



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PRUEBAS EXPERIMENTALES A PANELES COLECTORES DE ENERGÍA TÉRMICA SOLAR

TESIS

Para obtener el título de:

Ingeniero Mecánico

Presenta:

Gabriel Antonio Durán González

Director de tesis:

M en Ing. Alejandro Sánchez Huerta

Ciudad Universitaria, México D.F., Octubre 2010





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	II
Índice de tablas	IV
Índice de gráficas.....	V
Resumen.....	1
Objetivos	1
Nomenclatura.....	2
Introducción	4
1 Antecedentes	6
1.1 Energías renovables	7
1.1.1 Energía eólica	7
1.1.2 Energía geotérmica	10
1.1.3 Energía del océano	14
1.1.4 Energía hidráulica.....	24
1.1.5 Biomasa	28
1.2 Energía solar.....	29
1.2.1 Tipos de aprovechamiento de la energía solar	33
1.3 Medio ambiente e impacto ambiental.....	44
1.3.1 Cambio climático.....	45
1.3.2 Mitigación de gases de efecto invernadero	49
2 Colectores solares	52
2.1 Tipos de colectores solares	53
2.1.1 Colector de placa plana.....	54
2.1.2 Tubos de vacío y tecnología Heat Pipe.....	60
2.1.3 Concentradores.....	64
2.2 Uso de colectores solares para acondicionamiento térmico de agua de alberca	71
3 Pruebas experimentales a los paneles colectores de energía térmica solar	77
Planteamiento del proyecto.....	79
3.1 Descripción de la instalación e instrumentación	82
3.2 Levantamiento de datos en sitio	90
4 Análisis de datos y resultados	101
4.1 Programa evaluador para comparación de resultados.....	102
4.2 Interpretación de resultados.....	107
5 Conclusiones.....	108



Anexos	111
Anexo 1 Toma de datos en sitio	111
Anexo 2 Datos del PEMBU	123
Anexo 3 Programa evaluador de eficiencia de colectores solares.....	126
Anexo 4 Características de colectores solares y equipo	134
Bibliografía	143

Índice de figuras

FIGURA 1.1 Clasificación de los aprovechamientos de energía	6
FIGURA 1.2 Circulación atmosférica general.	7
FIGURA 1.3 Movimiento del viento.....	8
FIGURA 1.4 La Venta II, Oaxaca, México.	9
FIGURA 1.5 Elementos de un aerogenerador.	10
FIGURA 1.6 Modelos de la estructura de la tierra	11
FIGURA 1.7 Placas de la corteza terrestre.....	12
FIGURA 1.8 Central mareomotriz.....	16
FIGURA 1.9 Central mareomotriz de La Rance, Francia	17
FIGURA 1.10 Localización potencial de una central mareomotriz en México	17
FIGURA 1.11 Valores promedio anuales de flujo de potencia en kW / m en diferentes puntos de todo el mundo para zonas de aguas profundas.....	19
FIGURA 1.12 Sistema de columna de agua oscilante (OWC)	20
FIGURA 1.13 Gradiente de temperatura entre la superficie del mar y 1000 metros de profundidad.....	22
FIGURA 1.14 Esquema de una planta OTEC.	23
FIGURA 1.15 Ciclo hidrológico.....	24
FIGURA 1.16 Generación hidráulica mundial.....	26
FIGURA 1.17 Energía del sol que llega a la tierra	30
FIGURA 1.18 Mapa estimativo de la radiación solar en el mundo.....	31
FIGURA 1.19 Movimiento de la tierra	31
FIGURA 1.20 Diagrama de energía solar.	32
FIGURA 1.21 (1) Célula con material semiconductor 1 (2) Célula con material semiconductor 2 (3) Célula Tándem se combinan ambos tipos de materiales.	36
FIGURA 1.22 Célula con sistemas de concentración	36
FIGURA 1.23 Célula de formato teja	36
FIGURA 1.24 Célula bifocal.....	37
FIGURA 1.25 Colector de placa plana.....	39
FIGURA 1.26 Colector solar de aire	40
FIGURA 1.27 Colector solar de tubos de vacío.....	40
FIGURA 1.28 Tubos de calor.....	40
FIGURA 1.29 Colectores cónicos o esféricos.....	40
FIGURA 1.30 Concentradores cilíndricos	41



FIGURA 1.31	Concentradores paraboloides.....	41
FIGURA 1.32	Calentamiento global y efecto invernadero	46
FIGURA 1.33	a) Emisiones mundiales anuales de GEI antropógenos entre 1970 y 2004. b) Parte proporcional de diferentes GEI antropógenos en las emisiones totales en el año 2004, en términos de CO ₂ -eq. c) Parte proporcional de diversos sectores en las emisiones totales de GEI antropógenos en 2004, en términos de CO ₂ -eq	47
FIGURA 2.1	Sistema de colección de energía térmica solar.....	53
FIGURA 2.2	Partes de un colector de placa plana.....	54
FIGURA 2.3	Colector solar de tubos de vacío.....	60
FIGURA 2.4	Tubos evacuado simples	61
FIGURA 2.5	Tubo de vacío de flujo directo	62
FIGURA 2.6	Funcionamiento de colector solar de tubos de vacío con tecnología Heat Pipe.....	63
FIGURA 2.7	Tubo de vacío con tecnología Heat Pipe.....	64
FIGURA 2.8	Concentrador estacionario de energía térmica solar	65
FIGURA 2.9	Concentrador estacionario parabólico compuesto	66
FIGURA 2.10	Concentrador estacionario con espejos en V	66
FIGURA 2.11	Concentrador estacionario con cuatro espejos	66
FIGURA 2.12	Concentrador cilíndrico parabólico.....	68
FIGURA 2.13	Concentrador dinámico de paraboloides de revolución	69
FIGURA 2.14	Sistema reflector esférico estacionario con sistema de absorción móvil (SRTA)..	70
FIGURA 2.15	Sistemas de torre central.....	71
FIGURA 2.16	Colectores solares de placa plana para calentamiento de albercas.....	72
FIGURA 2.17	Evaporación de agua de alberca	73
FIGURA 2.18	Radiación de calor de agua de alberca	73
FIGURA 2.19	Conducción de calor de agua de alberca a paredes	73
FIGURA 2.20	Convección de aire en alberca	74
FIGURA 2.21	Radiación solar a agua de alberca.....	74
FIGURA 2.22	Partes de un sistema de colección de energía térmica solar.....	76
FIGURA 3.1	Albercas ENP 8	78
FIGURA 3.2	Vista de conjunto de 3 colectores.....	82
FIGURA 3.3	Soportes para pruebas.....	83
FIGURA 3.4	Colector solar A.....	84
FIGURA 3.5	Colector Solar B.....	84
FIGURA 3.6	Tanque de almacenamiento	84
FIGURA 3.7	Bomba de ½ hp.	85
FIGURA 3.8	Identificación de tuberías de entrada.....	85
FIGURA 3.9	Identificación de tuberías de salida	86
FIGURA 3.10	Termómetros y manómetros de entrada y salida	86
FIGURA 3.11	Termómetros y manómetros de entrada y salida	87
FIGURA 3.12	Termómetros y manómetros de entrada y salida	87
FIGURA 3.13	Diagrama de colectores solares, tubería de alimentación y tanque de almacenamiento	88
FIGURA 3.14	Vástago sensible para medición.	89
FIGURA 3.15	Colector Solar A.....	89
FIGURA 3.16	Colector Solar B.....	89



FIGURA 3.17. Colector Solar C..... 90
FIGURA 3.18. Deformaciones en el colector “A” 98
FIGURA 3.19. Deformaciones en el colector “A” 98
FIGURA 3.20. Goteo en el sistema de bombeo..... 99
FIGURA 3.21. Instalación de manómetros a la entrada de cada colector. 99
FIGURA 3.22. Instalación de manómetros a la entrada de cada colector. 99
FIGURA 3.23. Toma de temperatura del colector B, por medio de termopar..... 100
FIGURA 4.1 Partes del programa evaluador 104
FIGURA 0.1 Colector solar “A”..... 134
FIGURA 0.2 Anverso de hoja de especificaciones colector B..... 135
FIGURA 0.3 Reverso de hoja de especificaciones colector B 136
FIGURA 0.4 Colector solar”B” 137
FIGURA 0.5 Termómetro del colector solar “B” 137
FIGURA 0.6 Anverso de hoja de especificaciones colector C..... 139
FIGURA 0.7 Reverso de hojas de especificaciones colector C..... 140
FIGURA 0.8 Colector solar “C” 140
FIGURA 0.9 Bomba hidráulica 142

Índice de tablas

Tabla 1.1 Lugares potenciales para energía de las mareas..... 15
Tabla 1.2 Capacidad instalada de células fotovoltaicas..... 34
Tabla 1.3 Iluminación recomendada por tipo de tarea..... 43
Tabla 2.1 Rangos de temperatura y concentración de colectores estacionarios. 67
Tabla 4.1 Propiedades del agua y de los colectores 101
Tabla 4.2 Resumen de resultados 107
Tabla 0.1. Toma de datos del colector A, primera semana..... 111
Tabla 0.2. Toma de datos del colector A, segunda semana..... 112
Tabla 0.3. Toma de datos del colector A, tercera semana..... 113
Tabla 0.4 Toma de datos del colector B, primera semana..... 114
Tabla 0.5. Toma de datos del colector B, segunda semana..... 115
Tabla 0.6. Toma de datos del colector B, tercera semana 116
Tabla 0.7 Toma de datos del colector C, primera semana..... 117
Tabla 0.8. Toma de datos del colector C, segunda semana 118
Tabla 0.9. Toma de datos del colector C, tercera semana 119
Tabla 0.10. Lecturas en el tanque, primera semana 120
Tabla 0.11. Lecturas en el tanque, segunda semana 121
Tabla 0.12. Lecturas en el tanque, tercera semana 122
Tabla 0.13 Datos PEMBU..... 125
Tabla 0.14 Programa evaluador del colector A..... 128
Tabla 0.15 Programa evaluador del colector B 130
Tabla 0.16 Programa evaluador del colector C 133
Tabla 0.17 Características y materiales del colector solar b 138
Tabla 0.18 Características y materiales del colector solar 141



Índice de gráficas

Gráfica 3.1 Colector A primera semana	91
Gráfica 3.2 Colector A segunda semana	92
Gráfica 3.3 Colector A tercera semana	92
Gráfica 3.4 Colector B primera semana	93
Gráfica 3.5 Colector B segunda semana.....	93
Gráfica 3.6 Colector B tercera semana	94
Gráfica 3.7 Colector C primera semana	94
Gráfica 3.8 Colector C segunda semana.....	95
Gráfica 3.9 Colector C tercera semana.....	95
Gráfica 3.10 Temperatura del tanque primera semana	96
Gráfica 3.11 Temperatura del tanque segunda semana.....	96
Gráfica 3.12 Temperatura del tanque tercera semana.....	97
Gráfica 4.1 Eficiencia del colector A por día.....	105
Gráfica 4.2 Eficiencia del colector B por día.....	105
Gráfica 4.3 Eficiencia del colector C por día.....	106



Resumen

Las energía es un tema de interés general en la actualidad, por tal motivo se ha busca generar energía a un bajo precio y en la medida de lo posible limpia, por lo cual los gobiernos y diferentes instituciones en todo el mundo buscan utilizar las energías alternas como solución a sus problemas energéticos.

Calentar el agua de albercas para uso recreativo y competitivo requiere de un gasto considerable de energía, ya que si bien el salto térmico que se requiere es de unos cuantos grados centígrados, la cantidad de agua que se tienen que calentar es considerable. El uso de combustibles fósiles, además de afectar en gran medida el medio ambiente por el alto grado de contaminación generada, también representa un fuerte gasto para las instalaciones de la alberca.

Por tal motivo y para el confort de los usuarios de las dependencias de la UNAM se ha propuesto incluir en la climatización de las albercas energías alternativas que reduzcan estos costos, así como minimizar los gases provenientes de los combustibles fósiles.

En este estudio se muestra una de las propuestas realizadas para la climatización de las albercas. Consiste en la instalación de una techumbre para la alberca de la ENP 8 que sirve a su vez para colectar el agua de lluvia y colectar la energía solar para el calentamiento del agua de la misma. Este proyecto fue desarrollado por la Facultad de Arquitectura y evaluado por el Instituto de Ingeniería.

La evaluación consistió en medir el salto térmico generado por cada uno de los colectores durante un par de semanas y compararlo con parámetros meteorológicos proporcionados por el PEMBU para poder cuantificar la energía que los colectores transfieren al agua. Dando resultados de eficiencia térmica de los colectores instalados en el sitio de la propuesta.

Objetivos

Objetivo general:

Lograr el ahorro energético en instituciones dependientes de la UNAM, a través del uso de energías alternas y en su caso renovables.

Objetivo particular:

Realizar una evaluación de tres colectores de diferentes diseños para lograr la selección del más apropiado en las instalaciones de la ENP 8 para el calentamiento del agua de su alberca natatoria y con esto ayudar en la decisión que se tome para la climatización de la instalación.



Nomenclatura

Instituciones:

UNAM Universidad Nacional Autónoma de México
ENP Escuela Nacional Preparatoria
IMPULSA IV Programa de Investigación Multidisciplinaria de Proyectos Universitarios de Liderazgo y Superación Académica
PEMBU Programa de Estaciones Meteorológicas del Bachillerato Universitario
CFE Comisión Federal de Electricidad
CONUEE Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
WWEA Asociación mundial de energía eólica
SENER Secretaria de energía de México
IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change
CMCC Comisión mundial contra el cambio climático

Dispositivos:

OWC Columna de Agua Oscilante
AWS Dispositivos Oscilador de ola de Arquímedes
OTEC Ocean thermal energy conversion (conversión de la energía térmica del océano)
SRTA Sistema reflector esférico estacionario con sistema de absorción móvil.

Conceptos:

CAD Diseño asistido por computadora
CAM Manufactura asistida por computadora
CAE Ingeniería asistida por computadora
DEACS Sistema de agua caliente sanitaria doméstica
GEI Gases de efecto invernadero
FV Fotovoltaico/a

Unidades:

Kw Kilowatt
Kwh Kilowatt hora
GW Gigawatt
MW Megawatt
W Watt
TW Terawatt
kWe Kilowatt eléctrico
TWh Terawatt hora
KWt Kilowatt térmico
MWt Megawatt térmico



m	Metro
Km	Kilometro
cm	Centímetro
mm	Milímetro
°C	Grados centígrados
Kg	Kilogramo
TON	Tonelada
KJ	Kilojoule
Pa	Pascales
Kcal	Kilocaloría

Simbología:

CO ₂	Dióxido de carbono
CH ₄	Metano
N ₂ O	Óxido nitroso
PFC	Perfluorcarbonados
HFC	Hidrofluorcarbonados
SF ₆	Hexafluoruro de azufre
CuO	Óxido de cobre
Fe ₃ O ₄	Magnetita
Cr ₂ O ₃	Óxido de cromo (III)



Introducción

La Universidad Nacional Autónoma de México junto con sus dependencias, buscando estar a la vanguardia, y siendo la institución más importante tanto en educación como en investigación en el país, busca desarrollar tecnologías para el mejoramiento ambiental.

Para ello plantea proyectos de uso de energía renovable y no contaminante en el acondicionamiento de sus instalaciones.

Dichos proyectos buscan el uso de fuentes de energías alterna como son: la energía solar, la geotermia, la energía eólica y las energías del océano.

La energía solar se ha convertido en los últimos años en una de las fuentes de energía más estudiadas e implementadas para la calefacción de albercas, por lo cual representa una alternativa significativa para sustituir fuentes de calefacción que utilizan combustible fósil.

Para lograr un mejor rendimiento deportivo se ha propuesto el acondicionamiento térmico de las albercas de las instalaciones de la Escuela Nacional Preparatoria en sus planteles número 8, 4 y 5, por lo que se ha planteado la posibilidad de instalar diversas tecnologías que cumplan este objetivo.

Lo que se propuso fue instalar bombas de calor en estas 3 preparatorias, pero se planteó una posibilidad alterna que es de la instalación de colectores de energía térmica solar en la Escuela Nacional Preparatoria (ENP) número 8 Miguel E. Schulz, la cual será el objeto de estudio de esta tesis.

El proyecto IMPULSA IV se ha dado a la tarea de realizar el estudio de tecnologías para la obtención de energías alternativas y su implementación para lograr la desalación de agua de mar; en este caso aprovechando el conocimiento que se tiene de energías renovables se le ha encomendado la tarea del estudio de tres colectores de energía térmica solar de diferentes diseños probados en la ENP número 8.

En el primer capítulo de esta tesis se presenta una introducción sobre las diferentes energías renovables que existen y su aprovechamiento a nivel mundial, así como la tecnología que se ha implementado para su aprovechamiento incluyendo algunos ejemplos de cómo y dónde se utiliza cada tipo de energía renovable, entre las energías que se presentan se encuentra la hidráulica, la oceánica, la biomasa, la eólica, la geotérmica y la solar, aunque de esta última se habla en el capítulo número 2 debido a que es un tema de relevancia para esta tesis. Al final del primer capítulo se hablará de la importancia de reducir el uso de combustibles con el tema de medio ambiente e impacto ambiental, haciendo referencia del tratado de Kioto, el efecto invernadero y el cambio climático, para terminar con una serie de recomendaciones para evitar estos acontecimientos.

