



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---



## **FACULTAD DE INGENIERÍA**

DISEÑO DE UN CALENTADOR SOLAR DE PLACA DE CALOR PARA CALENTAMIENTO DE AGUA PARA USO DOMESTICO.

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

P R E S E N T A N:

**MARCO ANTONIO CONDE SANCHEZ  
ZAMIR ALBERTO RAMOS MATEOS**

ASESOR: Mtro. en Ing. JOSÉ ESTEBAN BARRIOS BONILLA

Ciudad Universitaria, 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.

## Contenido

Índice de figuras .....	4
Índice de imágenes.....	6
Índice de tablas .....	6
Índice de Graficas .....	6
RESUMEN .....	8
INTRODUCCIÓN .....	8
JUSTIFICACION .....	9
CAPITULO I. CONSIDERACIONES TEORICAS.....	11
1.1 Energía, tipos de manifestación y clasificación.....	11
1.2 Energías Alternas.....	12
1.2.1 Energía Eólica .....	12
1.2.2 Energía Geotérmica.....	16
1.2.3 Energía Undimotriz.....	18
1.2.4 Energía Mareomotriz .....	21
1.2.5 Energía Hidráulica .....	23
1.3 Características del sol.....	25
1.3.1 El espectro electromagnético .....	26
1.3.2 Energía Solar.....	27
1.3.2.1 Energía Solar Fotovoltaica.....	31
1.3.2.2 Energía Solar Térmica.....	32
1.4 La Transferencia de Calor .....	33
1.4.1 La Transferencia de calor en la ingeniería.....	33
1.4.1.1 Conducción.....	34
1.4.1.2 Convección .....	35
1.4.1.2.1 Convección Libre .....	35
1.4.1.2.2 Convección Forzada.....	35
1.4.1.3 Radiación .....	35
1.4.2 Transferencia de calor por cambio de fase.....	36

1.4.2.1 Ebullición .....	36
1.4.2.2 Condensación .....	36
1.4.3 Interacción de los procesos ebullición y condensación. ....	36
1.4.3.1 La curva de saturación de una sustancia pura. ....	37
1.4.3.1 Calor latente de evaporación/condensación, $\Lambda$ , o $\lambda$ : .....	38
1.4.3.3 Punto crítico .....	38
1.4.3.4 Transferencia de calor en ebullición. ....	38
1.4.3.5 Transferencia de calor en la condensación. ....	39
1.5 Instalaciones de energía solar térmica.....	39
1.5.1 Instalaciones de Baja temperatura .....	40
1.5.1.1 Circuitos Abiertos .....	40
1.5.1.2 Circuitos Cerrados .....	41
1.5.2 Partes principales de un sistema de baja temperatura. ....	41
1.5.2.1 Subsistemas de Captación.....	42
1.5.2.1.1 Colectores solares de placa plana (Flat Plate Collectors).....	42
1.5.2.1.1.1 Funcionamiento de los colectores solares de placa plana con cubierta.....	43
1.5.2.1.1.2 Componentes de un colector de placas planas con cubierta. ....	47
1.5.2.1.1.3 Configuración de tubos internos en los colectores solares planos con cubierta....	51
1.5.2.1.1.4 Ventajas y desventajas de los colectores de placas planas. ....	52
1.5.2.1.2 Colectores Concentradores Parabólicos Compuestos (CPC) Estacionarios .....	52
1.5.2.1.2.1 Ventajas y Desventajas.....	53
1.5.2.1.3 Colectores de tubo de vacío.....	54
1.5.2.1.3.1 Colectores de tubo de vacío de flujo directo. ....	54
1.5.2.1.3.2 Ventajas y Desventajas.....	57
1.5.2.1.3.3 Colectores de tubos de calor (heat pipe) .....	59
1.5.2.1.3.4 Ventajas y Desventajas.....	60
1.5.2.2 Inclinación de los colectores solares .....	60
1.5.2.3 Subsistema de almacenamiento. ....	61
1.5.2.4 Subsistema de distribución y consumo .....	62
1.5.2.4.1 Circulación natural o por termosifón .....	62
1.5.2.4.2 Circulación Forzada .....	63
1.5.3 Criterios de selección de un calentador solar. ....	64
1.5.3.1 Modelos de calentadores solares disponibles en México.....	65

1.6 Fluidos de Trabajo .....	73
1.6.1 Tipos de fluidos de trabajo.....	73
1.6.1.1 Aceites y Silicón .....	73
1.6.1.2 Fluidos orgánicos.....	73
1.6.2 Los anticongelantes como fluido de trabajo.....	73
Capitulo 2.- DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	76
2.1 Elaboración de un modelo descriptivo del calentador solar con software CAD en 3D Y 2D. .....	76
2.2 Fabricación del Prototipo .....	78
2.2.1 Primera Fase.....	78
2.2.2 Segunda Fase.....	81
2.2.3 Tercera fase .....	82
2.3 Metodología para experimentación.....	85
2.4 Selección del fluido de Trabajo .....	85
2.4.1 Cálculo del Prandtl .....	86
2.5 Memoria de cálculo descriptiva .....	87
2.6 Memoria de cálculo numérica .....	88
2.7 Graficas de resultados.....	91
2.7.1 Temperatura-Tiempo .....	91
2.7.2 Calor Absorbido-Cambio de temperatura.....	96
Capitulo 3.- ANALISIS DE RESULTADOS. ....	101
Capitulo 4.- CONCLUSIONES.....	101
ANEXOS. ....	103
BIBLIOGRAFIA.....	105

## Índice de figuras

FIG. 1- SERIE DE AEROGENERADORES EN UN PARQUE EOLICO,.....	13
FIG. 2- COMPONENTES DE UN AEROGENERADOR.....	14
FIG. 3-. TURBINA DE EJE VERTICAL.....	14

FIG. 4- FUENTE DE ENERGIA GEOTERMICA.....	17
FIG. 5- PLANTA GEOTERMICA.....	17
FIG. 6- MOVIMIENTO INTERNO DE LA OLA.....	19
FIG. 7- FORMACION DE UNA OLA.....	19
FIG. 8- FORMAS DE APROVECHAMIENTO DE LAS OLAS.....	20
FIG. 9- CENTRAL MAREOMOTRIZ.....	21
FIG. 10- CENTRAL HIDRAULICA.....	24
FIG. 11- REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL SOL.....	26
FIG. 12- TIPOS DE RADIACION.....	27
FIG. 13- TIPOS DE RADIACION SOLAR.....	29
FIG. 14- PIRANOMETRO.....	29
FIG. 15- EFECTO FOTOVOLTAICO.....	31
FIG. 16- CURVA DE SATURACION DEL AGUA.....	37
FIG. 17- CIRCUITO ABIERTO.....	40
FIG. 18- CIRCUITO CERRADO.....	41
FIG. 19- COLECTORES SIN CUBIERTA.....	43
FIG. 20- COMPONENTES DE UN COLECTOR CON CUBIERTA.....	43
FIG. 21- INCIDENCIA DE LA RADIACION SOLAR EN LA CUBIERTA DEL COLECTOR.....	44
FIG. 22- CURVA DE EMISION RADIANTE.....	45
FIG. 23- EFECTO INVERNADERO DE UN COLECTOR CON CUBIERTA.....	46
FIG. 24- CONFIGURACION DE TUBO EN SERPENTIN.....	51
FIG. 25- CONFIGURACION DE TUBOS EN PARALELO.....	51
FIG. 26- COLECTORES CONCENTRADORES PARABOLICOS.....	53
FIG. 27- TUBO DE VACIO DE FLUJO DIRECTO.....	55
FIG. 28- COLECTOR DE TUBOS.....	56
FIG. 29- ESQUEMA DE INSTALACION DE UN CALENTADOR SOLAR.....	56
FIG. 30- DICTAMEN DE IDONEIDAD TECNICA.....	58
FIG. 31- FUNCIONAMIENTO DE UN TUBO DE CALOR.....	59
FIG. 32- TUBOS DE CALOR (HEAT PIPE).....	59
FIG. 33- INCLINACION DE UN COLECTOR SOLAR.....	61
FIG. 34- CIRCULACION POR TERMOSIFON.....	63
FIG. 35- CIRCULACION FORZADA.....	64
FIG. 36- FICHA TECNICA DE UN CALENTADOR PLANO.....	66
FIG. 37- FICHA TECNICA DE UN CALENTADOR SOLAR POR GRAVEDAD.....	67
FIG. 38- FICHA TECNICA DE UN CALENTADOR PARA ALTA PRESION.....	68
FIG. 39- LISTA DE PRECIOS DE CALENTADORES SOLARES.....	69
FIG. 40- FICHA TECNICA DE CALENTADOR SOLAR DE TUBOS EN PARALELO.....	70
FIG. 41- FICHA TECNICA DE UN CALENTADOR DE TUBOS EVACUADOS.....	72
FIG. 42- CURVA DEL ETILENGLICOL.....	75
FIG. 43- PLACA DE CALOR CON ALETAS.....	77
FIG. 44- COMPONENTES DEL COLECTOR SOLAR DE PLACA DE CALOR.....	78
FIG. 45- TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	78

## Índice de imágenes

IMG. 1- PLACA DE COBRE .....	79
IMG. 2- CONFORMADO DE LA PLACA .....	79
IMG. 3- PREFORMADO DE UN PRISMA RECTANGULAR .....	79
IMG. 4- APLICACION DE SOLDADURA .....	80
IMG. 5- SOLDADURA DE LAS ALETAS .....	80
IMG. 6- COLECTOR SOLAR .....	80
IMG. 7-COLOCACION DE PLACA DE ACRILICO .....	81
IMG. 8-TANQUE DE ALMACENAMIENTO .....	81
IMG. 9-UNION PLACA-TANQUE.....	82
IMG. 10-INTRODUCCION DEL FLUIDO DE TRABAJO.....	83
IMG. 11-GENERACION DE VACIO .....	83
IMG. 12-AISLAMIENTO DEL TANQUE .....	83
IMG. 13-INSERCIÓN DEL INDICADOR DE TEMPERATURA .....	84
IMG. 14-EQUIPO TERMINADO .....	84
IMG. 15-EQUIPO EN PRUEBA .....	84

## Índice de tablas

Tabla 1-VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE COLECTORES DE PLACAS PLANAS .....	52
Tabla 2-VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS COLECTORES CONCENTRADORES PARABOLICOS .....	53
Tabla 3-VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN COLECTOR DE TUBOS EVACUADOS.....	57
Tabla 4-VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN COLECTOR DE TUBOS DE CALOR .....	60
Tabla 5-SELECCIÓN DEL FLUIDO DE TRABAJO DE ACUERDO AL NUMERO DE PRENDTL.....	85

## Índice de Graficas

Grafica 1- T V.S t 08/SEPTIEMBRE/2012.....	91
Grafica 2- T V.S t 15/SEPTIEMBRE/2012.....	91
Grafica 3- T V.S t 22/SEPTIEMBRE/2012.....	92
Grafica 4- T V.S t 16/MARZO/2013.....	92
Grafica 5- T V.S t 17/MARZO/2013.....	93
Grafica 6- T V.S t 18/MARZO/2013.....	93
Grafica 7. T V.S t 19/MARZO/2013.....	94
Grafica 8- T V.S t 20/MARZO/2013.....	94

Grafica 9- T.V.S t 21/MARZO/2013.....	95
Grafica 10- T.V.S t 22/MARZO/2013.....	95
Grafica 11. Qa v.s delta T 08/SEPTIEMBRE/2012 .....	96
Grafica 12- Qa v.s delta T 15/SEPTIEMBRE/2012.....	96
Grafica 13- Qa v.s delta T 22/SEPTIEMBRE/2012.....	97
Grafica 14-Qa v.s delta T 16/MARZO/2013.....	97
Grafica 15- Qa v.s delta T 17/MARZO/2013.....	98
Grafica 16- Qa v.s delta T 18/MARZO/2013.....	98
Grafica 17- Qa v.s delta T 19/MARZO/2013.....	99
Grafica 18- Qa v.s delta T 20/MARZO/2013.....	99
Grafica 19- Qa v.s delta T 21/MARZO/2013.....	100
Grafica 20- Qa v.s delta T 22/MARZO/2013.....	100



## RESUMEN

El presente trabajo consiste en el diseño innovador de un calentador solar, en lo sucesivo se denomina “Calentador solar de placa de calor (Heat plate)”, cuyo principio de funcionamiento se basa en el fenómeno de transferencia de calor presentándose el cambio de fase (ebullición y condensación) de un fluido de trabajo.

La importancia de presentar alternativas para el aprovechamiento de las energías alternas, en este caso la energía solar, radica no solo en la eficiencia energética sino en aspectos como el mantenimiento del equipo, el espacio que ocupa para su instalación, la versatilidad para su transportación e incluso la estética.

Uno de los objetivos de este trabajo es presentar las ventajas en el diseño de un calentador solar para calentamiento de agua para uso doméstico, como ejemplos: que sea fácil de instalar, que sea modular (construcción por módulos), que requiera el mínimo mantenimiento, que supere o iguale la eficiencia estándar en el mercado y sobre todo que sea práctico y funcional.

En base a estos requisitos y objetivos, se presenta el diseño conceptual y de detalle del “Calentador solar de placa de calor”, incluyendo la parte de construcción, es por ello que debido al planteamiento de las exigencias fue necesario la aplicación de herramientas digitales para la concepción del proyecto.

La aplicación de las nuevas herramientas para diseño mecánico en tercera dimensión permiten la construcción de prototipos para la experimentación y comprobación de la hipótesis, es por ello que se presenta un capítulo exclusivo (CAPITULO 2) para la etapa de diseño conceptual y diseño para la fabricación utilizando dos de los software más conocidos en el ámbito industrial “AUTO-CAD” y “CATIA”.

El calentador solar de placa de calor alcanzó una eficiencia promedio del 21,5%, resultado que supera la eficiencia energética de los calentadores solares planos comerciales, que se encuentra en un rango entre el 7 y 9%. La eficiencia máxima calculada fue del 53% en el mes de septiembre del 2012 y la mínima fue de 10.4% en el mes de marzo del 2013.

## INTRODUCCIÓN

Para lograr que una nación se desarrolle de manera eficiente debe cubrir tres aspectos básicos: ALIMENTACION, AGUA Y ENERGÍA; según el Dr. Rafael Almanza Delgado en su libro “Ingeniería de la Energía solar I”, Ed. 1.

De acuerdo al documento “La Crisis del Sector energético en México” (publicado en octubre 2012), el sector energético en México vive una profunda crisis que exige soluciones de fondo. La problemática del sector energético en general está directamente vinculada con el desarrollo y la explotación del petróleo. Según PEMEX de acuerdo a su informe de producción (publicado en [www.pemex.com](http://www.pemex.com)), la principal razón tiene que ver con la declinación del principal yacimiento de petróleo que tiene el país, Cantarell. Este yacimiento es desde 1979 la principal fuente de producción de hidrocarburos del país. De 1979 al 2012, PEMEX produjo 29 mil millones de barriles de petróleo, de los cuales, Cantarell proveyó 13 mil millones equivalente al 45% de la producción total en este periodo. En diciembre de 2003 Cantarell alcanzó su nivel más elevado de producción diaria con 2.21 millones de barriles (MDB). A partir de entonces, inició un proceso natural y previsto de declinación que lo llevó en 2007 a una producción diaria promedio de 1.5 millones de barriles diarios, una disminución de 710 mil barriles diarios.

Según un artículo publicado por Green Peace en el año 2012 (Calentadores Solares: Energía renovable en tu hogar), en la República Mexicana el 91% de la energía se obtiene por la quema de algún combustible fósil o derivado de la refinación del petróleo lo cual implica que las necesidades energéticas del país dependan, en su mayor parte, de un solo producto. Debido a que el país no tiene la capacidad ya que carece de suficientes refinerías para procesar y refinar la materia prima, se crea una dependencia que trae como consecuencia la importación de productos derivados del petróleo. Según los datos mostrados en la página oficial de PEMEX ([www.pemex.com](http://www.pemex.com)), en el periodo de enero-septiembre del 2009 México importó 8.453 millones de barriles diarios de petrolíferos, 727,900 barriles diarios de gas licuado y 85,400 barriles diarios de petroquímicos.

Entre los primeros, los que se compran en mayor volumen son las gasolinas, el gas licuado y el propano, estos productos son importados de países como Estados Unidos, Holanda, Italia, Argentina, España, Arabia Saudita, Inglaterra, Corea, Turquía, Brasil, Francia, Singapur, Colombia, Trinidad y Tobago, Canadá, Egipto, Suecia, Chile, Taiwán y Rumania, entre otros.

La problemática es que a mayor demanda del combustible el precio tiende a ser mayor, ocasionando que el ser humano se vea obligado a buscar formas alternas de las cuales pueda obtener energía, pero la cuestión no es solo la obtención de la misma sino que además debe ser limpia, es decir, que no sea perjudicial para el ser humano y el medio ambiente.

## **JUSTIFICACION.**

La energía solar es una alternativa para lograr reducir emisiones de contaminantes a la atmósfera que nos afectan día con día, además de que prácticamente está disponible los 365 días del año y se puede considerar como una fuente inagotable, de la cual se puede obtener una gran cantidad de energía que puede cubrir necesidades para uso doméstico e industrial. La radiación solar recibida en la ciudad de México en promedio es de 18 MJ/m<sup>2</sup> por día según (Observatorio de radiación solar, instituto de geofísica, UNAM, promedio 1984-2004).

De acuerdo al artículo (La Problemática del Agua en México y el Mundo, Samuel T. Coleridge), en promedio, una persona utiliza en la zona metropolitana de México 300 litros de agua diarios por

persona, los cuales se distribuyen de la siguiente manera: regadera 9 litros/minuto (normado), cocina 4.5 litros/minuto (fregadero o tarja) y lavabo: 6.4 litros /minuto.

La temperatura del agua para aseo personal se encuentra en un rango de 32°C a 42°C (Biblioteca digital de la medicina tradicional mexicana). Para poder elevar la temperatura del agua para esa aplicación es necesario el uso de calentadores domésticos, los cuales utilizan como combustible gas LP o gas natural.

Una publicación de la PROFECO que lleva por nombre "GAS NATURAL Y LP" menciona que: La producción de gas LP en México se realiza desde principios de siglo XX, sin embargo, fue hasta 1946 cuando se inició su comercialización como estrategia para sustituir la utilización de combustibles vegetales (leña, carbón, petróleo) en las casas de las zonas urbanas. El gas LP es la principal alternativa de combustible en nuestro país, ya que llega a más de 90 millones de mexicanos a través del uso doméstico (ocho de cada diez hogares mexicanos utilizan este energético), industrial y de carburación automotriz. Actualmente, a nivel mundial, México ocupa el cuarto lugar en consumo de gas LP después de Estados Unidos, Japón y China, además de encabezar el primer lugar de consumo per cápita de gas LP a nivel mundial, al representar aproximadamente 68 kg por habitante (Prospectiva del mercado gas licuado de petróleo 2009-2004).

Considerando lo anterior y tratando de resolver la problemática se han diseñado diferentes tipos de calentadores solares domésticos cuya finalidad es reducir al mínimo el consumo de gas. Según el artículo (Baños de sol, publicado en [www.unamiradaalaciencia.unam.mx](http://www.unamiradaalaciencia.unam.mx)) un calentador solar que mide 1.5 A 2 m<sup>2</sup> genera en un día con una buena radiación entre 120 y 150 litros de agua a una temperatura de 55°C. De acuerdo a las estadísticas el uso de un calentador solar térmico permite disminuir el consumo de gas entre un 48% y un 66%.

A pesar de esos beneficios estos calentadores implican una serie de problemas debido a una mala conceptualización en el diseño, ocasionando problemas como: sobrecalentamiento, rotura de los tubos, corrosión, suciedad, etc. Los cuales impactan en la economía del usuario y la eficiencia de estos equipos.

Con lo anterior los objetivos son:

### **General.**

Aplicar el conocimiento teórico adquirido para el diseño e innovación de un sistema para calentamiento de agua sanitaria agua caliente sanitaria (ACS) que funcione con un fluido de trabajo que transfiera la mayor cantidad de calor al agua por medio del cambio de fase del fluido, siendo este diseño práctico, de fácil mantenimiento y eficiente.

### **Particulares**

1. Diseño y construcción de un colector solar de placa de calor (Heat plate)
2. Selección de un fluido con capacidad de almacenamiento de calor

# CAPITULO I. CONSIDERACIONES TEORICAS

## 1.1 Energía, tipos de manifestación y clasificación.

La palabra energía se define como una propiedad ó atributo de un cuerpo ó sistema material en virtud de la cual, éstos pueden transformarse modificando su situación o estado así como actuar sobre otros, originando procesos de transformación en ellos<sup>1</sup>.

Existen diferentes tipos de manifestaciones de la energía por mencionar algunos<sup>2</sup>:

- Gravitatoria
- Cinética
- Química
- Eléctrica
- Magnética
- Nuclear
- Radiante

En algunos casos existen las posibilidades de transformarse entre sí, siempre y cuando sea respetando el principio de la conservación de la energía “La energía no se crea, ni se destruye solo se transforma”, enunciado por Antonio Lavoisier.

Las fuentes de energía pueden clasificarse de dos formas: renovables y no renovables.

- Energías renovables: son aquellas cuyo potencial es inagotable, ya que provienen de la energía que llega a nuestro planeta de forma continua, como consecuencia de la radiación solar (energía eólica, undimotriz, hidráulica) o de la atracción gravitatoria de la luna (energía mareomotriz). La energía geotérmica es considerada energía renovable pero no depende de la radiación solar ni de la atracción gravitatoria.
- Energías no renovables: son aquellas que existen en la naturaleza en una cantidad limitada. No se renuevan a corto plazo y por eso se agotan cuando se utilizan, la demanda mundial de energía en la actualidad se satisface fundamentalmente con este tipo de fuentes energéticas como son: el carbón, el petróleo, el gas natural y el uranio.

Existe otra manera de clasificación de las energías de acuerdo a la forma de utilización: primaria, secundaria y útil.

- Energía primaria: es la que se obtiene directamente de la naturaleza y corresponde a un tipo de energía almacenada o disponible, como por ejemplo el petróleo, el carbón, el gas natural, el uranio y las energías renovables.
- Energía secundaria (también conocida como energía final): se obtiene a partir de transformaciones de la energía primaria. Ejemplos de esta categoría son la electricidad o la gasolina.

---

<sup>1</sup> Energías Renovables y eficiencia energética, 2008

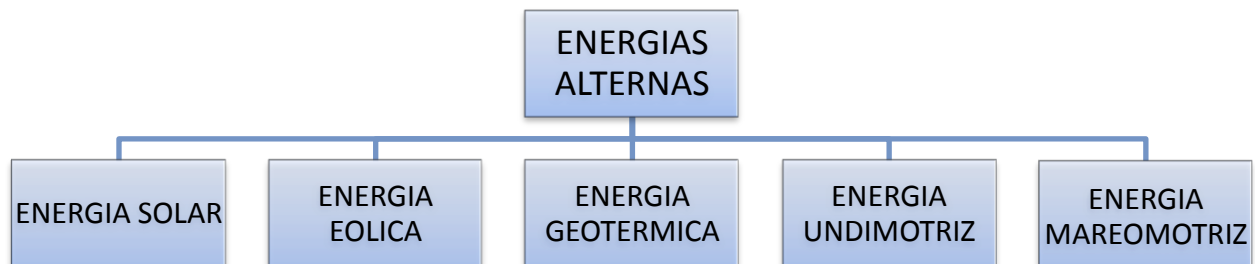
<sup>2</sup> Libro Energías renovables, 2004

- Energía útil: es la que obtiene el consumidor después de la última conversión realizada por sus propios equipos de demanda, como por ejemplo la energía mecánica gastada en un motor, la luminosa en una bombilla, etc. Algunas energías primarias pasan directamente a energía útil, sin transformarse previamente en energía secundaria<sup>3</sup>.

## 1.2 Energías Alternas.

El hablar de energías alternas no solo implica transformaciones de una energía a otra sino que además, en la actualidad se tienen en cuenta aspectos: económicos, de impacto ambiental y calidad de vida de los seres vivos. Todas las energías alternas entran dentro de la clasificación de las energías renovables<sup>4</sup>.

A continuación se muestra en el diagrama las energías alternas con mayor rango de investigación e implementación.



### 1.2.1 Energía Eólica

Esta energía consiste en el aprovechamiento de energía cinética del viento que impacta sobre los alabes de una turbina, que a su vez a través de un sistema de engranes hace rotar un generador eléctrico el cual produce electricidad. A todo el sistema se le conoce con el nombre de “aerogenerador”.

La rotación de la tierra, la diferencia de temperaturas y la presión atmosférica son los factores que influyen en la dirección del viento. Esta energía depende de su velocidad y de su densidad (esta última es menor conforme a altitud), a mayor altura la energía cinética será mayor, el viento por tanto es energía cinética aprovechable.

<sup>3</sup> <http://www.unesa.net/unesa/unesa/energia>

<sup>4</sup> Tecnología de las energías renovables, 2009

Una de las formas más utilizadas actualmente para el aprovechamiento a gran escala de la energía eólica es por medio de aeroturbinas instaladas en parques eólicos (Figura 1) y cuyo objetivo es transformar la energía eólica en energía mecánica (aeromotores) o eléctrica (aerogeneradores de eje horizontal y vertical) se muestra en la (Figura 2) y (Figura 3), respectivamente.

México cuenta con una diversidad de sitios para generar electricidad por medio de la energía eólica, los sitios con mayor potencial eólico se encuentran en el estado de Oaxaca, existiendo también otras regiones identificadas como: Zacatecas, Tabasco, la cadena montañosa de la rumorosa y el litoral de la península de Baja California, así como también extensiones de litorales del Pacífico y el Golfo de México<sup>5</sup>.

Hasta el año de 2009, la energía eólica en México es de 170 MW de capacidad eólica en operación, dividiéndose en plantas ubicadas en la zona I y II en el istmo de Tehuantepec, Guerrero negro en Baja California Sur y otros proyectos en menor escala<sup>6</sup>.

Para la instalación de los aerogeneradores son tomadas en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1 Velocidad del viento (diarias, estacionales y con referencia a la altura respecto del suelo.
- 2 La velocidad mínima del viento deberá ser de 12 km/h, para que sea rentable el funcionamiento.
- 3 La velocidad máxima para que sea rentable el funcionamiento deberá ser de 65 km/h.



FIG. 1- SERIE DE AEROGENERADORES EN UN PARQUE EOLICO,

EXTRAIDA DE <http://elfederalista.mx/p57962/>

---

<sup>5</sup> Informe de energías renovables para el desarrollo sustentable en México (SENER 2009)

<sup>6</sup> CFE 2008

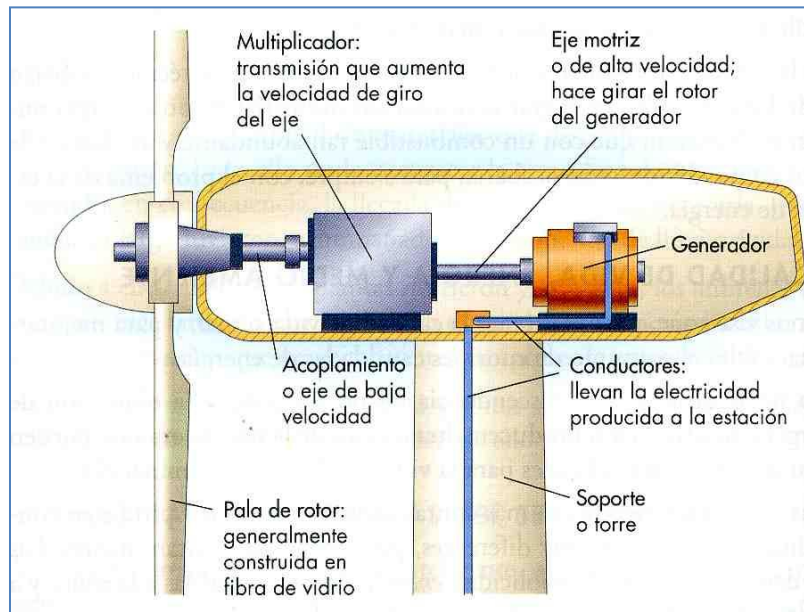


FIG. 2- COMPONENTES DE UN AEROGENERADOR

EXTRAIDA DE [www.renovables.energias.com](http://www.renovables.energias.com)



FIG. 3-. TURBINA DE EJE VERTICAL

EXTRAIDA DE <http://commons.wikimedia.org>

## **Ventajas y desventajas de los Aerogeneradores de eje horizontal y vertical.**

### Ventajas turbinas de eje horizontal:

- ✓ Una ventaja de utilizar una turbina de eje horizontal es que la caja del generador puede estar situado más cerca del suelo o en el suelo. Esto permite un mantenimiento más fácil. La caja del generador de una turbina de eje horizontal puede estar situada de 9 a 30 metros en el aire, haciendo el mantenimiento y el servicio regular más difícil.
- ✓ Turbinas de eje horizontal mantienen la misma orientación sin importar la dirección del viento. Esto puede ser beneficioso si la dirección del viento es variable.

### Ventajas turbinas de eje vertical:

- ✓ su velocidad de giro es usualmente menor y generan menos ruido
- ✓ tienen un buen aspecto estético, por lo que no causan contaminación visual
- ✓ Pueden funcionar adecuadamente aún en viento que cambia constantemente de dirección.
- ✓ Pueden aprovechar vientos de baja intensidad.
- ✓ Las torres de soporte son de menor altura.
- ✓ No necesitan mecanismo de orientación.
- ✓ Giran a una velocidad más lenta por lo que es más amigable para las aves y otras criaturas voladoras

### Desventajas de las turbinas de eje horizontal:

- ✓ Impacto visual: Depende del criterio de las personas, mientras para cierto grupo de personas puede ser atractivo para otro grupo no es asumible.
- ✓ Impacto sobre las aves: Este impacto es pequeño comparado con el producido por muertes naturales en el caso de turbinas horizontales.
- ✓ Impacto acústico: El ruido de los aerogeneradores se debe principalmente a factores de tipo mecánico.

### Desventajas las turbinas de eje vertical:

- ✓ La mayoría de las turbinas verticales producen energía al 50% de la eficiencia de las turbinas horizontales.
- ✓ No toman ventaja de los vientos fuertes de mayor altura.



## 1.2.2 Energía Geotérmica

Energía procedente del interior de la tierra debido a la diferencia de temperaturas entre la superficie terrestre y el interior de la tierra, que va desde una media de 15 °C hasta 6000°C<sup>7</sup>. La diferencia de temperaturas provoca un flujo continuo de calor desde el interior hasta la superficie.

La energía geotérmica se puede aprovechar actualmente de dos formas: directamente como calor o para la producción de electricidad.

La primera se puede obtener de dos formas distintas<sup>8</sup>:

- Aplicaciones de baja y media temperatura: aprovechan directamente el agua subterránea, que ha de estar entre 30 °C y 150 °C. Las aplicaciones más comunes son la calefacción de edificios, de invernaderos, del agua de piscifactorías y de piscinas, balnearios, usos industriales como el secado de tejidos, el secado de pavimentos y para evitar la formación de hielo en pavimentos (con tuberías enterradas a ras del suelo por las que circula el agua de los yacimientos).
- Aplicaciones de muy baja temperatura: utilizan una bomba de calor geotérmica (pueden aprovechar aguas de 15 °C).

En el caso de la segunda se aprovecha la salida del vapor de las fuentes geotérmicas, que accionan turbinas que ponen en marcha generadores eléctricos. Para ello es necesario que la temperatura del agua subterránea sea superior a 150 °C; si se usa la tecnología de ciclo binario, la temperatura puede ser de 100 °C (esta tecnología consiste básicamente en que el agua le cede el calor a otro fluido que vaporiza a menor temperatura). Estos yacimientos (Figura 3), que se utilizan para la producción de electricidad, son los denominados de alta temperatura.

En cualquiera de los dos casos, el fluido geotérmico, una vez explotado, se devuelve al acuífero para mantener el equilibrio del terreno.

