías Renovables: Una perspectiva ingenieril. 1ª Edición, México, Trillas, 2004.

Rau, Hans. Energía solar: aplicaciones prácticas. 1ª Edición, España, Marcombo, 1981.

Víctor Hernández G. “Comparación energética de las opciones para el suministro del agua a la zona metropolitana del Valle de México”, Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería. UNAM, México, marzo del 2000. 156 pp.

Yunus A. Çengel. Transferencia de calor y masa. Tercera edición. Mc graw hill. 2007.

Cibergrafía:

<http://practicalaction.org/media/preview/10524>

http://books.google.com.mx/books?id=B_E33NK7-

[YkC&pg=PA434&lpg=PA434&dq=delyannis+1973&source=bl&ots=adOzimk1Ek&sig=E6597uSNHTw0D3ELbttFZvcIJBQ&hl=es&sa=X&ei=sxD4UeSvPIToqwG944G4Dw&ved=0CC0Q6AEwAA#v=onepage&q=delyannis%201973&f=false](http://books.google.com.mx/books?id=YkC&pg=PA434&lpg=PA434&dq=delyannis+1973&source=bl&ots=adOzimk1Ek&sig=E6597uSNHTw0D3ELbttFZvcIJBQ&hl=es&sa=X&ei=sxD4UeSvPIToqwG944G4Dw&ved=0CC0Q6AEwAA#v=onepage&q=delyannis%201973&f=false)

<http://unesdoc.unesco.org/images/0006/000662/066285so.pdf>

http://www.acquamatter.com/desalacion_del_agua.htm

<http://www.globalfiberglass.com.mx>