En el segundo capítulo se retomará el tema de la energía solar pero se enfocará solamente a la que concierne a la energía que es utilizada térmicamente y sus tecnologías. Dentro de las tecnologías que se presentan están los colectores de placa plana, los de tubos de vacío y los concentradores solares, se da una descripción de sus partes principales y su principio de funcionamiento. Al final del capítulo se muestra el uso



de los colectores solares para el acondicionamiento térmico de las albercas y algunas consideraciones que se deben de tomar en cuenta a la hora de su análisis.

En el tercer capítulo se presenta el estudio que se realizó en la ENP 8. Al principio se realiza una descripción del proyecto que propuso el M. en Arq. Luis Fernando Guillen Oliveros y las cartas que mando a las autoridades para que se tomara en cuenta su proyecto, así como el protocolo que desarrolla para la presentación de este proyecto. Después se presentan las instalaciones y se realiza una descripción de cada una de las partes que componen el sistema y un análisis de la instrumentación utilizada en el sistema, para finalmente presentar las mediciones realizadas en las pruebas que se le realizaron a los colectores, los datos se presentan en tablas para facilitar la interpretación, todo esto seguido de una serie de recomendaciones para futuras pruebas a colectores.

En el cuarto capítulo se presenta el programa que se utilizó para la evaluación de los colectores solares, para esto primero se muestran los datos que se consideraron para los cálculos, para después mostrar el desarrollo de las fórmulas utilizadas en el programa, seguido por una tabla donde es representado el programa, el cual se desarrollo en la paquetería de office Excel. Al final del capítulo se presenta un resumen de los resultados y características del colector.

En los anexos se muestran algunas especificaciones de los colectores solares proporcionados por los proveedores de los equipos utilizados en estas pruebas y los datos meteorológicos utilizados para la obtención del programa, los cuales fueron proporcionados por el PEMBU.

1 Antecedentes

En el planeta tierra contamos con diferentes fuentes de energía, las cuales son utilizadas por los seres humanos y algunos otros seres vivos. De acuerdo a la fuente por la cual fue producida la energía se pueden clasificar en renovables y no renovables. Las energías no renovables son producidas por la energía solar que se acumula debido a la fotosíntesis y es transformada en productos como lo son el carbón, el petróleo y arenas bituminosas o asfálticas, o puede ser generada mediante la fusión o fisión de la energía nuclear.

La energía renovable puede ser generada por la energía del sol, a partir de diferentes medios como lo es la fotosíntesis que crea biomasa, el calor en el agua que crea un gradiente térmico del mar, energía hidráulica, el calentamiento del aire que, crea el viento y el oleaje, y finalmente por la energía directa que puede ser utilizada por medios fotovoltaicos o fototérmicos. Otras fuentes de energía renovable son la energía geotérmica y la energía que se produce por la interacción gravitacional que hay entre la tierra y la luna que nos produce el movimiento de las aguas del océano generando energía mareomotriz.

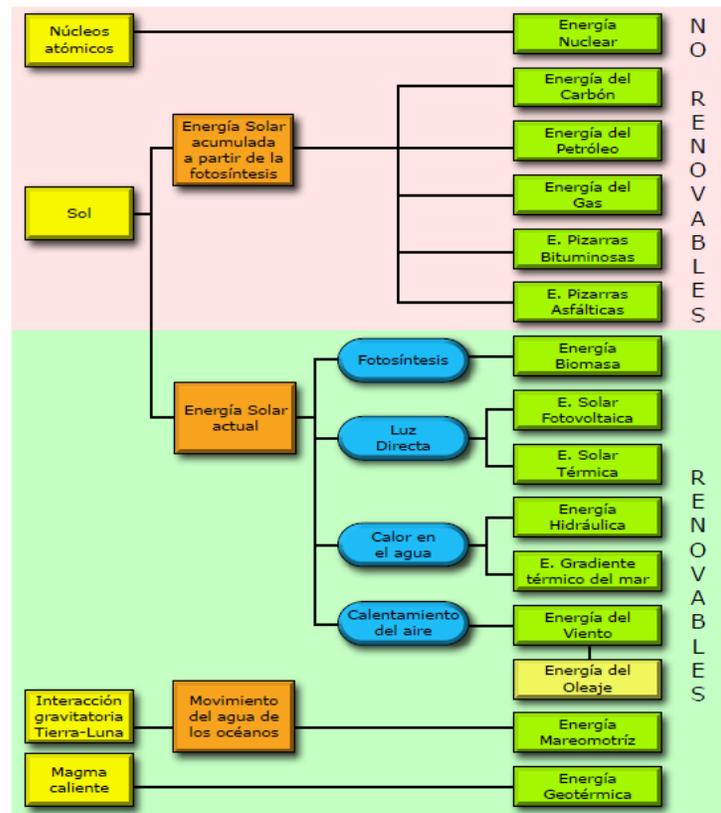


FIGURA 1.1 Clasificación de los aprovechamientos de energía¹

Se le llama energía renovable a una fuente de energía que es inmensamente grande como lo es la energía solar o a la cual es capaz de regenerarse por medios naturales como lo es la geotermia. Se le denomina energía alterna a aquella energía que pueda suplir a las fuentes de energía actuales y puede darse debido a su menor efecto contaminante o por la posibilidad de que sea renovable.

¹ Libro Energías renovables. 2004

² CONUEE 2007

³ Asociación mundial de energía eólica (WWEA)

La producción de energías limpias alternativas y renovables, además de mejorar el medio ambiente, es también necesaria debido a que cada vez más se necesita una nueva fuente de energía para el progreso de los países ya que entre más energía pueda producir un país se encontrará mejor económicamente.

1.1 Energías renovables

Las energías renovables en la actualidad juegan un papel muy importante para evitar la contaminación ambiental debido a la quema de combustibles fósiles, por lo que en todo el mundo se ha planteado la necesidad de mejorar las técnicas para aprovechar las fuentes de energía alterna, limpia y al menor costo posible.

En este apartado se realizará un recuento de las energías renovables en el mundo y cómo se han ido utilizando, dejando la profundización de la energía solar directa para el siguiente subtema, ya que se retomará este tema de interés especial para el propósito de esta tesis.

1.1.1 Energía eólica

Origen

Llamamos energía eólica a la energía cinética producida por el viento. El viento es una consecuencia de la radiación solar. Debido, fundamentalmente, a la redondez de la Tierra se originan diferencias de insolación entre distintos puntos del planeta. En los polos, los rayos solares inciden oblicuamente, por lo que calientan menos la superficie de la Tierra. Los rayos solares inciden perpendicularmente en el ecuador y calientan más la superficie de la Tierra, ya que se reparten sobre una superficie más pequeña que en los polos. Estas diferencias de insolación dan lugar a diferentes zonas térmicas que provocan diferencias de densidad en las masas de aire. En el ecuador, el aire al calentarse se hace más ligero (menos denso) y asciende a las capas altas de la atmósfera dejando tras de sí una zona de baja presión; en los polos, el aire es más pesado (más denso) y desciende aumentando la presión. El aire que envuelve a la Tierra, como cualquier gas, se mueve desde las zonas de mayor presión atmosférica (mayor densidad) a las de menor presión; es decir, desde los polos al ecuador por las capas bajas de la atmósfera y del ecuador a los polos por las capas altas siguiendo un ciclo de movimiento de aire en cada hemisferio. Este aire en movimiento horizontal es el viento.

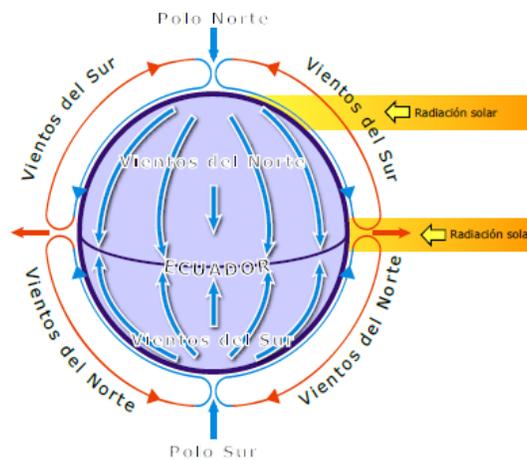


FIGURA 1.2 Circulación atmosférica general.

Existen otros movimientos que modifican el curso de los vientos como los son la rotación de la tierra sobre su propio eje que origina los llamados vientos del poniente y los vientos alisios; también influye en el movimiento del viento que el planeta este compuesto por tierra y agua , además de esto cada parte de tierra o agua en el planeta es diferente en cuanto a propiedades por lo que el comportamiento del aire no es general sobre la superficie terrestre; se tiene que tomar en cuenta la traslación de la tierra ya que esta genera las estaciones y con ellas las condiciones sobre la superficie cambia; se tiene que tomar en cuenta adicionalmente la topografía del terreno, características climáticas locales, las irregularidades del terreno y muchos otros factores que producen que el movimiento del viento sea imprescindible.

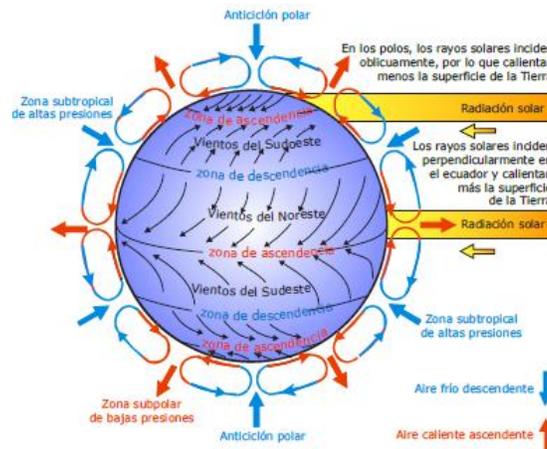


FIGURA 1.3 Movimiento del viento.

Usos de la energía eólica

Los primeros usos del viento fue la impulsión de navíos pero se tiene el conocimiento que los persas fueron los primeros en utilizar la energía del viento para transformarlo en energía mecánica para moler granos. Además de estos usos a través del tiempo el viento ha sido utilizado con diversas técnicas para el bombeo de agua y finalmente en la época actual fue cuando se empezó a utilizar la energía eólica para transformarla en energía eléctrica a través de los aerogeneradores.

Potencial

La Tierra recibe una gran cantidad de energía procedente del Sol. Esta energía, en lugares favorables, puede ser del orden de 2.000 Kwh/m^2 anuales. El 2 por ciento de ella se transforma en energía eólica con un valor capaz de dar una potencia de $10 \times 10^{11} \text{ GW}$.

En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir energía eléctrica mediante aerogeneradores. A finales de 2007, la capacidad mundial de los generadores eólicos fue de 94.1 GW. Mientras la eólica genera alrededor del 1% del consumo de electricidad mundial, representa alrededor del 19% de la producción eléctrica en Dinamarca, 9% en España y Portugal, y un 6% en Alemania e Irlanda². La capacidad instalada de energía eólica para junio de 2009 creció un 25% en el mercado en comparación con

² CONUEE 2007

el año pasado. Para 2010 se tiene prevista la instalación de 152 GW de instalaciones eólicas en todo el mundo³.

En México se cuenta con una diversidad de sitios para generar electricidad por medio de 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 Golfo de México.

Hasta el año 2009, la energía eólica en México es de 170 MW de capacidad eólica en operación⁴, dividiéndose en plantas ubicada en La Venta I y II en el Istmo de Tehuantepec, Guerrero Negro en Baja California Sur y otros proyectos de menos escala.

CFE licitó dos proyectos para el año 2010 denominados La Venta III y Oaxaca I, con una capacidad de 101 MW y 99 MW⁵.

Están en proceso de construcción o planeación un gran número de proyectos eólicos de autoabastecimiento y exportación, ubicados en las regiones del Istmo de Tehuantepec, La Rumorosa, Baja California, Nuevo León y Tamaulipas. Con una capacidad total aproximada de 2,000 MW⁶.



FIGURA 1.4 La Venta II, Oaxaca, México.

Sistemas eólicos. Descripción.

Un sistema conversor de energía eólica se compone de tres partes principales: el rotor, que convierte la energía cinética del viento en un movimiento rotatorio en la flecha principal del sistema; un sistema de transmisión, que acopla esta potencia mecánica de rotación de acuerdo con el tipo de aplicación; y un sistema para el aprovechamiento de esta energía, es decir, si se trata de bombeo de agua el sistema se denomina aerobomba, si acciona un dispositivo mecánico se denomina aeromotor y si se trata de un generador eléctrico se denomina aerogenerador.

El rotor puede ser de eje horizontal o vertical, y está formado por las aspas y la maza central en donde se fijan éstas y se unen a la flecha principal; el rotor puede tener una o más aspas.

³ Asociación mundial de energía eólica (WWEA)

⁴ Informe de energías renovables para el desarrollo sustentable en México (SENER 2009)

⁵ CFE 2008

⁶ SENER 2009

Los aerogeneradores tienen varios subsistemas los cuales se enuncian a continuación:

- Subsistema de captación
- Subsistema de transmisión mecánica
- Subsistema de generación eléctrica
- Subsistema de orientación
- Subsistema de regulación
- Subsistema soporte

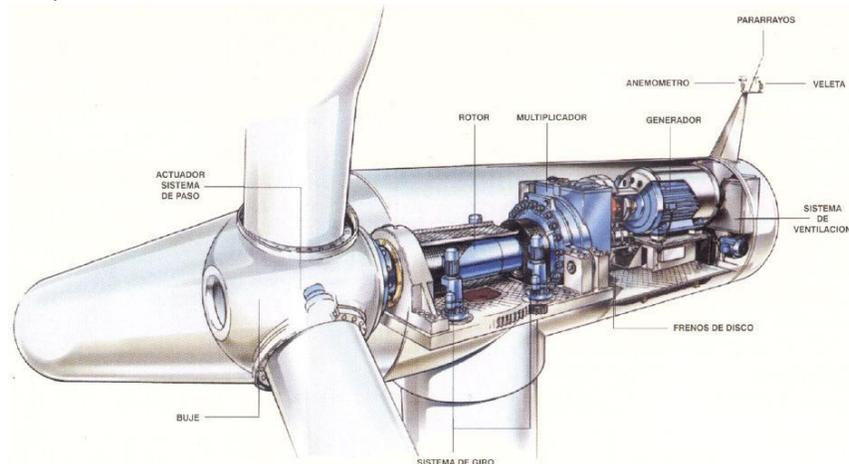


FIGURA 1.5 Elementos de un aerogenerador.

1.1.2 Energía geotérmica

Origen

La palabra geotermia se refiere a la energía térmica natural existente en el interior de la Tierra. En la práctica se le denomina así al estudio y utilización de la energía térmica que es transportada a través de la roca y/o fluidos, se desplaza desde el interior de la corteza terrestre hacia los niveles superficiales de la misma, dando origen a los sistemas geotérmicos.

Para entender cómo se genera la energía geotérmica se tiene que entender la estructura interna de la Tierra y las temperaturas que hay en sus capas y para esto se tienen dos modelos: el modelo geoquímico y el modelo dinámico⁷.

En el modelo geoquímico existen tres capas concéntricas:

- Corteza. Es la capa externa de la tierra que se compone de rocas sólidas. Su espesor máximo es 70 km. Su temperatura en la parte inferior llega a 400 °C.
- Manto. Se divide en dos; el manto superior que sigue a la corteza y llega a 700 km y alcanza una temperatura de 1500°C y el manto inferior que se encuentra a partir del superior y alcanza los 2900 km con una temperatura de 3000°C.

⁷ Dickson y Fanelli, Geothermal Energy

- Núcleo. Se divide en núcleo externo que alcanza 5100km de profundidad y 4000°C y en núcleo interno que llega al centro de la tierra y su temperatura alcanza 6000°C

En el modelo dinámico la estructura se compone de cuatro capas:

- Litosfera abarca los 100km, constituye una parte sólida y rígida.
- Astenósfera 250km de profundidad, fundamentalmente es una capa sólida, aunque también contiene parte plástica.
- Mesósfera (abarca parte del manto superior y todo el manto inferior), constituye una capa sólida.
- Endósfera (abarca todo el núcleo), tiene parte fluida, correspondiente al núcleo externo, y parte sólida, correspondiente al núcleo interno.