México forma parte del llamado cinturón de fuego del pacífico, por el centro del país corre el eje volcánico transversal, esto lo convierte en uno de los países con mayor potencial geotérmico, se tienen identificadas más de 300 manifestaciones termales y existen 4 grandes campos explotados para fines eléctricos: Cerro prieto, Los azufres, Los Humeros t res vírgenes; se tienen también varios proyectos de explotación en campos ya identificados como el de la primavera en Jalisco. México ocupa el tercer lugar en generación geotermoelèctrica con 965 MW, que representan el 2% de la capacidad instalada total<sup>9</sup>.

---

<sup>7</sup> Dickson y Fanelli, Geothermal Energy

<sup>8</sup> Geo- Heat Center, geo-Heat.oit.edu

<sup>9</sup> CFE 2010

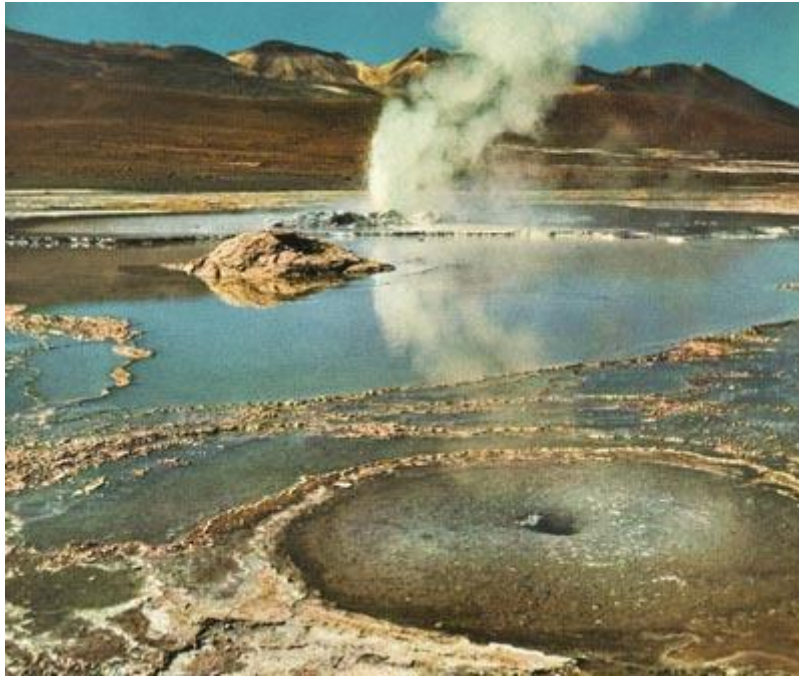


FIG. 4- FUENTE DE ENERGIA GEOTERMICA

EXTRAIDA DE <http://www.google.com.mx/search?q=fuente+de+energia+geotermica>



FIG. 5- PLANTA GEOTERMICA

EXTRAIDA DE <http://www.google.com.mx/search?q=planta+geotermica>.

**Ventajas y desventajas de las centrales geotérmicas.**

#### Ventajas:

- ✓ Es una fuente que evitaría la dependencia energética de los combustibles fósiles y de otros recursos no renovables.
- ✓ Los residuos que produce son mínimos y ocasionan menor impacto ambiental que los originados por el petróleo y el carbón.
- ✓ Sistema de gran ahorro, tanto económico como energético.
- ✓ No genera ruidos exteriores.
- ✓ No está sujeta a precios internacionales, sino que siempre puede mantenerse a precios nacionales o locales.
- ✓ El área de terreno requerido por las plantas geotérmicas por megavatio es menor que otro tipo de plantas.
- ✓ No requiere construcción de represas, tala de bosques, ni construcción de conducciones (gasoductos u oleoductos) ni de depósitos de almacenamiento de combustibles.
- ✓ La emisión de CO<sub>2</sub>, con aumento del efecto invernadero, es inferior al que se emitiría para obtener la misma energía por combustión.

#### Desventajas:

- ✓ En ciertos casos emisión de ácido sulfhídrico que se detecta por su olor a huevo podrido, pero que en grandes cantidades no se percibe y es letal.
- ✓ Contaminación de aguas próximas con sustancias como arsénico, amoníaco, etc.
- ✓ Contaminación térmica.
- ✓ Deterioro del paisaje.
- ✓ No se puede transportar (como energía primaria).
- ✓ No está disponible más que en determinados lugares, salvo la que se emplea en la bomba de climatización geotérmica, que se puede utilizar en cualquier lugar de la Tierra.

### 1.2.3 Energía Undimotriz

La energía undimotriz también conocida como energía ola motriz, es la energía producida por el movimiento de las olas además es menos conocida y extendida que la mareomotriz, pero cada vez tiene más aplicaciones.

Las olas son el resultado del efecto del viento soplando a lo largo de cientos o miles de kilómetros en mar abierto, lo que origina una transferencia de energía hacia la superficie del océano. Son, por tanto, una forma de energía cinética a la que se puede acceder usando diversos mecanismos armónicos que responden al movimiento de las olas, captando parte de su energía. En definitiva, la energía undimotriz consiste en el aprovechamiento de la energía cinética y potencial del oleaje para la producción de electricidad<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> Energía Undimotriz, Un aprovechamiento de la energía de las olas para la generación de electricidad, 2012

Las olas son formadas por el arrastre generado por la fricción entre el viento y la superficie del agua, cuanto más crece la altura de la ola mayor será su capacidad de extraer energía del viento. Las partículas de agua se mueven describiendo círculos por lo que la ola transporta energía tanto en la superficie como en las capas más profundas (Figura 5).

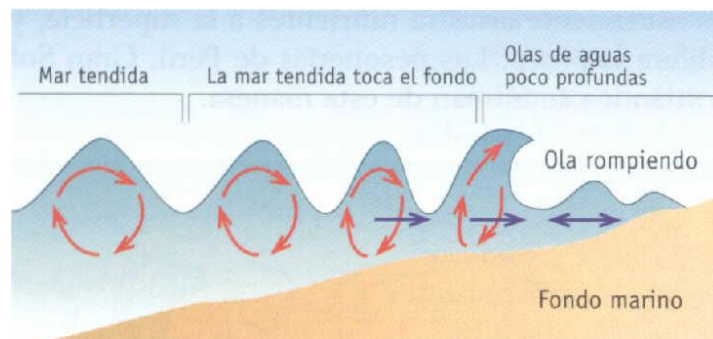


FIG. 6- MOVIMIENTO INTERNO DE LA OLA

EXTRAIDA DE <http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia>

Una de las propiedades características de las olas es su capacidad de desplazarse a grandes distancias prácticamente sin pérdida de energía, por ello la energía en cualquier parte del océano acaba en el borde continental y de este modo la energía se concentra en las costas.

Cuando la ola llega a aguas de baja profundidad, el fondo la va frenando de abajo hacia arriba. En las olas siguientes la distancia entre crestas se reduce progresivamente, la cima avanza más rápido que la base, se forma una muralla y posteriormente rompe sobre la playa.

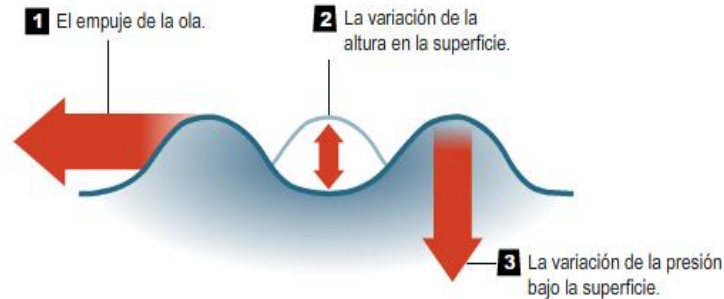


FIG. 7- FORMACION DE UNA OLA

EXTRAIDA DE <http://lasenergiaslimpias.com/energia-marina/energia-undimotriz>

**Del movimiento de las olas se aprovechan 3 fenómenos:**

- **El empuje**
- **La variación de la altura**
- **El cambio de presión**



**FIG. 8- FORMAS DE APROVECHAMIENTO DE LAS OLAS**

EXTRAIDA DE <http://www.fassaingenieria.com>

En México, en 1929, se presentó el “Rotor de Savonius”<sup>11</sup> donde se aprovecha la fuerza horizontal de las olas. En Noruega el convertidor de Kvaener, basado en la columna de agua Oscilante con una potencia instalada de 500 W. en Japón se encuentra la planta Sakata, con una generación de 60 KW. En China se está construyendo una planta de 100 KW del tipo péndulo.

Las ventajas de la captación de esta energía es que es muy extendida por sus múltiples ubicaciones alrededor del globo terráqueo y la capacidad de predicción es bastante mayor que la eólica. El 37% de la población mundial vive a máximo 90 kilómetros de la costa<sup>12</sup>.

### **Ventajas y desventajas en el aprovechamiento de la energía undimotriz.**

Ventajas:

- ✓ Es una fuente renovable.
- ✓ Es una fuente de energía limpia.
- ✓ No destruye el medio ambiente.
- ✓ Las olas y las mareas son predecibles.
- ✓ No se requiere de combustible, por lo que su costo de operación y mantenimiento es bajo.
- ✓ No produce gases de efecto invernadero.

<sup>11</sup> CFE 2008

<sup>12</sup> La energía de las olas, Fundación UNAM, 2013

- ✓ No representa graves riesgos de seguridad para las personas que trabajan en la generación de ésta energía.

Desventajas:

- ✓ Todavía falta investigación en el tema por lo que requiere más inversión económica.
- ✓ Se puede afectar el sector turístico y bienes raíces de las playas, ya que las playas serían utilizadas como granjas.
- ✓ Puede interferir con el amarre y anclaje de las líneas de pesca comercial y deportiva.
- ✓ Las olas pueden ser grandes o pequeñas por lo que no siempre se podrá generar electricidad.
- ✓ Se necesita aplicar un sistema que conduzca la electricidad hacia tierra firme, sin que cause daños al medio ambiente.

### 1.2.4 Energía Mareomotriz

Las mareas se forman debido a las acciones gravitatorias de la luna y el sol. Para un aprovechamiento rentable es necesario que la diferencia entre marea alta y baja sea por lo menos de 5 metros<sup>13</sup>.

El principio de funcionamiento se basa en construir diques capaces de contener un gran volumen de agua, donde se instalan unas compuertas que retengan el agua durante la subida de la marea. Una vez que la marea baja, las compuertas se abren dando paso a un salto de agua que hace girar una turbina que, a su vez, pone en marcha un generador eléctrico como se muestra en la Figura 8.

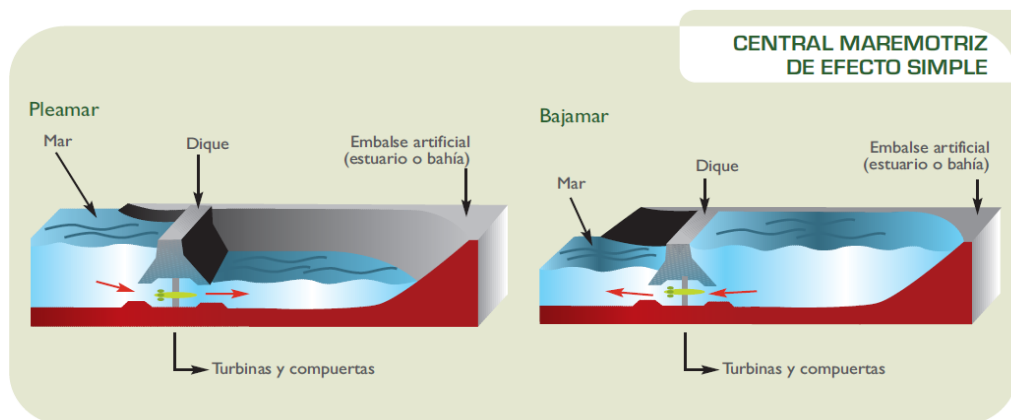


FIG. 9- CENTRAL MAREOMOTRIZ

EXTRAIDA DE <http://thales.cica.es/rd/Recursos>

<sup>13</sup> Libro: Energía oceánica o energía mareomotriz, 2013

En la parte alta del Golfo de California en México, existen posibilidades para la implementación de turbinas marinas, ya que se registran mareas de gran amplitud que llegan a sobrepasar los 6 metros de altura, esto se debe a que el tiempo que tarda en subir y bajar la marea es el mismo de la onda de marea en ir y regresar hasta el fondo del Golfo, este fenómeno es conocido como resonancia hidráulica. Otro factor importante para la instalación de las turbinas marinas es el efecto que produce la fricción del fondo en la variación de la velocidad de la onda de marea, al inundar la parte alta del golfo que es de muy poca pendiente y muy somera.

En el proyecto IMPULSA IV de la UNAM<sup>14</sup>, con la finalidad de conocer el potencial teórico de generación eléctrica por medio de centrales maremotrices, se realizaron una serie de cálculos y modelos de computación, que en este momento sirven de base para tener una idea de este potencial. Uno de los ejemplos teóricos analizados, con varias suposiciones físicas pero bastante rigor matemático, consistió en poner una presa o cortina, de lado a lado del golfo, de 50 km de largo con 5000 turbinas de 2 MW, donde la profundidad máxima llega a 10 metros (con la debida incertidumbre a lo que “profundidad” pudiera significar, donde el espesor de sedimentos es muy grande). La generación anual de energía, al correr el programa de cómputo con las mareas reales del sitio, con 20 000 MW instalados, resultó ser de 5 500 GWh/año. Esta represa hipotética tendría un tramo de 25 kilómetros sólo de turbinas y los otros 25 km, de terraplén (tablestaca)<sup>15</sup>.

### **Ventajas y desventajas del aprovechamiento de la energía mareomotriz.**

#### Ventajas:

- ✓ Es Auto renovable.
- ✓ No contaminante.
- ✓ Silenciosa.
- ✓ Bajo costo de materia prima.
- ✓ No concentra población.
- ✓ Disponible en cualquier clima y época del año.

#### Desventajas:

- ✓ Impacto visual y estructural sobre el paisaje costero.
- ✓ Localización puntual.
- ✓ Dependiente de la amplitud de mareas.
- ✓ Traslado de energía muy costoso.
- ✓ Efecto negativo sobre la flora y la fauna.
- ✓ Limitada

---

<sup>14</sup> [www.impulsa4.unam.mx](http://www.impulsa4.unam.mx)

<sup>15</sup> Potencial energético de las mareas para generar electricidad, revista.unam.mx, 2009

### 1.2.5 Energía Hidráulica

La energía hidráulica es utilizada fundamentalmente para producir electricidad en las denominadas centrales hidroeléctricas. El agua retenida en un embalse o presa se deja caer por una tubería y en la salida se coloca una turbina, cuyo eje comienza a girar al caer al agua, este giro pone en marcha el generador eléctrico obteniéndose así la electricidad. Una de las grandes ventajas de la producción de electricidad con energía hidráulica es que puede ser constante y previsible, al contrario que la gran mayoría de las renovables y, por lo tanto, se puede utilizar para satisfacer la demanda eléctrica base. Las centrales hidroeléctricas se pueden situar junto al cauce de un río o al pie de una presa<sup>16</sup>.

Las centrales hidroeléctricas se clasifican según su potencia de la siguiente manera:

1.- Centrales Hidráulicas: Son mayores de 10 MW<sup>17</sup>. A gran escala presentan algunos inconvenientes como puede ser la evacuación de zonas pobladas o de interés natural debido a la construcción de grandes infraestructuras y al desvío de ríos. Por estos inconvenientes, que pueden generar un gran impacto ambiental y humano, la energía hidráulica no es considerada estrictamente una energía renovable, pero sí lo es la energía mini hidráulica. En todo caso, la energía hidráulica tiene la gran ventaja de no contribuir al cambio climático, al no emitir CO<sub>2</sub> ni otros gases de efecto invernadero. Por otra parte, es importante considerar tener un cuidado especial en la selección de la ubicación y en el respeto del medioambiente, el impacto se puede reducir de forma considerable, hasta ser de hecho prácticamente nulo, como es el caso del aprovechamiento de presas ya existentes destinadas a otros fines y el aumento de la potencia en centrales en explotación.

#### 2.- Centrales minihidráulicas

Son centrales con una potencia menor de 10 MW<sup>18</sup>. En su mayoría son instalaciones de agua fluyente, lo que quiere decir que generan electricidad mientras tienen un caudal superior a un mínimo técnico (según instalación) y se paran cuando el caudal baja de ese nivel. Además de aprovechar los cauces de los ríos o pequeños embalses, las instalaciones minihidráulicas pueden situarse en galerías de agua o simplemente en las tuberías que se utilizan para transportar el agua desde cotas altas a bajas (para su consumo agrícola o urbano en las zonas de costas –costas bajas). Este tipo de centrales también se les conoce como microhidráulicas si son menores de 1 MW.

En nuestro país también tenemos muchas pequeñas corrientes de agua (energía minihidráulica) que pueden ser aprovechadas para generar electricidad, con fines productivos y de consumo doméstico, sobre todo en localidades marginadas o alejadas de las redes del servicio eléctrico. Estas pequeñas corrientes se localizan, principalmente, en los estados de Chiapas, Tabasco y Veracruz, entre otros varios, en donde la orografía y las lluvias constituyen condiciones favorables para el desarrollo de proyectos minihidráulicos. Según estimaciones de “la CONAE” hoy en día la CONUEE (Comisión para el Uso Eficiente de la Energía), el potencial nacional de aprovechamiento de la energía minihidráulica asciende a 3,200 MW<sup>19</sup>.

---

<sup>16</sup> CONUEE, Energía hidráulica 2009

<sup>17</sup> CFE, informes de 2007

<sup>18</sup> CFE, informes de 2007

<sup>19</sup> CONNUE, Energía Hidráulica 2009



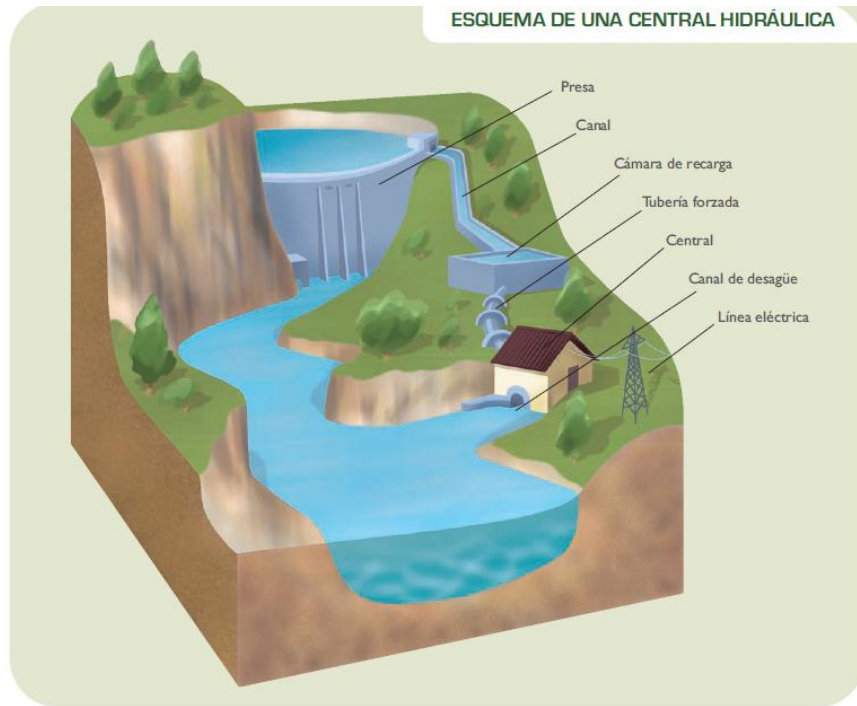


FIG. 10- CENTRAL HIDRAULICA

EXTRAIDA DE <http://video-hned.com/Central+Hidroel>

### Ventajas y desventajas de los centrales hidráulicas.

#### Ventajas:

- ✓ Debido al ciclo del agua su disponibilidad es inagotable.
- ✓ Es una energía totalmente limpia, no emite gases, no produce emisiones tóxicas, y no causa ningún tipo de lluvia ácida.
- ✓ Es una energía barata debido a que los costos de operación son muy bajos, ya que existen mejoras tecnológicas constantemente que ayudan a explotar de manera más eficiente los recursos.
- ✓ Permite el almacenamiento de agua para abastecer fácilmente a actividades recreativas o sistemas de riego.
- ✓ Se pueden regular los controles de flujo en caso de que haya riesgo de una posible inundación.

#### Desventajas:

- ✓ La construcción de las plantas requiere una gran inversión, por otra parte, los sitios donde se pueden construir centrales en condiciones económicas son muy limitadas.
- ✓ Las presas se convierten en obstáculos para las especies como el salmón

- ✓ Por otra parte, las represas afectan al lecho de los ríos, causando erosión y afectar el ecosistema del lugar.
- ✓ Las presas tienden a estar lejos de las grandes poblaciones, entonces es necesario transportar la electricidad producida a través de redes costosas.

### 1.3 Características del sol.

El Sol es el objeto central de nuestro sistema solar. Se ha formado hace 6.5 mil millones de años de una enorme nube interestelar de gas frío. Contiene prácticamente toda (99.8 %) la masa del sistema solar y es más de 333,000 veces más masivo que la Tierra. Su radio, 700,000 km, es 109 veces más grande que el radio de la Tierra. Así que se necesitarían 1, 300, 000 planetas Tierra para llenarlo<sup>20</sup>.

El Sol está compuesto principalmente de dos elementos hidrógeno y helio. Sus abundancias han cambiado a lo largo de su vida, por lo que hoy el hidrógeno y el helio representan el 74.9 % y el 23.8 %, respectivamente de su masa total. El oxígeno sólo contribuye con el 1 %, el carbono con el 0.3 % y el neón y el hierro con el 0.2 %. (Figura 10).

La distancia que nos separa del Sol equivale a un poco más de ocho minutos a la velocidad de la luz. Es por eso, que cualquier cambio que sucede en la superficie solar, lo podemos ver con un retraso de ocho minutos. Esta distancia, conocida como unidad astronómica (u.a.), se traduce a 150 millones de kilómetros, lo cual es 390 veces más que la distancia a la Luna y 3, 750 veces mayor que el largo del ecuador<sup>21</sup>.

La temperatura en el Sol es tan alta, que el material se encuentra en estado plasma, esto es, separado en iones y electrones. El 99% de la materia visible en el universo está en estado plasma, a este estado se le conoce comúnmente como el cuarto estado de la materia, debido a la carga eléctrica de las partículas. El material de un plasma interactúa con campos eléctricos y magnéticos y se comporta de manera muy diferente a un gas neutro.<sup>22</sup>

La superficie del sol está compuesta por gránulos (células de convección irregulares), sus dimensiones van desde 1000 a 3000 km y el tiempo de vida de las células es de pocos minutos.

---

<sup>20</sup> El sol nuestra estrella, revista.unam.mx, 2009

<sup>21</sup> El sol nuestra estrella, revista.unam.mx, 2009

<sup>22</sup> El sol nuestra estrella, revista.unam.mx, 2009

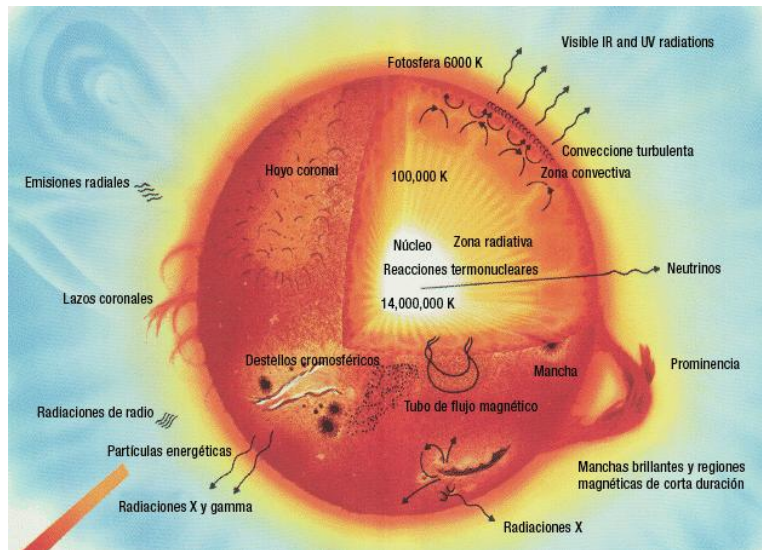


FIG. 11- REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL SOL

FIGURA EXTRAIDA DE <http://www.windows2universe.org/sun/sun>

### 1.3.1 El espectro electromagnético

El espectro electromagnético es considerado todo el rango de todas las posibles frecuencias de radiación electromagnética. El espectro electromagnético de un objeto se caracteriza por la distribución de de radiación electromagnética emitida o absorbida por el objeto en particular. Las ondas electromagnéticas son capaces de transmitir energía de un lugar a otro, especialmente en el vacío<sup>23</sup>.

Aquí se muestra un esquema (Figura 11) de las diferentes tipos de radiación y algunas de sus características primordiales.

<sup>23</sup> Astronomía de altas energías, [www.astroscu.unam.mx](http://www.astroscu.unam.mx)

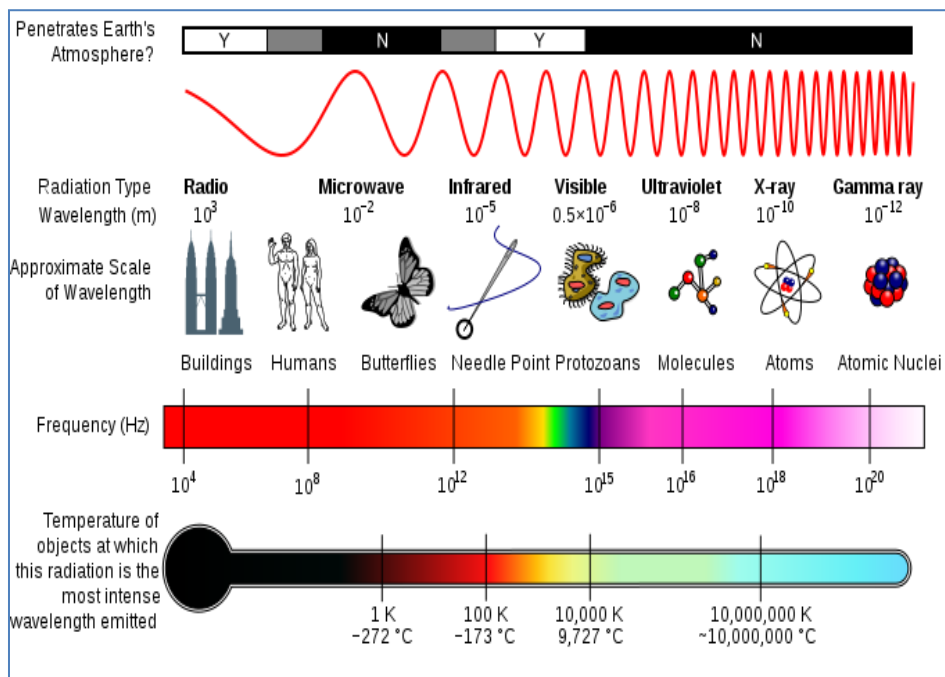


FIG. 12- TIPOS DE RADIACION

EXTRAIDA DE <http://noticiasdeabajo.wordpress.com>

La energía solar se encuentra dentro del espectro electromagnético como radiación infrarroja. La energía infrarroja es la que experimentamos cotidianamente en forma de calor, como la luz del sol, un incendio, un radiador o una acera caliente. Esto está entre las secciones visibles y de microondas del espectro electromagnético. La luz infrarroja tiene un rango de longitudes de onda desde la luz roja hasta la violeta. El porcentaje de energía radiante emitida por intervalo de unidad de longitud de onda es llamado función de la distribución de la energía espectral<sup>24</sup>.

### 1.3.2 Energía Solar

La mayor parte de la energía renovable de la que disponemos proviene del sol. Su calor y su luz son la base de numerosas reacciones químicas para el desarrollo de los seres vivos, cuyos restos con el paso del tiempo dieron origen a los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural). La energía solar es el resultado de la conversión de hidrogeno a helio, la cual, es transmitida a la Tierra en forma de ondas electromagnéticas aunque también en forma de partículas (fotones). Es necesaria para la vida de plantas, animales y seres humanos. Es una solución óptima para la calidad de vida de los seres vivos debido a sus características (limpia, segura y relativamente inagotable)<sup>25</sup>.

<sup>24</sup> Astronomía de las altas energías, [www.astroscu.unam.mx](http://www.astroscu.unam.mx)

<sup>25</sup> La ciudad universitaria y su energía, [www.aiest.unam.mx](http://www.aiest.unam.mx)

La cantidad de energía interceptada por nuestro planeta es 170 billones de KW, una cifra 5.0 veces mayor a la suma de todas las demás energías. De esta cantidad el 30% es reflejado al espacio, 47% convertido en calor a baja temperatura y vuelto a radiar al espacio y el 23% acciona el ciclo de evaporación-condensación de la atmosfera; menos del 0.5% es representado en forma de energía cinética<sup>26</sup>.

Algunos ejemplos en donde interviene la energía solar son:

- ❖ La radiación solar directa, que es aprovechada por las plantas para llevar a cabo el proceso de la fotosíntesis.
- ❖ La energía solar provoca el calentamiento de las masas de aire, las cuales, chocan con masas de aire frio dando origen al viento.
- ❖ La evaporación de los océanos da como resultado la lluvia.

De la energía solar se puede obtener calor y electricidad, es por ello que el estudio de la energía solar se lleva a cabo en base a las necesidades del ser humano.

La radiación solar llega a nuestro planeta de 3 formas (Figura 12):

- Radiación Directa: Es toda radiación incidente que no sufre ningún cambio en su trayectoria. Esta radiación es la causante de las sombras y además la que predomina en un día soleado.
- Radiación Difusa: Es toda la energía que llega después de haber incidido en cualquier momento con cualquier elemento de la atmosfera (polvo nubes, contaminantes, etc.) por lo que la trayectoria es desviada. Este tipo de radiación es predominante en los días nublados.
- Radiación reflejada o albedo: Es la radiación reflejada por la superficie terrestre, la reflexión depende mucho de la zona donde incide la radiación, ya el ángulo de dispersión es diferente en nieve y en agua.

---

<sup>26</sup> Agencia internacional de la energía (AIE 2001)

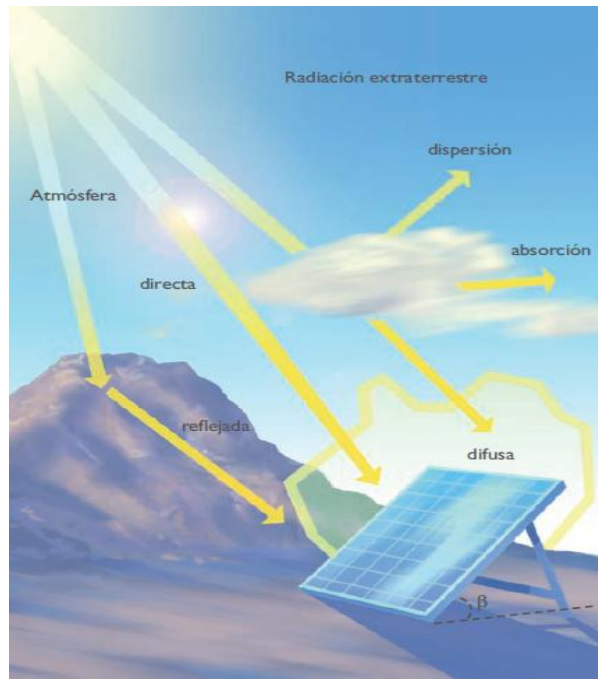


FIG. 13- TIPOS DE RADIACION SOLAR

EXTRAIDA DE <http://www.ecopotencia.com/incidencia.html>

Para poder medir la radiación incidente en el planeta aparece el concepto de radiación global, que es la suma de la radiación directa más la radiación difusa, la cuál es medida con la ayuda de un instrumento llamado piránometro (Figura 13).



FIG. 14- PIRANOMETRO

EXTRAIDA DE <http://www.cener.com>

De acuerdo a lo anterior existen tres formas de clasificación de la radiación solar: directa, difusa y reflejada.