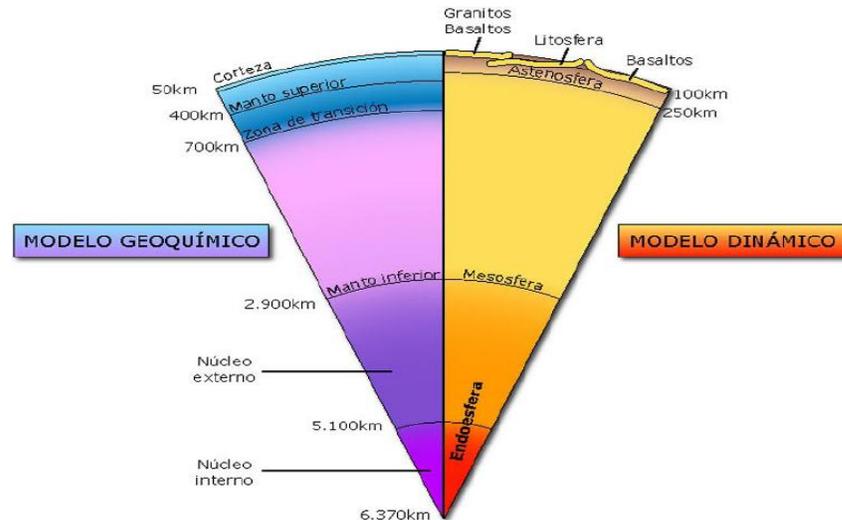


FIGURA 1.6 Modelos de la estructura de la tierra⁸

Por su parte la corteza está compuesta por placas que se mantienen rígidas y cuando se desplazan ocasionan grandes divisiones en la tectónica terrestre, las manifestaciones geotérmicas aparecen regularmente cerca de estos bordes.

Son seis las placas o aéreas litosféricas en las que está dividida la corteza terrestre, además de varias otras placas más pequeñas. Debido a las grandes tensiones generadas bajo la litosfera, estas placas están cambiando continuamente de posición. Los márgenes de las placas corresponden a zonas de la corteza débiles y densamente fracturadas, caracterizadas por una intensa sismicidad, por un gran número de volcanes y por un alto flujo de calor terrestre, debido al ascenso de materiales muy calientes hacia la superficie. Las áreas geotermiales más importantes se ubican alrededor de los márgenes de placas.

⁸ Dickson y Fanelli, Geothermal Energy



- Recursos de alta temperatura **T > 150 C**
- Recursos de media temperatura **90 < T < 150**
- Recursos de baja temperatura **T < 90**
- ROCA SECA CALIENTE (HOT DRY ROCK): es roca caliente por la cual se debe pasar un fluido para que este se caliente y se aproveche así su energía.
- SISTEMAS MARINOS: Las ventilas hidrotermales son plumas de agua que surgen gracias a filtraciones de agua en las inmediaciones de las fallas tectónicas localizadas en el fondo marino.
- SISTEMAS MAGMATICOS: Son sistemas de roca fundida existentes en las cámaras magmáticas de los volcanes.
- SISTEMAS GEOPRESURIZADOS. Son depósitos de agua y vapor, junto con gas metano, almacenados a altas presiones, mayores a la presión hidrostática (700 atm).

Empleo de la energía geotérmica.

Desde la antigüedad las fuentes termales han sido utilizadas como baños, especialmente por sus posibles efectos medicinales. Algunos pueblos también las utilizaron para obtener agua potable a partir de los condensados del vapor, y para cocer sus alimentos; los minerales asociados a la actividad hidrotermal como el azufre, los travertinos, los caolines, las limonitas y óxidos de hierro fueron tradicionalmente extraídos de estas fuentes.

Sin embargo, el descubrimiento de sales de boro en las manifestaciones termales de Larderello (Italia) a fines del siglo XVIII, marcó el inicio de la utilización industrial de los recursos geotérmicos. La industria del ácido bórico que se inicia en 1812, dio paso por primera vez en 1904 a la generación de electricidad a partir del vapor geotérmico.

Las centrales generadoras que funcionan con energía geotérmica se llaman plantas geotermoeléctricas. Estas plantas funcionan igual que una termoeléctrica convencional, con la diferencia que la energía térmica viene del recuso geotérmico.

Las plantas pueden ser de tres tipos, de ciclo de potencia con turbina y condensador, de turbina de contrapresión y de turbina de ciclo binario.

Ciclo de potencia con condensador.

El vapor o mezcla extraído del pozo es llevado a un separador y un secador frecuentemente centrífugo donde se le retira la humedad y ya seco el vapor es expandido en una turbina para generara electricidad. El vacío es generado por eyectores de vapor principal o por bombas de vacío, con su circuito de agua de enfriamiento acoplado a una torre de refrigeración.



Ciclo de turbina a contrapresión.

Las centrales a contrapresión son más ligeras, y más sencillas, el vapor extraído del pozo después de ser secado se expande en la turbina es descargado directamente a la atmosfera, lo que lleva a una menor generación.

Ciclo binario

Las turbinas de ciclo binario utilizan un fluido de menor punto de ebullición como fluido auxiliar, se utiliza cuando se tiene una temperatura del recurso baja; este fluido es evaporado por el fluido geotérmico y posteriormente va a un ciclo cerrado de generación, en el cual este fluido de trabajo (regularmente un isopentano) se expande en la turbina.

Potencial

Los recursos geotérmicos provienen del calor natural de la Tierra, cuyo flujo promedio mundial es de 82 MW/m², el cual corresponde a un flujo de 99 MW/m² en los fondos oceánicos y a 57 MW/m² en los continentes. A partir de este potencial en el mundo se han instalado diversas plantas generadoras geotermoeléctricas para el aprovechamiento de este recurso. Siendo su mayor productor Estados Unidos con 3040 MW instalados, seguido por Filipinas con casi 2000 MW y el tercer lugar lo comparten Indonesia y México con una capacidad instalada alrededor de 1000 MW¹⁰.

México y su potencial geotérmico

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 Hornos y Tres Vírgenes; se tienen también varios proyectos de explotación en campos ya identificados como el de la Primavera en Jalisco¹¹. México ocupa el 3er lugar en generación geotermoeléctrica con 965 MW, que representan el 2% de la capacidad instalada total.

La proyección futura del país en desarrollo geotérmico es muy prometedora debido a la gran cantidad de fuentes termales que se tienen identificadas, tanto para usos eléctricos, como para usos no eléctricos.

1.1.3 Energía del océano

Del océano podemos extraer una gran cantidad de energía, las cuales se pueden dividir en tres ramas que son la energía generada por las mareas, la energía de las olas y la energía que produce el gradiente térmico oceánico.

¹⁰ Hutter G.W. 2000. The Status of World Geothermal Power Production

¹¹ CFE 2010



1.1.3.1 Energía de las mareas

Origen

Las mareas son movimientos oscilatorios del nivel del mar, debido a las fuerzas de atracción gravitacional que la Luna y el Sol ejercen sobre las partículas líquidas de los océanos.

El comportamiento de las mareas y el desnivel de las mismas dependen de la posición relativa de la Tierra, el Sol y la Luna, que cambia cada día, y de la proporción mares-tierra, de su distribución geográfica, de la topografía local, de la profundidad de las cuencas oceánicas, de los fenómenos meteorológicos y de otros factores.

Debido a los movimientos de rotación de la Tierra alrededor de su eje y de la Luna alrededor de la Tierra, existen mareas causadas tanto por el Sol como por la Luna. La amplitud de las mareas, es decir, la diferencia entre los niveles más alto (pleamar) y más bajo (bajamar), suele ser pequeña en medio del océano, pero puede alcanzar en determinados puntos del globo terráqueo hasta 20 m.

La amplitud de las mareas da lugar a que el agua de los mares contenga energía cinética. Esta energía, denominada mareomotriz, se puede utilizar mediante la construcción de diques que cierran una bahía para conseguir recoger y almacenar el agua cuando sube la marea. El agua marina se retiene mediante compuertas hasta la bajamar y se libera en las horas intermareales para que, aprovechando la energía potencial originada por el desnivel mar-dique, puedan accionar las turbinas que, acopladas a un generador eléctrico, producen electricidad. En la mayoría de las costas del mundo se producen dos mareas altas y dos mareas bajas cada día. Por lo tanto, en el caso de disponer de una bahía acondicionada, está se llenará y vaciará diariamente en dos ocasiones.

Potencial

La amplitud de mareas no es la misma en todos los lugares. Es nula en algunos mares interiores, como en el Mar Negro, entre Rusia y Turquía; de escaso valor en el Mediterráneo, en el que sólo alcanza entre 20 y 40 cm. Asimismo, es débil en el océano Pacífico. Por el contrario, alcanza valor un notable en determinadas zonas del océano Atlántico, en el cual se registran las mareas mayores.

<i>Amplitudes en metros</i>	<i>Costa</i>
8.0m	Puerto peñasco, Sonora, México
9.0 — 12.0m	Liverpool y Bristol y estuario del río Severn, Inglaterra
12.5m	Braunaga, India
14.0m	Bahía Collier, Australia
12-15.0m	Bahía Mont-Saint-Michel y estuario de La Rance, Francia
18.0m	Río Gallegos, Argentina
19.5m	Bahía Fundy y Frobisher, Canadá

Tabla 1.1 Lugares potenciales para energía de las mareas¹²

¹² Biblioteca digital.ilce.edu.mx

La potencia asociada a las mareas se estima del orden de 3TW. Sin embargo, para el aprovechamiento eficaz de la energía mareomotriz es necesario que la amplitud de las mareas sea al menos de cinco metros y que exista una bahía apropiada para la recogida y almacenamiento del agua en las pleamares. Lo que produce que la energía viable se cifra alrededor de los 15 GW.

Tecnología

Se diseñan diques para extraer energía de la subida y bajada de las mareas, utilizando turbinas localizadas en conductos que atraviesan los diques.

La energía potencial, originada por la diferencia del nivel del agua en los diques, se convierte en energía cinética debido al rápido movimiento del agua al pasar a través de las turbinas. Las palas o álabes de las turbinas, al girar, convierten la energía cinética del agua en mecánica de rotación, la cual permite accionar un generador para producir electricidad.

Una central mareomotriz puede diseñarse para operar de distintas formas, las cuales dependen del número de ciclos y del sentido de aprovechamiento de las mareas.

Cuando la instalación se diseña para aprovechar la energía únicamente en la etapa de vaciado de un estuario, es decir, durante la bajamar, se dice que ésta opera en un ciclo elemental de simple efecto. Esta forma de operar limita la energía eléctrica generada, ya que solamente se aprovecha el flujo de agua en un sentido.

Con el propósito de incrementar el periodo de generación eléctrica se han diseñado centrales que aprovechan mejor la energía de las mareas. Con este objetivo se han diseñado instalaciones que operan según un ciclo elemental de doble efecto. Este tipo de instalaciones aprovechan la energía del agua en dos sentidos: al entrar en el estuario y al salir del mismo.

Las instalaciones de ciclo múltiple utilizan varios embalses y tienen como objetivo paliar los valles de producción energética que se producen en las instalaciones de ciclo elemental.

Cualquiera que sea la configuración elegida para una central mareomotriz, los componentes básicos son los mismos: turbinas, diques, compuertas, generadores eléctricos, subsistema de control e infraestructura de transporte de la energía eléctrica generada.

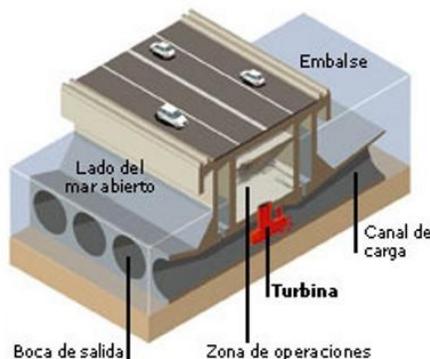


FIGURA 1.8 Central mareomotriz

Debido a las peculiares características de las centrales mareomotrices, donde los saltos son relativamente pequeños, las turbinas más adecuadas son las de hélice de flujo axial y de alta velocidad. Tres son los tipos de turbinas más aceptados: la turbina de bulbo axial, la turbina Kaplan tubular y la turbina de rotor anular.

Existen proyectos de aprovechamiento de la energía de las mareas, de las cuales la única que se opera para abastecer el consumo eléctrico de una localidad es la Central mareomotriz de La Rance. La central mareomotriz se ubica sobre el Río Rance, cuyo cauce desemboca sobre el Océano Atlántico muy cerca del canal de la Mancha, zona donde se encuentra la ciudad de Saint-Maló.

La planta de energía de La Rance es una estructura de 750m de largo y llega a 13 m bajo el nivel del mar, esto ha permitido la creación de un embalse de 184,000,000 metros cúbicos con una capacidad efectiva entre 0 y 13.5 m sobre el nivel del mar, extendiendo el río aguas arriba por cerca de 20 Km. hasta Le Chaterlier¹³.



FIGURA 1.9 Central mareomotriz de La Rance, Francia¹⁴

Un proyecto ya realizado es el Proyecto Kislogubskaya, de Rusia. Esta central experimental, ubicada en el mar de Barentz, con una capacidad de 400KW, fue la segunda de esta clase en el mundo.

México Project Will Sell Electricity en California y Arizona desarrolla, a nivel de proyecto, esta tecnología para producir 500 MW en el Mar de Cortez, Localizado a 240 Km de San Diego justo sobre el borde la frontera entre Estados Unidos y México.



FIGURA 1.10 Localización potencial de una central mareomotriz en México

¹³ Enciclopedia de energía hidráulica, energía de las mareas 1998

¹⁴ Enciclopedia de energía hidráulica, energía de las mareas 1998



1.1.3.2 ENERGÍA DE LAS OLAS

Origen

Todo tipo de oscilación en la superficie de agua que sea periódica se le denomina ola. Las olas de los océanos son originadas por diversas causas. Entre estas causas se pueden señalar el viento, las fuerzas de atracción gravitacional que ejercen la Luna y el Sol sobre las masas oceánicas, los maremotos y las tormentas.

El viento es el agente que genera las olas más comunes y de mayor densidad energética. El viento actúa sobre el agua del mar, le transmite energía y la pone en movimiento, produciendo ondulaciones en las capas superficiales que constituyen el oleaje que se observa en todas las aguas de los océanos y que golpean las costas de los continentes.

Los mecanismos que intervienen en la interacción entre el viento y la superficie del mar pueden resumirse de la siguiente forma:

Cuando el viento sopla a través de la superficie del mar las moléculas de aire interactúan con las moléculas de agua que están en contacto. La fuerza que se genera entre el aire y el agua modifica la superficie del océano, dando lugar a pequeños rizos, conocidos como olas de capilaridad. Las olas de capilaridad dan lugar a una mayor superficie de contacto, la cual incrementa la fricción entre agua y viento. Ello da lugar al crecimiento de la ola que, cuando ha alcanzado un cierto tamaño, facilita que el viento pueda ejercer una mayor presión sobre ella con el consiguiente incremento de la misma.

El tamaño de las olas generadas por un campo de viento depende de tres factores: La velocidad del viento, el tiempo durante el cual éste está soplando y la distancia o alcance sobre la cual la energía del viento se transfiere al océano para formar las olas.

Las olas situadas dentro o cerca de las áreas donde fueron generadas se denominan olas tormentosas. Estas forman un mar irregular y complejo. Sin embargo, las olas pueden viajar desde estas áreas con pequeñas pérdidas energéticas para producir grandes olas, a miles de kilómetros del punto donde se originaron.

Una vez que las olas se alejan del área de generación, sus crestas son más lisas y menos caóticas. A este oleaje se le llama marejada de fondo. Estas olas se dispersan sobre la superficie oceánica con muy poca pérdida de energía, aunque pierden altura.

Una ola oceánica es el movimiento de energía, pero el agua no se está moviendo de forma similar. Una ola oceánica no representa un flujo de agua.

Potencial

Las olas concentran una gran cantidad de energía cinética, pero el número de ciclos por minuto es muy bajo, entre 3 y 30 por minuto; para obtener energía eléctrica a partir de este movimiento hay que utilizar convertidores que transformen estas bajas frecuencias en otras mucho más altas necesarias para producir energía eléctrica, con las grandes pérdidas de energía que estas conversiones conllevan.

Se han realizado diversos estudios con el propósito de estimar el potencial mundial. Se estima que la energía mundial explotable es de 2 TWh año y que las aguas europeas son capaces de cubrir más del 50% del consumo total de potencia en el continente.

Las zonas del mundo sujetas a vientos regulares son las que disponen de mayores potenciales energéticos que pueden extraerse de las olas. Así, la actividad de la olas se ve incrementada entre las latitudes de 30° y 60° en ambos hemisferios, inducidas por los vientos alisios predominantes que soplan en estas regiones.

Existen pocos lugares en el mundo donde la línea de costa está constituida de acantilados bañados por aguas profundas. Estos lugares son los más apropiados para instalar dispositivos de captación de la energía del oleaje ya que las olas incidentes contienen gran cantidad de energía.

Cuando las olas se acercan a aguas poco profundas van perdiendo gradualmente su potencia. Ello se debe a la fricción que se produce entre las partículas de agua más profundas y el fondo del mar, siendo el efecto más significativo cuando la profundidad del agua es menos de un cuarto de la longitud de ola. Esta pérdida de potencia es muy importante ya que reduce la cantidad de energía útil que puede extraerse del oleaje. Normalmente, olas con una densidad de potencia de 50kW/m, en aguas profundas, pueden reducir su densidad a 20kW/m o menos cuando están más cerca de la costa, en aguas poco profundas, dependiendo de la distancia recorrida en aguas poco profundas y de la rugosidad del fondo del mar.