Con una insolación media de 5 kWh/m<sup>2</sup>, el potencial en México es de los más altos del mundo. Se espera tener instalados 25 MW con tecnología fotovoltaica para 2013, y generar 14 GWh/año. Además se esperaba contar para 2009 con un sistema híbrido de ciclo combinado acoplado a un campo solar de 25 MW (Agua Prieta II, Sonora)<sup>27</sup>.

### **Ventajas y desventajas del aprovechamiento de la energía solar.**

#### Ventajas:

- ✓ La más importante de todas las ventajas es que este tipo de energía no contamina.
- ✓ Al estar hablando de la energía solar podemos afirmar que es una fuente inagotable.
- ✓ Es un sistema de aprovechamiento de energía idóneo para zonas donde el tendido eléctrico no llega (zonas rurales, montañosas, islas), o es difícil y de un costo alto por traslado.
- ✓ La mayor parte de los sistemas de captación solar que se suelen utilizar son de fácil mantenimiento, lo que facilita su elección.
- ✓ El costo disminuye a medida que la tecnología va avanzando, mientras que el costo de los combustibles fósiles aumenta con el paso del tiempo, debido a que cada vez son más escasos.
- ✓ La única inversión es el costo inicial de la infraestructura, pues no requiere de ningún combustible para su funcionamiento, además el costo se puede amortizar a los 5 años de su implantación.
- ✓ La energía solar fotovoltaica no requiere ocupar ningún espacio adicional, ya que puede instalarse en tejados y edificios.
- ✓ La disponibilidad de energía solar reduce la dependencia de otros países para el abastecimiento de energía de la población.
- ✓ Es un sector que promueve la creación de empleo necesario para la fabricación de celdas y paneles solares, como para realizar la instalación y el mantenimiento de la misma.

#### Desventajas:

- ✓ El nivel de radiación de esta energía fluctúa de una zona a otra, y lo mismo ocurre entre una estación del año y otra, lo que puede no ser tan atractivo para el consumidor.
- ✓ Cuando se decide utilizar la energía solar para una parte importante de la población, se necesitan grandes extensiones de terreno, lo que dificulta que se escoja este tipo de energía.

---

<sup>27</sup><http://energia.fi-b.unam.mx/av/index.html>

- ✓ Inicialmente requiere una fuerte inversión económica, motivo por el cual, muchos consumidores no están dispuestos a implementar estas tecnologías.
- ✓ En diversas ocasiones se debe complementar este método de convertir energía con otros, como por ejemplo las instalaciones de agua caliente y calefacción, que requieren una bomba para hacer circular el fluido.
- ✓ Los lugares donde hay mayor radiación, son lugares desérticos y alejados, (energía que no se aprovecha para desarrollar actividad agrícola o industrial, etc...)

### 1.3.2.1 Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar eléctrica o fotovoltaica, que es como más comúnmente se le conoce, es una energía limpia y renovable, de fácil instalación y mantenimiento. Los sistemas fotovoltaicos, basándose en las propiedades de los materiales semiconductores transforman la energía que irradia el sol en energía eléctrica, sin mediación de reacciones químicas, ciclos termodinámicos, o procesos mecánicos que requieran partes móviles. El proceso de transformación de energía solar en energía eléctrica se produce en un elemento semiconductor, denominado celda fotovoltaica. Cuando la luz del sol incide sobre una celda fotovoltaica, los fotones de la luz solar transmiten su energía a los electrones del semiconductor para que así puedan circular dentro del sólido. La tecnología fotovoltaica consigue que parte de estos electrones salgan al exterior del material semiconductor generándose así una corriente eléctrica capaz de circular por un circuito externo<sup>28</sup> (Figura 14).



21 TECNOLOGÍA Y APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

**FIG. 15- EFECTO FOTOVOLTAICO**

EXTRAIDA DE <http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>

<sup>28</sup> Libro "Instalaciones de energía fotovoltaica", 2009



Existen dos maneras de aprovechamiento de la energía solar generada:

- En instalaciones aisladas de la red eléctrica: la energía generada se almacena en baterías para así disponer de su uso cuando sea preciso.
- En instalaciones conectadas a la red eléctrica convencional: toda la energía generada se envía a la red eléctrica convencional para su distribución donde sea demandada.

Según la Secretaría de Energía (SENER), los costos de generación e inversión para sistemas fotovoltaicos se encuentran en el rango de 3,500 a 7,000 dólares por kW instalado y de 0.25 a 0.5 dólares por kW/h. generado<sup>29</sup>.

La energía fotovoltaica llegará a ser más económica que la energía convencional, pero en México ya se debería tener avances y para esto hay que ir orientando el cambio, ya que en 15 años, cuando se llegue a ésta situación, México se encontrará como con el petróleo, donde no se tiene la tecnología y lo que queda es comprarla, continuando así con la dependencia energética.

Por lo anterior, es necesario definir las políticas energéticas a nivel nacional y las leyes que nos conduzcan y obliguen como nación a ir en ese camino. No sólo que orienten, sino que fomenten el uso y producción de las fuentes de energía renovables. Entonces México será un país autosuficiente, no vulnerable y generador de nuevas fuentes de empleo<sup>30</sup>.

### 1.3.2.2 Energía Solar Térmica

La energía solar térmica se utiliza principalmente para calentar fluidos, por lo general es agua. Dependiendo de la temperatura final, los distintos sistemas se clasifican de la siguiente forma<sup>31</sup>:

1. Baja Temperatura: Estos sistemas son los más utilizados para uso doméstico debido a que la temperatura del agua no rebasa los 90°C, ejemplos son el agua caliente sanitaria (ACS) para viviendas, deportivos, calentamiento de agua de piscinas etc.
2. Media Temperatura: Son aplicaciones que se encuentran en un rango de 80°C a 250°C, principalmente aplicaciones para procesos industriales y desalinización de agua.
3. Alta temperatura: Destinada a aquellas aplicaciones que requieren una temperatura superior a los 250°C, principalmente generación de vapor para producción de electricidad.

Para los sistemas fototérmicos (“concentradores”) los costos se estiman en un rango de 2,000 a 4,000 dólares por kW y de 10 a 25 centavos de dólar por kWh. El costo de inversión para los colectores solares planos es de 242 USD/m<sup>2</sup> instalado.<sup>32</sup>

En México hay industrias importantes que fabrican equipos de energía solar térmica de baja temperatura. Las primeras iniciaron desde 1940 en Guadalajara, otras se han desarrollado a lo largo de los años, y varias tienen reconocimiento internacional.

---

<sup>29</sup> SENER, informe 2009

<sup>30</sup> Morales, A. (2010), “México, rumbo a la COP 16”, México. Energía Hoy, Octubre 2010.

<sup>31</sup> Libro “Energía Solar térmica” 2009

<sup>32</sup> Libro “Instalaciones de energía fotovoltaica”, 2009

Los colectores solares que se usan para agua caliente a baja temperatura utilizan una tecnología conocida, pero requieren de un buen fabricante, diseño e instalación para que pueda durar al menos 10 ó 15 años, y sean redituables.

El investigador Octavio García Valladares, académico del Instituto de Energías Renovables (IER) de la UNAM, destacó en su artículo (LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA, CON GRAN POTENCIAL EN MÉXICO) que varios diseños mexicanos se enfrentan con los chinos. “En México hay industrias importantes en este sector, pero chocan de frente con las tecnologías de ese país asiático, que entran a nuestro territorio a bajo costo, debido a la falta de normas que eviten la llegada de equipos de baja calidad y, por consiguiente, de corto tiempo de vida”<sup>33</sup>

## 1.4 La Transferencia de Calor

El estudio de la termodinámica nos refiere a la transferencia de energía mediante las interacciones de un sistema con su alrededor. En estas interacciones aparece el concepto de trabajo y calor. Sin embargo, la termodinámica trata sistemas en equilibrio; puede usarse para predecir la cantidad de energía requerida para llevar un sistema desde un estado de equilibrio a otro; no puede usarse, en cambio, para predecir lo rápido que será el cambio, ya que el sistema no está en equilibrio durante el proceso.

La transferencia de calor es la ciencia que trata de predecir el intercambio de energía que puede tener lugar entre cuerpos materiales, como resultado de una diferencia de temperatura. La ciencia de la transferencia de calor pretende no sólo explicar cómo la energía térmica puede ser transferida, sino también predecir la rapidez con la que, bajo ciertas condiciones específicas, tendrá lugar esa transferencia.

La transferencia de calor complementa los principios primero y segundo de la termodinámica, al proporcionar leyes experimentales adicionales que se usan para establecer la rapidez de la transferencia de energía.<sup>34</sup>

### 1.4.1 La Transferencia de calor en la ingeniería

Desde el punto de vista de la ingeniería, la determinación de la rapidez de transferencia de calor a una diferencia de temperaturas especificada constituye el problema principal. Con el objeto de estimar el costo la factibilidad y el tamaño del equipo necesario para transferir una cantidad determinada de calor en un tiempo dado debe realizarse un detallado análisis de transferencia de calor. Por ejemplo las dimensiones de las calderas, calentadores, refrigeradores y cambiadores de calor dependen no solo de la cantidad de calor que deba ser transmitido, sino también, de la rapidez con que deba transferirse el calor bajo condiciones dadas. Así mismo en el diseño de maquinas, rodamientos, transformadores, colectores solares, etc. Debe hacerse un análisis de transferencia de calor con el objeto de evitar las condiciones que provocaran sobrecalentamiento y daño al equipo. Estos distintos ejemplos muestran que en casi todas las ramas de la ingeniería se encuentran problemas relacionados con la transferencia de calor que no puede resolverse con un simple análisis termodinámico.

---

<sup>33</sup> La energía solar térmica, con gran potencial en México, UNAM, 2013

<sup>34</sup> Principios de Transferencia de calor, Frank Kreith

Tanto en la transferencia de calor, como en otras ramas de la ingeniería, la solución adecuada de un problema requiere hipótesis e idealizaciones. Es casi imposible descubrir los fenómenos físicos en forma exacta, y para expresar un problema en forma de una ecuación que pueda resolverse, es necesario hacer algunas aproximaciones. Cuando se considere necesario formular una hipótesis o una aproximación en la solución de un problema, el ingeniero debe confiar en su habilidad y experiencia. Por ello es necesario conocer y planear el fenómeno físico involucrado en el problema dado.

En la transferencia de calor existen cuatro mecanismos de transferencia de calor<sup>35</sup>.

- Conducción
- Convección
- Radiación
- Transferencia de calor por cambio de fase

#### 1.4.1.1 Conducción.

Es la forma de transferir calor mediante la cual el calor fluye y existe un intercambio de energía que va de una región de mayor temperatura a una de menor temperatura dentro de un medio (sólido, líquido o gaseoso) o entre medios diferentes en contacto físico directo, se da por el movimiento cinético o el impacto directo de las moléculas como en el caso de fluidos en reposo o por el arrastre de los electrones, como es el caso de los metales. La energía posee un elemento de materia debido a la velocidad y a la posición relativa de las moléculas, a esto se le conoce como energía interna. Por tanto, para un elemento dado de materia, mientras más rápidamente se muevan sus moléculas, mayor será su temperatura y su energía interna. Cuando las moléculas de una región adquieren una energía cinética media mayor que la de las moléculas de una región adyacente, lo que se manifiesta por una diferencia de temperatura, las moléculas que poseen mayor energía en transmitirán parte de ella a las moléculas de la región más baja temperatura.

Algunos sólidos son buenos conductores eléctricos, un gran número de electrones libres se mueven alrededor de una estructura cristalina, por esta razón los materiales que son buenos conductores de electricidad son generalmente buenos conductores de calor. Independientemente del mecanismo exacto, el efecto observable de la conducción de calor es un equilibrio de temperaturas.

La conducción de calor es el único mecanismo por el cual puede fluir calor en sólidos opacos. La conducción es también importante en fluidos, pero en medios no sólidos generalmente esta combinada con la convección, y en algunos casos, también con la radiación<sup>36</sup>.

---

<sup>35</sup> Principios de Transferencia de calor, Frank Kreith

<sup>36</sup> Fundamentos de Transferencia de calor, Frank P. Incropera y David P. DEWITT

### 1.4.1.2 Convección

“La convección es un proceso de transporte de energía por acción combinada de conducción de calor, almacenamiento de energía y movimiento de mezcla. Cuando un fluido en movimiento pasa sobre un cuerpo sólido o fluye dentro de un canal y si las temperaturas del fluido y del sólido o del canal son diferentes, habrá transferencia de calor entre el fluido y la superficie sólida debido al movimiento relativo entre el fluido y la superficie”<sup>37</sup>.

La transferencia de calor por convección se clasifica de acuerdo con la forma de inducir el flujo, en:

#### 1.4.1.2.1 Convección Libre

Cuando el movimiento mezclado tiene lugar exclusivamente como resultado de la diferencia de densidades causado por gradientes de temperatura, se refiere a una convección natural o convección libre.

#### 1.4.1.2.2 Convección Forzada

Cuando el movimiento de mezclado es inducido por algún agente externo, tal como una bomba o un agitador, en proceso se conoce como convección forzada.

### 1.4.1.3 Radiación

Es un proceso mediante el cual fluye calor de un cuerpo de mayor temperatura a uno de menor temperatura, cuando dos cuerpos de temperaturas diferentes están separados por un vacío perfecto. No es posible la transferencia de calor entre ellos por los otros dos medios; en tal caso la transferencia de calor ocurre mediante radiación térmica. Es decir, la energía radiante emitida por un cuerpo debida a su temperatura, es transmitida hacia el espacio en forma de ondas electromagnéticas de acuerdo con la teoría clásica de Maxwell o en forma de fotones discretos, de acuerdo con la hipótesis de Planck. El término radiación es aplicado a toda clase de fenómenos de ondas electromagnéticas, pero en transferencia de calor, son de interés los fenómenos que son resultado de la temperatura y por medio de los cuales se establece un transporte de energía a través de un medio transparente o a través del espacio.

Todos los cuerpos emiten calor radiante en forma continua. La intensidad de la emisión depende de la temperatura y de la naturaleza de la superficie. La energía radiante viaja a la velocidad de la luz (300,000 km/s) y es un fenómeno semejante a la radiación de la luz. En realidad, de acuerdo con la teoría electromagnética, la luz y la radiación térmica difieren únicamente en sus respectivas longitudes de onda. Cuando las ondas de radiación encuentran algún otro objeto, su energía es absorbida cerca de su superficie. La importancia de la transferencia de calor por radiación se hace mayor conforme se incrementa la temperatura de un objeto. En los problemas de ingeniería que involucran temperaturas que se aproximan a las del medio ambiente, el calentamiento por radiación frecuentemente puede ser menospreciado<sup>38</sup>.

---

<sup>37</sup> Fundamentos de Transferencia de calor, Frank P. Incropera y David P. DEWITT

<sup>38</sup> Fundamentos de Transferencia de calor, Frank P. Incropera y David P. DEWITT

## 1.4.2 Transferencia de calor por cambio de fase.

La ebullición al igual que la condensación son fenómenos comunes en la mayoría de los procesos de transferencia de calor.

La transferencia de calor hacia líquidos en ebullición, es un proceso de convección, el cual involucra un cambio de fase de líquido a vapor. Estos fenómenos son considerados sumamente complejos, a diferencia que aquellos de convección sin cambio de fase, esto es porque además de las variables asociadas con la convección también se deben asociar las variables por cambio de fase.

### 1.4.2.1 Ebullición

Esta se produce por aporte de calor a un líquido desde una superficie sumergida. Una vez que el líquido alcanza su temperatura de saturación (o punto de ebullición a la presión del sistema) el calor entregado por la superficie que está a  $T_p > T_{sat}$ , produce burbujas de vapor sobre ésta.

Sólo una pequeña parte del vapor se genera sobre la superficie sumergida. Las burbujas formadas agitan el líquido permitiendo la transferencia de calor al líquido.

En tanto, la mayor parte de la evaporación tiene lugar desde la superficie del líquido<sup>39</sup>.

### 1.4.2.2 Condensación

La condensación se produce cuando un vapor saturado se pone en contacto con una superficie a temperatura inferior a la de saturación, cediendo calor a ésta.

El condensado formado tiende a juntarse en una película sobre la superficie. Esta película constituye la principal resistencia térmica en un proceso de condensación<sup>40</sup>.

## 1.4.3 Interacción de los procesos ebullición y condensación.

La ebullición y la condensación son procesos esencialmente isotérmicos, en lo que respecta al fluido que experimenta el cambio de fase, y mientras se mantiene la coexistencia de ambas fases.

Uno de los campos de aplicación más importantes de estos procesos es el de la refrigeración.

El fluido que debe ser enfriado transfiere calor a un fluido refrigerante en estado saturado, el cual se evapora (evaporador). Esta evaporación causa el efecto refrigerante.

El vapor de refrigerante es comprimido elevando su presión y temperatura, lo cual le permite entregar el calor a un fluido auxiliar (agua o aire) en un condensador. El refrigerante condensado (en estado

---

<sup>39</sup> <http://www.cie.unam.mx/ebullicion>

<sup>40</sup> <http://www.cie.unam.mx/condensacion>

líquido) a alta presión es descomprimido en forma adiabática en una válvula de expansión, que lo lleva de nuevo a la temperatura apropiada para la evaporación. En la válvula tiene lugar una descompresión, con evaporación instantánea de parte del líquido

#### 1.4.3.1 La curva de saturación de una sustancia pura.

La curva de saturación, o curva de "presión de vapor" de una sustancia pura muestra que:

- Tiene dos ramas separadas por el punto crítico que es la cúspide de la curva.
- La rama izquierda representa el líquido saturado y la derecha el vapor saturado.

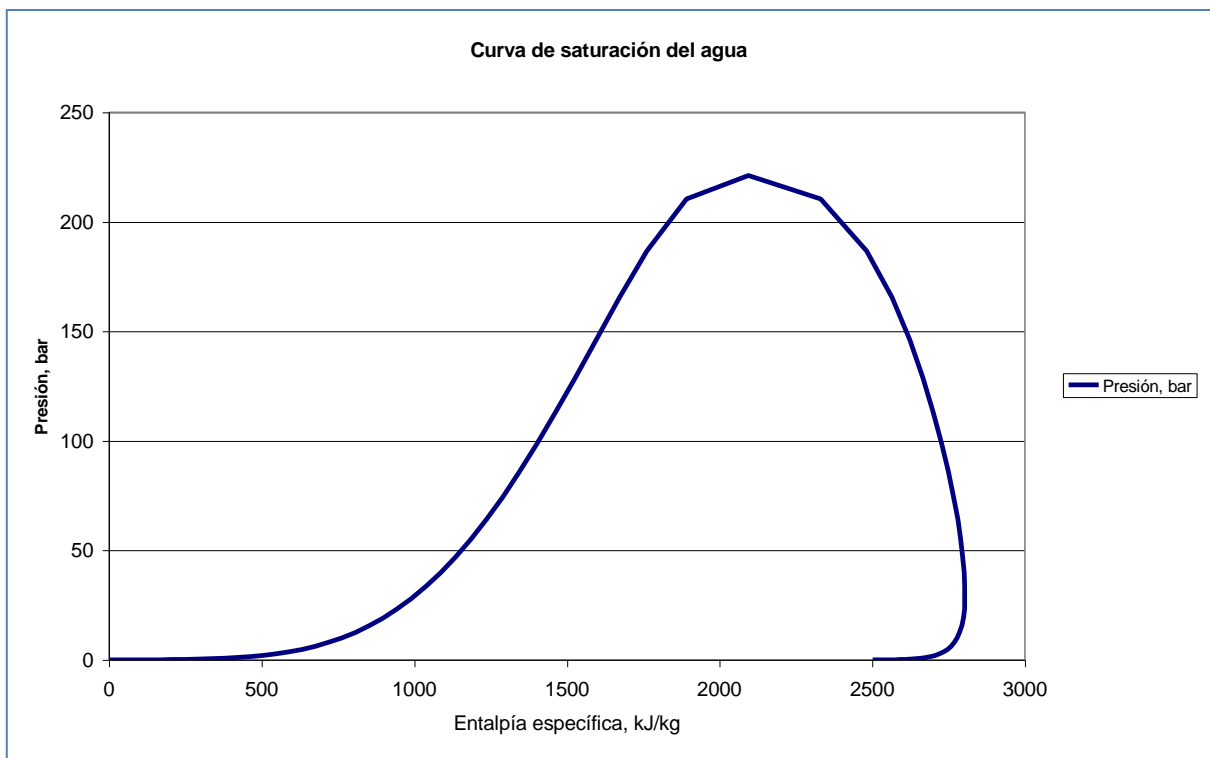


FIG. 16- CURVA DE SATURACION DEL AGUA

EXTRAIDA DE <http://www.herramientasingeneria.com>

El estado saturado existe también en el interior de la campana definida por ambas ramas de la curva.

En el interior, a cada presión, existe una temperatura en que las dos fases líquido y vapor coexisten.

Esta temperatura es el "punto de ebullición" del líquido a la presión considerada.

En la curva de saturación y en el interior de la campana, un fluido sólo puede entregar energía mediante condensación y recibirla mediante evaporación.

En la fase líquida, a la izquierda de la curva de saturación, el líquido está subenfriado. A la derecha, el vapor está sobrecalentado.<sup>41</sup>

#### 1.4.3.1 Calor latente de evaporación/condensación, $\Lambda$ , o $\lambda$ :

Es la diferencia entre las entalpías específicas de las fases líquido-vapor en estado de saturación ( $H_v - H_l$ ). A mayor presión el calor latente disminuye hasta hacerse cero en el punto crítico.

La transferencia de calor hacia o desde los fluidos en esos estados se realiza con variación de temperatura (calor sensible).

#### 1.4.3.3 Punto crítico

Para cada fluido puro existe un estado ( $T=374,15^\circ\text{C}$ ,  $P=221.2$  bar para agua) en que las fases vapor y líquido son indistinguibles.

#### 1.4.3.4 Transferencia de calor en ebullición.

Una vez establecido el régimen de ebullición, el líquido toma la temperatura de saturación ( $T_{\text{sat}}$ ) a la presión del sistema.

Para que exista ebullición, la temperatura de la superficie sumergida ( $T_p$ ) debe estar algunos grados por sobre  $T_{\text{sat}}$ . La diferencia de temperatura (llamada a veces “sobrecalentamiento de pared”) es  $\Delta T = T_p - T_{\text{sat}}$ .

Otra condición necesaria para producir ebullición es la existencia de microcavidades en la superficie. Las burbujas se forman en estas microcavidades. Es difícil iniciar la ebullición en una superficie absolutamente lisa.

Se observan varios regímenes:

- 1.- Convección natural, cuando el líquido no ha alcanzado aún la temperatura de saturación.
- 2.- Ebullición nucleada. La superficie de transferencia de calor está cubierta por líquido y en ella se forman burbujas de vapor, mientras hay evaporación masiva desde la superficie libre del fluido.  $T_{\text{líquido}} = T_{\text{sat}}$ .
- 3.- Ebullición inestable, en transición.

---

<sup>41</sup> La sustancia pura, Universidad de Navarra, 2001

4.- Ebullición estable en película. Una película de vapor se establece sobre la superficie

#### 1.4.3.5 Transferencia de calor en la condensación.

La condensación se produce cuando un vapor saturado que se pone en contacto con una superficie a menor temperatura, se enfría hasta que la temperatura se hace inferior a su temperatura de saturación.

Si el vapor es puro, la temperatura de saturación corresponde a la presión total; si se trata de una mezcla de vapor y gas no condensable, la temperatura de saturación corresponderá a la presión parcial del vapor.<sup>42</sup>

### 1.5 Instalaciones de energía solar térmica.

Las instalaciones de Energía Solar Térmica se pueden clasificar según el uso de los elementos mecánicos para la captación de radiación solar, en: pasivas o activas.

- Las instalaciones pasivas se basan en procesos físicos básicos, y están enfocadas a la aclimatación (calefacción o refrigeración) de volúmenes habitados, todo esto sin la actuación de ningún instrumento mecánico, utilizan los propios elementos y materiales de construcción para obtener el mayor aprovechamiento de la energía solar.

- Las instalaciones activas pueden ser térmicas o fotovoltaicas. Las primeras son el objeto de estudio principal ya que se utilizan para el calentamiento de fluidos, normalmente agua, y para la refrigeración de aire a partir de la concentración de la radiación Solar.

Dependiendo de la temperatura final alcanzada por el fluido a la salida, las instalaciones activas para el calentamiento de fluidos se dividen en:

- Baja temperatura (las más extendidas)
- Media temperatura
- Alta temperatura

Para el caso del presente trabajo limitaremos a investigar únicamente de instalaciones activas de baja temperatura.<sup>43</sup>

---

<sup>42</sup> [www.itescam.edu.mx](http://www.itescam.edu.mx)

<sup>43</sup> La Guía ASIT de la energía solar térmica, 2008



### 1.5.1 Instalaciones de Baja temperatura

El sistema más simple para aprovechar la energía calorífica del sol (radiación infrarroja) es la instalación de un colector solar plano, en el cual se hace pasar agua en el serpentín de cobre para aumentar la temperatura del agua por medio de la radiación incidente. Esta agua es usada principalmente para fines de uso domestico y sanitario.

Estos sistemas aumentan la temperatura del agua hasta 80°C aproximadamente.

Por otra parte el agua calentada requiere ser transportada a un sistema de almacenamiento, de manera que tenga la capacidad de mantener la temperatura del agua hasta que sea utilizada.

Las instalaciones para la producción de ACS se pueden clasificar en: circuitos abiertos y circuitos cerrados.<sup>44</sup>

#### 1.5.1.1 Circuitos Abiertos

El agua que circula por los colectores se usa directamente para el consumo. Estas instalaciones no disponen de intercambiador quedando su aplicación limitada por factores tales como la calidad del agua o la existencia de heladas estacionales.

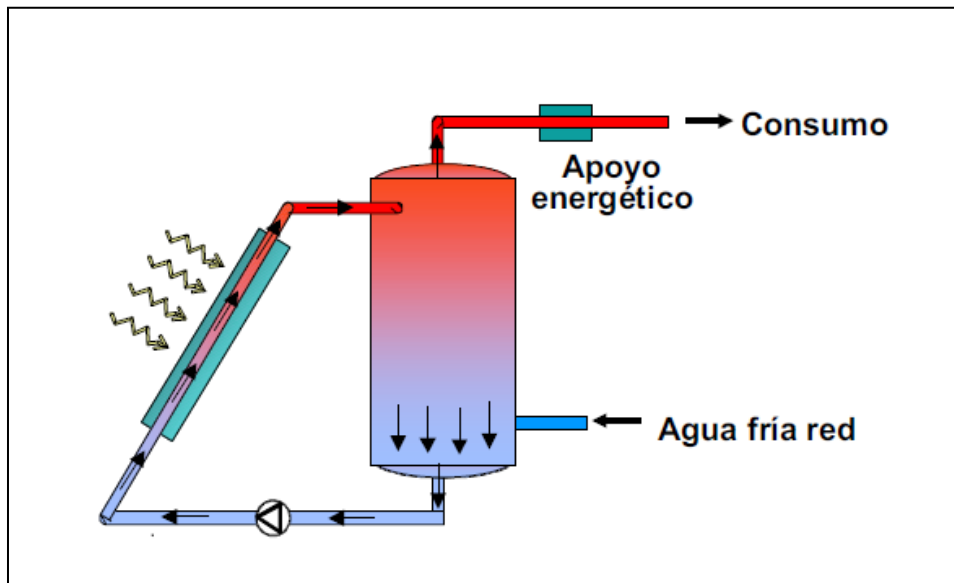


FIG. 17- CIRCUITO ABIERTO

<sup>44</sup> La guía ASIT de la energía solar térmica, 2008

### 1.5.1.2 Circuitos Cerrados

Se puede observar la distinción de dos circuitos diferentes. El circuito primario estaría constituido por los colectores donde se produce el calentamiento del agua y por la bomba de impulsión. Esta agua cede su calor por medio de un intercambiador al agua que circula por el circuito secundario, siendo éste agua la que es almacenada en el acumulador. Como elemento independiente del depósito de acumulación además de la bomba del circuito secundario, se encuentra la fuente energética auxiliar, que entra en funcionamiento cuando la temperatura del agua de salida del acumulador es inferior a los requerimientos de la demanda.<sup>45</sup>

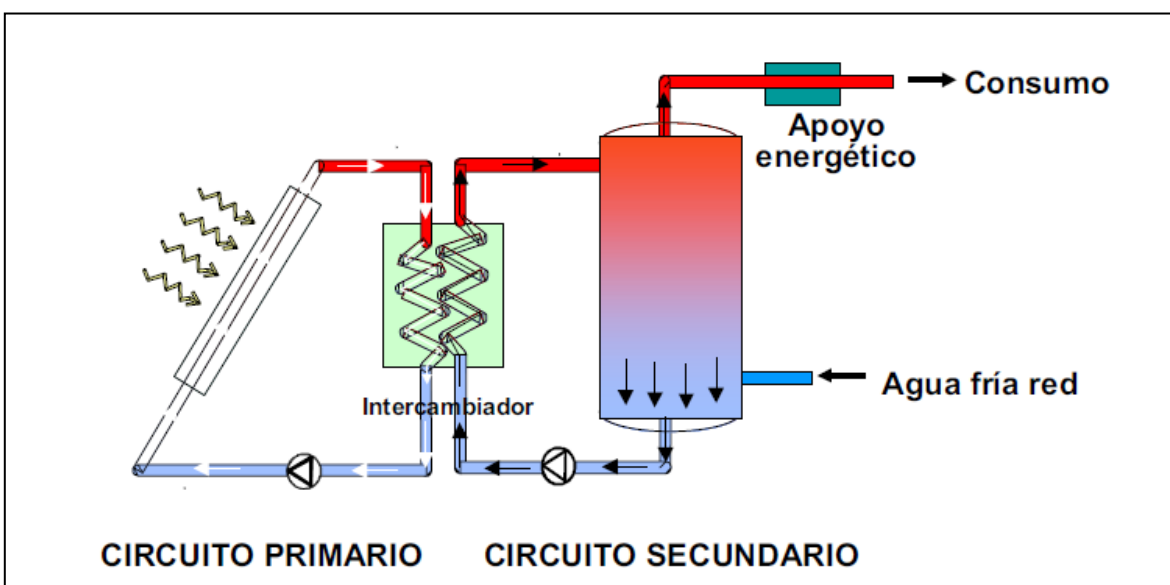


FIG. 18- CIRCUITO CERRADO

EXTRAIDO <http://www.sunflower-solar.com>

### 1.5.2 Partes principales de un sistema de baja temperatura.

Las instalaciones de baja temperatura requieren para su funcionamiento el acoplamiento de tres subsistemas principales:

- **Subsistema de captación:** cuya finalidad es la captación de la energía solar.
- **Subsistema de almacenamiento:** cuya finalidad es adaptar en el tiempo la disponibilidad de energía y la demanda, acumulándola cuando está disponible, para poderla ofrecer en cualquier momento en que se solicite.

<sup>45</sup> La guía ASIT de la energía solar térmica, 2008

- **Subsistema de distribución y consumo:** cuya finalidad es trasladar a los puntos de consumo el agua caliente producida.

El funcionamiento de los tres subsistemas está condicionado por la meteorología, fundamentalmente radiación solar y temperatura, así como por la demanda.<sup>46</sup>

### 1.5.2.1 Subsistemas de Captación.

El subsistema de captación está constituido por el colector solar que es un dispositivo utilizado para coleccionar, absorber y transferir energía solar a un fluido, que puede ser agua o aire.

Comúnmente los colectores solares son clasificados de la siguiente forma:

- Colectores de placa plana (Flat plate collectors)
- Colectores Concentradores Parabólicos Compuestos (CPC) Estacionarios
- Colectores de tubos de vacío (Evacuated-tube collectors)

#### 1.5.2.1.1 Colectores solares de placa plana (Flat Plate Collectors).

Los colectores solares de placa plana se clasifican en dos tipos:

- Sin cubierta
- Con cubierta

Los primeros son los más sencillos y baratos, consisten en un absorbedor pero carecen de la cubierta transparente. No incluyen ningún aislamiento adicional, de manera que la ganancia de temperatura queda limitada a unos 20 °C sobre la del aire del ambiente, son los más adecuados para aplicaciones de baja temperatura. Actualmente, son utilizados para la calefacción de piscinas al aire libre, pero existen otros mercados, incluidos los de calefacción de temporada en las piscinas cubiertas, calefacción de agua para lavar coches, y calefacción del agua utilizada en piscicultura. También existe un mercado potencial de estos colectores para calentamiento de agua en lugares remotos, como campamentos de verano. Los materiales absorbedores de estos colectores son generalmente de plástico negro tratado para resistir la luz ultravioleta, o están contruidos por tubos de metal o plástico recubiertos de pigmentos ennegrecidos por los que circula el agua

(Figura 15). Dado que estos colectores no tienen cubierta, una gran parte de la energía solar absorbida se pierde principalmente por convección.

---

<sup>46</sup> Instalaciones de energía solar térmica, 2009



FIG. 19- COLECTORES SIN CUBIERTA

EXTRAIDA DE <http://cer.gob.cl/>

El segundo tipo es el más utilizado para calentamiento de agua de uso domestico debido a esto se da una descripción más detallada en cuanto a su funcionamiento, componentes principales, marcas y modelos disponibles en el mercado, ventajas y desventajas.<sup>47</sup>

#### 1.5.2.1.1 Funcionamiento de los colectores solares de placa plana con cubierta.

La radiación solar es absorbida por la placa que está construida de un material que transfiere rápidamente el calor a un fluido que circula a través de tubos en el colector (Figura 18). Este tipo de colectores, calientan el fluido que circula a una temperatura considerablemente inferior a la del punto de ebullición del agua y son los más adecuados para aplicaciones donde la demanda de temperatura es de 30-70 °C. Son los más utilizados para calentar agua en sistemas domésticos y comerciales y en piscinas cubiertas.

Estos colectores demostraron poseer una muy buena relación precio/calidad y tienen una amplia gama de posibilidades para su montaje (en el techo, como parte del techo, o solos).

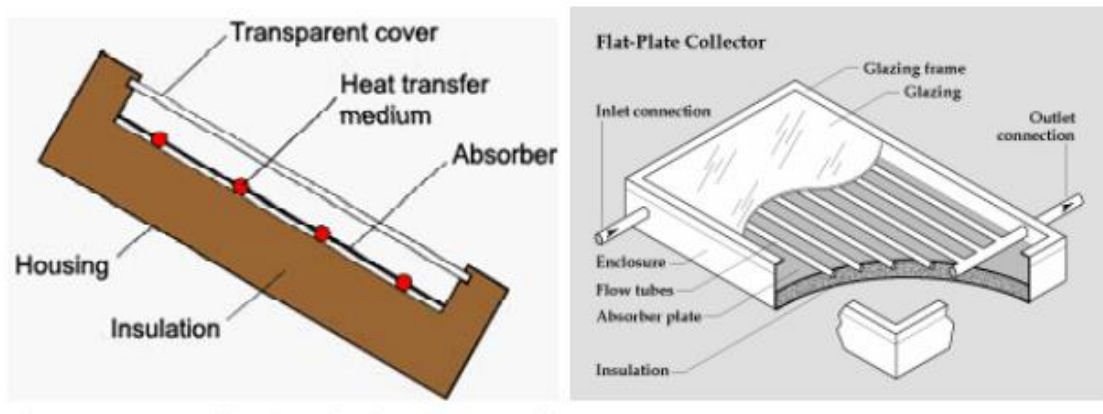


FIG. 20- COMPONENTES DE UN COLECTOR CON CUBIERTA

EXTRAIDA DE [www.casasrestauradas.com](http://www.casasrestauradas.com)

<sup>47</sup> Teoría para el diseño de calentadores solares de agua, 2003

Con los conceptos previamente definidos: absorptancia ( $\alpha$ ), reflectancia ( $\rho$ ) y transmitancia ( $\tau$ ) se podrá entender aun mejor el funcionamiento del colector de placa plana debido a que estos conceptos están involucrados con la radiación incidente.

Cuando la energía radiante ( $G$ ) incide sobre una superficie, una parte de ésta puede ser reflejada por la superficie ( $\rho G$ ), otra parte será absorbida por la superficie ( $\alpha G$ ) y una parte podrá atravesar dicha superficie ( $\tau G$ ). Queda claro que en un balance de energía ésta se debe mantener, por lo que:

$$G = \rho G + \alpha G + \tau G \quad \text{Ec.1}$$

Con lo que podemos encontrar la relación de dichos parámetros:

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad \text{Ec.2}$$

En este esquema (Figura 19) se muestran los diferentes componentes expresados.

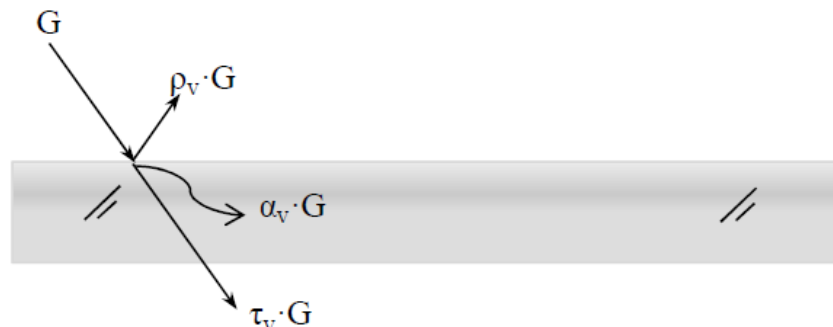


FIG. 21- INCIDENCIA DE LA RADIACION SOLAR EN LA CUBIERTA DEL COLECTOR

EXTRAIDO DE <http://libros.redsauce.net/>

Para entender el fenómeno que se produce con la radiación en el interior de un colector solar, se deben entender primero los fenómenos relacionados con la radiación que interviene. Las leyes básicas de la radiación son las siguientes:

- Todo cuerpo a una temperatura mayor a 0 K emite energía radiante, como por ejemplo el Sol, la Tierra, las personas, etc.
- Los objetos a mayor temperatura emiten mayor cantidad de energía radiante en global según la ecuación de Stefan-Boltzmann.
- Los cuerpos a mayor temperatura emiten un máximo de radiación a longitud de onda más corta.

Esta última aseveración es una de las más importantes para tratar de explicar el fenómeno del efecto invernadero, cuerpos a distintas temperaturas emiten radiación a diferentes longitudes de onda<sup>48</sup>.

En esta grafica se ilustra las curvas de emisión radiante a diferentes temperaturas:

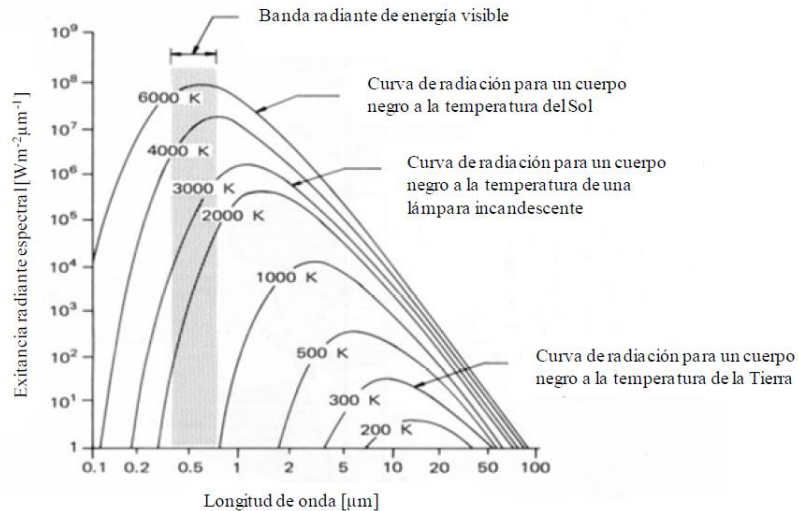


FIG. 22- CURVA DE EMISION RADIANTE

EXTRAIDO <http://eo.ucar.edu>

Como se puede observar, el Sol, a una temperatura superficial media de casi 5700 K tiene un máximo de radiación cercano a 0,5  $\mu\text{m}$  de longitud de onda (el 98% de la radiación emitida por el sol se encuentra entre los 0,25  $\mu\text{m}$  y los 4,14  $\mu\text{m}$ ). En cambio, un cuerpo a la temperatura media de la tierra, 300K, tiene su máximo de radiación sobre los 10  $\mu\text{m}$ .

El elemento encargado de producir el efecto invernadero en el colector es la cubierta transparente. El vidrio de la cubierta ha de ser transparente para la radiación solar y opaca para la radiación térmica. Es decir, tener una alta transmitancia para longitudes de onda a las que emite el Sol y tener una alta reflectancia para la radiación infrarroja emitida por el absorbedor del colector. Este fenómeno permite reducir las pérdidas del colector al aprovechar parte de la radiación emitida por el absorbedor. Este fenómeno se muestra a continuación (Figura 20)

<sup>48</sup> Fundamento Teórico de la energía solar, 2006

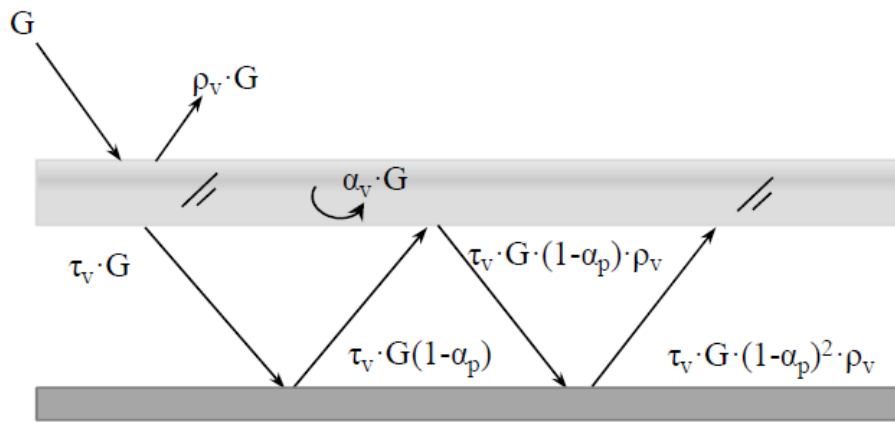


FIG. 23- EFECTO INVERNADERO DE UN COLECTOR CON CUBIERTA

EXTRAIDO DE <http://libros.redsauce.net/>

Una gran parte de la energía radiante incidente ( $G$ ) a baja longitud de onda atraviesa la cubierta de vidrio ( $\tau_v G$ ) e incide sobre la placa absorbidora. De ésta energía, una parte es emitida en forma de radiación infrarroja hacia el exterior ( $\tau_v G(1-\alpha_p)$ ). Como el vidrio es casi opaco para estas longitudes de onda y por lo tanto tiene una alta reflectancia, la mayoría de la energía que incide sobre el vidrio se refleja de nuevo hacia la placa.

Si se trata de hacer un estudio matemático de este proceso se puede llegar a deducir cuál es la cantidad de radiación incidente sobre la placa.

La radiación que incide sobre la placa no es más que la suma de los infinitos términos de la serie geométrica siguiente:

$$\tau_v G + \tau_v G(1-\alpha_p)\rho_v + \tau_v G(1-\alpha_p)^2\rho_v^2 + \tau_v G(1-\alpha_p)^3\rho_v^3 \dots \text{Ec.3}$$

De la que se puede sacar factor común para obtener la siguiente expresión:

$$\tau_v G (\tau_v(1-\alpha_p)\rho_v + \tau_v(1-\alpha_p)^2\rho_v^2 + \tau_v(1-\alpha_p)^3\rho_v^3 \dots) \text{Ec.4}$$

Para resolver una serie geométrica como ésta es necesario encontrar el término llamado "razón", es decir, aquello que nos permite pasar de un término a otro multiplicándolo por la razón. En este caso la razón es  $(1-\alpha_p)\rho_v$

La fórmula general para resolver una suma de serie geométrica es:

$$\text{suma geométrica} = \frac{1^\circ \text{termino}}{1-\text{la razón}} \text{Ec.5}$$

Por lo que identificada la razón y el primer término (1) se puede llegar a calcular la radiación incidente sobre la placa gracias al efecto invernadero.

$$\text{radiación incidente} = \frac{\tau_v G}{(1-\alpha_p)\rho_v} \text{Ec.6}$$

Observando el denominador se ve que éste es siempre un número menor a uno, por lo que la radiación incidente va a tomar siempre un valor superior a  $\tau_v G$  que sería la radiación incidente si no se produjera el efecto invernadero<sup>49</sup>.

### 1.5.2.1.1.2 Componentes de un colector de placas planas con cubierta.

El colector de placa plana está compuesto por cuatro elementos principalmente: la cubierta transparente, placa captadora, aislante térmico y carcasa<sup>50</sup>.

#### a) Cubierta Transparente

Es donde se produce efecto invernadero, debido a que una parte de la radiación que ha atravesado la cubierta y llega a la placa captadora es reflejada hacia la cubierta la transparente, con lo que se consigue retener la radiación en el interior. Este efecto nos define las características de la cubierta:

- ✓ Alto coeficiente de transmisión de la radiación solar, en la banda de 0.3 a 3  $\mu\text{m}$ , el cual debe conservarse a lo largo de los años.  
Bajo coeficiente de transmisión para las ondas largas, superiores a 3 $\mu\text{m}$ .
- ✓ Bajo coeficiente de conductividad térmica, que dificulte el paso de calor desde la superficie interior hacia la exterior, minimizando así las pérdidas.
- ✓ Alto coeficiente de reflexión para la longitud de onda larga de la radiación emitida por la placa captadora, a fin de que ésta retorne a la placa.

Debido a esto, la cara interior de la cubierta estará más caliente que la exterior, y por tanto se dilatará más, existiendo riesgo de rotura o deformación, por lo que la cubierta transparente ha de tener un coeficiente de dilatación pequeño.

Se recomienda el uso de una doble cubierta o aumentar el espesor de la cubierta transparente para tratar de minimizar las pérdidas por convección, pero estas soluciones aumentan las pérdidas por absorción del flujo solar incidente, además de encarecer el panel. En general, se puede decir que la doble cubierta es tanto más eficiente cuanto más baja sea la temperatura exterior y más fuerte sea el viento.

Los principales materiales utilizados son:

- ✓ Vidrio: Son transparentes a la radiación de onda inferior a 3 $\mu\text{m}$  y opacos a las radiaciones superiores. Existen numerosas variedades de vidrio que se distinguen por su composición química, sus características mecánicas y ópticas, etc. Se debe elegir los vidrios recocidos o templados, ya que se mejoran sus propiedades mecánicas sin alterar a las ópticas.
- ✓ Materiales plásticos: Se presentan bajo la forma de películas flexibles de algunas décimas de milímetros de espesor, o bajo forma de placa rígida de algunos milímetros. Sus características principales son: baja densidad, mala conductividad térmica, coeficiente de

---

<sup>49</sup> Fundamento teórico de la energía solar, 2006

<sup>50</sup> El colector solar de placa plana, PROCOBRE



dilatación lineal importante y baja resistencia a temperaturas elevadas. Además, sufren deterioro físico e inestabilidad química bajo la acción de los elementos exteriores.

Tratamientos especiales de la cubierta:

- ✓ Tratamiento antirreflectante sobre la superficie exterior para disminuir las pérdidas por reflexión de los rayos incidentes.
- ✓ Tratamiento sobre la superficie interior para que refleje las radiaciones de gran longitud de onda y no impida el paso de la radiación de corta longitud.

El problema de estos tratamientos es el encarecimiento de los colectores solares.

## **b) Placa Captadora**

Tiene como objetivo absorber de la forma más eficiente posible la radiación solar y transformarla en energía térmica utilizable mediante su transferencia al fluido de trabajo.

Existen diferentes modelos, de los cuales los más usuales son<sup>51</sup>:

- Dos placas metálicas de cobre separadas por unos milímetros, entre las cuales circula el fluido de trabajo.
- Placa metálica de cobre sobre la cual están soldados o embutidos los tubos por los que circula el fluido de trabajo. En lugar de una placa metálica se puede dotar de unas aletas de cobre a los tubos de cobre.
- Dos láminas de metal de cobre unidas a gran presión excepto en los lugares que forman el circuito del fluido de trabajo, los cuales han sido abombados mediante insuflación de aire.
- Placas de plástico, usadas exclusivamente en climatización de piscinas.

La cara de la placa captadora que se expone al de los rayos solares tiene un recubrimiento para una mejor absorción de radiación, el cual puede ser:

- Pintura de color negro u oscuro que absorbe la radiación solar. Presenta el inconveniente de tener un coeficiente de emisión sensiblemente igual al de absorción, por lo que no es recomendable para altas temperaturas.
- Superficies selectivas. Posee un coeficiente de absorción de radiación solar alto y un bajo coeficiente de emisión. No existen materiales simples que tengan esta propiedad, por lo que ésta se consigue por medio de superposición de capas o tratamientos especiales de la superficie.

---

<sup>51</sup> El colector solar de placa plana, PROCOBRE

### Características de la placa captadora:

- Tratamientos de la superficie: Las pinturas son más económicas que los tratamientos selectivos pero se estropean antes.
- Pérdidas de carga: Si la instalación va a funcionar por medio de termosifón, éstas no deben ser superiores a 3 mm de columna de agua por 1 m<sup>2</sup> de colector para que la circulación sea la adecuada y no se produzcan grandes saltos térmicos.
- Corrosión interna: No se debe mezclar el cobre y el acero, para evitar la corrosión de este último.
- Inercia térmica de la placa captadora: Cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de la placa y del fluido de trabajo en un tiempo determinado. La inercia térmica depende por lo tanto del volumen de fluido que pueda contener, por lo que interesa reducirlo al mínimo para mejorar el funcionamiento del panel.
- Homogeneidad de la circulación: Con el fin de que el fluido de trabajo que circula por la placa tenga un reparto de temperaturas equilibrado. Esto es vital para los paneles con doble placa en los que el diseño del circuito del fluido es de suma importancia para el rendimiento del panel.
- Transmisión de calor: En los paneles con doble placa, la transmisión de calor es directa, no ocurriendo lo mismo para los que poseen los tubos soldados o embutidos. En este último caso la transferencia de calor va a depender de: la conductividad de la placa; la separación, diámetro y espesor de los tubos; el rendimiento y régimen del líquido; y de la buena ejecución de las soldaduras o de los acoplamientos a presión.
- Entradas y salidas del fluido en la placa: Procurar que las pérdidas de cargas en estos lugares sean bajas y que las soldaduras no estén forzadas para impedir posibles fugas.
- Puentes térmicos: Aislar las entradas y salidas para evitar pérdidas importantes debido a la creación de puentes térmicos entre la placa y los elementos no aislados.
- Resistencia a la presión: Debe ser capaz de soportar la presión de la red. En caso de que los paneles se instalen con un circuito primario aislado de la red, se debe prever el aumento de presión debido a la conexión de la placa a la red, la pérdida de carga y el llenado necesario del circuito primario desde la red.
- La obstrucción del circuito primario: Debido a incrustaciones por minerales o por tapones de hielo, por lo que hay que dotar a la instalación de los elementos necesarios que eviten la producción de sobrepresiones.

### c) Aislamiento térmico

La placa captadora está protegida en su parte posterior y lateral por medio de un aislamiento térmico para evitar las pérdidas de calor hacia el exterior. Las características de estos aislantes deben ser<sup>52</sup>:

---

<sup>52</sup> El colector solar de placa plana, PROCOBRE

- Resistencia a altas temperaturas sin deteriorarse, lo que muchas veces se obtiene colocando entre la placa y el aislante una capa reflectante, que impida que el aislante reciba directamente la radiación.
- Desprender pocos vapores al descomponerse por el calor y en caso de ocurrir que no se adhieran a la cubierta.
- No degradarse por el envejecimiento u otro fenómeno a la temperatura habitual de trabajo.
- Soportar la humedad que se pueda producir en el interior de los paneles sin perder sus cualidades.

Los materiales comúnmente utilizados son: la fibra de vidrio, la espuma rígida de poliuretano y el poliestireno expandido. Cualquiera que sea el material seleccionado deberá tener un coeficiente de dilatación compatible con el de los demás componentes del panel solar.

#### **d) Carcasa**

Es aquella que protege y soporta los elementos que constituyen el colector solar, además de servir de enlace con el edificio, por medio de los soportes. Debe cumplir los siguientes requisitos<sup>53</sup>:

- ❖ Rigidez y resistencia estructural que asegure la estabilidad. Es de suma importancia ya que debe resistir las cargas por viento, lluvia y nieve.
- ❖ Resistencia de los elementos de fijación: mecánica para los esfuerzos a transmitir; y química para soportar la corrosión.
- ❖ Resistencia a la intemperie. A los efectos corrosivos de la atmósfera y a la inestabilidad química debido a las inclemencias del tiempo.
- ❖ Aireación del interior del colector para evitar la condensación del agua.
- ❖ Evitar toda geometría que permita la acumulación de agua hielo o nieve en el exterior del colector.
- ❖ Facilitar el desmontaje de la cubierta para poder tener fácil acceso a la placa captadora para fines de mantenimiento.

---

<sup>53</sup> El colector solar de placa plana, PROCOBRE

### 1.5.2.1.1.3 Configuración de tubos internos en los colectores solares planos con cubierta.

Existen un gran número de diferentes configuraciones de los tubos internos en los colectores de placa plana.



FIG. 24- CONFIGURACION DE TUBO EN SERPENTIN

EXTRAIDO DE <http://elee.wordpress.com>

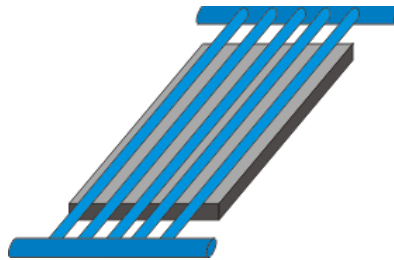


FIG. 25- CONFIGURACION DE TUBOS EN PARALELO

EXTRAIDO <http://elee.wordpress.com>

Los colectores tradicionales, como los de serpiente (Figura 21) o los de tubos paralelos (Figura 22), consisten en varios tubos de cobre orientados en forma vertical con respecto al colector y en contacto con una placa de color oscuro, generalmente esta placa es metálica aunque que en algunos casos puede ser de plástico o algún otro materia<sup>54</sup>.

---

<sup>54</sup> [www.tecnodesarrollos.com.mx](http://www.tecnodesarrollos.com.mx)

En el caso de los colectores de tubos paralelos, se colocan tubos de mayor sección en la parte inferior y superior, para asistir a la extracción de agua caliente y al ingreso de agua fría para su calefacción.

#### 1.5.2.1.1.4 Ventajas y desventajas de los colectores de placas planas.

Ventajas	Desventajas
Soportan una amplia gama de presiones de operación (tinacos, red municipal, tanque elevado, etc.)	Mayor peso
Mayor resistencia durante su transporte, elevación y maniobras.	Requieren protección anticongelante en climas templados y fríos durante el invierno.
Más resistentes al vandalismo	Cambio periódico de la cubierta de policarbonato.
Mínimo mantenimiento	Formación de sarro en tuberías
Operan por circulación Natural	Eficiencia entre 7% y 9% <sup>55</sup>

Tabla 1-VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE COLECTORES DE PLACAS PLANAS

#### 1.5.2.1.2 Colectores Concentradores Parabólicos Compuestos (CPC) Estacionarios

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

Estos colectores poseen un sistema de concentración de radiación solar tipo Concentradores Parabólicos Compuestos, para obtener temperaturas más elevadas y un mayor rendimiento. Estas características se deben a que el área de pérdidas es menor al área de colección logrando una minimización de las pérdidas y alcanzando un rendimiento cercano al 50%<sup>56</sup> (Figura 23).

<sup>55</sup> [www.solartechnology.com.mx](http://www.solartechnology.com.mx)

<sup>56</sup> [www.cie.unam.mx](http://www.cie.unam.mx)

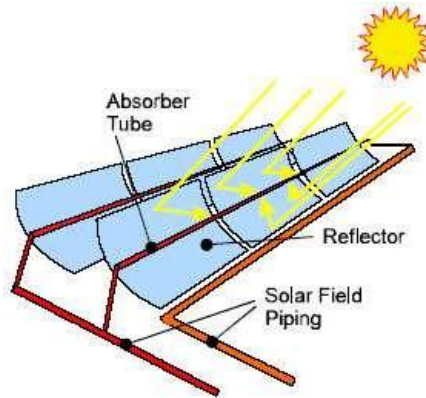


FIG. 26- COLECTORES CONCENTRADORES PARABOLICOS

EXTRAIDO <http://smienergias.wordpress.com/category/energia-solar>

#### 1.5.2.1.2.1 Ventajas y Desventajas

VENTAJAS	DESVENTAJAS
La ventaja importante de este tipo de colectores ante todo la reducción de las pérdidas térmicas en el receptor	Los colectores concentradores sólo utilizan la radiación directa y no la difusa.
El fluido de trabajo llega a temperaturas mayores en un colector concentrador, tomando la misma superficie de colector en ambos. Esto significa que se puede lograr una mayor eficiencia térmica.	Es necesario implementar un sistema de seguimiento solar con los colectores: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colectores cilindro parabólicos</li> <li>✓ Disco parabólico</li> </ul> Helióstato
Dado que la superficie absorbente es pequeña (con respecto al área total del colector), ocupar superficies de absorción selectivas y ocupar zonas de vacío en ésta para disminuir pérdidas (y por lo tanto la eficiencia del colector) son alternativas económicamente viables	

Tabla 2-VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS COLECTORES CONCETRADORES PARABOLICOS

### 1.5.2.1.3 Colectores de tubo de vacío

Estos colectores se componen de un conjunto de tubos de vacío (o evacuados), cada uno de los cuales contienen un material absorbedor de energía (generalmente una plancha de metal con tratamiento selectivo o de color negro), el cual recoge la energía solar y la transfiere a un fluido de trabajo. Gracias a las propiedades aislantes del vacío, las pérdidas de calor son reducidas y pueden alcanzarse temperaturas en el rango de 77 °C a 177 °C<sup>57</sup>. De esta manera, este tipo de colectores resultan particularmente apropiados para aplicaciones de alta temperatura.

Por su forma cilíndrica, aprovechan la radiación de manera más efectiva que los colectores planos, al permitir que los rayos de sol incidan de forma perpendicular sobre los tubos durante la mayor parte del día. Estos colectores son hasta unos 30%<sup>58</sup> más eficientes que los colectores planos, pero son bastante caros, por unidad de superficie suelen costar aproximadamente el doble que un colector de placa plana. Están bien adaptados para aplicaciones industriales de calefacción y también puede ser una alternativa eficaz a los colectores de placa plana para la calefacción doméstica, especialmente en regiones donde hay poca radiación.

La técnica de vacío utilizada por los fabricantes de tubos fluorescentes, entre otros, se ha desarrollado hasta el punto de hacer rentable la producción en masa y la comercialización de sus equipos. Mediante la aplicación de esta tecnología, ha sido posible la construcción de los colectores solares de vacío que se comercializan en la actualidad y el mantenimiento de su elevado vacío. Debido a sus características geométricas, reciben el nombre de colectores de tubos de vacío. Existen dos tipos de colectores tubulares de vacío, según sea el método empleado para el intercambio de calor entre la placa y el fluido caloportador<sup>59</sup>:

1. De flujo directo
2. Con tubo de calor (heat pipe)

#### 1.5.2.1.3.1 Colectores de tubo de vacío de flujo directo.

Los calentadores de flujo directo también son clasificados debido a su aplicación como colectores de baja presión. Estos consisten en un grupo de tubos de vidrio (dentro de cada uno de los cuales hay una aleta de aluminio, conectada a un tubo de metal (normalmente cobre) o tubo de vidrio (Figura 23). La aleta posee un recubrimiento selectivo que absorbe la radiación solar, e inhibe la pérdida de calor radiactivo. El fluido de transferencia de calor es el agua y se distribuye a través de las tuberías, de las cuales una se utiliza para la entrada del líquido y la otra para la salida de fluidos (Figura 24). Los colectores de tubos de vacío de flujo directo se encuentran en diferentes variedades de acuerdo al tipo de tubería utilizada.

1. Fluido concéntrico de entrada y salida (vidrio-metal). Estos utilizan un único tubo de vidrio. Dentro de este está la tubería de cobre adosada a la aleta. Este tipo de construcción permite que cada una de las tuberías roten para otorgar el ángulo de inclinación deseado y permitir la máxima absorción en la aleta, aun cuando el colector se monta horizontalmente. El diseño de vidrio y metal es eficiente, pero pueden tener problemas, las diferentes tasas de expansión térmica del vidrio y los tubos de metal pueden hacer que la junta entre ellos se debilite y provocar una

---

<sup>57</sup> [www.solartechnology.com.mx](http://www.solartechnology.com.mx)

<sup>58</sup> [www.conae.gob.mx](http://www.conae.gob.mx)

<sup>59</sup> [www.thermosol.com](http://www.thermosol.com)

pérdida de vacío. Sin el vacío, la eficiencia de estos colectores no es mejor, y puede ser peor que la de un colector de placa plana.

2. Tuberías de entrada y salida separadas (vidrio-metal). Este es el tipo tradicional de colectores de tubos de vacío. El absorbedor puede ser plano o curvo. Como en el caso del diseño de tubos concéntricos, la eficiencia puede ser muy elevada, sobre todo cuando se requieren temperaturas de trabajo relativamente bajas. La posible pérdida de vacío después de algunos años de funcionamiento vuelve a ser el inconveniente.

3. Dos tubos de vidrio fundido juntos en un extremo (vidrio-vidrio). El tubo interior está revestido con un absorbedor integrado cilíndrico de metal. En general no son tan eficientes como los tubos de vidrio-metal, pero son más baratos y tienden a ser más confiables. Para aplicaciones de muy alta temperatura, los tubos de vidrio-vidrio pueden ser más eficientes que sus homólogos de vidrio y el metal.