El siguiente mapa indica las zonas donde la energía del oleaje tiene mayor potencial.



FIGURA 1.11 Valores promedio anuales de flujo de potencia en kW / m en diferentes puntos de todo el mundo para zonas de aguas profundas.

Tecnología

El sistema más maduro para aprovechar la energía de las olas es el de Columna de Agua Oscilante (OWC) que es un tubo hueco que contiene aire que se comprime y expande por efecto de las olas, éstas penetran por la parte inferior y desplazan hacia arriba una columna de aire aumentando la presión, una turbina situada en el extremo superior del tubo aprovecha la energía de aire.

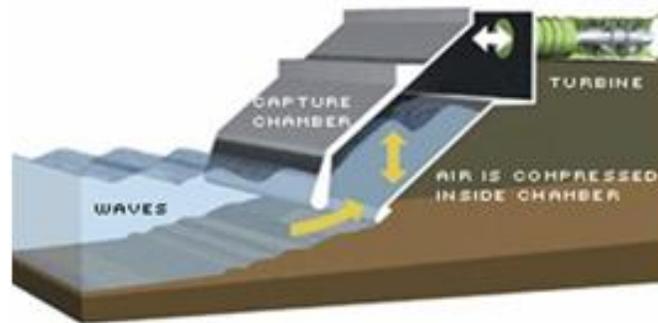


FIGURA 1.12 Sistema de columna de agua oscilante (OWC)

Existen otras tecnologías menos desarrolladas como lo son:

- Canal artificial: Se compone de un canal en punta que hace que las olas aumenten de amplitud mientras se mueven hacia la cara del acantilado.
- Dispositivo péndulo: Consiste en una caja rectangular, que está abierta al mar en un extremo, tiene una aleta que gira pendularmente sobre esta abertura.
- Dispositivos Pato Salter: Dispositivo que flota en la superficie del agua o debajo de ella, es amarrado al fondo del mar, los flotadores giran bajo la acción de las olas alrededor de un eje.
- Dispositivos Pelamis: Consiste en una serie de secciones cilíndricas semisumergibles ligadas por empalmes con bisagras, crea energía utilizando el movimiento en los empalmes.
- Dispositivos IPS: Consta de una boya circular u oval con el diámetro y el peso adaptados a la situación predominante de la ola en el lugar de la localización, el movimiento relativo entre la boya y la masa del agua es transferido por un pistón de trabajo.
- Dispositivos Oscilador de ola de Arquímedes (AWS): Cámara de aire instalada sobre el fondo del mar, la sección superior se mueve continuamente hacia arriba y hacia abajo, mientras que la parte inferior permanece en una posición fija, la variación periódica de la presión en una ola inicia el movimiento de la porción superior.
- Dispositivos Hidroflot: Varios flotadores aunados en una misma estructura permiten recoger el empuje de diversas unidades de flotadores, para concentrar a una salida común todo el empuje mecánico y permitir a los generadores alcanzar la máxima potencia eléctrica de salida.
- Dispositivos Convertidor WAVEDRAGON: Dispositivo flotante, diseñado para capturar y concentrar olas, las olas suben una rampa a un depósito elevado mediante los brazos de la plataforma, allí el agua recogida hará girar las turbinas instaladas.

En Mónaco, en 1929, se presentó el "Rotor de Savonius" donde se aprovechaba la fuerza horizontal de las olas. En Noruega se encuentra el Convertidor de Kvaener, basado en la Columna de Agua Oscilante, con una potencia instalada de 500 Kw. En Japon se encuentra la planta de Sakata, con una generación de 60 Kw. En la India se encuentra la planta Wizhinja con una generación de 150 Kw. En China se está construyendo una planta de 100 KWe del tipo de péndulo. En el estuario del río Pearl se instalarán una planta de prueba de 3 a 20 KW. China produce unidades de 60 W para barcos. En Dinamarca se construyó otro prototipo de 45 Kw. En Inglaterra se construyó un modelo del tipo de columna de aire oscilante de 75 Kwe. Los países en los que se encuentra en desarrollo estas tecnologías son Suecia, España, Portugal, Corea, Irlanda, Indonesia y Grecia.



1.1.3.3 *Energía térmica del mar y concepto de OTEC*

Origen

Los mares y los océanos son inmensos colectores solares de los cuales se puede extraer energía producidas por la radiación solar incidente sobre ellos, en determinadas condiciones atmosféricas, da lugar a los gradientes térmicos oceánicos a bajas latitudes.

La cantidad de calor necesario para elevar un grado la temperatura del agua es elevado. Por tanto, se calienta y se enfría más lentamente que la tierra. Sin embargo, en la tierra la radiación solar se queda casi toda en la superficie, mientras que en el agua del mar la radiación solar penetra, alcanzando generalmente una profundidad promedio de cien metros. Además, la gran inercia térmica de los océanos permite que la temperatura sea más estable en ellos y menos marcados sus cambios, en el transcurso del día y de las cuatro estaciones del año, que en los continentes. La radiación solar decrece exponencialmente con la profundidad, por lo que la temperatura disminuye. Por tanto, puede decirse, de forma muy simple, que la distribución vertical de temperaturas en el océano abierto consiste en dos capas separadas por una interface. La primera capa puede extenderse de los 20 a los 200 metro y el agua se encuentra relativamente caliente con una temperatura uniforme. Debajo de esta franja existe una zona limítrofe, denominada termoclina, que se caracteriza por un descenso brusco de la temperatura.

La temperatura de la capa inferior decrece progresivamente hasta alcanzar valores de alrededor de 4 °C a 1km de profundidad. La diferencia de temperaturas entre la capa superior (caliente) y la capa inferior (fría) se encuentra en el intervalo de 10 °C a 25 °C, hallándose diferencias más elevadas en las aguas ecuatoriales.

Potencial

La radiación solar produce un gran calentamiento de las superficies marinas ecuatoriales, las cuales llegan a alcanzar temperaturas de aproximadamente 28 °C. Esto da lugar a que el agua almacene una importante cantidad de energía calorífica, puesto que, aunque esta temperatura es relativamente baja, las cantidades de agua involucradas son enormes, y el calor absorbido por un cuerpo es directamente proporcional a su masa y al incremento de temperatura al que se le somete. Para el aprovechamiento de la energía en una planta OTEC se requiere que el gradiente térmico sea de por lo menos 20 °C. Por tanto, las zonas térmicamente favorables se encuentran en las regiones ecuatoriales y tropicales.

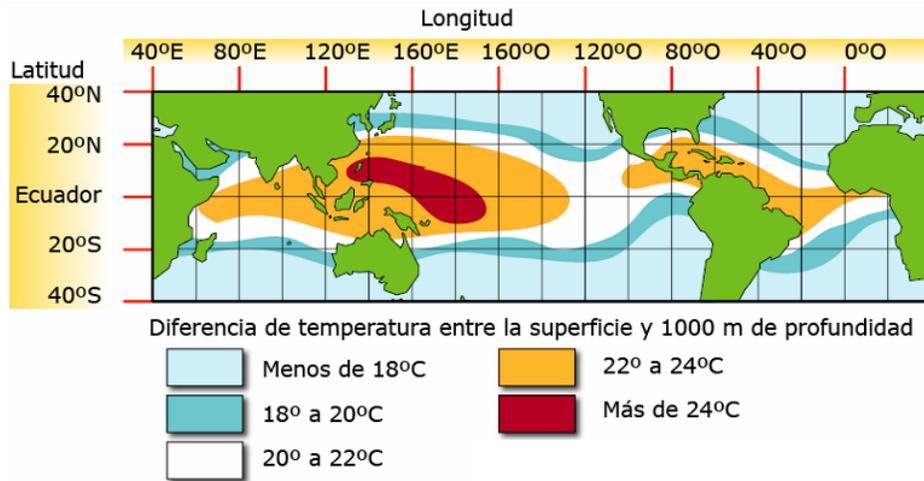


FIGURA 1.13 Gradiente de temperatura entre la superficie del mar y 1000 metros de profundidad.

Se estima que, en un año, la energía solar absorbida por todos los océanos es de al menos 4000 veces la energía que actualmente consume la humanidad. Este gradiente térmico oceánico supone una importante fuente de energía la cual puede ser aprovechada con la técnica OTEC.

Concepto OTEC

El aprovechamiento de los gradientes térmicos de las aguas oceánicas se lleva a cabo en las denominadas plantas OTEC. En estas plantas se transforma la energía térmica en energía eléctrica utilizando un ciclo termodinámico (ciclo Rankine). En este ciclo se emplea calor para evaporar un líquido, que posteriormente se utiliza en el accionamiento de una turbina, la cual se acopla a un generador eléctrico para producir energía eléctrica.

Como la diferencia de temperaturas en el evaporador y el condensador son bajas, se debe escoger un fluido de trabajo cuya presión de vapor sea bastante grande a esas temperaturas.

De manera general el proceso por el cual funciona el ciclo OTEC es el siguiente:

El agua tibia de la superficie del océano se succiona hacia un intercambiador de calor o evaporador, en donde se evapora el fluido de trabajo del ciclo Rankine; el vapor pasa por una turbina (que acciona un generador eléctrico) y penetra en el condensador. El agua fría que se bombea de las profundidades del océano mediante una tubería telescópica, se emplea para enfriar el fluido de trabajo que, al condensarse y volver al estado líquido, se bombea al evaporador y se inicia así un nuevo ciclo¹⁵.

Se puede decir que los sistemas más importantes de una planta OTEC son los intercambiadores de calor, tanto evaporador como condensador, y la turbina; pero las bombas, el generador y los sistemas de tuberías juegan un papel muy importante en este tipo de sistemas.

¹⁵ Tesis UNAM factibilidad de instalar una planta OTEC en las costas de México

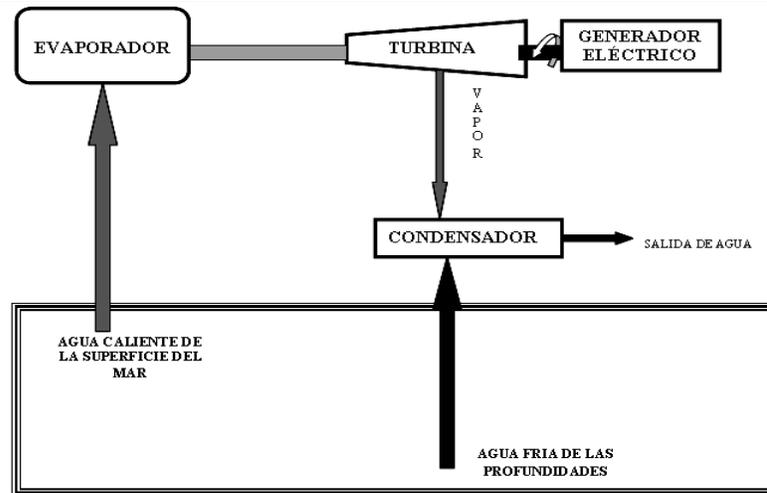


FIGURA 1.14 Esquema de una planta OTEC.

Los ciclos OTEC pueden ser de tres formas:

- Sistema de ciclo abierto
- Sistema de ciclo cerrado
- Sistema de ciclo híbrido

En el primero se utiliza agua a una presión cercana al vacío y se evapora a esta presión para después hacer la expansión en la turbina y desechar el vapor a la atmósfera.

En el segundo se utiliza otro fluido de trabajo al cual se le transfiere el calor del gradiente para evaporarlo haciendo funcionar la turbina y después condensar el fluido de trabajo y nuevamente llevarlo a las condiciones iniciales para volver a comenzar el ciclo.

El tercero es una combinación entre los dos ciclos. En un sistema híbrido, el agua caliente del mar entra en un evaporador donde es súbitamente evaporada, el calor del vapor obtenido se utiliza para vaporizar el fluido de trabajo. El fluido vaporizado acciona una turbina que produce electricidad. El vapor obtenido del agua de mar se condensa dentro de un intercambiador de calor proporcionando agua desalinizada.

Posibles aplicaciones del sistema

El sistema OTEC tiene ciertas características las cuales pueden ser usadas adicionalmente a la generación de energía eléctrica. Entre estas se encuentra la creación de plancton y la subida de agua fría, que podrían aprovecharse para el desarrollo de granjas agrícolas y de acuicultura, y para refrigeración.

La electricidad generada en estas plantas se podría utilizar para producir otros combustibles y productos, como hidrógeno, amoníaco o metanol. Las instalaciones de OTEC de ciclo abierto o híbridas pueden producir grandes cantidades de agua dulce. En teoría, una instalación de 2 megavatios podría producir unos 4.300 metros cúbicos de agua desalada diarios.

Proyectos de otec en el mundo

En 1930 se construyó la primera planta OTEC en Cuba y esta generó aproximadamente 22 KW. Después de esto se plantearon proyectos por el gobierno francés y por la Universidad de California, cada uno por su parte, para la creación de esta tecnología pero su costo resultó ser un impedimento que hizo que estos proyectos no prosperaran.

Actualmente existen plantas de este tipo en fase experimental, algunas de las cuales se encuentran en Hawái, desarrolladas por el gobierno de los Estados Unidos; en la isla de Nauru en el océano pacífico central, la cual fue desarrollada por la compañía Tokyo Electric Power.

En el ámbito académico, diversos países han demostrado un interés creciente. Por ejemplo en el Instituto de Energía Oceánica de la Universidad de Saga, en Japón, en conjunto con el departamento de energía de Filipinas. Otros países que están interesados en esta tecnología son Taiwán, Costa Rica y varios países de la unión europea¹⁶.

1.1.4 Energía hidráulica

Origen

La energía hidráulica es la energía cinética del movimiento de masas de agua, o la energía potencial del agua disponible a una cierta altura. Como la mayoría de las otras energías renovables, la energía hidráulica es una consecuencia de la radiación solar. El Sol inicia el ciclo hidrológico evaporando agua de la superficie de la Tierra (océanos, lagos, etc.) que, posteriormente, al precipitar y fluir por la superficie de los terrenos es capaz de proporcionar esta energía.

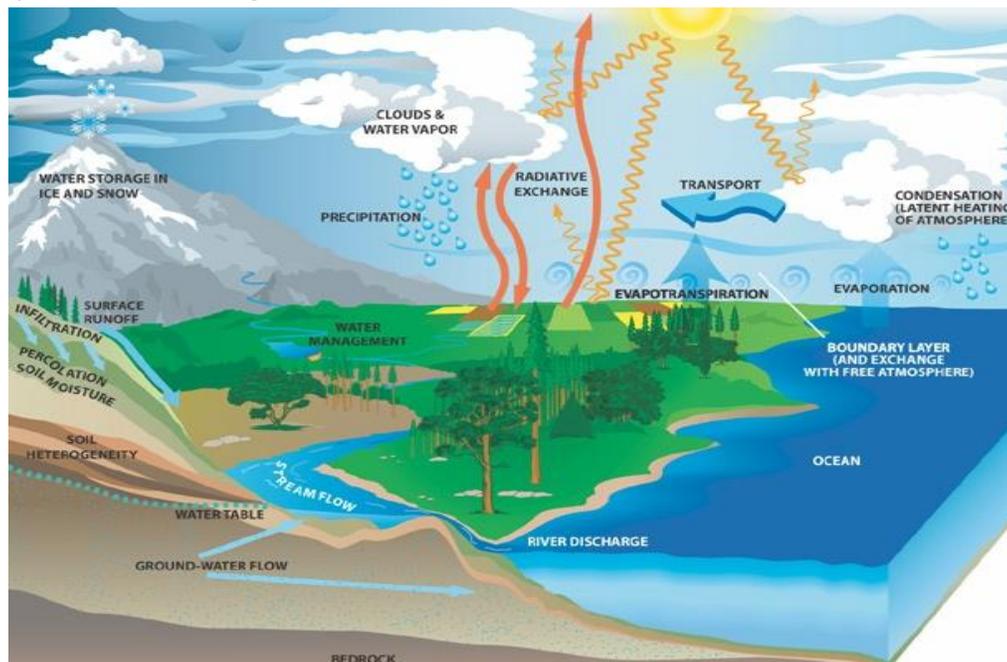


FIGURA 1.15 Ciclo hidrológico

¹⁶ Tesis UNAM factibilidad de instalar una planta OTEC en las costas de México



Potencial

Cerca de un cuarto de la energía solar que incide sobre la tierra se consume en la evaporación de agua. El vapor de agua en la atmósfera representa, por consiguiente, un enorme y continuo almacenamiento de energía renovable.

Desafortunadamente la mayor parte de esta energía no está disponible para ser usada: es reciclada en la atmósfera cuando el vapor de agua condensa para formar la lluvia o la nieve, y finalmente radiada en el espacio.

Pero una pequeña fracción, menos de un diez por ciento del total de energía circulante, permanece potencialmente disponible cuando la lluvia cae en terrenos elevados, ya que el agua situada a una cierta altura contiene energía potencial almacenada.

El aprovechamiento de la energía potencial acumulada en el agua para generar electricidad es una forma clásica de obtener energía. Alrededor del 20% de la electricidad usada en el mundo procede de esta fuente.

La energía hidroeléctrica que se puede obtener en una zona depende de los cauces de agua y desniveles que tenga, y existe, por tanto, una cantidad máxima de energía que podemos obtener por este procedimiento. Se calcula que si se explotara toda la energía hidroeléctrica que el mundo entero puede dar, sólo se cubriría el 15% de la energía total que consumimos. En realidad se está utilizando alrededor del 20% de este potencial, aunque en los países desarrollados el porcentaje de explotación llega a ser de más del 50%.

Para el aprovechamiento hidroeléctrico se dispone actualmente de la gran hidráulica capaz de generar una potencia de mayor a 10 MW y la minihidráulica con una potencia inferior a los 10 MW.

En todo el mundo, este tipo de energía representa aproximadamente la cuarta parte de la producción total de electricidad, y su importancia sigue en aumento. Los países en los que constituye la fuente de electricidad más importante son Noruega (99%), Zaire (97%) y Brasil (96%). La central de Itaipú, en el río Paraná, está situada entre Brasil y Paraguay, se inauguró en 1982 y tiene la mayor capacidad generadora del mundo. La presa Grand Coulee, en EU, genera unos 6,500 MW, es una de las más grandes. En algunos países se han instalado centrales pequeñas, con capacidad para generar entre un KW y un MW¹⁷.

La producción hidroeléctrica anual es muy variable y depende de la de la pluviosidad ya que en años húmedos supera los 40.000 GWh y en años secos no llega a los 25.000 GWh.

En el siguiente mapa mundial se muestra la generación hidroeléctrica aproximada por cada área geográfica:

¹⁷ CFE informes de 2007

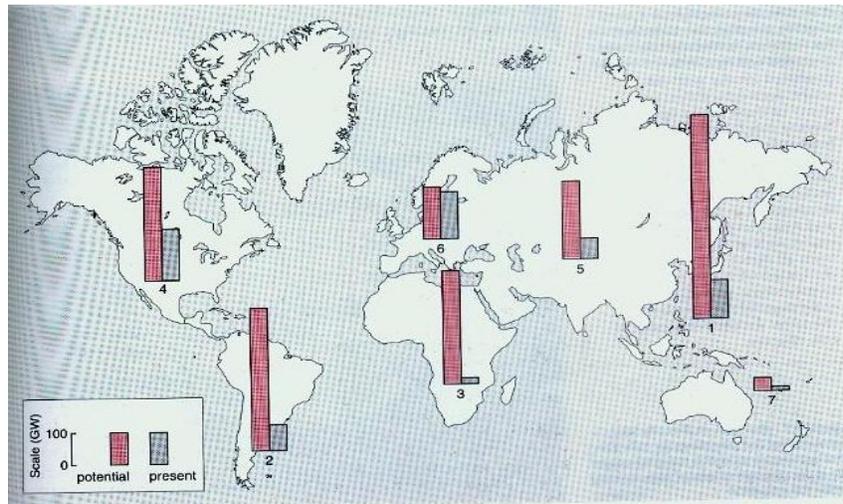


FIGURA 1.16 Generación hidráulica mundial

Generación de energía por plantas hidroeléctricas en México

En México hay instaladas más de 200 hidroeléctricas con una capacidad de generación mayor a 11,000 MW, de las cuales se encuentran en operación 78 y su porcentaje de utilización es de aproximadamente 26.53%. Siendo la más importante la de Manuel Moreno Torres (Chicoasén), en Chiapas, con 2400 MW instalados seguida por Infiernillo y Malpaso, también en Chiapas, con más de 1000 MW instalados cada una¹⁸. Se tienen más de 20 centrales microhidraulicas con una generación mayor a los 36 MW.

El costo inicial de construcción es elevado, pero sus gastos de explotación y mantenimiento son relativamente bajos, pero las condiciones pluviométricas medias del año deben ser favorables y el lugar de emplazamiento está condicionado a las características y configuración del terreno por el que discurre la corriente de agua.

En el aprovechamiento de la energía hidráulica influyen dos factores: el caudal y la altura del salto. Para aprovechar mejor el agua llevada por los ríos, se construyen presas para regular el caudal en función de la época del año. La presa sirve también para aumentar el salto.

El agua del canal o de la presa penetra en la tubería donde se efectúa el salto. Su energía potencial se convierte en energía cinética llegando a las salas de máquinas, que albergan a las turbinas hidráulicas y a los generadores eléctricos. El agua al llegar a la turbina la hace girar sobre su eje, que arrastra en su movimiento al generador eléctrico.

Descripción de los sistemas

Las turbinas pueden ser de varios tipos: Pelton (saltos grandes y caudales pequeños), Francis (salto más reducido y mayor caudal) y Kaplan o hélice (salto muy pequeño y caudal muy grande).

¹⁸ CFE informes de 2007



Las centrales dependen de un gran embalse de agua contenido por una presa. El caudal de agua se controla y se puede mantener casi constante. El agua se transporta por unos conductos o tuberías forzadas, controlados con válvulas para adecuar el flujo de agua por las turbinas con respecto a la demanda de electricidad. El agua sale por los canales de descarga.

El agua es devuelta al río en las condiciones en que se tomó, de modo que se puede volver a utilizar por otra central situada aguas abajo para otro consumo.

Tipos de centrales hidroeléctricas

Las centrales hidráulicas se pueden clasificar según su tipo de acumulación, su uso, su caudal o su salto. En general los tipos son:

- Centrales de agua fluente o de agua corriente.
- Centrales de agua embalsada.
- Centrales de regulación.
- Centrales de bombeo o de acumulación.
- Centrales de alta presión.
- Centrales de media presión.
- Centrales de baja presión.

Partes de una central hidráulica

De forma general pueden señalarse los siguientes subsistemas componentes en una central hidroeléctrica:

- Obra civil.
- Turbinas hidráulicas y transmisiones mecánicas.
- Generadores eléctricos.
- Subsistema de regulación y control.

La obra civil se compone de forma general de:

- Los elementos de retención y los elementos de seguridad.
- Los canales de derivación.
- La cámara de carga.
- Las tuberías forzadas.
- El edificio central.

Un elemento esencial de una instalación hidroeléctrica es la turbina hidráulica. En cuanto al modo de funcionamiento, las turbinas se pueden clasificar en turbinas de acción como la turbina Pelton y turbinas de reacción como la turbina Francis y la turbina Kaplan.

El generador puede ser de corriente continua (dínamo) o de corriente alterna (alternador). El alternador está compuesto de dos partes fundamentales: el rotor o inductor móvil, y el estator o inductor fijo.



En la mayoría de los diseños de centrales hidroeléctricas la velocidad de giro de la turbina es menor que la velocidad a la que debe girar el generador eléctrico. Por este motivo es necesario instalar una caja multiplicadora de la velocidad entre la turbina y el generador.

Las centrales hidroeléctricas disponen de diversos dispositivos de regulación, control y protección adecuados al tipo de tecnología empleada y del funcionamiento previsto que fundamentalmente controlan la turbina y el generador.

1.1.5 Biomasa

Origen

El término biomasa suele ser utilizado habitualmente en un contexto energético, es decir, se suele hablar de biomasa energética, o simplemente biomasa, para referirse a aquellos recursos biológicos de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales procedentes de su transformación, de los cuales se puede obtener un combustible energético (biofuel), ya sea de forma directa o indirecta.

La energía de la biomasa procede originariamente del Sol. Se podría sintetizar diciendo que la biomasa es la energía solar convertida por la vegetación, mediante el proceso de fotosíntesis, en materia orgánica (energía química almacenada), la cual puede recuperarse por combustión directa o mediante su transformación en otros combustibles.

La biomasa primaria es vegetal, sin embargo, ésta puede ser transformada por otros seres vivos que se nutren de la misma y generan la denominada biomasa animal o biomasa de los residuos animales. Asimismo, diversas actividades industriales que manejan biomasa vegetal o animal generan subproductos. Los núcleos de población, fruto de la actividad cotidiana de sus habitantes, también generan residuos.

A los ecosistemas silvestres se les denominan biomasa natural pero no constituye una fuente de energía renovable, si se la explota de forma intensiva, ya que si la velocidad de consumo es mayor que la de su generación se puede provocar su agotamiento.

Los residuos de diferentes actividades se denominan biomasa residual y pueden ser:

- Residuos ganaderos (biomasa animal).
- Aguas residuales urbanas (biomasa animal).
- Residuos agrícolas, pueden ser herbáceos o leñosos.
- Residuos forestales.
- Residuos industriales.
- Residuos sólidos urbanos (biomasa vegetal).

Los cultivos energéticos son cultivos realizados con el propósito de obtener materiales con características especiales para ser aprovechados energéticamente y pueden ser:

- Cultivos tradicionales.
- Cultivos poco frecuentes.
- Cultivos acuáticos.
- Cultivos óptimos para la obtención de combustibles líquidos.



El petróleo y el carbón (combustibles fósiles no renovables) son biomasa debido a que son residuos de origen vegetal o animal que se enterró en ciertos periodos geológicos y que por la intervención de determinados mecanismos y/o condiciones se transformó en biomasa fósil.

El rendimiento teórico del proceso de conversión de biomasa es bastante bajo, ya que es inferior al 5%. Sin embargo, la biomasa se encuentra muy distribuida sobre la superficie de la Tierra, estimándose que la energía anual almacenada por la biomasa es de más de 8 millones de TWh.

Aproximadamente 1 Kg de biomasa genera 3,500 Kcal, si la gasolina genera 10,000 Kcal por cada litro entonces se necesita aproximadamente 3 veces más biomasa para producir la misma energía que con la gasolina.

Los métodos por los cuales se puede convertir la biomasa en energía y aprovecharla son los siguientes:

- Uso directo mediante la combustión.
- Fermentación alcohólica para la obtención de etanol.
- Con transformación de ácidos grasos se puede obtener una mezcla de hidrocarburos similar al diesel.
- Descomposición anaeróbica para obtener metano en forma de biogás.
- Métodos termoquímicos como son la combustión y la pirolisis.
- Gasificación

La biomasa puede dividirse en cuatro aplicaciones:

1. Biocombustibles.
2. Producción de energía térmica.
3. Producción de energía eléctrica.
4. Producción de gases combustibles.

En el mundo el principal consumidor de biocombustibles es África ya que el 60% de la energía consumida en este continente provienen de materiales orgánicos. Asia meridional ocupa el segundo puesto con 56% de consumo de materiales orgánicos. En países tercermundistas el uso de este tipo de energía oscila entre el 10 y el 20%, mientras que en países primermundistas sólo ocupan menos del 5%. El consumo mundial de biocombustibles se estima en 15% de la producción total de energía¹⁹.

1.2 Energía solar

Origen

El sol es el origen de la energía solar y de las otras fuentes renovables de energía. Esta estrella es un enorme reactor de fusión nuclear que transforma parte de su masa en. El Sol emite al espacio energía en forma de radiación electromagnética, la cual puede desplazarse en el vacío, es decir, no requiere medio material para propagarse. De la enorme cantidad de energía que emite constantemente el sol, una parte llega a la atmósfera terrestre en forma de radiación solar.

¹⁹ Agencia internacional de la energía (AIE 2001)

Del total de la energía solar que llega a la tierra el 16% es absorbida por la estratósfera y la tropósfera, el 22,5% por el suelo, el 4% es reflejada directamente al espacio desde el suelo, la atmósfera difunde el 17,5% de la radiación (del cual el 10,5% es absorbido por el suelo y el 7% regresa al espacio exterior), las nubes reflejan al espacio exterior un 24%, absorben un 1,5% y enviando al suelo, como radiación difusa, el 14,5%, que es absorbido por el mismo. Por lo tanto, el 47,5% de la radiación llega efectivamente a la superficie de la tierra por tres vías; radiación directa, radiación difusa y radiación reflejada.

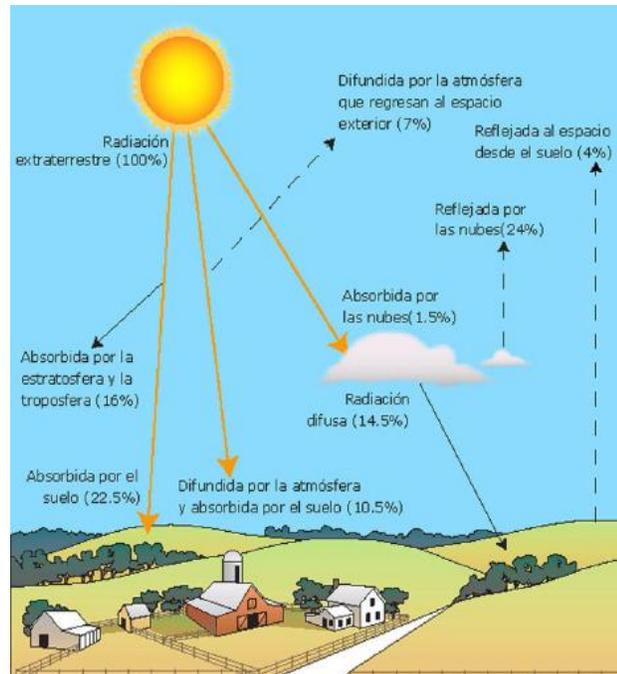


FIGURA 1.17 Energía del sol que llega a la tierra

Potencial

Puede estimarse que la emisión solar total al espacio, asumiendo una temperatura del sol de 5.760K, es de $3,84 \times 10^{26}$ W. No obstante, sólo una diminuta fracción de ella es interceptada por la tierra, debido a que la energía recibida es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al sol (150 millones de Km). La potencia recibida en la parte superior de la atmósfera sobre una superficie perpendicular al rayo de sol, en el caso de una distancia al sol promedio, se denomina constante solar, cuyo valor aproximado es de 1.367KW/m^2 . Esta cantidad se reduce hasta aproximadamente 900W/m^2 cuando atraviesa la atmósfera y llega al suelo. La distribución de la energía solar que llega a la tierra no es uniforme. En la caracterización de la radiación solar incidente en la tierra, con el objeto de estimar el potencial solar, intervienen diversos factores. Entre estos factores pueden señalarse las condiciones climatológicas, que influyen en el grado de nubosidad, la turbidez atmosférica, viento predominante, otros factores como son la época del año, la latitud del lugar y la orientación de la superficie receptora.

En la siguiente figura se representa un mapa estimativo de la radiación solar en el mundo, en W/m^2 . Puede observarse que la radiación es superior en las zonas ecuatoriales y tropicales e inferior en las zonas polares.

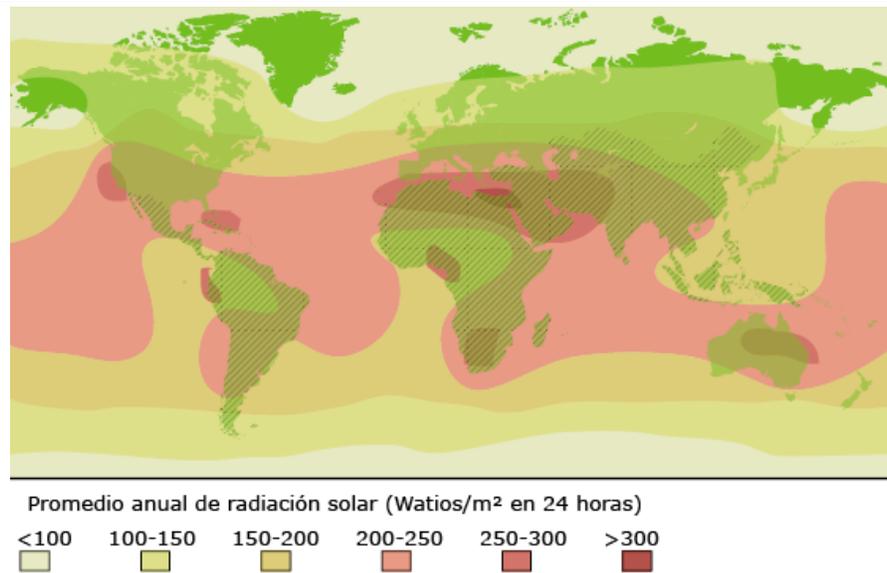


FIGURA 1.18 Mapa estimativo de la radiación solar en el mundo

Como consecuencia de la variación de la declinación solar, el ángulo con que los rayos solares inciden sobre la superficie terrestre será mayor o menor dependiendo de la época del año y de la latitud L del lugar. La perpendicularidad de los rayos solares es mayor en verano que en invierno, por este motivo, la energía total incidente es muy superior en verano que en invierno. Asimismo, los rayos inciden con menor perpendicularidad a medida que aumenta, en valor absoluto, la latitud del lugar.