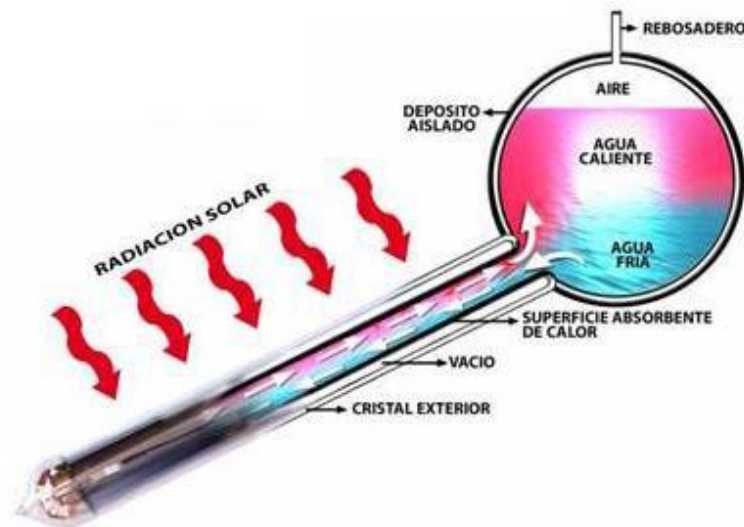


FIG. 27- TUBO DE VACIO DE FLUJO DIRECTO

EXTRAIDO DE <http://www.e-renovables.es/categoria-tubos-evacuados.html>



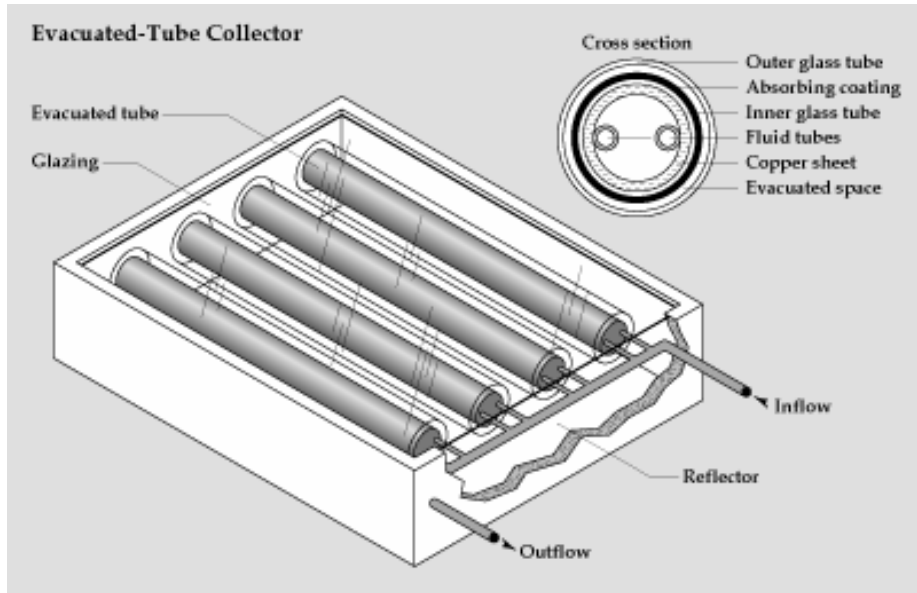


FIG. 28- COLECTOR DE TUBOS

EVACUADOS EXTRAIDO DE <http://www.aqpsolarenergy.com/>

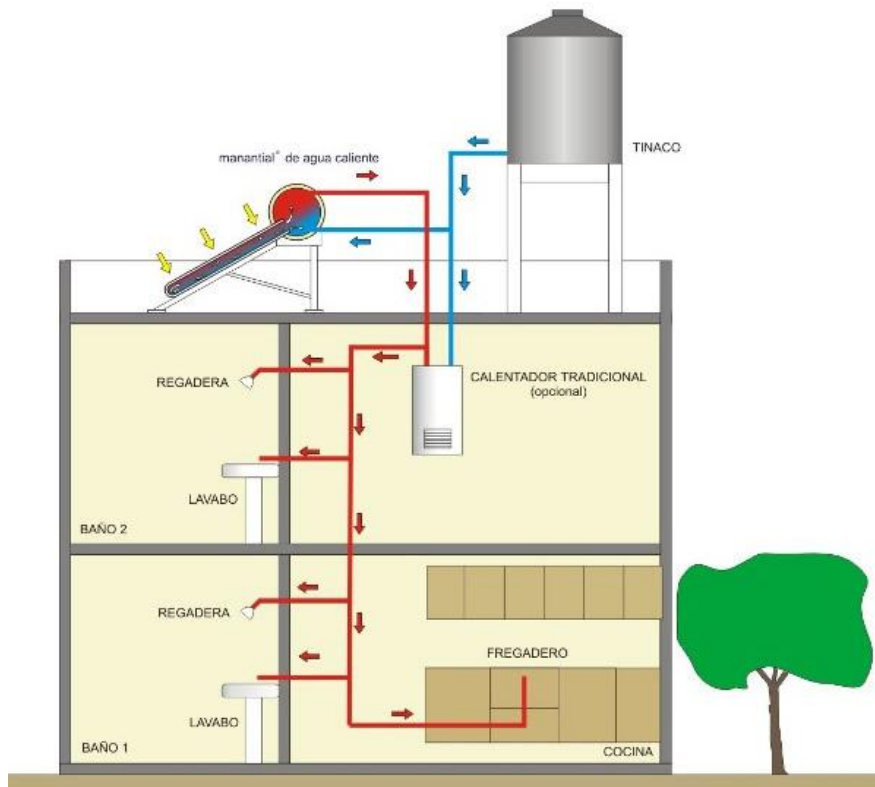


FIG. 29- ESQUEMA DE INSTALACION DE UN CALENTADOR SOLAR

EXTRAIDO DE <http://www.vxv.com/video/3y72uilm6OoJ>

### 1.5.2.1.3.2 Ventajas y Desventajas

Ventajas	Desventajas
No requieren protección anticongelante	Requieren cambios periódicos de los empaques que sirven de sellos entre los tubos y el tanque.
Son ligeros	Menor resistencia al vandalismo.
La conexión de los tubos de vidrio es directa al termotanque mediante empaques sin necesidad de tuberías o mangueras.	Si el espesor del tubo de vidrio exterior es menor a 1.5mm no soportan fuertes granizadas
Menor precio	No aprueban la presión requerida para el DIT (Dictamen de Idoneidad Técnica). Ver (Figura 26)
Operan por termosifón	Riesgo de daño en los tubos de vidrio por choque térmico si se llenan con agua estando expuestos a la radiación solar.

Tabla 3-VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN COLECTOR DE TUBOS EVACUADOS

## Dictamen de Idoneidad Técnica (DIT)

**CALENTADOR SOLAR CON COLECTOR SOLAR PLANO**  
 Producido por: Heliocol de México S. A. de C. V.  
 Boulevard Toluca No. 14 y 16  
 Col. San Francisco Cuautlalpan  
 Naucalpan Estado de México, C. P. 53370  
 Tels. 01(55) 5250 6100

Calentador Solar con Colector Solar  
 Plano CR-100

Vigencia 15 de mayo del 2010



[www.onnce.org.mx](http://www.onnce.org.mx)  
[onnce@mail.onnce.org.mx](mailto:onnce@mail.onnce.org.mx)

Contacto: Ing. Felipe Sánchez  
 Email: [felipe@heliocol.com.mx](mailto:felipe@heliocol.com.mx)  
[www.heliocol.com.mx](http://www.heliocol.com.mx)

Dictamen de idoneidad técnica DIT/057/09 emitido por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S. C., con base en las Especificaciones para determinar el ahorro de gas LP, en el sistema de calentadores solares de agua que utilizan la radiación solar y el gas LP\* (PROCAL SOL).<sup>1</sup>

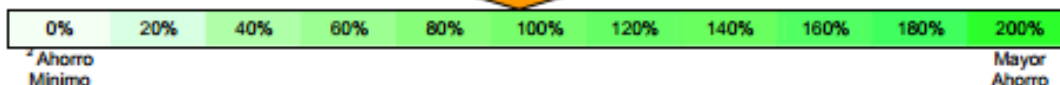
### Características del producto

El "Calentador Solar" es un equipo de calentamiento de agua cuya fuente de energía es la solar, el cual puede acoplarse a un calentador de gas. Está integrado por el colector solar, el termotanque y la estructura de soporte, elementos descritos a continuación:

- **Colector solar:** Es el elemento absorbedor que transforma la energía solar en energía térmica misma que emplea para calentar el agua. Área de colección 1,87 m<sup>2</sup>
- **Termotanque:** Es el depósito en el que se almacena el agua caliente proveniente del colector solar, el cual cuenta con un aislante térmico. Capacidad real de almacenamiento 152,8 L
- **Estructura de soporte:** Es una base metálica que sirve para montar el termotanque y el colector solar.

Especificaciones PROCALSOL <sup>1</sup>		Valores obtenidos
Resistencia a la presión hidrostática	Deben resistir una presión hidrostática de 3 kg/cm <sup>2</sup> interna por un tiempo de 12 horas, sin estar expuestos a la radiación solar directa e indirecta, sin presentar al final de la prueba caídas de presión superior al 5%.	Cumple
Determinación del ahorro de gas LP (Ahorro mínimo <sup>2</sup> )	Debe medir el consumo de gas LP del sistema que se va a evaluar y compararlo con el consumo de gas LP del calentador de referencia, ambos operando simultáneamente y bajo las mismas condiciones ambientales y de trabajo (extracciones de agua caliente) y presentar un ahorro mínimo de 13,5 kg, en 30 días, de gas LP.	Cumple

Ahorro de energía (abril 2009)



El **Calentador Solar** debe marcarse y etiquetarse en forma clara y que permanezca por lo menos durante la vigencia de la garantía con los siguientes datos como mínimo:

Nombre de la empresa	HELIOCOL DE MÉXICO S. A. DE C. V.
Modelo	CR-100
País de origen del producto	México / Israel / China
Fecha de fabricación o lote	Lo proporciona el proveedor
Marca o símbolo del fabricante	Lo proporciona el proveedor
Presión máxima de operación	9 kg/cm <sup>2</sup>
Capacidad del termotanque	150 L
Indicar material con que esta fabricado	Ver punto 4 de DIT/057/09
Instructivo	Ver punto 9 de DIT/057/09
Combustible del calentador de respaldo	Gas LP, gas natural o calentador eléctrico
<b>Garantía por escrito al cliente</b>	<b>10 años en el colector solar, termotanque, accesorios y componentes</b>

Nota: el proveedor debe proporcionar las especificaciones del equipo y los manuales tanto de instalación como del usuario final.

<sup>1</sup> Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México.

FIG. 30- DICTAMEN DE IDONEIDAD TECNICA

EXTRAIDO DE <http://www.docstoc.com/docs/18176394/042F-Calentador-Solar-FREE-ENERGY>

### 1.5.2.1.3.3 Colectores de tubos de calor (heat pipe)

También clasificados como sistemas de alta presión. En este sistema los tubos de vacío llevan un fluido que no puede salir del interior del tubo y que funciona como fluido de trabajo. Este fluido se evapora por efecto de la radiación solar y asciende hasta el extremo superior del tubo que se encuentra a temperatura inferior, esto hace que el vapor se condense, ceda su energía y retorne a su estado líquido cayendo por acción de la gravedad a la parte inferior del tubo, donde al recibir más radiación, vuelve a evaporarse y comienza un nuevo ciclo<sup>60</sup> (Figura 31).

Los tubos de calor son considerados como los “superconductores”<sup>61</sup> del calor, debido a su muy baja capacidad calorífica y a su excepcional conductividad (superior a la del mejor conductor sólido del mismo tamaño) (Figura 32). El uso del tubo de calor está muy extendido en la industria y basándose en este principio de funcionamiento se fabrican los actuales colectores de vacío con tubo de calor.

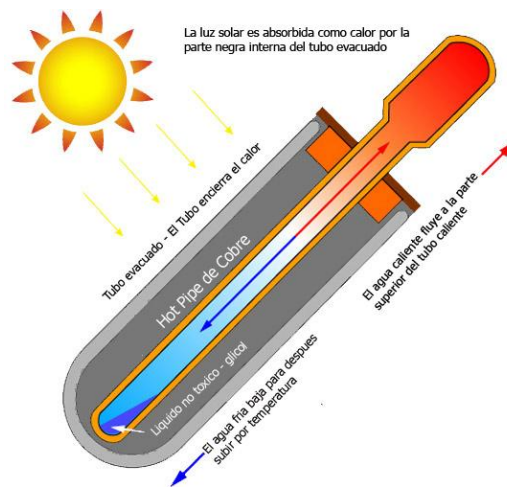


FIG. 31- FUNCIONAMIENTO DE UN TUBO DE CALOR

EXTRAIDA DE <http://commons.wikimedia.org>

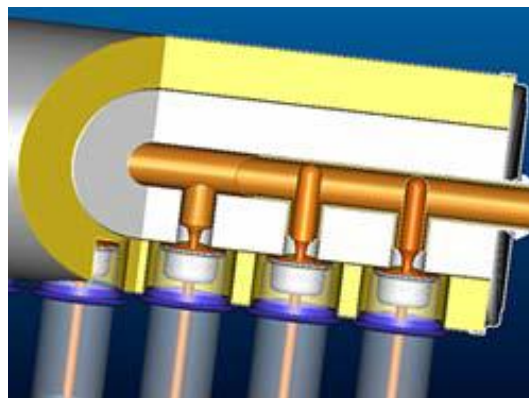


FIG. 32- TUBOS DE CALOR (HEAT PIPE)

<sup>60</sup> [www.siesol-calentador-solar.com.mx](http://www.siesol-calentador-solar.com.mx)

<sup>61</sup> <http://www.funcosa.com.mx/productos/calentadores-solares>

#### 1.5.2.1.3.4 Ventajas y Desventajas

Ventajas	Desventajas
Soportan bajas temperaturas en el invierno sin necesidad de protección anticongelante.	Requieren mantenimiento periódico los sellos entre tubos y termotanque.
Operan a altas presiones (tanque elevado, red municipal, equipo hidroneumático, etc.	Frágiles en su manejo, transporte e instalación.
No requieren tubería para conectar los tubos evacuados al termotanque.	Menor resistencia al vandalismo.
Ligeros	Si el espesor del tubo exterior es menor a 1.5 mm no soportan fuertes granizadas.
Funcionamiento por termosifón.	

Tabla 4-VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN COLECTOR DE TUBOS DE CALOR

#### 1.5.2.2 Inclinación de los colectores solares

La inclinación de los colectores con respecto a un plano horizontal estará referida esencialmente a la estación en la que se usa y, en consecuencia, al tipo de uso. Cuando se utiliza en invierno, la inclinación que se debe dar es igual a la latitud de la localidad aumentada aproximadamente en 10 o 15° para favorecer la captación con el sol bajo  $(L+10)^\circ$ ,  $(L+15)^\circ$ . Se puede aceptar una inclinación de 10 – 20° sin graves variaciones en el rendimiento de la instalación. Cuando se utiliza en forma continua durante todo el año, es aconsejable elegir una inclinación igual a la latitud  $(L)^\circ$ . Cuando se utiliza en verano, por ejemplo en campamentos y piscinas, se deberá dar una inclinación igual a la latitud disminuida en 10 o 15°:  $(L-10)^\circ$ ,  $(L-15)^\circ$ <sup>62</sup>.

<sup>62</sup> Optimización del dimensionado de instalaciones de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria, 2010

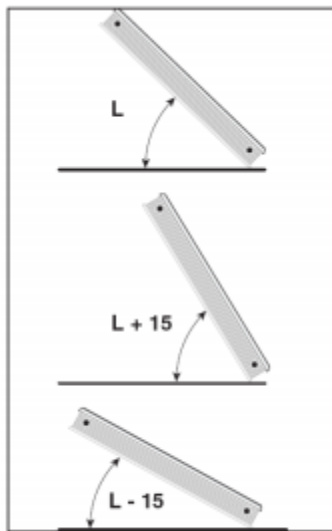


Tabla nº 1

FIG. 33- INCLINACION DE UN COLECTOR SOLAR

EXTRAIDA DE <http://eliseosebastian.com/radiacion-directa-sobre-un-panel-solar/>

### 1.5.2.3 Subsistema de almacenamiento.

El sistema de almacenamiento de los calentadores de agua se encuentra unido al colector solar. A este depósito de almacenamiento se le conoce con el nombre “termotanque solar”; este recipiente de almacenamiento es conectado con la entrada y la salida del colector. Durante el día, el agua se recircula una y otra vez entre el colector y el contenedor. Después de un tiempo y dependiendo de las dimensiones de los componentes, el agua se calentará para su uso posterior. La energía capturada en el colector se guarda en el tanque en forma de agua caliente. En el momento de requerir agua, se extrae del tanque y se rellena con agua fría. El tanque está aislado térmicamente para evitar pérdidas y mantener caliente el agua por más tiempo. En un sistema doméstico, el contenedor suele incorporar un calentador eléctrico de apoyo, que se activará en caso de no alcanzar la temperatura deseada<sup>63</sup>.

Este tanque consta de un cilindro interno de acero inoxidable, el cual tiene una envolvente de lana mineral y poliuretano de alta densidad (aislantes térmicos), finalmente tiene una envolvente final de acero.

En los calentadores solares de albercas o piscinas, el contenedor suele ser la alberca misma, y la caja aislante del colector puede no ser necesaria debido a la escasa diferencia entre la temperatura de trabajo (temperatura del agua) y la temperatura ambiente.

<sup>63</sup> [www.gstriatum.com/energiasolar/articulosenergia/118\\_calentador-solar\\_energiasolar.html](http://www.gstriatum.com/energiasolar/articulosenergia/118_calentador-solar_energiasolar.html)

Pueden encontrarse en el mercado otros tipos distintos de almacenadores para agua caliente, aunque en instalaciones pequeñas o medianas es recomendable la utilización del termotanque.

#### **1.5.2.4 Subsistema de distribución y consumo**

Las instalaciones de energía solar térmica han de incluir necesariamente una serie de elementos indispensables para el correcto funcionamiento y control de la instalación.

Algunos de ellos son obligatorios, puesto que se trata de elementos de seguridad, y otros se colocan para obtener un mejor rendimiento de la instalación y un más correcto mantenimiento (válvulas de paso, válvulas de seguridad, manómetro, termómetro, etc.).

En las instalaciones solares térmicas de baja temperatura para que la transferencia térmica sea eficaz, se debe asegurar la circulación del fluido. Esto se puede conseguir de dos formas diferentes, por termosifón (circulación natural) y mediante una bomba de circulación (circulación forzada)<sup>64</sup>.

##### **1.5.2.4.1 Circulación natural o por termosifón**

El movimiento del agua por circulación natural o termosifón se produce por la diferencia de temperaturas entre el agua fría del tanque y la caliente del colector, esto es, el agua interior del colector calentada por el sol disminuye su densidad y por tanto su peso dentro del colector, por lo que el mayor peso del agua fría del depósito (colocado necesariamente por encima de los colectores más de 30 cm.), actuando por el conducto de retorno, que une la parte inferior del depósito con la parte inferior del colector, empuja al agua caliente del colector, menos pesada, obligándola a ascender por la tubería que une la parte superior del tanque<sup>65</sup>. (Figura 34)

Creado de esta forma el movimiento del agua del colector al depósito, éste se mantendrá mientras haya suficiente diferencia de temperaturas entre el colector y el depósito. Una vez calentada el agua del depósito las temperaturas se igualan y el movimiento cesa.

---

<sup>64</sup> [://www.gstriatum.com/energiasolar/articulosenergia/118\\_calentador-solar\\_energiasolar.html](http://www.gstriatum.com/energiasolar/articulosenergia/118_calentador-solar_energiasolar.html)

<sup>65</sup> [www.ramasol.com](http://www.ramasol.com)

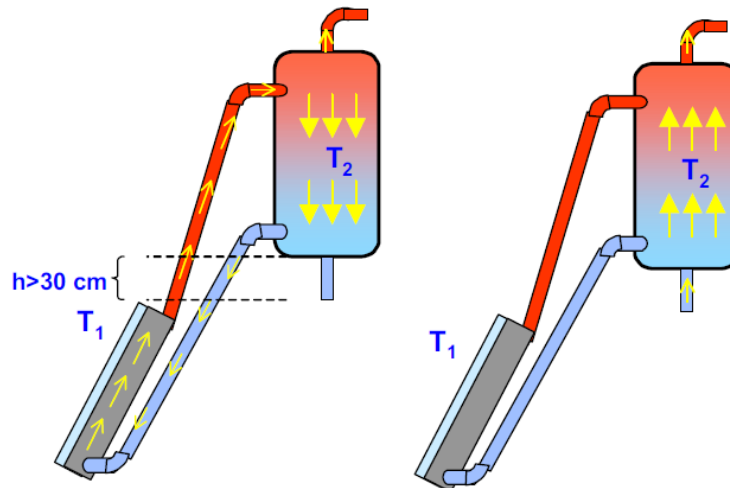


FIG. 34- CIRCULACION POR TERMOSIFON

EXTRAIDA DE [http://www.ecozone-renovables.com/energia\\_solar\\_termica.html](http://www.ecozone-renovables.com/energia_solar_termica.html)

Cuando se produce una extracción de agua caliente, el depósito se rellena con agua de la red (Figura 34), la temperatura del tanque baja y el movimiento se reinicia por sí mismo.

Es básico en un sistema por termosifón, que el diseño y montaje de la instalación favorezca el movimiento del agua caliente. Dos son los factores que influyen en la fuerza ascensional del agua:

1. La diferencia media de temperaturas del agua a la salida del colector y en la parte baja del depósito DT.
2. Diferencia de alturas  $h$  entre el tanque y los colectores (mínimo 30 cm.) Tiene la gran ventaja de ser más sencillo, pues carece de bomba de circulación correspondiente. Se suele comercializar como equipos compactos.

#### 1.5.2.4.2 Circulación Forzada

Para evitar los inconvenientes de la instalación con circulación por termosifón, la circulación del agua puede conseguirse introduciendo una bomba que hace circular el agua de forma forzada, lo cual permite regular mejor la instalación. La bomba de circulación de una instalación pequeña (colector de 4 m<sup>2</sup>, depósito de 200 litros) tiene una potencia relativamente pequeña, de unos 15 a 20 vatios. Ahora el captador y el depósito pueden adoptar la posición relativa que convenga, es decir, que pueden estar al mismo nivel<sup>66</sup>.

<sup>66</sup> [www.ramasol.com](http://www.ramasol.com)



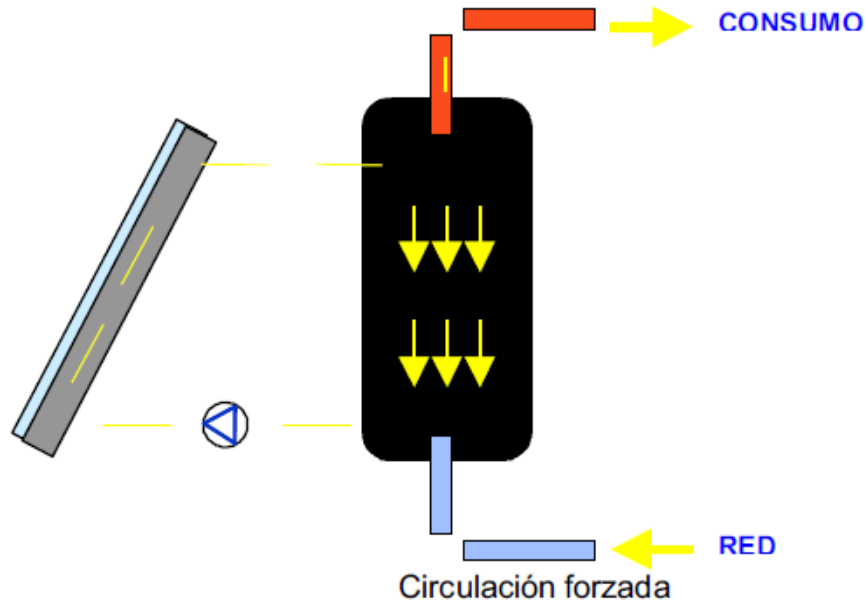


FIG. 35- CIRCULACION FORZADA

EXTRAIDA DE <http://www.empresaeiciente.com/es/catalogo-de-tecnologias/energia-solar-termica>

### 1.5.3 Criterios de selección de un calentador solar.

Como mencionado anteriormente, los colectores solares tienen diferentes aplicaciones y para hacer una elección adecuada en la compra de un calentador solar es recomendable tomar en cuenta los siguientes criterios que se enlistan a continuación:

- ✓ El rango de temperatura deseada para el fluido.
- ✓ Número de personas a utilizar el agua
- ✓ La cantidad de radiación del lugar
- ✓ La exposición a tormentas, granizo y cargas de nieve de ser posible.
- ✓ La cantidad de espacio que necesita
- ✓ Los costos
- ✓ Eficiencia energética
- ✓ Mantenimiento
- ✓ Partes de repuesto (En caso de tenerlas)
- ✓ Tipo de material de sus componentes (recomendable acero inoxidable)
- ✓ Estructura resistente a la corrosión
- ✓ Un mínimo espesor de 5cm de poliuretano de alta densidad en el termotanque
- ✓ Garantía del equipo
- ✓ Manual de instalación apropiado

### 1.5.3.1 Modelos de calentadores solares disponibles en México

En el mercado mexicano se encuentra una amplia gama de equipos para diferentes aplicaciones, que además, difieren en aspectos de calidad, precio, tamaño, eficiencia, etc.

Por mencionar algunas empresas:

- FUNCOSA S.A DE C.V
- SIESOL S.A DE C.V
- ECO&ECO S.A DE C.V
- HELIOL S.A DE C.V
- SAECSA S.A DE C.V
- SOLAR TECHNOLOGY S.A DE C.V
- AEROSOLAR MEXICO S.A DE C.V
- ECOSOLARIS S.A DE C.V
- CALENTADORES SOLARES S.A DE C.V
- KRÜGER S.A DE C.V
- INDISECT S.A DE C.V
- CORMAR S.A DE C.V
- ENERGISOL S.A DE C.V
- SUNNERGY S.A DE C.V
- SOLEIL S.A DE C.V

Para tener una información más completa se muestra una comparativa de equipos incluyendo su ficha técnica y costos.



## CARACTERÍSTICAS

### Colector solar

Material: Cobre.  
Dimensiones (mm): 965 (ancho) x 1860 (largo).

### Cubierta del colector solar

Material: Vidrio templado.  
Espesor (mm): 3  
Dimensiones (mm): 950 (ancho) x 1950 (largo).  
Transmitancia: 86% - 87%.

### Marco del colector solar

Material: Aluminio.  
Color: Marrón anodizado.  
Calibre (mm): 0,9.  
Dimensiones (mm): 1000 (ancho) x 2005 (largo).  
Material aislante: Fibra de vidrio.

### Tubería de enrejado y cabezales del colector solar

Material: Cobre.  
Diámetro de tubería (mm): 15,8.  
Diámetro de cabezales (mm): 25.

### Placa trasera o base del colector solar

Material: Lamina galvanizada.

### Termotanque

Material: Acero al carbón.  
Diámetro del tanque (mm): 560.  
Largo (mm): 1080.  
Recubrimiento exterior: Pintura homeada.  
Recubrimiento interior: Porcelanizado.  
Capacidad de almacenamiento: 150 Litros.  
Material aislante: Poliuretano.

### Colector solar

Material: Cobre.  
Medidas (mm): 1860 (largo) x 965 (ancho).  
Tubo evacuado: Borosilicato, Ø 58mm; longitud de 1800 mm.  
Recubrimiento: Tri-capa alta eficiencia.  
Marco: Aluminio.

### Estructura de soporte

Material: Tubular de acero.

FIG. 36- FICHA TÉCNICA DE UN CALENTADOR PLANO

EXTRAIDA DE <http://www.funcosa.com.mx/>

**funcosa**

## CALENTADOR SOLAR POR GRAVEDAD CON TERMOTANQUE (BAJA PRESIÓN) SCS

Los calentadores de tubos al vacío funcionan gracias a la energía solar absorbida por los tubos al vacío de alta eficiencia. Estos tubos están compuestos por superficies cilíndricas concéntricas fabricadas de borosilicato, entre las cuales se genera vacío. Este vacío es el que evita la pérdida del calor. Además en la pared exterior del tubo interior, existe un recubrimiento de nitruro de cobre, el cual es el captador hasta del 80% del total de la luz solar.



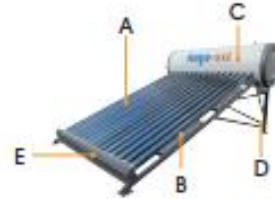
### CARACTERÍSTICAS

- Ecológico
- Hasta 80°C de temperatura en el agua.
- Instalación fácil y rápida.
- Vida útil de 20 años
- Amortizable en menos de 2 años
- Ahorre hasta un 80% en su consumo de gas.
- Dictamen de idoneidad Técnica (requerido por Hipoteca verde)\*

\*Solo modelos especificados.

### COMPONENTES

- A. Tubos evacuados
- B. Placa fraserá o reflector
- C. Termotanque
- D. Estructura
- E. Base para soporte de tubos



### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

#### Tubos evacuados (A)

Material: Borosilicato.

Dimensiones: 1800 mm de largo x Ø 58 mm.

#### Placa fraserá o reflector (B)

Material: Acero galvanizado.

#### Termotanque (C)

Material: Acero inoxidable.

Recubrimiento: Pintura color blanco.

Material aislante: Poliuretano.

#### Estructura (D)

Material: Perfil de acero galvanizado.

#### Sistema integral

Orientación: Sur.

Inclinación o ángulo: Latitud del lugar +/- 10°.

Temperatura de operación: 65°C.

Presión máxima: 0.5 kg/cm<sup>2</sup>.

Líquido de trabajo: Agua/glicol

Material de sellado entre tubos de vacío y termotanque: Silicón.

Modelo	SCS20	SCS25	SCS30
No. de tubos	20	25	30
Termotanque	Ø - 475 mm L - 1810 mm	Ø - 475 mm L - 2200 mm	Ø - 475 mm L - 2680 mm
Capacidad	200 L	250 L	300 L
Rendimiento	5 servicios simultáneos	6 servicios simultáneos	7 servicios simultáneos
Área de colección			4,2 m <sup>2</sup>
Volumen*	A - 1810 L - 2100 H - 1100	A - 2200 L - 2100 H - 1100	A - 2680 L - 2100 H - 1100
Peso (vacío)			
Peso (con agua)			

\*A=Ancho, L=Longo, H=Alto.

FIG. 37- FICHA TÉCNICA DE UN CALENTADOR SOLAR POR GRAVEDAD

EXTRAIDA DE <http://www.funcosa.com.mx/>

**funcosa**

## CALENTADOR SOLAR PARA ALTA PRESIÓN CON SERPENTÍN SCSE

Destinados a sistemas de apoyo para calefacción, agua caliente sanitaria en viviendas donde se cuenta con equipo hidroneumático, tanque elevado o sistema presurizado de red municipal. Suelen reducir la presión debido a la longitud y diámetro pequeño del serpentín.



### CARACTERÍSTICAS

- Ecológico
- Hasta 80°C de temperatura en el agua.
- Instalación fácil y rápida.
- Vida útil de 20 años
- Amortizable en menos de 2 años
- Ahorre hasta un 80% en su consumo de gas.

### COMPONENTES

- A. Tubos evacuados
- B. Placa trasera o reflector
- C. Termotanque
- D. Estructura
- E. Base para soporte de tubos
- F. Vaso de llenado



### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

#### Tubos evacuados (A)

Material: Borosilicato.  
Dimensiones: 1800 mm de largo x  $\varnothing$  58 mm.

#### Placa trasera o reflector (B)

Material: Alero galvanizado.

#### Termotanque (C)

Material: Acero inoxidable.  
Recubrimiento: Pintura color blanco.  
Material aislante: Poliuretano.

#### Estructura (D)

Material: Perfil de acero galvanizado.

#### Sistema integral

Orientación: Sur.  
Inclinación o ángulo: Latitud del lugar +/- 10°.  
Temperatura de operación: 65°C.  
Presión máxima: 0,5 kg/cm².  
Líquido de trabajo: Agua/glicol  
Material de sellado entre tubos de vacío y termotanque: Silicón.

Modelo	SCS15E	SCS20E	SCS25E	SCS30E
No. de tubos	15	20	25	30
Termotanque	$\varnothing$ - 475 mm L - 1450 mm	$\varnothing$ - 475 mm L - 1810 mm	$\varnothing$ - 475 mm L - 2200 mm	$\varnothing$ - 475 mm L - 2680 mm
Capacidad	150 L	200 L	250 L	300 L
Rendimiento	4 servicios simultáneos	5 servicios simultáneos	6 servicios simultáneos	7 servicios simultáneos
Área de colección	2 m²			4,2 m²
Volumen*	A - 1450 L - 2100 H - 1100	A - 1810 L - 2100 H - 1100	A - 2200 L - 2100 H - 1100	A - 2680 L - 2100 H - 1100
Peso (vacío)	61,5 Kg			
Peso (con agua)	211,2 Kg			

FIG. 38- FICHA TECNICA DE UN CALENTADOR PARA ALTA PRESION

EXTRAIDA DE <http://www.funcosa.com.mx/>



**CALENTADOR SOLAR POR GRAVEDAD CON TERMOTANQUE (BAJA PRESIÓN)**

NÚM.CAT. SCS

Código	Capacidades tanque (lts)	No. Tubos	Precio
SCS-10	100	10	\$5,500.00
SCS-12	120	12	\$6,760.00
SCS-15	150	15	\$8,328.17
SCS-20	200	20	\$11,059.39
SCS-25	250	25	\$13,759.08
SCS-30	300	30	\$15,284.80

INCLUYE BASE, MARCO Y TUBOS EVACUADOS TRICAPA DE ALTA EFICIENCIA

**CALENTADOR SOLAR POR GRAVEDAD CON TERMOTANQUE (BAJA PRESIÓN)**

NÚM.CAT. SINOX

Código	Capacidades tanque (lts)	No. Tubos	Precio
SINOX-12	120	12	\$9,427.39
SINOX-20	200	20	\$13,717.66
SINOX-25	250	25	\$15,955.23

**TANQUE DE ACERO INOXIDABLE**  
INCLUYE BASE, MARCO Y TUBOS EVACUADOS TRICAPA DE ALTA EFICIENCIA

**CALENTADOR SOLAR DE BAJA PRESIÓN SIN TANQUE (VERTICAL)**

NÚM.CAT. SCSPV

Código	No. Tubos	Precio
SCS20PV	20	\$7,613.25

INCLUYE BASE, MANIFOLD Y TUBOS EVACUADOS TRICAPA DE ALTA EFICIENCIA

**CALENTADOR SOLAR DE BAJA PRESIÓN SIN TANQUE (HORIZONTAL)**

NÚM.CAT. SCSPH

Código	No. Tubos	Precio
SCS40PH	40	\$15,188.16

INCLUYE BASE, MANIFOLD Y TUBOS EVACUADOS TRICAPA DE ALTA EFICIENCIA

**CALENTADOR SOLAR ALTA PRESIÓN CON SERPENTÍN**

NÚM.CAT. SCSE

Código	Capacidades tanque (lts)	No. Tubos	Precio
SCS15E	150	15	\$13,694.65
SCS20E	200	20	\$17,846.08
SCS24E	240	24	\$19,689.75
SCS30E	300	30	\$22,874.28

INCLUYE BASE, MARCO, TUBOS EVACUADOS TRICAPA DE ALTA EFICIENCIA, TANQUE CON SERPENTIN DE COBRE Y VASO DE EXPANSION.

**CALENTADOR SOLAR TORIESFÉRICO**

NÚM.CAT. SCST

Código	Capacidades tanque (lts)	No. Tubos	Precio
SCST15	150	15	\$17,314.49
SCST20	200	20	\$23,458.79
SCST20C	200	20	\$27,893.27
SCST25C	250	25	\$33,408.03
SCST30C	300	30	\$38,553.75

INCLUYE BASE, MARCO, TUBOS EVACUADOS, TANQUE Y VÁLVULA DE ALIVIO

**CALENTADOR SOLAR CON TUBO DE CALOR (HEAT-PIPE)**

NÚM.CAT. SCSR

Código	No. Tubos	Precio
SCS25R	25	\$15,778.80

INCLUYE MARCO ESTRUCTURAL, MANIFOLD Y TUBOS DE CALOR

**CALENTADOR SOLAR CON TUBO EN "U" (U-PIPE)**

NÚM.CAT. SCSUR

Código	No. Tubos	Precio
SCS20UR	20	\$12,426.67
SCS30UR	30	\$18,029.41

INCLUYE MARCO ESTRUCTURAL, MANIFOLD Y TUBOS DE CALOR EN "U"

FIG. 39- LISTA DE PRECIOS DE CALENTADORES SOLARES

EXTRAIDA DE <http://www.funcosa.com.mx/>

La marca FUNCOSA maneja todo tipo de calentadores solares ofreciendo una gama de modelos y precios.

**CALENTADORES MARCA SAESCA S.A. DE C.V.**

Calentador Solar de 100 L



**FIG. 40- FICHA TECNICA DE CALENTADOR SOLAR DE TUBOS EN PARALELO**

EXTRAIDA DE [www.saecsaenergiasolar.com/](http://www.saecsaenergiasolar.com/)

En el modelo Calentador Solar 100 litros se integra un colector solar de 1.3 m<sup>2</sup> de área de captación, apto para áreas extremas de sol o nublados y aún donde existe riesgo de congelamiento.

Deberá considerar tener un área en su azotea de 1.5m de ancho por 1.5m de largo con orientación hacia el sur libre de sombras (termotanque y colector llenos de agua con un peso aproximado de 150 (Kg) carga despreciable para la techumbre de una casa convencional). Este modelo entrega temperaturas promedio anual de 50°C, abastece el baño diario de hasta 3 personas, y está diseñado para ser alimentado por tinaco o hidroneumático.

#### CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA

- Colectores: 1.
- Área de captación: 1.3 m<sup>2</sup>.
- Termotanque: Modelo Básico 100L con base metálica.
- Área de instalación: Ancho 1.5m, largo 1.5m.
- Orientación: Hacia el sur, libre de sombras.
- Peso máximo: Equipo lleno de agua 150Kg.
- Temperatura promedio anual: 50°C
- Número de usuarios: 3\*\*
- Alimentación: Tinaco o hidroneumático de hasta 3kg/cm<sup>2</sup> de presión.

#### INCLUYE

- 1 termotanque de 100L de capacidad.
- 1 colector solar SAECSA modelo residencial certificado.
- 1 base metálica soporte para termo y colector.

Costo: MXN\$ 7,950.00 + IVA

La marca SAECSA solo ofrece calentadores solares de placa plana.





[Empresa](#) | [Productos](#) | [Galería de Obras](#) | [Contacto](#)  
[Calentadores Solares](#) | [Paneles para Alberca](#) | [Controles de Calefacción](#) | [Sistemas Fotovoltaicos](#) | [Sistemas Eólicos](#) | [Productos Periféricos](#)

## Calentadores Solares para Agua >> Modelos

Línea de Acero Inoxidable

Línea Anti Corrosión

Línea de Acero con Pintura Anticorrosiva

Línea de Acero con Pintura Anticorrosiva HIPOTECA VERDE

**Gravedad con Depósitos Térmicos**

- SEI-10-2000/58
- SEI-18-1500/47
- SEI-15-2000/58
- SEI-18-2000/58
- SEI-20-2000/58
- SEI-24-2000/58
- SEI-30-1800/58
- SEI-30-2000/58
- SEI-60-1500/47
- SEI-56-1800/58
- SEI-100-1800/58

**Presión con Depósitos Térmicos**

- SEI-H-20-1800/58
- SEI-H-28-1800/58
- SEI-H-60-1500/47
- SEI-H-56-1800/58
- SEI-H-100-1800/58

**Gravedad sin Depósitos Térmicos**



[Ver Tabla de Capacidades](#)

[ampliar imagen](#)

**SEI-10-2000/58**

Dimensiones (Metros)			Estructura	Tanque Interior
Frente	Costado	Altura	Acero Inox. Grado 430 BA	Acero Inox. Grado 304 2B
0.98 mts.	2.20 mts.	1.25 mts.		
Peso del Equipo		Capacidad Total	Tanque Exterior	Servicio de Duchas
Vacío	En Operación		Acero Inox. Grado 304 BA	2 a 3 Personas
72 Kg.	204 Kg.	132 Litros		

FIG. 41- FICHA TECNICA DE UN CALENTADOR DE TUBOS EVACUADOS

EXTRAIDA DE [www.sunnergy.com.mx/](http://www.sunnergy.com.mx/)

Esta empresa no ofrece una línea de colectores solares planos, solo colectores de tubos evacuados, además no existe una lista de precios en sus productos.

## 1.6 Fluidos de Trabajo

Se define un fluido de trabajo a un líquido o gas que absorbe o cede energía calorífica en un sistema.

### 1.6.1 Tipos de fluidos de trabajo

Para aplicaciones de calentadores solares los tipos de fluidos de trabajo utilizados comúnmente son: agua y la mezcla de anticongelante (etilenglicol o propilenglicol), aceites y silicón o fluidos orgánicos sintéticos.

Algunas características de estos últimos dos son:

#### 1.6.1.1 Aceites y Silicón

Suelen ser productos estables y de alta calidad, generalmente no son tóxicos ni inflamables, caso contrario con el resto de los anticongelantes. La desventaja del uso de estos fluidos de trabajo en aplicaciones solares es el alto costo, lo que ocasionaría el encarecimiento de un proyecto.

#### 1.6.1.2 Fluidos orgánicos

Se pueden encontrar en el mercado dos tipos de fluidos orgánicos: los sintéticos y los derivados del petróleo.

Presentan la ventaja de que son químicamente estables a altas temperaturas, por lo que se usarán casi exclusivamente cuando el sistema necesite alcanzar un grado elevado de calor.

Las desventajas son que deben tratarse con las mismas precauciones que el anticongelante en lo referente a la toxicidad, viscosidad y dilatación. Pero, además, estos líquidos suelen ser combustibles, por lo que hay que asegurarse de que se provoquen incendios en la instalación.

### 1.6.2 Los anticongelantes como fluido de trabajo.

En los circuitos cerrados, el fluido trabajo debe cumplir las especificaciones técnicas que indique el fabricante de los colectores. Los fluidos que circulan por estas instalaciones pueden ser agua de red, agua desmineralizada, agua con aditivos (anticongelante) y otros fluidos térmicos.

En el caso de otros fluidos térmicos, la composición, el calor específico y la certificación de un laboratorio acreditado, tendrá que ir reflejada en la memoria de diseño o proyecto de la instalación.

Si se utiliza agua a la que se le ha añadido anticongelante hay que tener en cuenta las siguientes características de la mezcla<sup>67</sup>:

- Algunos son altamente tóxicos – Debido a que llevan una sustancia que se conoce como inhibidores de la corrosión que es beneficioso para los dispositivos de la instalación, por lo que, se debe impedir que se mezcle con el agua de consumo.
- Alta viscosidad – Al ser oponente más resistencia al movimiento, se disminuye el desplazamiento del líquido, aumentando la pérdida de carga. Al momento de elegir una bomba este factor provoca la selección de un equipo de mayor potencia.
- Dilata más que el agua cuando se calienta - Para evitar las sobrepresiones se utiliza el vaso de expansión. Si se diseña el vaso como para que aguante una presión como si fuese sólo agua, la membrana del vaso llega un punto en el que no da más de sí y se produciría la sobrepresión en el circuito.
- Es inestable a más de 120°C –se degrada convirtiéndose en un ácido muy corrosivo que afectaría a la vida de los elementos de la instalación. Además pierde sus propiedades por lo que deja de evitar la congelación.
- La temperatura de ebullición disminuye a la del agua – Podría verse como una ventaja porque significa que absorbe más energía.
- El calor específico disminuye al del agua. Por absorber más energía, tarda también más en perderla o entregarla, por lo que la ventaja anterior se anula al no transferir todo el calor que ha ganado.
- El pH del fluido de trabajo estará (a 20° C) entre 5 y 9.  
El contenido en sales totales solubles debe ser menor a 0,5 gramos por litro de fluido para que no se formen depósitos salinos.
- El contenido en sales de calcio no excederá de 200 mg/l, expresados como contenido en carbonato cálcico.

Tradicionalmente, los productos que mezclados con agua que se utilizan como anticongelantes son dos: el etilenglicol y el propilenglicol. La cantidad de anticongelante necesaria se calcula a través de las gráficas de congelación de las mezclas de estos productos. Primeramente, hay que consultar en la tabla de temperaturas históricas cuál es la mínima temperatura registrada en esa ciudad. Una vez que se conoce se va a la gráfica de los glicoles que suministra el fabricante y se traslada el valor para indicarnos cual es el porcentaje.

---

<sup>67</sup> [www.cleanergysolar.com](http://www.cleanergysolar.com)

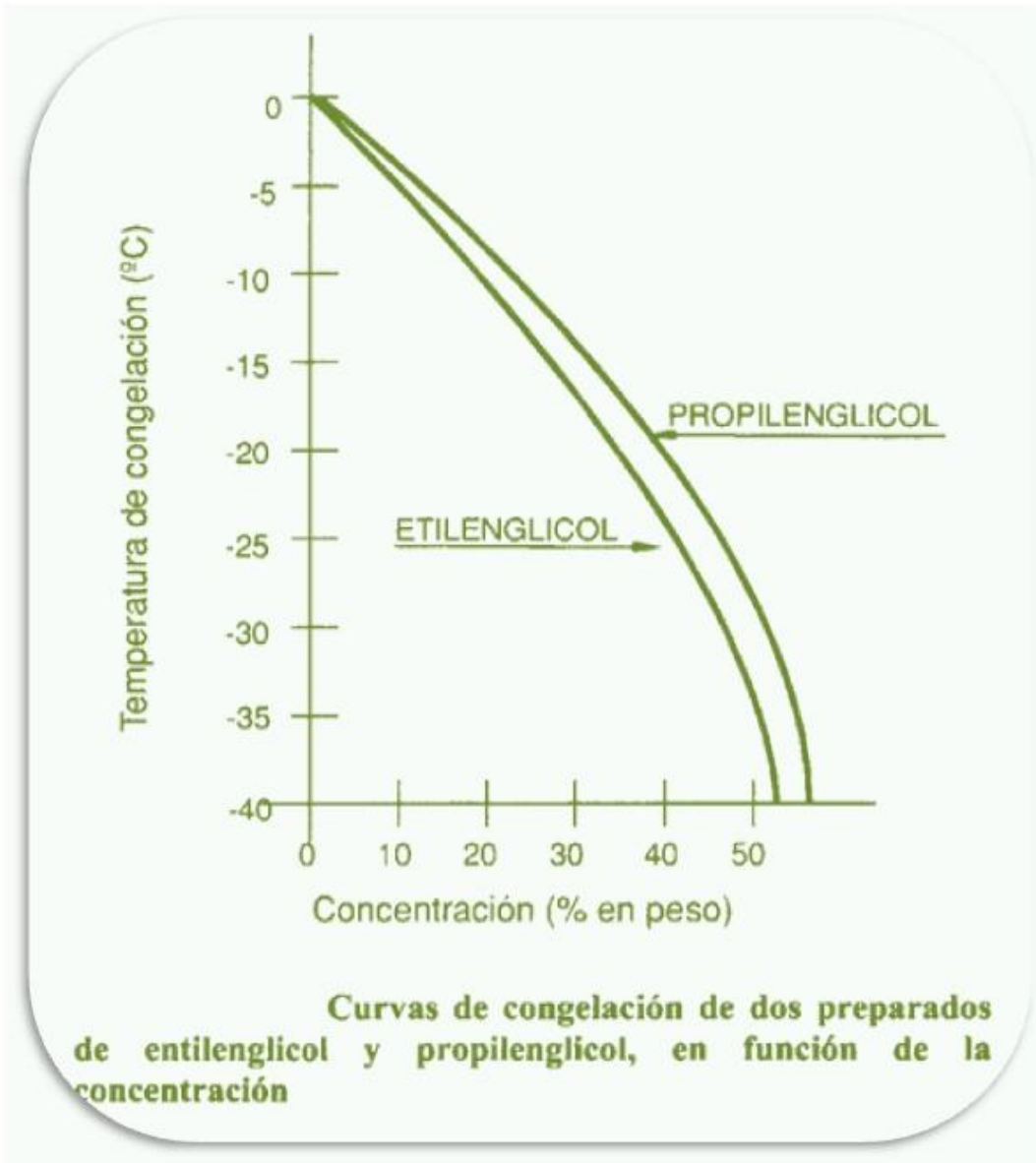


FIG. 42- CURVA DEL ETILENGLICOL

EXTRAIDA DE <http://www.cleanegysolar.com/2011/06/17/tutorial-el-anticongelante-fluido-caloportador/>

## Capítulo 2.- DESARROLLO EXPERIMENTAL

La realización de este experimento se llevo a cabo en los meses de septiembre 2012 y mayo del 2013 durante un periodo de 10 días.

El sistema está compuesto por un colector, un tanque de almacenamiento de agua caliente, soporte estructural y un indicador de temperatura. El colector solar de este equipo cuenta con un evaporador y un condensador, en el cual, la radiación incidente en la parte del evaporador aumenta la temperatura del fluido hasta llegar al punto de ebullición. El gas formado debido a este cambio se desplaza hacia el condensador, donde la energía adquirida debido al cambio de fase es absorbida por la zona del condensador y esta a su vez, será transferida al fluido a calentar en este caso agua. El vapor al ceder la energía comienza a condensarse y debido al efecto gravitatorio por la inclinación del colector el fluido se desplaza nuevamente hacia la zona de evaporador.

Este ciclo se repite “n” veces siempre y cuando la radiación absorbida sea la suficiente para poder realizar el cambio de fase liquido-vapor.

El sistema que utiliza este calentador solar es el mismo que utilizan los calentadores de tubos de evacuados (vistos en el capítulo anterior), sin embargo la diferencia radica en el aumento del área de transferencia de calor en el evaporador, que servirá para cederle energía al fluido de trabajo hasta su evaporación, lo que permitirá la existencia del fenómeno de transferencia de calor por cambio de fase en el condensador, provocando un mayor aumento de temperatura del agua almacenada en el tanque.

### 2.1 Elaboración de un modelo descriptivo del calentador solar con software CAD en 3D Y 2D.

Hoy en día, las herramientas digitales nos permiten visualizar las ideas u objetos existentes gracias a la paquetería de diseño asistido por computadora (CAD), por tal motivo para la construcción del proyecto se utilizó la herramienta de diseño CATIA Y AUTOCAD, que además de su excelente interfaz gráfica es sencilla de utilizar gracias a sus comandos de formas, cortes, efectos, propiedades, y materiales, dando una mejor concepción del prototipo para su construcción.

El diseño del modelo consta de 5 elementos básicos para su funcionamiento, los cuales de describen a continuación:

**Cubierta de vidrio:** Permite pasar la radiación solar (directa y difusa) a la placa absorbente provocando el efecto invernadero para aumentar la absorción de calor.

**Placa absorbidora de calor (Heat plate):** Es el principal elemento de transferencia de calor entre la radiación solar y el fluido de trabajo (etilenglicol).

**Acrílico:** Permite que el volumen de control sea cerrado para hacer el efecto termosifón aislándolo del medio ambiente por la parte inferior del equipo.

**Carcasa:** Es el elemento que mantiene en su posición a los elementos del calentador, previniendo también las fugas de calor (construida de material aislante) que pudiera ocurrir en la parte baja del calentador.

**Termotanque:** Es el tanque de almacenamiento del agua que está siendo calentada gracias al fenómeno de transferencia de calor mediante el condensador que se encuentra sumergido.

En las siguientes figuras se muestra de manera gráfica la filosofía de construcción y ensamble.

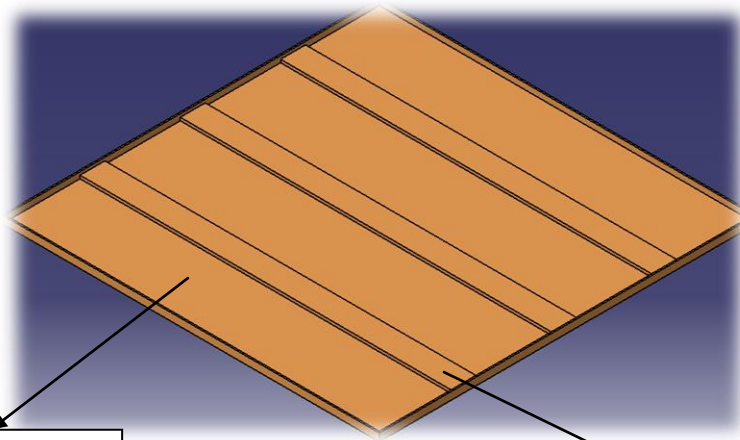


FIG. 43- PLACA DE CALOR CON ALETAS

**PLACA DE COBRE:**  
*Debido a su alta conductividad térmica el cobre es el elemento más utilizado para la construcción de calentadores solares.*

**ALETAS:**  
*El objetivo de las aletas es favorecer e incrementar la Transferencia de calor por convección, así como darle rigidez a la placa de Cobre.*

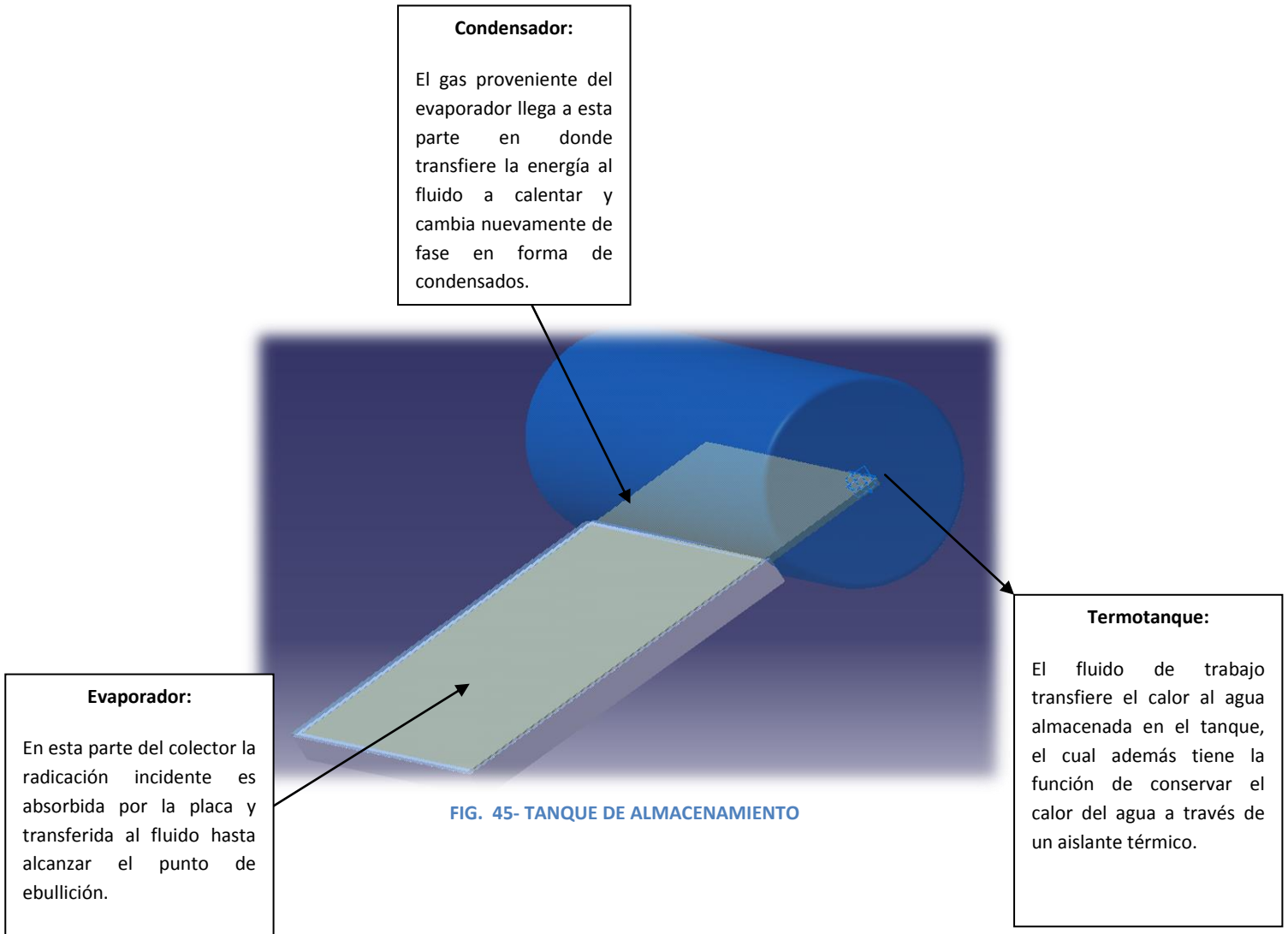
**ACRILICO:**  
*Permite que el calor absorbido de la placa no se escape y mejore su eficiencia.*

**VIDRIO:**  
*Su principal función es generar el efecto invernadero para mejorar la transferencia de calor.*

**CARCASA:**  
*Tiene la finalidad de soportar a los demás elementos del calentador.*

**PLACA DE COBRE:**  
*Es el principal elemento para la transferencia de calor al fluido de trabajo.*

FIG. 44- COMPONENTES DEL COLECTOR SOLAR DE PLACA DE CALOR



## 2.2 Fabricación del modelo a escala

La fabricación del equipo experimental se llevo a cabo en 3 fases.

### 2.2.1 Primera Fase

La primera fase consiste en la construcción de la placa colectora, la cual pasa por diferentes procesos para poder llegar a forma final, por mencionar algunos de estos:

- Conformado (ver IMG 2), proceso en el cual se puede observar inicio de los dobleces para poder preformar.
- Preformado (ver IMG 3), proceso en el cual se le da la forma deseada a la pieza en construcción.
- Soldadura (ver IMG 4), proceso en el cual se aplica un metal de aporte (estaño) en las uniones, para asegurar la hermeticidad del equipo.

A continuación se presentan algunas fotografías del desarrollo de la construcción del colector solar.



**IMG. 1- PLACA DE COBRE**

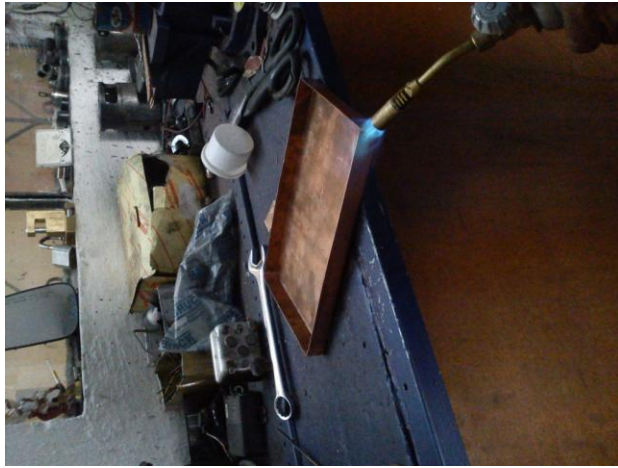


**IMG. 2- CONFORMADO DE LA PLACA**



**IMG. 3- PREFORMADO DE UN PRISMA RECTANGULAR**

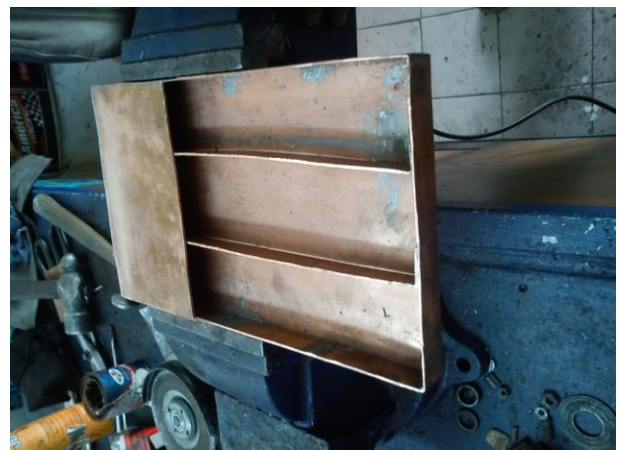




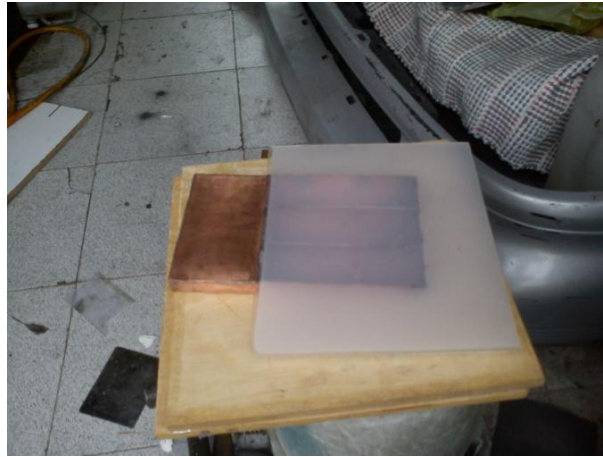
IMG. 4- APLICACION DE SOLDADURA



IMG. 5- SOLDADURA DE LAS ALETAS



IMG. 6- COLECTOR SOLAR



IMG. 7-COLOCACION DE PLACA DE ACRILICO

### 2.2.2 Segunda Fase

En ésta fase se llevó a cabo la tarea de la unión entre el termotanque y la placa colectora. El tanque fue ranurado de modo que el colector, al ser introducido, quedará en el ángulo correcto para poder absorber la mayor radiación directa posible, además se hicieron perforaciones por los extremos para la inserción de boquillas de entrada y salida de agua a ser calentada, y otra en la parte superior para la colocación de un indicador de temperatura.



IMG. 8-TANQUE DE ALMACENAMIENTO



IMG. 9-UNION PLACA-TANQUE

### 2.2.3 Tercera fase

En esta tercera y última fase se llevaron a cabo las tareas de:

- Aislamiento de tanque de almacenamiento ( lana mineral recubierto con papel aluminio y hule espuma, para una mejor conservación de calor en el termotanque)
- Construcción de soporte del calentador (soporte estructural construido de aluminio)
- Aplicación de recubrimiento en el colector ( recubrimiento color negro acabado mate para evitar la reflectancia y aumentar la absorción de calor)
- Aislamiento del evaporador-condensador ( para evitar pérdidas de calor por conducción en la placa)
- Introducción del fluido de trabajo al colector
- Generación de vacío en el colector (a fin de disminuir el punto de ebullición del fluido de trabajo)
- Inserción de indicador de temperatura

A continuación se muestran algunas imágenes del equipo terminado.



IMG. 10-INTRODUCCION DEL FLUIDO DE TRABAJO



IMG. 11-GENERACION DE VACIO



IMG. 12-AISLAMIENTO DEL TANQUE



**IMG. 13-INSERCIÓN DEL INDICADOR DE TEMPERATURA**



**IMG. 14-EQUIPO TERMINADO**



**IMG. 15-EQUIPO EN PRUEBA**

Para todo equipo o dispositivo que se diseña por primera vez es necesario realizar una serie de pruebas que demuestren el funcionamiento y eficiencia del equipo, para que posteriormente los resultados obtenidos sean comparados con los equipos existentes y demostrar la superioridad y beneficios del equipo ante dispositivos cuya finalidad es satisfacer la misma necesidad.

Para llevar a cabo las pruebas se requiere de una metodología la cual nos indicara los pasos a seguir para poder adquirir una serie de datos con la cual a través de la aplicación de conceptos teóricos se puede demostrar el funcionamiento y eficiencia del equipo.

### **2.3 Metodología para experimentación.**

Para poder obtener resultados por experimentación confiables es necesario seguir los pasos de la metodología establecida para cada proyecto sin hacer caso omiso alguno.

La metodología aplicada para este proyecto fue la siguiente:

- I. El llenado del termotanque fue a modo de cubrir por completo la parte del condensador del colector.
- II. Colocación el colector en una zona en la cual recibió la mayor radiación incidente.
- III. Se verificó que la varilla del indicador de temperatura no estuviera contacto con el cuerpo del tanque o el condensador, ya que esto ocasionaría errores en la medición
- IV. Se realizó una hoja de registro de datos en la cual se registraba la fecha, hora, temperatura inicial del agua, temperatura del agua por cada hora y estado del tiempo en ese momento.
- V. Se realizo la búsqueda de datos de radiación solar global "*grad (W/m<sup>2</sup>)*" de los días de prueba a través de la página de internet del Sistema Meteorológico Nacional.
- VI. El registro de los datos anteriores se hizo por un periodo de 10 días con el fin de obtener una mejor eficiencia promedio.
- VII. Se realizó una memoria de cálculo descriptiva en la cual se indican las ecuaciones a aplicar para la el cálculo de la eficiencia.
- VIII. Se realizo un programa en "EXCEL" basado en las ecuaciones de la memoria descriptiva para el cálculo de la eficiencia.

### **2.4 Selección del fluido de Trabajo**

Para poder seleccionar el fluido de trabajo para el calentador solar fue necesario revisar varias consideraciones técnicas en cuanto a fluidos para transferencia de calor por convección, por lo que se llevo a la evaluación de varios fluidos para la experimentación, estos presentan las siguientes características:

#### **2.4.1 TABLA 5 DETERMINACIÓN DEL FLUIDO DE TRABAJO DE ACUERDO AL NUMERO DE PRANDTL**

FLUIDO	$\mu$	$C_p$	K	PRANTL
	N s/m <sup>2</sup>	J/(Kg K)	W/(mK)	ADIMENSIONAL
ETILENGLICOL	2.00E-02	2400	0.26	184.615
ACETONA	3.30E-04	2150	0.18	3.942
AGUA	1.00E-03	4180	0.58	7.207
ANILINA (C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N)	4.47E-03	2140.17	0.17	56.236
ETANOL	1.19E-03	2840	0.18	18.839
CLOROFORMO (CHCl <sub>3</sub> )	5.62E-04	980	0.13	4.237
GLICERINA	1.50E+00	2430	0.3	12150
AMONIACO	2.66E-04	4601	0.5	2.448
MERCURIO	1.55E-03	139	9.3	0.023
METANOL	5.92E-04	2510	0.21	7.076
R-12 (CCl <sub>2</sub> f <sub>2</sub> )	2.00E-04	966	0.07	2.76
PROPILENGLICOL	4.80E-03	2510	0.2061	58.457

La transferencia de calor por convección debe ser mayor que la transferencia por conducción por lo que al tener el número de Prandtl alto garantiza la transferencia de calor del fluido hacia la placa de cobre en menor tiempo.