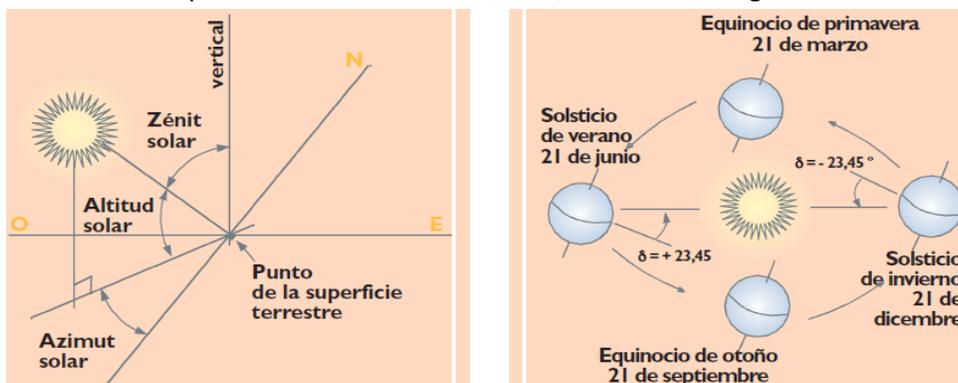


FIGURA 1.19 Movimiento de la tierra

No toda radiación puede ser transformada por los dispositivos tecnológicos existentes para su utilización en forma de potencia calorífica o eléctrica. En realidad la potencia recuperable es menor que la medida como consecuencia de los rendimientos de los equipos de transformación energética.

Tecnología

La tecnología actual que se utiliza para captar la energía solar directa y convertirla en una forma eficiente de energía se ha desarrollado en dos direcciones:

- Tecnología de conversión térmica, que absorbe la energía solar y la transforman en calor. Mediante esta tecnología es posible también obtener indirectamente electricidad mediante la transformación del calor con una máquina termodinámica.

- Tecnología de conversión eléctrica, que permite la transformación directa de la energía solar en energía eléctrica.

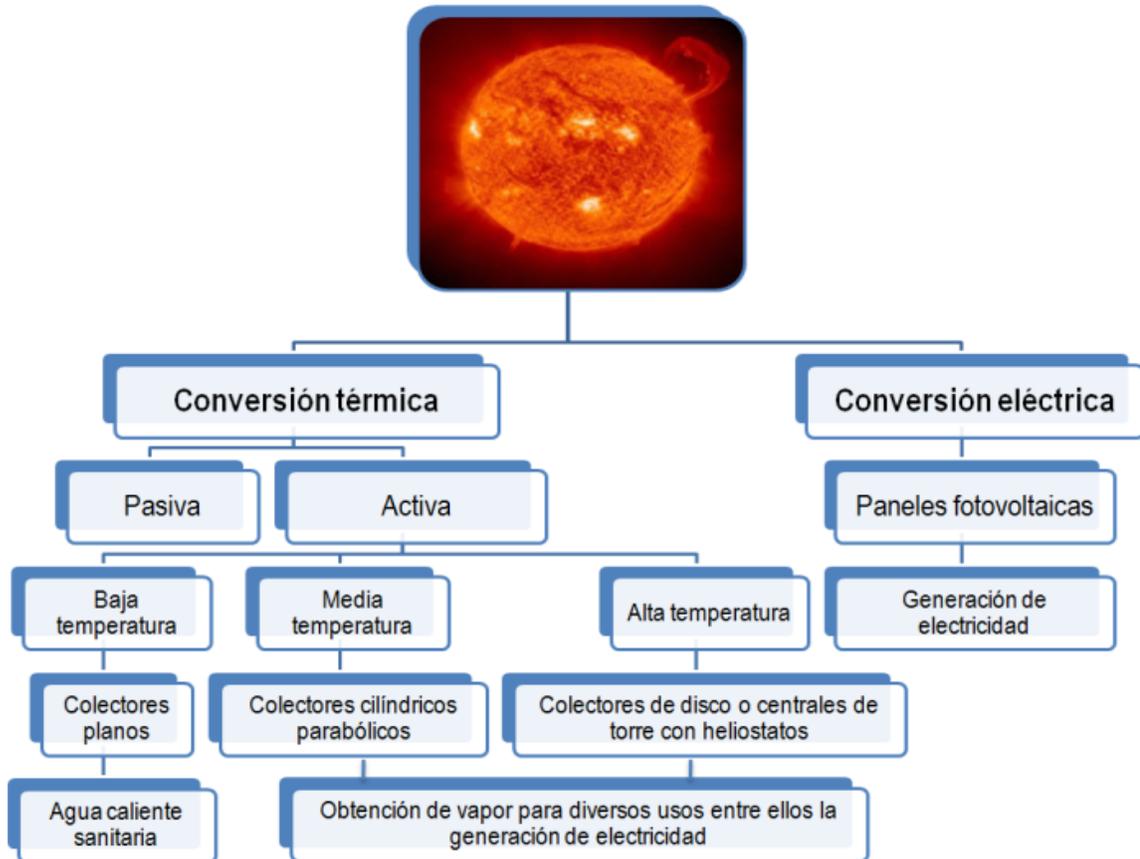


FIGURA 1.20 Diagrama de energía solar.

La energía térmica captada puede utilizarse de forma pasiva o activa.

La energía solar pasiva se aprovecha mediante el acondicionamiento pasivo de los edificios siguiendo las pautas de la llamada arquitectura bioclimática. La tecnología utilizada en la captación de la energía solar térmica de forma activa se puede clasificar, en función del margen de temperatura que se requiera, en tecnologías de baja temperatura ($T < 90^{\circ}\text{C}$), media temperatura ($90^{\circ}\text{C} < T < 400^{\circ}\text{C}$) y alta temperatura ($T > 400^{\circ}\text{C}$).

En lo que respecta a la conversión eléctrica se realiza por paneles fotovoltaicos y estos pueden mandar la energía eléctrica directamente a la red o consumirse directamente, o se puede mandar un sistema de almacenamiento para usar la energía después.

En el siguiente tema se profundizara más sobre las tecnologías y usos de la energía solar.



1.2.1 Tipos de aprovechamiento de la energía solar

Básicamente, la forma en que se puede aprovechar la energía solar es colectando el calor o generando electricidad, aunque tiene otros usos importantes como lo es la iluminación.

El calor se logra mediante los captadores o colectores térmicos, y la electricidad, a través de los llamados módulos fotovoltaicos. Ambos procesos nada tienen que ver entre sí, en cuanto a su tecnología ni en su aplicación.

La iluminación natural se obtiene gracias a los diseños bioclimáticos o a diversas tecnologías que están surgiendo en la actualidad para el uso de este recurso.

En los sistemas de aprovechamiento térmico el calor recogido en los colectores puede destinarse a satisfacer numerosas necesidades. Por ejemplo, se puede obtener agua caliente para consumo doméstico o industrial, o bien para dar calefacción a hogares, hoteles, colegios, fábricas, climatizar las piscinas, refrigeración durante las épocas cálidas del año o aplicaciones agrícolas como invernaderos solares, secaderos agrícolas, plantas de purificación o desalinización de aguas.

Las células solares, dispuestas en paneles solares, ya producían electricidad en los primeros satélites espaciales. Actualmente se perfilan como la solución definitiva al problema de la electrificación rural, con clara ventaja sobre otras alternativas, pues al carecer los paneles de partes móviles resultan totalmente inalterables al paso del tiempo, no contaminan ni producen ningún ruido en absoluto, no consumen combustible y no necesitan mantenimiento. Además, y aunque con menos rendimiento, funcionan también en días nublados, puesto que captan la luz que se filtra a través de las nubes.

1.2.1.1 Conversión eléctrica

La obtención directa de electricidad a partir de la luz se conoce con el nombre de efecto fotovoltaico. La existencia de este fenómeno fue puesta de manifiesto por el físico Antoine Becquerel, en el año 1839. Para conseguirlo, se requiere un material que absorba la luz del sol y sea capaz de transformar la energía radiante absorbida en energía eléctrica.

Hacia 1870 el profesor W. Grylls Adams y un estudiante suyo, R. Evans Day, experimentaron sobre el efecto de la luz sobre el selenio, comprobando que se creaba un flujo de electricidad, que denominaron “fotoeléctrica”. En el año 1885 cuando Charles Fritts construyó el primer módulo fotoeléctrico, extendiendo una capa de selenio sobre un soporte metálico y recubriéndola con una fina película transparente de oro. Western Electric utilizó las células solares para alimentar líneas telefónicas en las zonas rurales de Georgia.

Las células fotovoltaicas tuvieron su primer gran campo de aplicación en el espacio. Fue a finales de los años 60's cuando se realizó el proyecto de lanzar un satélite artificial al espacio alimentado por células solares.

A mediados de los 70's fue cuando esta tecnología realmente empezó a desarrollarse para usos más particulares y los precios de generación por W empezaron a disminuir. El mercado mundial de células fotovoltaicas creció un 20% entre 1990 y 2000, alrededor del 40% en 2005 y 2006, y hasta un 70% en 2007, cuando la fabricación mundial de células FV llegó a los 4.279 MW. Ya en el año 2000 se alcanzó la cifra de



1.428 MW de potencia instalada acumulada en el mundo²⁰. En 2005 eran 5.253 MW y actualmente ya superan los 9.000 MW. En el año 2002, el entonces tejado solar FV más grande del mundo fue construido por Nuon Energy Company en Holanda, donde uno de los edificios de la Feria de Horticultura Floriade dispone de 25.100 m² de captación solar, o sea 19.000 células FV, con una potencia de 2,3 MW. Ese mismo año la mayor instalación FV del mundo estaba en Hemau (Baviera), una de las zonas más soleadas de Alemania: ocupa 7 hectáreas y tiene una potencia de 4 MWe. Acciona inauguró en 2007 en la localidad navarra de Milagro una planta de 9,5 MW que pertenece a 753 pequeños propietarios. En 2010 el precio de las células FV podría caer entre un 10 y un 30% con respecto al costo del año anterior²¹.

En la siguiente tabla se muestra una lista de la capacidad instalada de células fotovoltaicas en varios países del mundo:

País	2004 Total (MW)	2007 Instalada (MW)	2008 instalada (MW)	PROYECTO PARA 2010 (MW)
Australia	52	20	40	SD
Portugal	SD	20	22	50
Canadá	13	13	7	150
Francia	26	21	120	500
Alemania	794	300	275	625
Italia	30	120	150	200
España	37	518	1100	400
Suiza	23	7	15	SD
Reino Unido	8	3	6	20
EU	365	305	400	900
Suecia	SD	7	1	10

Tabla 1.2 Capacidad instalada de células fotovoltaicas²².

Funcionamiento de las células fotovoltaicas

Una corriente eléctrica es un flujo de electrones que se produce al establecerse una diferencia de potencial eléctrico. Todos los materiales están repletos de electrones. Los átomos de los materiales están formados por núcleos con carga eléctrica positiva rodeados por nubes de electrones con carga eléctrica negativa. En algunos materiales es muy fácil hacer circular una corriente eléctrica los cuales se les denomina conductores. Sus electrones tienen unas energías particularmente elevadas y pertenecen a una banda energética denominada banda de conducción.

Existe otro tipo de materiales en los cuales no puede circular corriente eléctrica, debido a que sus electrones no tienen ninguna posibilidad de desplazamiento. Ellos son los materiales aislantes, en los que sus electrones pertenecen a una banda denominada de valencia.

También existen materiales semiconductores, que no son ni conductores, ni aislantes, pues en ellos las cargas en las dos bandas de energía antes citadas, la de conducción y la de valencia, se encuentran separadas por una banda de energía denominada prohibida, porque en ella no hay ninguna carga eléctrica que tenga la energía correspondiente.

²⁰ Asociación Europea de la industria fotovoltaica (EPIA)

²¹ Asociación Europea de la industria fotovoltaica (EPIA)

²² Asociación alemana de la industria fotovoltaica (BSW) y Frisian Nuon Solar Change (2006)



Una célula fotovoltaica sólo puede generar electricidad cuando se cumplen tres condiciones:

- Se ha de poder modificar el número de cargas positivas y negativas. Esto se alcanza cuando se añaden a un semiconductor puro unas pequeñas dosis de átomos “contaminantes”, que son capaces de ceder o aceptar electrones.
- Se han de poder crear cargas que permitan la aparición de una corriente. Es preciso exponer la célula fotovoltaica a una radiación luminosa para aprovechar la energía de los fotones (o partículas de luz). Si la energía es la adecuada, el fotón cede energía a un electrón de la banda de valencia y lo hace pasar a la banda de conducción, saltando la banda prohibida. En este proceso aparece, a su vez, en la banda de valencia lo que se denomina un agujero (de carga positiva) debido a la ausencia de un electrón que ha ido a parar a la banda de conducción.
- Es preciso que se establezca una diferencia de potencial o campo eléctrico. Se puede obtener una diferencia de potencial uniendo dos semiconductores que contienen una densidad de cargas positivas o negativas diferente. La existencia de estas cargas positivas y negativas origina de una manera natural un campo eléctrico (o una diferencia de potencial) entre las dos regiones de la unión.

Tipos de células fv en función de los materiales

Existen diferentes tipos de células FV en función de los materiales semiconductores y los métodos de fabricación que se empleen. Los tipos de células FV que se pueden encontrar en el mercado son:

- Silicio puro monocristalino. Basados en secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza.
- Silicio puro policristalino. Las células policristalinos se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales.

Por las características físicas del silicio cristalizado, los paneles fabricados siguiendo esta tecnología presentan un grosor considerable. Mediante el empleo del silicio con otra estructura o de otros materiales semiconductores es posible conseguir células más finas y versátiles que permiten incluso en algún caso su adaptación a superficies irregulares. A estas células se les denomina células de lámina delgada.

Los tipos de células de lámina delgada son:

- Silicio amorfo. (TFS)
- Teluro de cadmio.
- Arseniuro de galio.
- Diseleniuro de cobre en indio.
- Células Tándem. Combinan dos tipos de materiales semiconductores distintos.

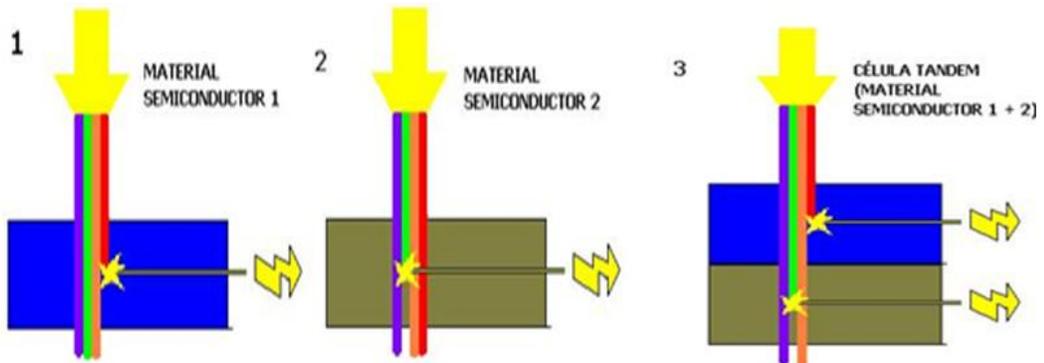


FIGURA 1.21 (1) Célula con material semiconductor 1 (2) Célula con material semiconductor 2 (3) Célula Tándem se combinan ambos tipos de materiales.

Las células fotovoltaicas también se pueden clasificar por su forma:

- Célula con sistemas de concentración.

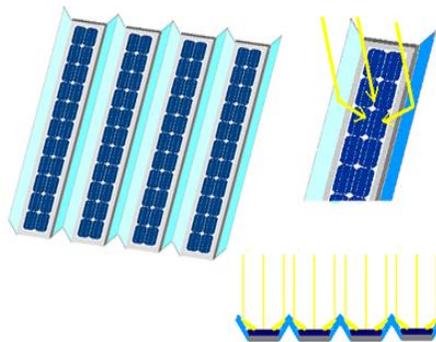


FIGURA 1.22 Célula con sistemas de concentración

- Célula de formato “teja o baldosa”.



FIGURA 1.23 Célula de formato teja

- Células bifaciales: Basados en un tipo de célula capaz de transformar en electricidad la radiación solar que le recibe por cualquiera de sus dos caras.

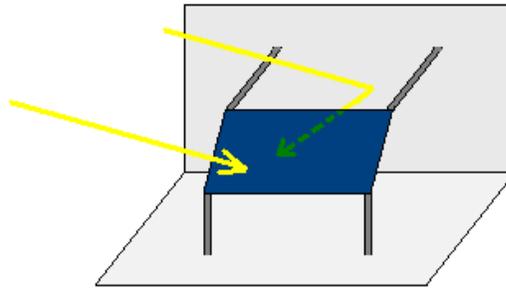


FIGURA 1.24 Célula bifocal

Sistemas de seguimiento solar

En los sistemas solares fotovoltaicos existe la posibilidad de emplear elementos seguidores del movimiento del sol que favorezcan y aumenten la captación de la radiación solar; se pueden mencionar 3 tipos:

- Colocación sobre soporte estático.
- Sistemas de seguimiento solar de 1 eje.
- Sistemas de seguimiento solar de dos ejes.

Existen tres sistemas básicos de regulación del seguimiento del sol por dos ejes:

- Sistemas mecánicos.
- Mediante dispositivos de ajuste automático.
- Dispositivos sin motor.

Asociado a los paneles existen otros componentes que se utilizan en las instalaciones como elementos de seguridad o que amplían las posibilidades del uso de la instalación. Los componentes esenciales de una instalación fotovoltaica son los reguladores, las baterías y los inversores.