#### 2.4.2 Cálculo del Prandtl

La ecuación general para obtener el número de Prandtl es la siguiente:

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\text{velocidad de difusión de la cantidad de movimiento}}{\text{velocidad de difusión de calor}} = \frac{C_p \mu}{k}$$

En donde:

$\nu$ : Viscosidad cinemática

$\alpha$ : Difusividad térmica

$C_p$ : Capacidad calorífica a presión constante

$\mu$ : Viscosidad

$k$ : Conductividad térmica

Es importante observar que los fluidos adecuados para transferir la mayor cantidad de calor son el Etilenglicol, la Anilina (C6H7N), el Propilenglicol y el mejor transportador de calor por convección es la glicerina, sin embargo es una glicerina especial para equipos de transferencia de calor y su costo es muy alto para el patrocinio del proyecto.

## 2.5 Memoria de cálculo descriptiva

**Objetivo:** Determinar la eficiencia del calentador solar de placa de calor mediante datos obtenidos en la etapa de experimentación.

### Datos de diseño:

<b>Qa=</b>	Calor Absorbido (KJ)	<b>Ce=</b>	Calor específico (KJ/Kg°C)
<b>Qr=</b>	Calor de radiación solar (KJ)	<b>η=</b>	Eficiencia del calentador
<b>qr=</b>	Calor de radiación solar por unidad de área (KJ/m2)	<b>m=</b>	masa del agua (Kg)
<b>ΔT=</b>	Cambio de Temperatura (° C )	<b>T=</b>	Temperatura (° C )
<b>u=</b>	Coefficiente Global de Transf. De calor (KJ/m2°C)	<b>Aev=</b>	Area del evaporador (m2)
<b>Aco=</b>	Área del condensador (m2)	<b>T1=</b>	Temperatura inicial (° C )
		<b>T2=</b>	Temperatura final (° C )

### Procdimiento de cálculo.:

Para determinar los valores correspondientes a Qa por día partimos de la siguiente ecuación:

$$Q_a = m C_e \Delta T$$

Donde "m "y "Ce" son conocidos, mientras que  $\Delta T = (T_2 - T_1)$  que se obtienen de la experimentación del prototipo del calentador. Una vez obtenidos los valores se grafica Qa vs  $\Delta T$  para determinar la pendiente que será igual a "u A" de acuerdo a la ecuación general de transferencia de calor.

$$Q_a = u A \Delta T$$

De acuerdo con los datos obtenidos por el Sistema metereológico se conoce el valor de qr para cada hora del día en el que se registraron los datos , por lo que es posible determinar la efincia del sistema de acurdo a la relación:

$$\eta = \frac{Q_a}{Q_r} \times 100$$

Para obtener el valor de Qr en KJ, se parte de los datos obtenidos del sistema meteorológico para el día en que se toman los valos, sin embargo los datos registrados estan en W/m2 por lo que necesitamos conocer el valor de la energía absorbida por el evaporador.

$$Q_r = \dot{q}_r \times 3.6 \times A$$



Debido al análisis del proyecto, la masa permanece estática (almacenada), por lo que no se considera un flujo de agua dentro del sistema, por lo que basta con una simple conversión mediante el factor de tiempo para conocer la magnitud de energía involucrada.

Para conocer el comportamiento de la eficiencia del sistema se grafica la eficiencia contra la hora del día en que se toma la medición y se obtiene una eficiencia global promedio.

$$\sum_{n=x}^{n=1} \frac{\eta_n}{n} = \eta_{global}$$

Se obtienen las graficas correspondientes con los resultados asociados y comienza el análisis de resultados.

**Datos numéricos constantes:**

V: Volumen del termotanque= 3.1785 L

m: Masa del agua= 3.1785 Kg

$\rho$ : Densidad del agua a temperatura ambiente (20°C)=1000 kg/m<sup>3</sup>

A<sub>ev</sub>: Área del evaporador=0.028512 m<sup>2</sup>

A<sub>co</sub>: Área del condensador=0.01458 m<sup>2</sup>

C<sub>e</sub>: Calor específico del agua=4.186 KJ/(Kg°C)

## 2.6 Memoria de cálculo numérica



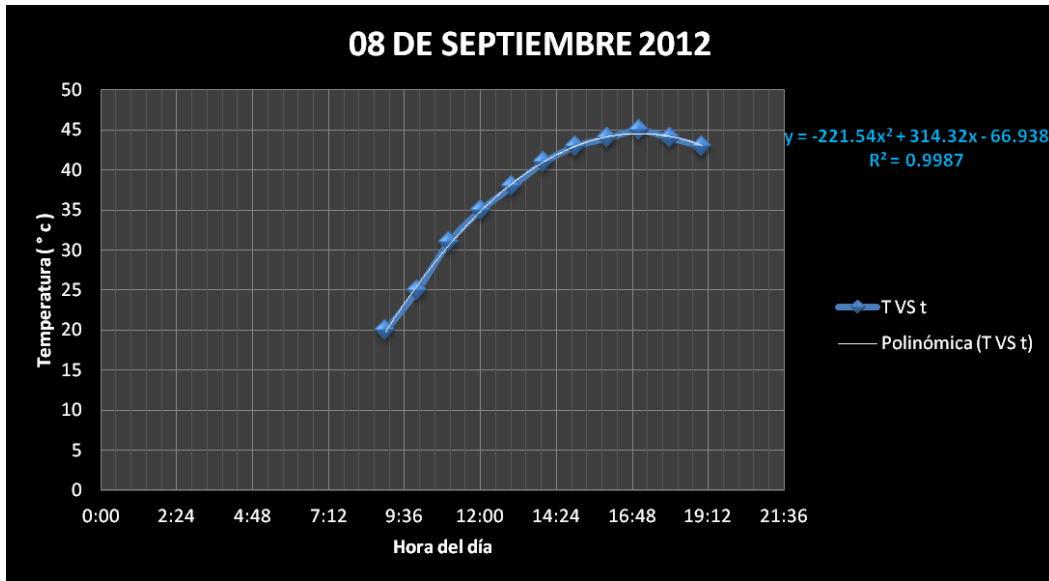
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
"DISEÑO DE UN CALENTADOR SOLAR DE PLACA DE CALOR"  
MEMORIA DE CALCULO

FECHA	HORA	TEMPERATURA (°C)	ΔT	Qa(KJ)	qrad(W/m2)	Qrad(KJ)	η	ESTADO DEL TIEMPO
08/09/2012	9:00	20	0	0,00	NR	#VALOR!	#VALOR!	SOLEADO
	10:00	25	5	79,12	NR	#VALOR!	#VALOR!	SOLEADO
	11:00	31	6	94,94	NR	#VALOR!	#VALOR!	SOLEADO
	12:00	35	4	63,29	NR	#VALOR!	#VALOR!	SOLEADO
	13:00	38	3	47,47	418	42,90	1,11	SOLEADO
	14:00	41	3	47,47	457	46,91	1,01	SOLEADO
	15:00	43	2	31,65	487	49,99	0,63	SOLEADO
	16:00	44	1	15,82	713	73,18	0,22	MEDIO NUBLADO
	17:00	45	1	15,82	902	92,58	0,17	MEDIO NUBLADO
18:00	44	-1	-15,82	985	101,10	-0,16	MEDIO NUBLADO	
19:00	43	-1	-15,82	1010	103,67	-0,15	MEDIO NUBLADO	
							<b>0,40</b>	
15/09/2012	9:35	20	0	0,00	NR	#VALOR!	#VALOR!	SOLEADO
	10:40	23	3	47,47	NR	#VALOR!	#VALOR!	SOLEADO
	11:40	26	3	47,47	NR	#VALOR!	#VALOR!	SOLEADO
	12:50	29	3	47,47	NR	#VALOR!	#VALOR!	SOLEADO
	13:35	32	3	47,47	458	47,0	1,0097564	SOLEADO
	14:40	37	5	79,12	612	62,8	1,2594456	SOLEADO
	15:40	40	3	47,47	649	66,6	0,7125862	SOLEADO
	16:40	41	1	15,82	859	88,2	0,17946	SOLEADO
	17:40	42	1	15,82	931	95,6	0,1655813	SOLEADO
18:40	41	-1	-15,82	985	101,1	-0,156504	SOLEADO	
							<b>0,53</b>	
22/09/2012	9:00	21	0	0,00	NR	#VALOR!	#VALOR!	SOLEADO
	10:00	24	3	47,47	NR	#VALOR!	#VALOR!	SOLEADO
	11:00	32	8	126,58	NR	#VALOR!	#VALOR!	SOLEADO
	12:00	34	2	31,65	653	67,0	0,4721475	SOLEADO
	13:00	37	3	47,47	754	77,4	0,6133534	SOLEADO
	14:00	41	4	63,29	987	101,3	0,6247463	MEDIO NUBLADO
	15:00	42	1	15,82	493	50,6	0,3126899	MEDIO NUBLADO
	16:00	41	-1	-15,82	534	54,8	-0,288682	NUBLADO
	17:00	40	-1	-15,82	312	32,0	-0,49409	NUBLADO
18:00	39	-1	-15,82	302	31,0	-0,510451	NUBLADO	
19:00	38	-1	-15,82	297	30,5	-0,519044	NUBLADO	
							<b>0,104</b>	
16/03/2013	9:00	22	0	0,00	NR	#VALOR!	#VALOR!	SOLEADO
	10:00	26	4	63,29	NR	#VALOR!	#VALOR!	SOLEADO
	11:00	31	5	79,12	NR	#VALOR!	#VALOR!	SOLEADO
	12:00	33	2	31,65	653	67,0	0,4721475	SOLEADO
	13:00	38	5	79,12	754	77,4	1,0222556	SOLEADO
	14:00	42	4	63,29	987	101,3	0,6247463	SOLEADO
	15:00	45	3	47,47	493	50,6	0,9380698	SOLEADO
	16:00	45	0	0,00	534	54,8	0	SOLEADO
	17:00	44	-1	-15,82	312	32,0	-0,49409	SOLEADO
18:00	42	-2	-31,65	302	31,0	-1,020902	MEDIO NUBLADO	
19:00	38	-4	-63,29	286	29,4	-2,15603	MEDIO NUBLADO	
							<b>0,427</b>	

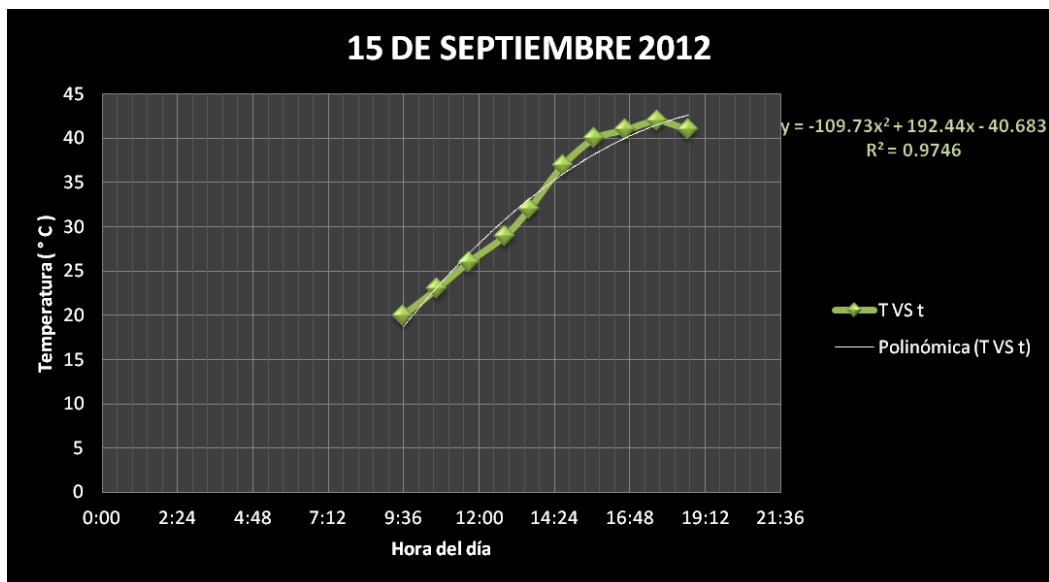
17/03/2013	9:00	21	0	0,00	NR	# VALOR!	# VALOR!	SOLEADO	
	10:00	23	2	31,65	NR	# VALOR!	# VALOR!	SOLEADO	
	11:00	25	2	31,65	NR	# VALOR!	# VALOR!	SOLEADO	
	12:00	26	1	15,82	433	44,4	0,3560188	SOLEADO	
	13:00	28	2	31,65	514	52,8	0,5998294	SOLEADO	
	14:00	30	2	31,65	732	75,1	0,4211917	SOLEADO	
	15:00	32	2	31,65	887	91,0	0,34759	MEDIO NUBLADO	
	16:00	36	4	63,29	952	97,7	0,6477149	MEDIO NUBLADO	
	17:00	36	0	0,00	921	94,5	0	MEDIO NUBLADO	
	18:00	33	-3	-47,47	865	88,8	-0,534646	MEDIO NUBLADO	
19:00	31	-2	-31,65	814	83,6	-0,378762	MEDIO NUBLADO		
								<b>0,182</b>	
18/03/2013	9:00	19	0	0,00	NR	# VALOR!	# VALOR!	MEDIO NUBLADO	
	10:00	21	2	31,65	NR	# VALOR!	# VALOR!	MEDIO NUBLADO	
	11:00	24	3	47,47	NR	# VALOR!	# VALOR!	SOLEADO	
	12:00	25	1	15,82	NR	# VALOR!	# VALOR!	SOLEADO	
	13:00	29	4	63,29	113	11,6	5,4568547	SOLEADO	
	14:00	31	2	31,65	318	32,6	0,9695355	SOLEADO	
	15:00	32	1	15,82	577	59,2	0,2671684	SOLEADO	
	16:00	34	2	31,65	765	78,5	0,4030226	SOLEADO	
	17:00	38	4	63,29	896	92,0	0,6881971	MEDIO NUBLADO	
	18:00	38	0	0,00	959	98,4	0	MEDIO NUBLADO	
19:00	37	-1	-15,82	728	74,7	-0,211753	MEDIO NUBLADO		
								<b>0,353</b>	
19/03/2013	9:00	20	0	0,00	NR	# VALOR!	# VALOR!	SOLEADO	
	10:00	21	1	15,82	NR	# VALOR!	# VALOR!	MEDIO NUBLADO	
	11:00	23	2	31,65	NR	# VALOR!	# VALOR!	MEDIO NUBLADO	
	12:00	27	4	63,29	369	37,9	1,6710693	SOLEADO	
	13:00	30	3	47,47	450	46,2	1,0277076	SOLEADO	
	14:00	34	4	63,29	680	69,8	0,9068009	SOLEADO	
	15:00	36	2	31,65	757	77,7	0,4072818	SOLEADO	
	16:00	36	0	0,00	830	85,2	0	MEDIO NUBLADO	
	17:00	36	0	0,00	859	88,2	0	MEDIO NUBLADO	
	18:00	35	-1	-15,82	625	64,2	-0,24665	MEDIO NUBLADO	
19:00	34	-1	-15,82	601	61,7	-0,256499	MEDIO NUBLADO		
								<b>0,135</b>	
20/03/2013	9:00	19	0	0,00	NR	# VALOR!	# VALOR!	SOLEADO	
	10:00	22	3	47,47	NR	# VALOR!	# VALOR!	SOLEADO	
	11:00	25	3	47,47	NR	# VALOR!	# VALOR!	SOLEADO	
	12:00	27	2	31,65	NR	# VALOR!	# VALOR!	SOLEADO	
	13:00	31	4	63,29	193	19,8	3,194946	SOLEADO	
	14:00	35	4	63,29	230	23,6	2,6809764	SOLEADO	
	15:00	39	4	63,29	836	85,8	0,7375892	SOLEADO	
	16:00	41	2	31,65	320	32,8	0,9634759	MEDIO NUBLADO	
	17:00	40	-1	-15,82	434	44,5	-0,355198	MEDIO NUBLADO	
	18:00	38	-2	-31,65	716	73,5	-0,430604	MEDIO NUBLADO	
19:00	38	0	0,00	716	73,5	0	MEDIO NUBLADO		
								<b>0,183</b>	
21/03/2013	9:00	21	0	0,00	NR	# VALOR!	# VALOR!	MEDIO NUBLADO	
	10:00	24	3	47,47	NR	# VALOR!	# VALOR!	SOLEADO	
	11:00	27	3	47,47	NR	# VALOR!	# VALOR!	MEDIO NUBLADO	
	12:00	30	3	47,47	174	17,9	2,6578646	MEDIO NUBLADO	
	13:00	33	3	47,47	303	31,1	1,5262985	SOLEADO	
	14:00	37	4	63,29	557	57,2	1,1070459	SOLEADO	
	15:00	38	1	15,82	700	71,9	0,2202231	SOLEADO	
	16:00	39	1	15,82	734	75,3	0,210022	MEDIO NUBLADO	
	17:00	39	0	0,00	773	79,3	0	MEDIO NUBLADO	
	18:00	37	-2	-31,65	632	64,9	-0,487836	MEDIO NUBLADO	
19:00	36	-1	-15,82	508	52,1	-0,303457	MEDIO NUBLADO		
								<b>0,124</b>	
22/03/2013	9:00	22	0	0,00	NR	# VALOR!	# VALOR!	SOLEADO	
	10:00	25	3	47,47	NR	# VALOR!	# VALOR!	SOLEADO	
	11:00	27	2	31,65	NR	# VALOR!	# VALOR!	SOLEADO	
	12:00	32	5	79,12	NR	# VALOR!	# VALOR!	SOLEADO	
	13:00	36	4	63,29	357	36,6	1,7272397	SOLEADO	
	14:00	40	4	63,29	709	72,8	0,8697103	SOLEADO	
	15:00	44	4	63,29	918	94,2	0,6717043	SOLEADO	
	16:00	45	1	15,82	1002	102,8	0,1538484	SOLEADO	
	17:00	42	-3	-47,47	961	98,6	-0,481237	MEDIO NUBLADO	
	18:00	41	-1	-15,82	854	87,7	-0,180511	MEDIO NUBLADO	
19:00	40	-1	-15,82	809	83,0	-0,190551	MEDIO NUBLADO		
								<b>0,140</b>	
NR	NO HAY REGISTRO							<b>21,5</b>	%
								<b>108,53</b>	KJ/m2 K
								<b>u</b>	
								<b>η prom</b>	

## 2.7 Graficas de resultados

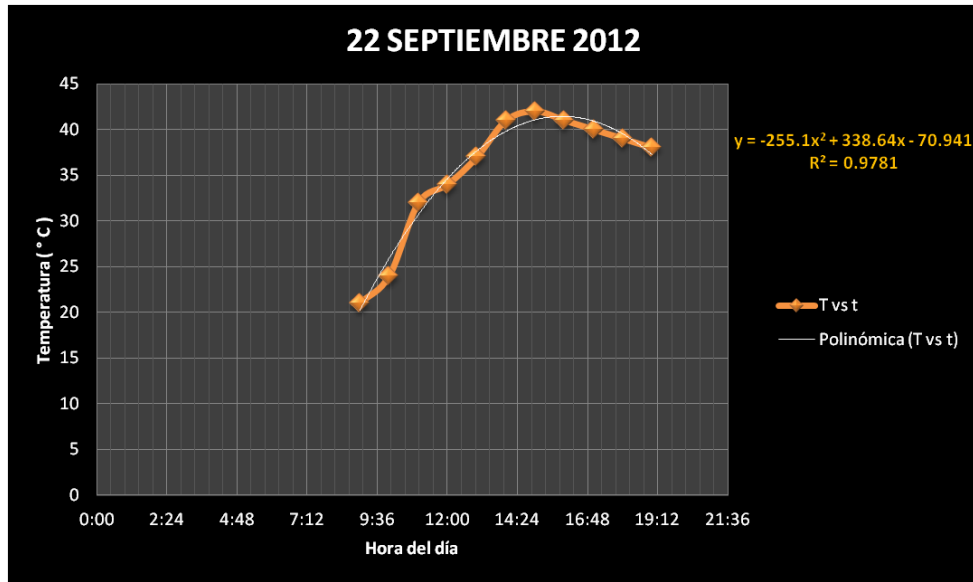
### 2.7.1 Temperatura-Tiempo



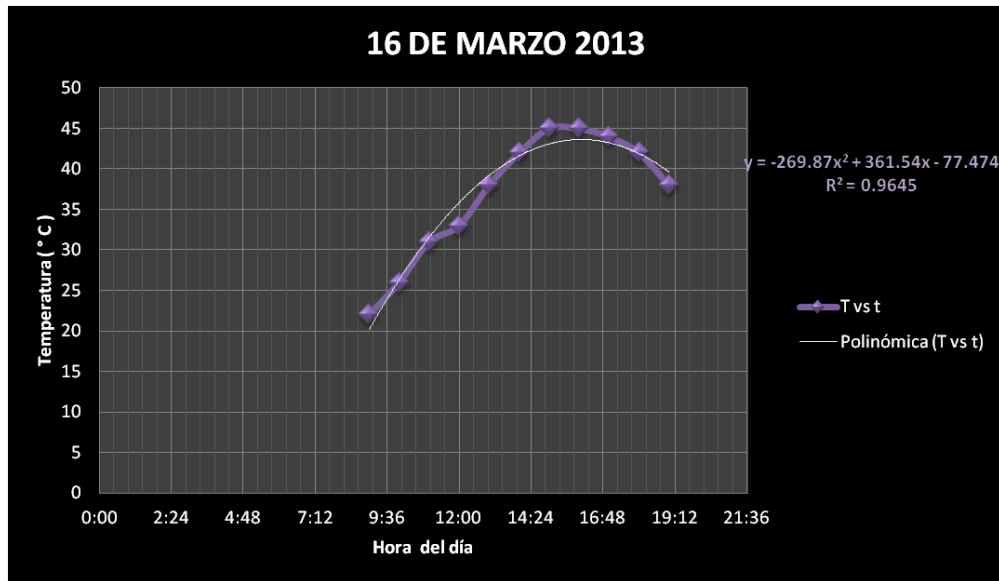
Grafica 1- T V.S t 08/SEPTIEMBRE/2012



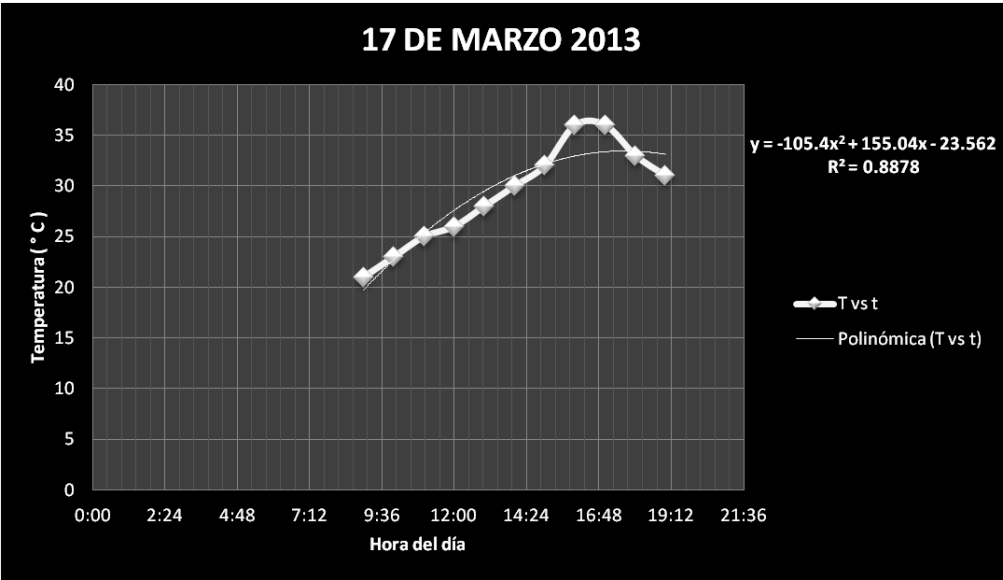
Grafica 2- T V.S t 15/SEPTIEMBRE/2012



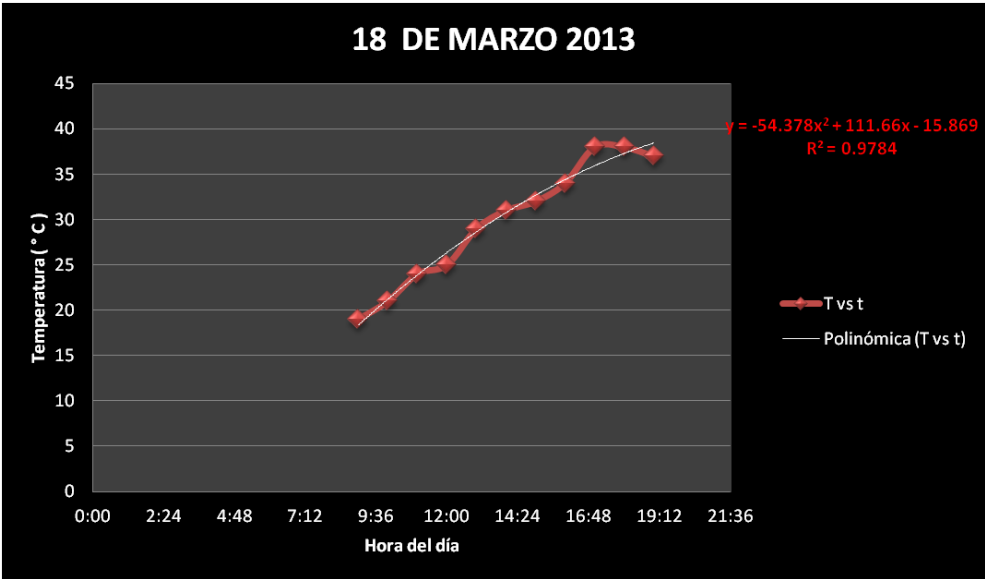
Grafica 3- T V.S t 22/SEPTIEMBRE/2012



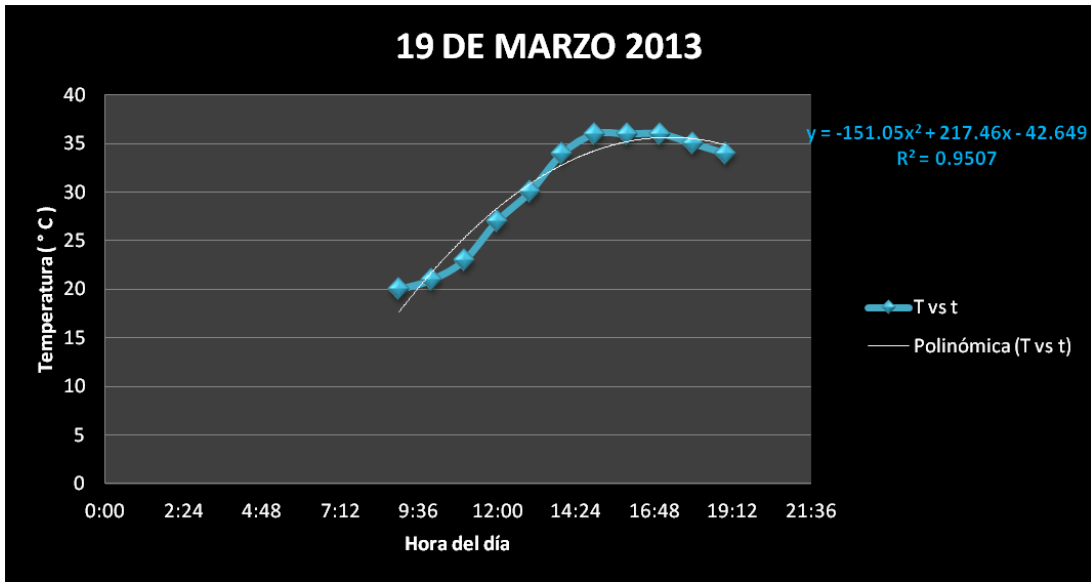
Grafica 4- T V.S t 16/MARZO/2013



Grafica 5- T V.S t 17/MARZO/2013



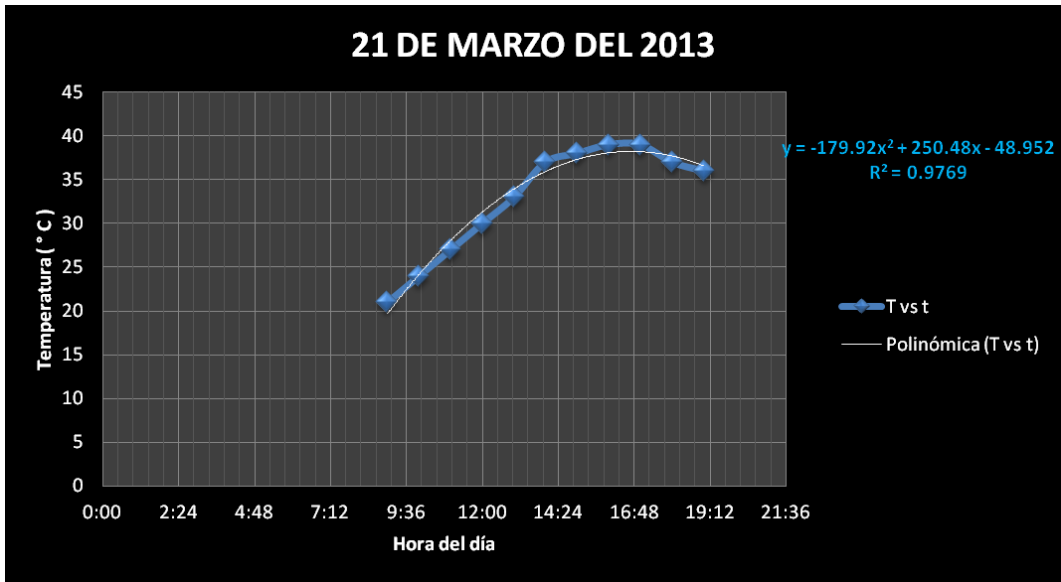
Grafica 6- T V.S t 18/MARZO/2013



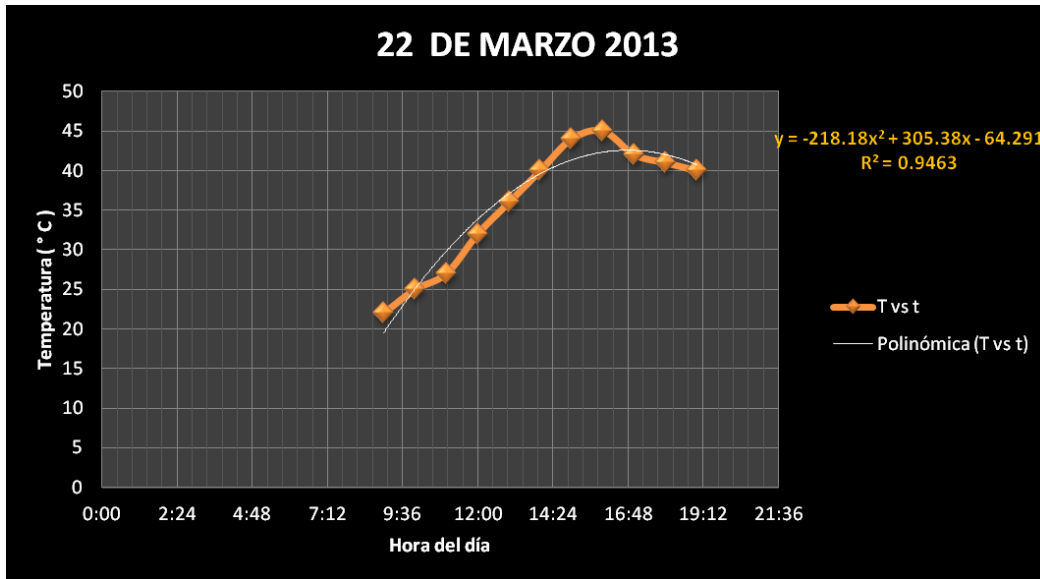
Grafica 7. T V.S t 19/MARZO/2013



Grafica 8- T V.S t 20/MARZO/2013



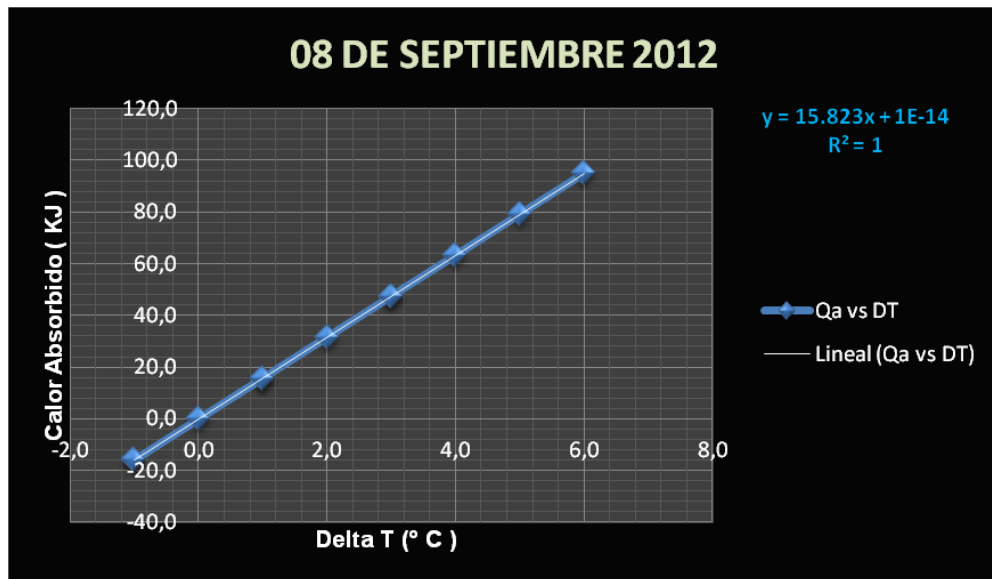
Grafica 9- T V.S t 21/MARZO/2013



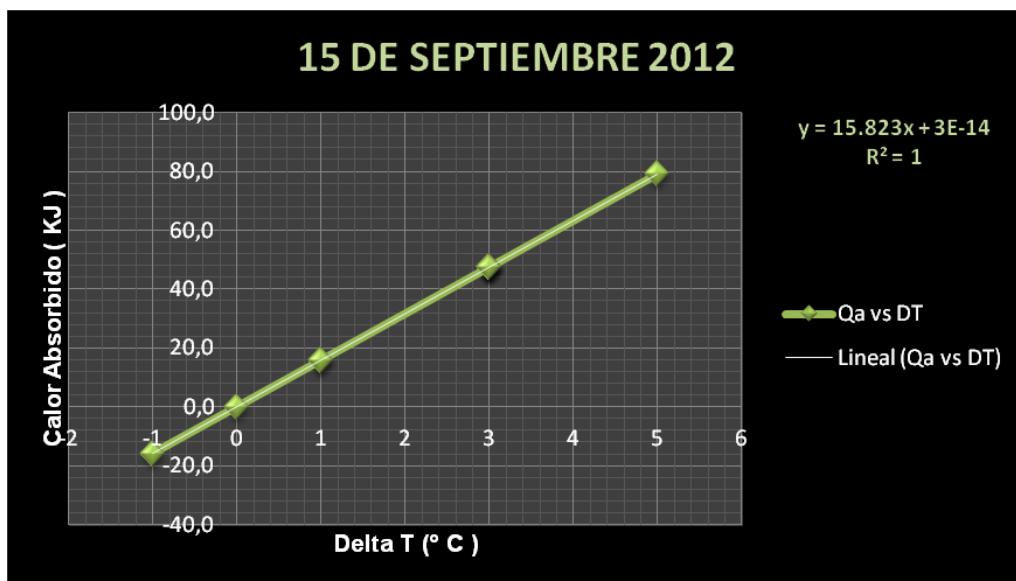
Grafica 10- T V.S t 22/MARZO/2013



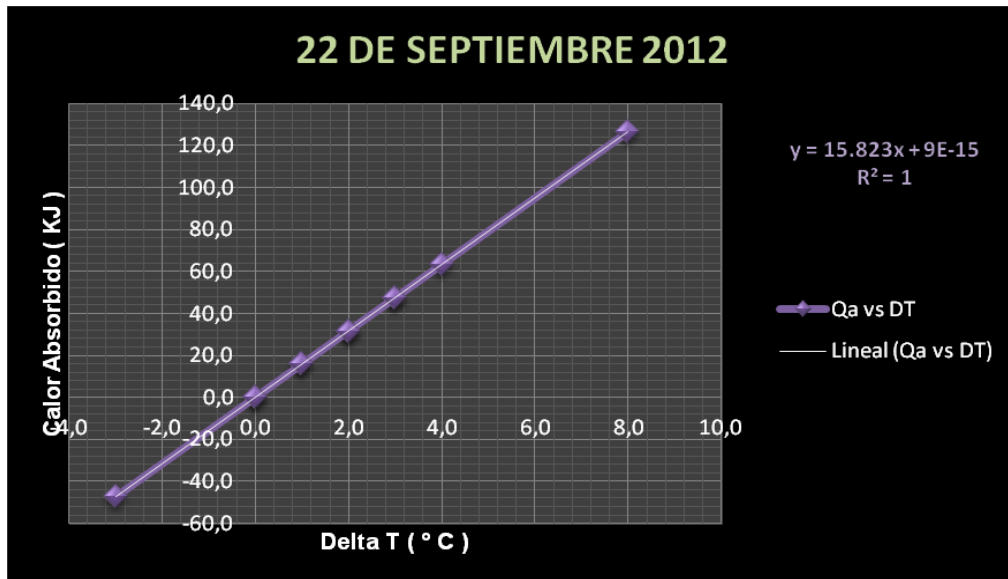
## 2.7.2 Calor Absorbido-Cambio de temperatura



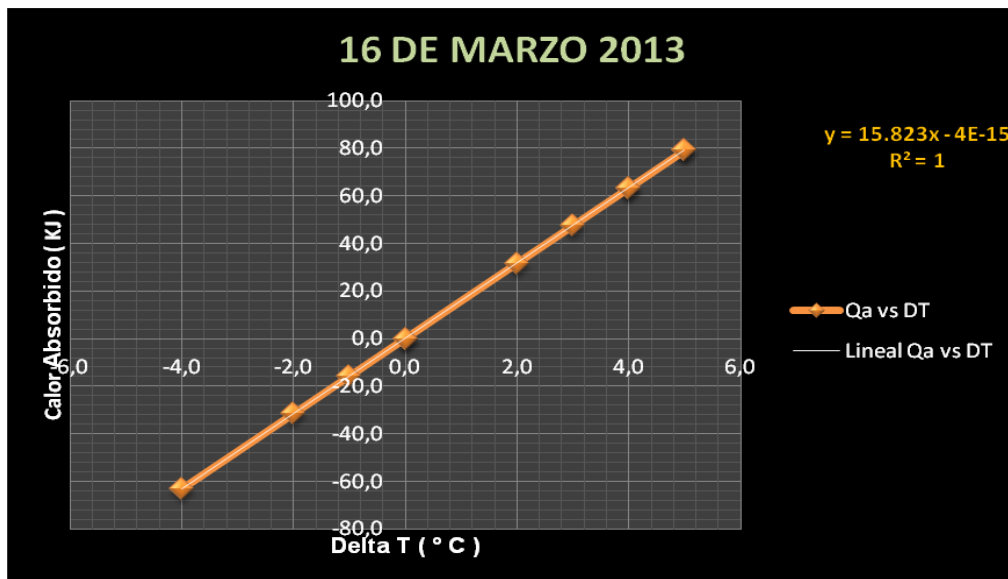
Grafica 11. Qa v.s delta T 08/SEPTIEMBRE/2012



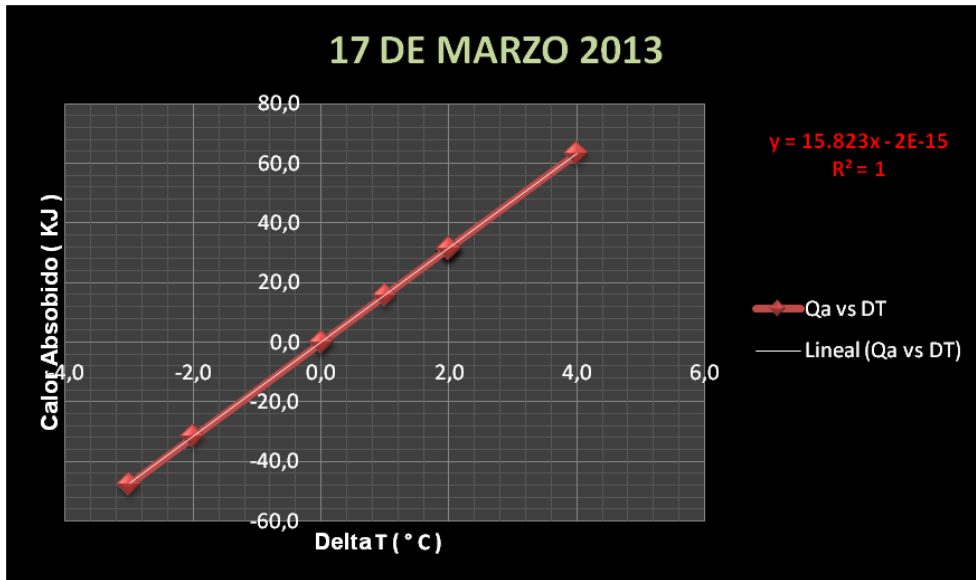
Grafica 12- Qa v.s delta T 15/SEPTIEMBRE/2012



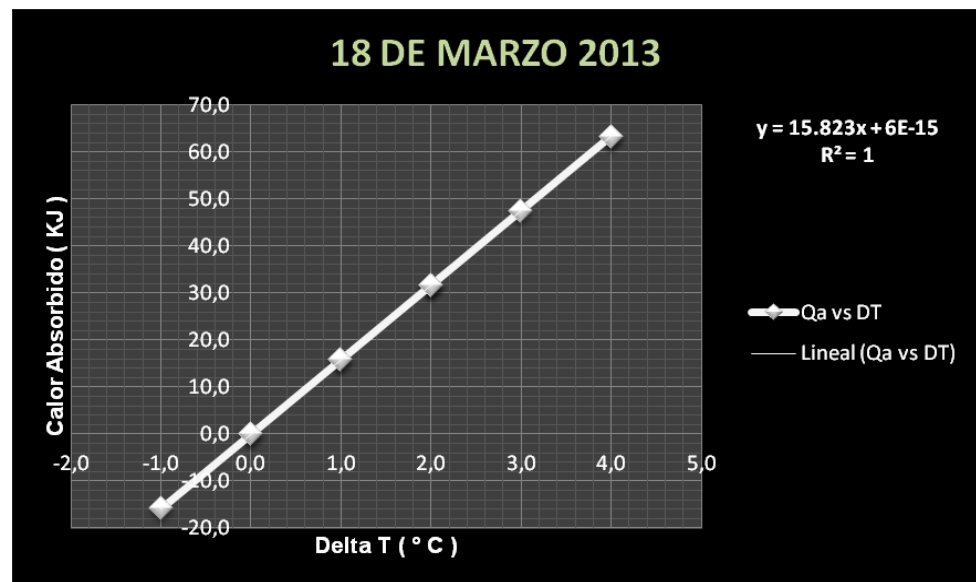
Grafica 13- Qa v.s delta T 22/SEPTIEMBRE/2012



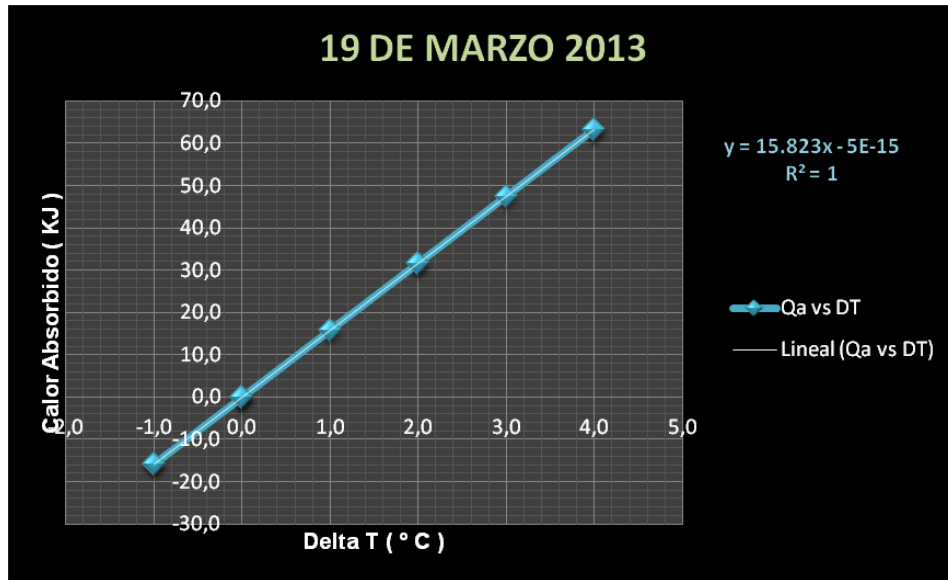
Grafica 14-Qa v.s delta T 16/MARZO/2013



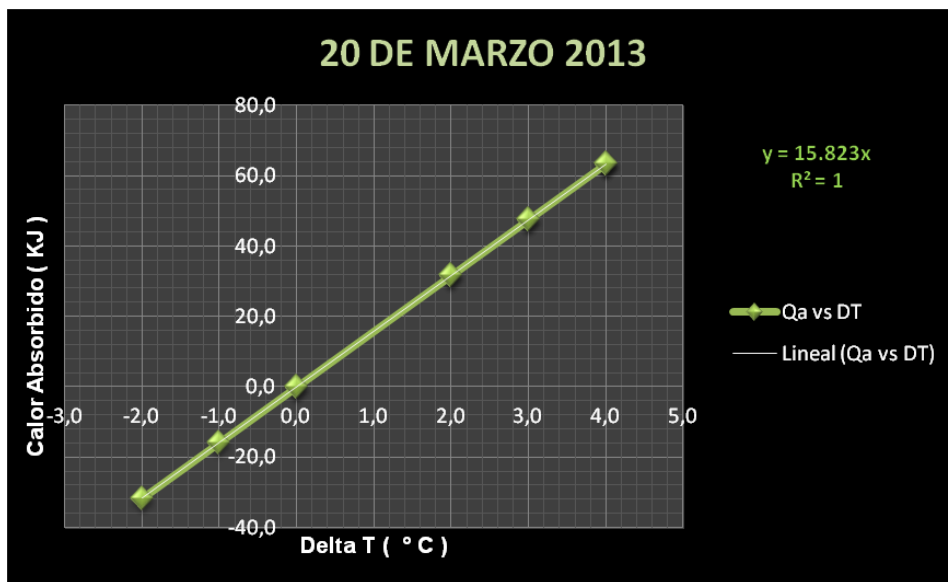
Grafica 15- Qa v.s delta T 17/MARZO/2013



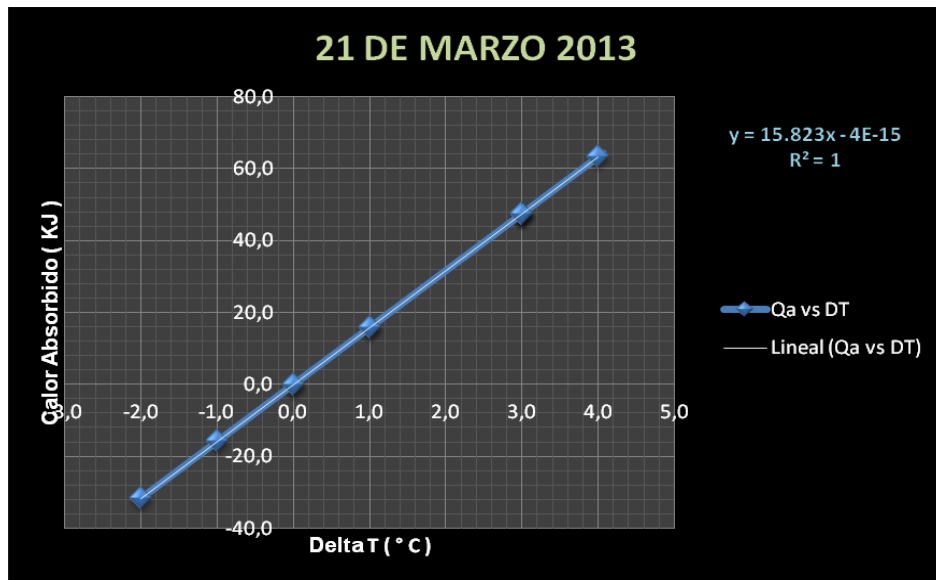
Grafica 16- Qa v.s delta T 18/MARZO/2013



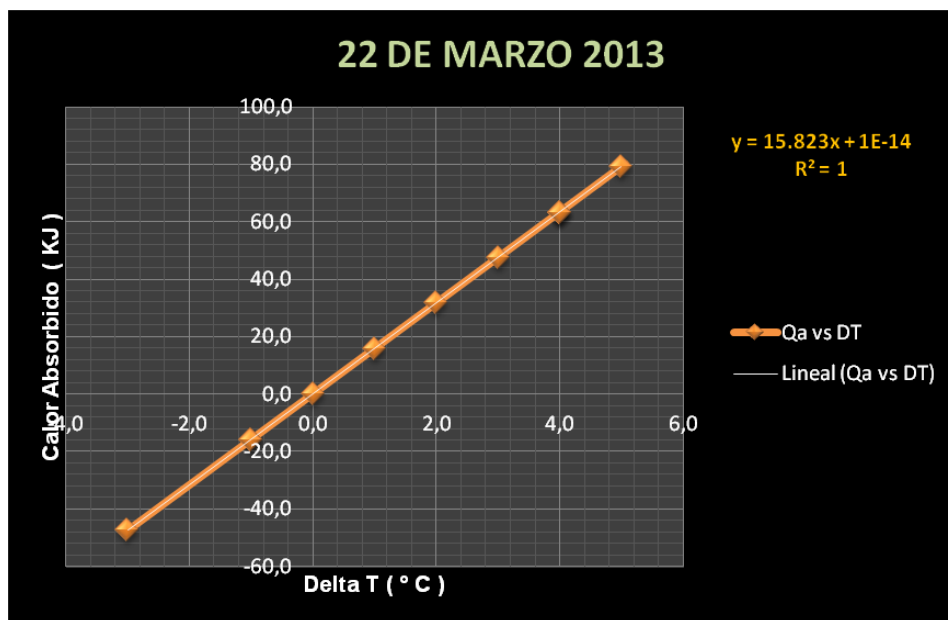
Grafica 17- Qa v.s delta T 19/MARZO/2013



Grafica 18- Qa v.s delta T 20/MARZO/2013



Grafica 19- Qa v.s delta T 21/MARZO/2013



Grafica 20- Qa v.s delta T 22/MARZO/2013

## Capítulo 3.- ANALISIS DE RESULTADOS.

En las graficas se aprecia que la temperatura máxima alcanzada por el agua se dio en el lapso de tiempo de 14:00 a 16:00 horas y la temperatura del agua máxima registrada fue de 45°C en los días 8/septiembre/2012, 16/marzo/2013 y 22/marzo/2013.

Las graficas representan el aumento en la temperatura del agua con respecto al tiempo (T vs. t) se puede apreciar la tendencia de los puntos hacia una curva polinómica en la cual empieza de manera ascendente y conforme transcurre el tiempo hay una caída en la temperatura del agua, esto sucede cuando la radiación directa y difusa disminuye (al anochecer), esto indica que el termotanque tiene fugas de calor.

Las pérdidas de energía en el termotanque se debe a dos factores principales:

- El aislamiento térmico no es suficiente para mantener la temperatura del taque.
- Al caer la noche el evaporador comienza a enfriarse, por lo que comienza a absorber calor del condensador, mismo que absorbe energía del agua caliente almacenada.

Por otro lado, los resultados obtenidos del calor absorbido con respecto al cambio de temperatura muestran un comportamiento lineal de la cual se partió para el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor “u” a través de la pendiente de las graficas la cual es igual en todos los casos.

La eficiencia promedio alcanzada durante el día fue del 21,5%, este resultado es superior al obtenido con calentadores solares comunes que está entre el 7 y 9%, la eficiencia más baja fue de 10.4% y se presento el día 22/septiembre/2012, en día a partir de las 16:00 hrs se presento nubosidad por completo, lo cual afecto en la eficiencia del colector. Aun con este último resultado se demuestra que el calentador solar de placa de calor tiene una eficiencia superior en comparativa con los colectores convencionales.

Los cálculos se fueron hechos a partir de los datos registrados de radiación solar que nos brinda el Sistema Meteorológico Nacional, dependiendo del día, los registros inician a partir de las 11, 12 o 13 hrs, por lo cual en algunos casos no se registra cálculo. Por otro, lado las eficiencias negativas que se muestran son debido a disminución de la temperatura del agua en el termotanque.

## Capítulo 4.- CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos superaron las expectativas del proyecto debido a que se demostró una eficiencia mayor a la de los calentadores solares convencionales aun en días nublados.

Este nuevo tipo de colector además de ser un diseño innovador presenta muchas ventajas con respecto a los convencionales:

- Mayor eficiencia

- Bajo mantenimiento
- Sin partes de repuesto
- Resistente a la corrosión atmosférica
- Resistencia a la corrosión interna en el colector
- No se presentan obstrucciones en las tuberías debido a los minerales del agua como se presentan en los calentadores de serpentín y tubos en paralelo.
- Mayor área de transferencia de calor
- Mayor resistencia al vandalismo
- Soportan carga por granizada

La caída de temperatura en las graficas (T vs. t) puro ser mejorada si se hubiera utilizado un aislamiento térmico como la espuma de poliuretano para una mejor conservación de calor durante la noche, además es importante mencionar que la carcasa que cubre el colector solar también deberá ser aislada para una mejor conservación de calor en el colector.

Este equipo puede mejorar de manera notoria si se utilizan mejores procesos de manufactura como es el caso de la fabricación del colector, la unión del colector con el tanque y la unión entre la placa de acrílico y el colector, siendo esta última de suma importancia debido a la generación del vacío en el colector.

La construcción de este colector tendría un costo mas elevado que los convencionales debido al material de la placa absorbadora, sin embargo la eficiencia alcanzada es mayor debido a la alta conductividad térmica del cobre.

La selección del fluido de trabajo fue en base al punto de ebullición del mismo, para fines experimentales se utilizo un anticongelante comercial para automóviles, debido al contenido de etilenglicol. Se debe considerar que para la fabricación de un equipo de uso comercial deberá ser utilizado propilenglicol, ya que este no es toxico ni perjudicial para el ser humano. Por otro lado no fue posible conocer la temperatura de saturación del etilenglicol debido a que no existen graficas o tablas que contengan dicha información, esto es importante para una fabricación a nivel comercial.

Actualmente en México la cultura por el uso de estos equipos empieza ser de mayor auge, siendo esta una muy buena oportunidad para informar a la gente sobre esta innovación y los beneficios que trae consigo en cuestiones económicas y ambientales.

## ANEXOS.

### TERMINOLOGIA

- Absortancia: es la fracción de la radiación incidente sobre un cuerpo que es absorbida por el mismo.
- Calor: está definido como la forma de energía (energía térmica) que se transfiere entre diferentes cuerpos o diferentes zonas de un mismo cuerpo que se encuentran a distintas temperaturas, sin embargo en termodinámica generalmente el término calor significa simplemente transferencia de energía.
- Calor específico (C): cantidad de energía necesaria para aumentar en 1 °C la temperatura de 1 kg de material. Indica la mayor o menor dificultad que presenta una sustancia para experimentar cambios de temperatura bajo el suministro de calor. Los materiales que presenten un elevado calor específico serán buenos aislantes. Sus unidades del Sistema Internacional son J/(kg·K), aunque también se suele presentar como kcal/(kg·°C); siendo 1 cal = 4,184 J. Por otra parte, el producto de la densidad de un material por su calor específico ( $\rho \cdot C$ ) caracteriza la inercia térmica de esa sustancia, siendo esta la capacidad de almacenamiento de energía.
- Condensación: cambio de estado de la materia que se encuentra en forma gaseosa a forma líquida. Es el proceso inverso a la vaporización
- Conductividad térmica (k): capacidad de un material para transferir calor. La conducción térmica es el fenómeno por el cual el calor se transporta de regiones de alta temperatura a regiones de baja temperatura dentro de un mismo material o entre diferentes cuerpos. Las unidades de conductividad térmica en el Sistema Internacional son W/(m·K), aunque también se expresa como kcal/(h·m·°C), siendo la equivalencia:  $1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K}) = 0,86 \text{ kcal}/(\text{h}\cdot\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ .
- Cuerpo negro: objeto teórico o ideal que absorbe toda la luz y toda la energía radiante que incide sobre él. Nada de la radiación incidente se refleja o pasa a través del cuerpo negro. A pesar de su nombre, el cuerpo negro emite luz y constituye un sistema físico idealizado para el estudio de la emisión de radiación electromagnética.
- Densidad ( $\rho$ ): masa de material por unidad de volumen:  $\rho = m / V$  (kg/m<sup>3</sup>).



- Difusividad térmica ( $\alpha$ ): caracteriza la rapidez con la que varía la temperatura del material ante una sollicitud térmica, por ejemplo, ante una variación brusca de temperatura en la superficie. Se puede calcular mediante la siguiente expresión:  $\alpha = k / (\rho \cdot C)$  ( $m^2/s$ )
- Ductilidad: propiedad que presentan algunos materiales, como las aleaciones metálicas o materiales asfálticos, los cuales bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse sosteniblemente sin romperse.
- Ebullición: es el proceso físico en el que la materia pasa a estado gaseoso. Se realiza cuando la temperatura de la totalidad del líquido iguala al punto de ebullición del líquido a esa presión. Si se continúa calentando el líquido, éste absorbe el calor, pero sin aumentar la temperatura: el calor se emplea en la conversión de la materia en estado líquido al estado gaseoso, hasta que la totalidad de la masa pasa al estado gaseoso.
- Efecto invernadero: fenómeno por el cual determinados gases, que son componentes de la atmósfera planetaria, retienen parte de la energía que la superficie planetaria emite por haber sido calentada por la radiación estelar. Afecta a todos los cuerpos planetarios rocosos dotados de atmósfera. Este fenómeno evita que la energía recibida constantemente vuelva inmediatamente al espacio, produciendo a escala planetaria un efecto similar al observado en un invernadero.
- Electrón: partícula subatómica con una carga eléctrica elemental negativa, no tiene componentes o subestructura conocidos, en otras palabras, generalmente se define como una partícula elemental. Tiene una masa que es aproximadamente 1836 veces menor con respecto a la del protón.
- Emitancia: En termodinámica, a la emisividad, o proporción de radiación térmica emitida por una superficie en relación a la de un cuerpo negro.
- Energía cinética: es aquella energía que posee debido a su movimiento. Se define como el trabajo necesario para acelerar un cuerpo de una masa determinada desde el reposo hasta la velocidad indicada. Una vez conseguida esta energía durante la aceleración, el cuerpo mantiene su energía cinética salvo que cambie su velocidad. Para que el cuerpo regrese a su estado de reposo se requiere un trabajo negativo de la misma magnitud que su energía cinética.
- Energía radiante: energía que poseen las ondas electromagnéticas como la luz visible, las ondas de radio, los rayos ultravioletas (UV), los rayos infrarrojos (IR), etc. La característica principal de esta energía es que se propaga en el vacío sin necesidad de soporte material alguno. Se transmite por unidades llamadas fotones.
- Fotones: partícula elemental responsable de las manifestaciones cuánticas del fenómeno electromagnético. Es la partícula portadora de todas las formas de radiación electromagnética, incluyendo los rayos gamma, los rayos X, la luz ultravioleta, la luz visible (espectro electromagnético), la luz infrarroja, las microondas y las ondas de radio. El fotón tiene una masa invariante cero y viaja en el vacío con una velocidad constante  $c$ .

- Fluido: tipo de medio continuo formado por alguna sustancia entre cuyas moléculas hay una fuerza de atracción débil. Los fluidos se caracterizan por cambiar de forma sin que existan fuerzas restitutivas tendentes a recuperar la forma original.
- Presión: proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie.
- Reflectancia: fracción de radiación incidente reflejada por una superficie. En general debe tratársela como una propiedad direccional, en función de la dirección reflejada, de la dirección incidente, y de la longitud de onda incidente.
- Semiconductor: es un elemento que se comporta como un conductor o como aislante dependiendo de diversos factores, como por ejemplo el campo eléctrico o magnético, la presión, la radiación que le incide, o la temperatura del ambiente en el que se encuentre.
- Temperatura: magnitud referida a las nociones comunes de caliente, tibio o frío que puede ser medida con un termómetro. En física, se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica.
- Transmitancia: es una magnitud que expresa la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo en la unidad de tiempo.

## REFERENCIAS.

### Referencias bibliográficas.

1. Fundamentos de Transferencia de calor, Frank P. Incropera y David P. DEWITT, cuarta edición, PRENTICE-HALL, México
2. Principios de Transferencia de calor, Frank Kreith, primera edición en español, HERRERO HERMANOS, SUCESORES, S. A., México
3. Transferencia de calor, J.P. Holman, primera edición en español, McGraw-Hill, España
4. Transferencia de calor, M. Necati Özisik, primera edición en español, McGraw-Hill Inc., USA
5. Radiation Heat Transfer a Statistical Approach, J. Robert Mahan, John Wiley & Sons, New York
6. Manual técnico del agua, DEGREMONT, cuarta edición, Artes Gráficas Grijelmo, S.A. Uribitarte, 4 Bilbao (España)
7. Cambio climático 2007 informe de síntesis. Informe del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático.

8. Hacia una estrategia Mexicana para el desarrollo sustentable en un mundo de transición.  
SENER Noviembre,2006

#### Referencias electrónicas

1. <http://www.pemex.com/index.cfm?action=content&sectionid=136&catid=11895>
2. <http://accionplaneta.com/docs/pdf/calentadores-solares-energ-a.pdf>
3. [http://www.sener.gob.mx/res/548/Tercer\\_Informe\\_Trimestral\\_Nov.09\\_Art.71.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/548/Tercer_Informe_Trimestral_Nov.09_Art.71.pdf)
4. Observatorio de radiación solar, instituto de geofísica, UNAM, promedio 1984-2004
5. [http://www.gstriatum.com/energiasolar/articulosenergia/118\\_calentador-solar\\_energiasolar.html](http://www.gstriatum.com/energiasolar/articulosenergia/118_calentador-solar_energiasolar.html)
6. [http://www.gstriatum.com/energiasolar/articulosenergia/118\\_calentador-solar\\_energiasolar.html](http://www.gstriatum.com/energiasolar/articulosenergia/118_calentador-solar_energiasolar.html)
7. [http://www.profeco.gob.mx/revista/publicaciones/adelantos\\_04/gasnatylp\\_ene\\_04.pdf](http://www.profeco.gob.mx/revista/publicaciones/adelantos_04/gasnatylp_ene_04.pdf)
8. [http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/Prospectiva\\_gasLP\\_2009-2024.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/Prospectiva_gasLP_2009-2024.pdf)
9. [http://www.bajalealcalor.org/cms/index.php?option=com\\_content&view=article&id=53&Itemid=61](http://www.bajalealcalor.org/cms/index.php?option=com_content&view=article&id=53&Itemid=61)
10. [http://www.robertexto.com/archivo3/energias\\_renov.htm](http://www.robertexto.com/archivo3/energias_renov.htm)
11. <http://www.fierasdelaingenieria.com/energia-undimotriz-el-aprovechamiento-de-la-fuerza-delas-olas/>
12. <http://www.pilkington.com/southamerica/chile/spanish/building+products/glass+reference/appearance+of+glass/default.htm>
13. [http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic\\_spectrum](http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum)