Los sistemas hoy disponibles para realizar un uso efectivo de la energía solar y convertirla en electricidad se dividen en dos grandes grupos:

- Los sistemas autónomos. Constan de un sistema de captación solar (células solares dispuestas en paneles), las baterías para almacenar la electricidad generada en corriente continua y el sistema de control para asegurar el correcto funcionamiento de carga y descarga de la batería. Los sistemas autónomos básicamente se utilizan para el suministro de electricidad en lugares donde no existe red eléctrica convencional.
- Los sistemas conectados a la red. No disponen de ningún tipo de almacenamiento. Simplemente constan de los sistemas de captación y de conversión de la electricidad generada y de conexión a la red.



1.2.1.2 Conversión térmica

La capacidad que tiene el Sol para calentar los objetos expuestos a sus rayos es un efecto que se produce cuando la radiación electromagnética solar choca con algún objeto y parte de esta radiación se transforma en calor provocando un aumento de temperatura en el objeto en cuestión

En la actualidad son varios los sistemas que aprovechan la energía calórica que aporta el sol. En todos ellos el principio es siempre el mismo, elevar la temperatura de una sustancia para con dicho calor lograr un efecto determinado.

Aplicaciones de la energía solar térmica

La energía solar puede aplicarse a una gran variedad de usos térmicos, incluyendo el agua caliente sanitaria, la calefacción de interiores o el secado. También se están desarrollando nuevas áreas de aplicación, de las cuales quizás la más interesante resulte la climatización solar.

- Agua caliente sanitaria doméstica DEACS: Para esta aplicación se utilizan sistemas de circulación forzada o termosifones, que generalmente cuentan con un calentador convencional de apoyo para cubrir las necesidades cuando el sistema solar no puede hacerlo.
- Sistemas combinados DEACS y calefacción: En este caso la superficie de colectores está entre los 7 y los 20 m², y la capacidad del acumulador entre los 300 y los 2.000 litros.
- Refrigeración solar: Se utilizan sistemas que acoplan el colector solar-depósito de almacenamiento de calor a un ciclo de absorción que extrae calor de un "depósito frío".
- Secado solar: Son de una gran utilidad en países donde no se dispone de otras formas de energía para la conservación de alimentos.
- Calefacción solar por aire: Estos sistemas utilizan el principio de succión del aire a través de un colector solar perforado, que puede servir al mismo tiempo de pared de un edificio.
- Desalinización solar: Se realiza por medio de un alambique solar.
- Cocinas solares: Estos sistemas se basan en la concentración solar por medio de superficies reflejantes.
- Central termoeléctrica: La radiación solar puede ser utilizada para la generación de electricidad mediante un proceso de dos etapas: primero convirtiéndola en calor y luego convirtiendo el calor en electricidad por medio de ciclos termodinámicos convencionales o mediante generadores termoiónicos o termoeléctricos.

Las centrales térmicas solares se basan en espejos que concentran los rayos solares con la finalidad de calentamiento de un fluido, que convertido en vapor accionará una turbina, que a su vez impulsará un generador eléctrico.

Funcionamiento de los sistemas solares térmicos

El principio básico común a todos los sistemas solares térmicos es simple: la radiación solar es captada y el calor se transfiere a un medio portador de calor, generalmente un fluido; agua o aire. El medio calentado se

puede usar directamente o indirectamente, mediante un intercambiador de calor que transfiere el calor a su destino final.

Los captadores (o colectores) solares

El sistema más conocido de aprovechamiento de la energía solar es el captador solar, que absorbe la radiación del Sol y transmite la energía absorbida a un fluido portador. El colector, además de absorber la radiación solar, emite radiación térmica y pierde energía por conducción y convección.

Si el colector está unido a un depósito de almacenamiento, entonces el fluido irá transportando el calor hacia el depósito, donde la temperatura del fluido irá aumentando.

Se han diseñado distintas y avanzadas versiones de colectores solares térmicos con el objetivo de incrementar la cantidad de energía absorbida y disminuir las pérdidas. Los más comunes son los colectores planos, que utilizan como fluido el agua y tienen una cubierta de vidrio. En la actualidad también se comercializan colectores solares tubulares de vacío, con los que se consiguen temperaturas más elevadas. Existen otro tipo de colectores que utilizan aire como fluido.

Tipos de colectores solares

Los colectores solares se dividen en dos grandes grupos:

1. Los Colectores Solares sin concentración: Los cuales no superan los 70° C aproximadamente, por lo que son usados en las aplicaciones de la energía solar térmica de baja temperatura. Estos colectores se caracterizan por no poseer métodos de concentración, por lo que la relación entre la superficie del colector y la superficie de absorción es prácticamente la unidad.

Los colectores más comunes se enuncian a continuación:

- Colector solar de Placa Plana



FIGURA 1.25 Colector de placa plana

- Colectores de Aire



FIGURA 1.26 Colector solar de aire

- Colectores de Vacío.



FIGURA 1.27 Colector solar de tubos de vacío

- Tubos de Calor.



FIGURA 1.28 Tubos de calor

- Colectores Cónicos o esféricos



FIGURA 1.29 Colectores cónicos o esféricos

2. Los Colectores Solares de Concentración: Los cuales, haciendo uso de los métodos de concentración de la óptica, son capaces de elevar la temperatura de fluido a más de 70° C. Estos se aplican en la energía solar térmica de media y alta temperatura. Usan sistemas especiales con el fin de aumentar la intensidad de la radiación sobre la superficie absorbente y de este modo conseguir altas temperaturas en el fluido. La principal complicación que presentan es la necesidad de un sistema de seguimiento para conseguir que el colector esté permanentemente orientado en dirección al Sol.

- Concentradores cilíndricos.



FIGURA 1.30 Concentradores cilíndricos

- Concentradores paraboloideas



FIGURA 1.31 Concentradores paraboloideas

En el capítulo 2 se verá con más detalle la tecnología, tipos y otros aspectos de los colectores solares.

Para el aprovechamiento de la energía solar se pueden distinguir dos grandes grupos de sistemas, según necesiten o no algún aporte adicional de energía para hacer posible que la energía solar captada pueda utilizarse, como energía térmica, en el lugar donde se necesita.

Sistemas solares con aporte adicional de energía: el aporte de energía se utiliza en la circulación forzada que necesita el sistema.



Los sistemas sin aporte adicional de energía: son sistemas que no necesitan el aporte adicional de energía debido a que el fluido portador tienen una circulación natural, también existen las superficies que se calientan y el calor es transmitido a través de esta superficie.

Centrales solares de torre

Las centrales solares de torre constan de centenares o miles de espejos planos (helióstatos) que concentran la luz solar en un punto de la torre, donde se sitúa una caldera para calentar el fluido (agua, aire, metal líquido o sal fundida) que acciona la turbina mediante un ciclo de vapor.

En la actualidad se están investigando sistemas avanzados que calientan aire a presión para inyectarlo en una turbina de gas de ciclo combinado.

La energía solar térmica en el mundo

Se calcula que en la Unión Europea había instalados 20 millones de m^2 de captadores solares (14.280 MWt) a finales de 2006, algo que no habría sido posible sin el empuje solar de países como Alemania, Grecia y Austria. De los 3 millones de m^2 nuevos que se instalaron en 2006 en la Europa la mitad se hicieron en Alemania. Chipre es el país que más cantidad de energía solar térmica aporta por habitante en el mundo, con 350 KWt por cada 1.000 habitantes. Más del 90% de los edificios construidos en Chipre están equipados con captadores solares térmicos. En cuanto a Grecia, en los últimos años se instalan más de 200.000 m^2 anuales. Hoy totalizan unos 3,5 millones. Con un 17% de la superficie instalada en la UE, el país heleno dispone de un tejado solar que abastece de agua caliente a uno de cada cuatro habitantes. En Israel alrededor del 85% de las viviendas están equipadas con colectores solares térmicos, como resultado de una ley de hace 25 años. En Turquía hay unos 10 millones de metros cuadrados, y en China, el país con más superficie de captadores solares instalados, 78 millones, lo que supone aproximadamente el 40% de todos los instalados en el mundo.

1.2.1.3 Iluminación natural

La iluminancia es la cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie por unidad de área. Se mide en [Lux], de manera que $[1\text{Lux} = 1 \text{Lumen}/m^2]$. Existe una relación directa entre la iluminancia media de un local y su consumo energético en iluminación artificial, siempre y cuando todos los demás parámetros se mantengan constantes.

Con frecuencia se diseñan sistemas de alumbrado con niveles de iluminancia muy superiores a los requeridos, lo que representa un gasto de energía innecesario.

En el siguiente cuadro mostramos algunas referencias de iluminancias mínimas, recomendadas y óptimas en función de las tareas realizadas en un local.



Tareas y clase de local	Mínimo LUX	Recomendado LUX	Óptimo LUX
Zona general de edificios			
Zona de circulación, pasillos	50	100	150
Escaleras, escaleras móviles, roperos, lavabos almacenes y archivos	100	150	200
Centros docentes			
Aulas, laboratorios	300	400	500
Bibliotecas, salas de estudio	300	500	750
Oficinas			
Oficinas normales, mecanografiado, sala de proceso de datos, sala de conferencias	450	500	750
Grandes oficinas, salas de delineación, CAD/CAM/CAE	500	750	1000
Comercios			
Comercio tradicional	300	500	750
Grandes superficies, supermercados, salones de muestras	500	750	1000
Industria (en general)			
Trabajo con requerimiento visual limitado	200	300	500
Trabajo con requerimiento visual normales	500	750	1000
Trabajo con requerimiento visual especiales	1000	1500	2000
Vivienda			
Dormitorios	100	150	200
Cuartos de aseo	100	150	200
Cuartos de estar	200	300	500
Cocina	100	150	200
Cuartos de trabajo o estudio	300	500	750

Tabla 1.3 Iluminación recomendada por tipo de tarea

El consumo energético en iluminación interior depende de muchos factores pero principalmente de los siguientes:

- De la superficie iluminada.
- Del nivel de Iluminancia medio.
- De las horas anuales de utilización.
- Del Valor de Eficiencia Energética.
- De la tarifa eléctrica.
- De los elementos arquitectónicos y de interiorismo.
- De los sistemas de regulación y control.
- De su capacidad para aprovechar la iluminación natural.



Iluminación natural

La iluminación de los interiores puede ser realizada con luz natural, luz artificial o con la combinación de ambas.

La iluminación natural ofrece a los interiores, además de la cantidad que puede lograrse con la iluminación artificial, las siguientes ventajas:

- La iluminación natural es provista por energía renovable.
- La calidad de la luz solar tiene la particularidad de ser dinámica. La visión humana está desarrollada para la luz natural y para estos cambios.
- Una iluminación natural bien diseñada cumple con los requerimientos de altos niveles (500lux) de un local interior entre un 60-90% del total de horas de luz natural.
- Su cantidad alcanza altos niveles de iluminación, durante las horas del día, para una considerable parte del año.
- La eficacia luminosa de la luz natural es muy buena.

Tecnología

Existen varias tecnologías con las cuales se puede aprovechar la luz del sol para iluminación de interiores entre ellas se pueden mencionar las siguientes:

- Estantes de luz. Son superficies reflectoras que permiten aumentar el ingreso de luz solar desde el exterior al interior de un local.
- Lumiductos. Se compone de tres partes: colector solar, conductor y difusor del sol al ambiente.
- Vidrios prismáticos. Los vidrios prismáticos aplicados en las ventanas transmiten la luz por refracción.
- Sistemas holográficos. Los elementos holográficos transmiten la luz por difracción.
- Reflectores. Los reflectores concentran la luz en un punto, y luego la enfocan, normalmente mediante una lente.
- Difusores. Cuando se coloca en la trayectoria de un haz de luz, el difusor modifica la cualidad dura de la luz mediante la dispersión del haz.

1.3 Medio ambiente e impacto ambiental

La mayor parte de la energía utilizada en los diferentes países proviene del petróleo y del gas natural. La contaminación de los mares con petróleo es un problema que preocupa desde hace muchos años a los países marítimos, sean o no productores de petróleo, así como a las empresas industriales vinculadas a la explotación y comercio de este producto. Desde entonces, se han tomado enormes previsiones técnicas y legales internacionales para evitar o disminuir la ocurrencia de estos problemas.

Los derrames de petróleo en los mares, ríos y lagos producen contaminación ambiental: daños a la fauna marina y aves, vegetación y aguas. Además, perjudican la pesca y las actividades recreativas de las playas. Se



ha descubierto que pese a la volatilidad de los hidrocarburos, sus características de persistencia y toxicidad continúan teniendo efectos fatales debajo del agua.

La mayor proporción de la contaminación proviene del petróleo industrial y motriz, el aceite quemado que llega hasta los océanos a través de los ríos y quebradas. Se estima que en escala mundial, 3.500 millones de litros de petróleo usado entran en ríos y océanos y 5.000 millones de litros de petróleo crudo o de sus derivados son derramados.

Los productos de desechos gaseosos expulsados en las refinerías ocasionan la alteración, no sólo de la atmósfera, sino también de las aguas, tierra, vegetación, aves y otros animales. Uno de los contaminantes gaseosos más nocivo es el dióxido de azufre, daña los pulmones y otras partes del sistema respiratorio.

Otras de las fuentes alternativas de energía desarrollada es la radioactiva que genera muchos desechos o contaminantes radioactivos, provenientes de las reacciones nucleares, o de yacimientos de minerales radioactivos, de las plantas donde se refinan o transforman estos minerales y de las generadoras de electricidad que funcionan con materia radiactiva.

La contaminación acústica es un problema, ya que el ruido producido por la industria, disminuye la capacidad auditiva y puede afectar el sistema circulatorio, y puede causar daños mentales si se está en continua exposición al ruido.

La minería y el procesamiento de minerales a menudo producen impactos ambientales negativos sobre el aire, suelos, aguas, cultivos, flora y fauna, y salud humana.

Otra cuestión importante con respecto al impacto medioambiental de la obtención y consumo energéticos es la emisión de gases de efecto invernadero, como el CO₂, que están provocando el Cambio Climático. Se trata no sólo de las emisiones producidas por la combustión durante el consumo, sino también de la obtención de energía en centrales térmicas en las que se genera electricidad por la combustión fundamentalmente de carbón.

1.3.1 Cambio climático

El calentamiento global y el cambio climático, junto con la búsqueda de un desarrollo sostenible, son los asuntos que producen más reuniones y eventos a nivel internacional y reúne a gran número de líderes políticos. La Convención Macro de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, lo define como el cambio originado en el clima directa o indirectamente por la acción del hombre y que se suma a la variabilidad natural del clima.

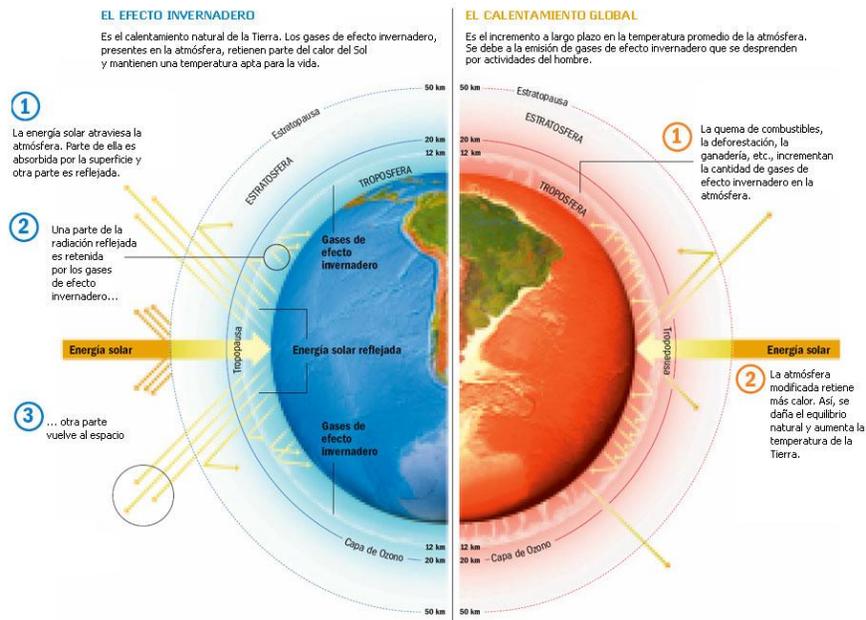


FIGURA 1.32 Calentamiento global y efecto invernadero²³

Variabilidad natural del clima

A lo largo de sus más de 4000 millones de vida, la tierra ha sufrido gran cantidad de cambios climáticos. Solamente en los últimos dos millones se han alternado glaciaciones y épocas de clima cálido que han afectado de forma determinante a todas las formas de vida en la tierra y ha supuesto grandes cambios e incluso la desaparición de ecosistemas enteros, a pesar de que la temperatura media de la tierra solo ha variado unos cinco o seis grados entre una época climática y otra.

Gracias al estudio del clima de épocas pasadas a partir de burbujas de aire atrapadas en trozos de hielo de la Antártida y Groenlandia, a través de los anillos de árboles milenarios y fósiles y de las estalagmitas, sedimentos, etc. se ha sabido sucesos importantes relacionados con cambios climáticos en la tierra²⁴.

Factores que influyen en el clima. Efecto invernadero natural y mecanismos forzados de radiación

La energía que recibimos del sol y que llega a la parte alta de la atmósfera se compone de radiación ultravioleta, luz visible y radiación infrarroja. Para cuando esta energía solar llega a la superficie de la tierra, ya ha sido absorbida en parte por el ozono, el vapor de agua y otros componentes de la atmósfera, además por la vegetación, de manera que la energía que realmente llega a la superficie terrestre suele ser en un 49% radiación infrarroja, en un 42% luz visible y un 9% es radiación ultravioleta.

En definitiva, alrededor de un 30% de la energía que recibe la tierra se refleja y devuelve al espacio, mientras que el 70% restante se absorbe, pero no de manera uniforme sino que existen diferencias que producen fenómenos de convección, corrientes atmosféricas que transportan calor, evaporación, condensación etc.

²³ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

²⁴ Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (2007)

Según la cantidad de radiación infrarroja que emite la tierra, sabemos que su temperatura debería ser de unos $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pero lo cierto es que la tierra tiene una temperatura media de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. La diferencia entre la energía a la que equivalen estos $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la realmente emitida es la que se devuelve al espacio más lentamente porque queda atrapada por las nubes y ciertos gases atmosféricos como el dióxido de carbono, el metano y óxidos de nitrógeno, por lo que estos gases reciben el nombre de gases de efecto invernadero.

Las nubes tienen otro papel muy importante, ya que reflejan la luz del sol. Otros factores que influyen en el clima son los denominados mecanismos forzados de radiación, que pueden ser internos y externos. Los mecanismos externos se dan a escalas de tiempo de milenios e incluyen variaciones de la órbita terrestre, que fuerzan cambios entre condiciones glaciales e interglaciales, e incluso cambios físicos en el sol, como las manchas solares que curren cada 11 años. Los mecanismos internos son la composición atmosférica, cuyos cambios están directamente relacionados con el clima, sobre todo en el caso de los gases de efecto invernadero y la actividad volcánica, ya que las emisiones de polvo y gases de las erupciones se mantienen durante varios años en la atmósfera y producen descensos en las temperaturas.

Efecto invernadero antropogénico

El efecto invernadero es un fenómeno natural y beneficioso, pero el problema se produce cuando por causas humanas se produce un aumento en la atmósfera de los gases de efecto invernadero, lo que aumenta este efecto y produce un calentamiento global del planeta.

En general se pueden nombrar como gases de efecto invernadero producidos por alguna actividad humana a los concentrados de dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nítrico (N_2O), los perfluorcarbonados (PFC), los hidrofluorcarbonados (HFC), y el hexafluoruro de azufre (SF_6), entre otros.

Emisiones mundiales de GEI antropógenos

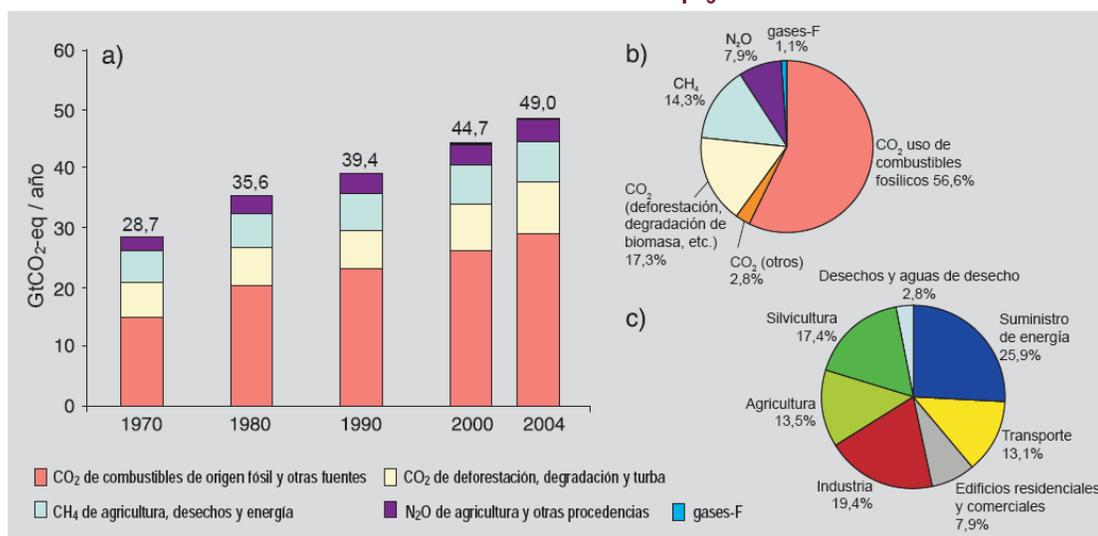


FIGURA 1.33 a) Emisiones mundiales anuales de GEI antropógenos entre 1970 y 2004. b) Parte proporcional de diferentes GEI antropógenos en las emisiones totales en el año 2004, en términos de CO₂-eq. c) Parte proporcional de diversos sectores en las emisiones totales de GEI antropógenos en 2004, en términos de CO₂-eq²⁵

²⁵ Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (2007)



Calentamiento global

La temperatura media de la tierra ha aumentado 0.6°C en los últimos 100 años, pero es muy difícil saber si este incremento se debe a causas naturales o puede achacarse a actividades humanas, debido a que el clima es un sistema tremendamente complejo en el que influyen gran cantidad de factores²⁶.

Para analizar las variaciones en el clima y su relación con ciertas variables se crean complejos modelos a base de sistemas de ecuaciones que intentan simular su comportamiento real y tratan de hacer predicciones sobre su evolución. Estos modelos, al margen de pequeñas diferencias entre ellos, han coincidido en establecer una relación directa entre el calentamiento global y el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera por la acción humana²⁷.

La gravedad de las consecuencias del calentamiento global hace que sea imprescindible tomar medidas para al menos reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Consecuencias del calentamiento global

El calentamiento se producirá con retraso con respecto al aumento en la concentración de gases de efecto invernadero, ya que los océanos más fríos absorberán gran parte del aumento de temperatura, de modo que la IPCC prevé para el año 2100 un calentamiento de entre 1.0 y 3.5°C ²⁸. Estas variaciones de temperatura pueden parecer insignificantes, pero supondrán transformaciones tan importantes como:

- Las áreas desérticas serán más cálidas pero no más húmedas.
- Casi la mitad de los glaciares se fundirán.
- Las precipitaciones aumentarán entre un 3 y un 15%
- Muchas tierras de cultivo podrían perderse al convertirse en desiertos.

El cambio en el clima es el más rápido de todos los que han ocurrido a lo largo de la historia de nuestro planeta y supondrán grandes impactos adversos para la humanidad.

Medidas para mitigar el cambio climático

El cambio climático es un problema global, las soluciones deben tomarse igualmente de forma global, por todos los países.

Entre las medidas que se pueden tomar para atenuar el cambio climático están las siguientes:

- Reducir la emisión de gases de efecto invernadero, con lo que se evitará que su concentración en la atmósfera siga aumentando.
- Aumentar las superficies forestales.
- Promover las medidas de adaptación, sobre todo en zonas con ecosistemas más sensibles y en sectores con economía más vulnerable.

²⁶ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

²⁷ Informe IPCC (2005)

²⁸ Informe IPCC (2005)



1.3.2 Mitigación de gases de efecto invernadero

Existen múltiples opciones para reducir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero mediante la cooperación internacional. Hay un nivel de coincidencia alto y abundante, evidencia de que el establecimiento de una respuesta mundial al cambio climático, el estímulo de toda una serie de políticas nacionales y la creación de un mercado internacional del carbono y de nuevos mecanismos institucionales al respecto son logros notables de la CMCC y de su Protocolo de Kioto que podrían sentar las bases de los futuros esfuerzos de mitigación. Se ha avanzado también en el tratamiento de la adaptación en el marco de la CMCC y se han sugerido iniciativas internacionales ulteriores.

Se han planteado ejemplos de las principales tecnologías, políticas y medidas de mitigación sectoriales; limitaciones y oportunidades para reducir la emisión de gases de efecto invernadero²⁹.

En el sector de suministro energético las propuestas que se han planteado son mejorar la eficiencia de suministro y distribución, remplazo de carbón por gas, producción de energía por medio de fuentes alternas no combustibles, la captación de dióxido de carbono, y uso del diseño asistido por computadora para el mejoramiento de las fuentes de generación de energía.

Todo esto se puede lograr adoptando políticas o medidas como lo son la reducción de subvenciones a combustibles de origen fósil, impuestos o gravámenes sobre el carbono para los combustibles de origen fósil, tarifas de manutención para las tecnologías de energía renovable y la obligación de energía renovable.

En el transporte se necesitan vehículos con mayor eficiencia de combustible, vehículos híbridos o vehículos que usen diesel más limpio, se debe promover el uso de biocombustibles, se debe plantear la posibilidad de sustituir el transporte carretero por el ferrocarril y sugerir el transporte público o no motorizado.

Las políticas y medidas a seguir deben ser la economización del combustible o la aplicación de impuestos sobre el uso de estos, y en buena medida se debe invertir en instalaciones de transporte público atractivos y en modalidad de transporte no motorizado.

Para los edificios se debe promover el uso de iluminación eficiente y natural, compra y uso de sistemas eléctricos como lo son calefacción y aire acondicionado más eficientes, junto con el mejoramiento de los aislamientos, diseño bioclimático de éstos con tecnologías de aprovechamiento de energía como la fotovoltaica.

Esto se hará realidad con normas para la construcción de edificios, junto con normas para la compra de electrodomésticos e incentivos para los edificios que cumplan estas normas.

Por su parte en la industria se necesita mayor eficiencia en los equipos utilizados tanto en oficinas como en campo, fomentar la cultura del reciclado y ahorro de materiales, en los sistemas que pierden energía buscar la forma de reutilizar esa energía y finalmente controlar las emisiones de CO₂.

²⁹ Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (2007)



Esto se puede lograr al crear normas de funcionamiento en las industrias, otorgar créditos para mejorar o reparar los sistemas o simplemente llegar a acuerdos con los que se logren estos objetivos.

Para la agricultura es muy importante mejorar las tierras de pastores y los cultivos para almacenar el carbono en el suelo, así como la restauración de suelos degradados, se tiene que mejorar las técnicas para reducir las emisiones de CH_4 (metano), sustituir los fertilizantes para reducir las emisiones de N_2O , sustituir el uso de combustibles fósiles para sus diferentes actividades.

Esto se lograra con Incentivos financieros y reglamentaciones para mejorar la gestión de la tierra, así como el desarrollo de nuevos fertilizantes y nuevas técnicas para la agricultura y el pastoreo.

En el sector de silvicultura o bosques es necesaria la forestación de nuevas áreas, así como la reforestación de áreas explotadas, el cuidado de bosques, la disminución de la deforestación y hacer uso de los recursos forestales para obtener bioenergía y sustituir combustibles fósiles.

Esto se puede lograr al crear incentivos para incrementar la extensión de los bosques y reglamentos del uso de la tierra. Aunque la falta de capital y de inversión en este sector puede limitar estas prácticas.

En el sector desechos se pretende la recuperación de CH_4 en vertederos, la incineración de desechos para recuperación de energía, crear composta, reciclar y reducir desechos orgánicos, tratamiento de aguas de desechos.

Lograr esto será posible mediante incentivos financieros para mejorar la gestión de desechos y aguas de desechos, crear incentivos u obligaciones para el uso de energías renovables en el proceso de los desechos.

Protocolo de Kioto

Se trata del primer compromiso internacional para frenar el Cambio Climático y tuvo lugar en diciembre de 1997 en la ciudad de Kioto, durante la III Conferencia de las Partes del Convenio Marco sobre Cambio Climático, que reunió a 125 países.

El Protocolo de Kioto compromete a todos los países que lo ratifiquen a reducir las emisiones de los seis gases de efecto invernadero. El compromiso global de reducción para el período 2004-2012 es del 5.2% respecto a los niveles de 1990, aunque en cada país la cuota de reducción varía en función a lo que contaminó en el pasado.

Para que el Protocolo de Kioto entrara en vigor debe ser ratificado por un mínimo de 55 países, que sumarán por lo menos el 55% de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial. El principal problema fue la negativa de Estados Unidos, que además produce el 25% de las emisiones mundiales, aunque con la adhesión de Moscú, en 2005, que aporta el 17.4% de las emisiones, el Protocolo de Kioto entra en vigor siendo un total de 126 países los que lo ratifican.



Mecanismos para minimizar el impacto económico del protocolo de Kioto

Muchas de las medidas a tomar para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero plantean serios problemas para ciertos sectores, por lo que resulta imprescindible aplicar políticas que reduzcan el inevitable impacto económico.

Por este motivo el Protocolo de Kioto incluye medidas como la de los sumideros de carbono, consistente en aumentar las extensiones forestales y tierras de cultivo que de forma natural absorben importantes cantidades de dióxido de carbono, aunque la dificultad radica en que no se puede cuantificar a ciencia cierta el nivel de absorción además de que no todas las especies se comportan igual en este sentido.

También están los llamados mecanismos de flexibilidad, que tanta controversia han producido y que están formados por tres medidas:

- Compra-venta de emisiones.- La idea es que los países que reduzcan sus emisiones por debajo de lo que les correspondía, puedan vender esa diferencia a otros países que superan sus límites, de modo que reduce el costo económico que les ha supuesto la reducción y se compensa el nivel de emisiones a nivel internacional. El aspecto negativo es que esto podría llegar a convertirse en una forma de intercambio comercial, lo que queda lejos del propósito con el que se concibió.
- Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), que consiste en exportar proyectos de tecnología limpia a países que no han asumido ningún compromiso de reducción, de modo que los exportadores se descuentan la diferencia de emisiones que resulta del abandono de la antigua tecnología y los países menos desarrollados reciben fondos.
- Implementación conjunta. Es una medida parecida a la del Mecanismo de Desarrollo Limpio, pero con la diferencia de que el intercambio de tecnología se hace entre países con compromiso de emisiones.



2 Colectores solares

En este capítulo se retomará el tema de los colectores solares y se dará una breve descripción de los mismos. La descripción de los colectores solares se enfocará sólo a los elementos del sistema y el principio de funcionamiento ya que el diseño de un colector solar es un tema muy amplio.

Generalidades de los colectores solares

El sistema más conocido de aprovechamiento de la energía solar es el colector solar, que absorbe la radiación solar y transmite esta energía a un fluido portador de calor. El colector, además de absorber la radiación solar, emite radiación térmica y pierde energía por conducción y convección. Los colectores solares que se comercializan actualmente tienen un elevado grado de absorción (minimizando la reflexión y la transmisión) y un bajo nivel de pérdidas caloríficas.

El colector está unido a un sistema de almacenamiento, por lo cual el fluido irá transportando el calor hacia el depósito, donde la temperatura del fluido irá aumentando.

Se han diseñado distintas y avanzadas versiones de colectores solares térmicos con el objetivo de incrementar la cantidad de energía absorbida y disminuir las pérdidas. Los más comunes son los colectores planos, que utilizan como fluido el agua y tienen una cubierta de vidrio. En la actualidad también se comercializan colectores solares tubulares de vacío, con los que se consiguen temperaturas más elevadas. Existen otro tipo de colectores que utilizan aire como fluido portador de calor.

El principio de funcionamiento del colector solar se basa en la trampa de calor que una superficie acristalada produce. La radiación incidente del sol, de onda corta, atraviesa el cristal y es absorbida por una superficie que se calienta. Ésta, a su vez, emite radiación térmica (de onda larga), pero esta radiación es atrapada por el cristal, que impide su paso.

Generalmente un sistema de energía solar térmica está constituido por varios subsistemas, que a su vez pueden considerarse como sistemas interdependientes conectados entre sí. Sin embargo, hay ocasiones en que un mismo elemento físicamente independiente realiza varias funciones dentro del sistema solar. Estos distintos subsistemas son³⁰

- Sistema de captación. Los paneles o calentadores solares propiamente.
- Sistema de acumulación. Un depósito para acumular el agua caliente generada.
- Sistema hidráulico. Bombas y tuberías por donde circula el fluido de trabajo.
- Sistema de intercambio. En caso de que el fluido que circula por los paneles solares no sea el mismo que el que utiliza el usuario en su aprovechamiento.
- Sistema de control. Son los sistemas que se encargan de poner en marcha y parar el sistema de circulación.
- Sistemas de circulación. Puede ser forzada a base de bombas o inducida como un termosifón.

³⁰ Manual de instalaciones para el calentamiento de agua mediante el aprovechamiento de la energía solar (2007)

- Sistema de energía auxiliar. Hay ocasiones que la viabilidad económica de la instalación solar exige que no se pueda satisfacer la demanda energética en todo momento, sobre todo cuando la energía producida por la instalación depende de las condiciones climatológicas, es por esto que en ocasiones se dispone en la misma instalación de un sistema de producción de energía auxiliar.

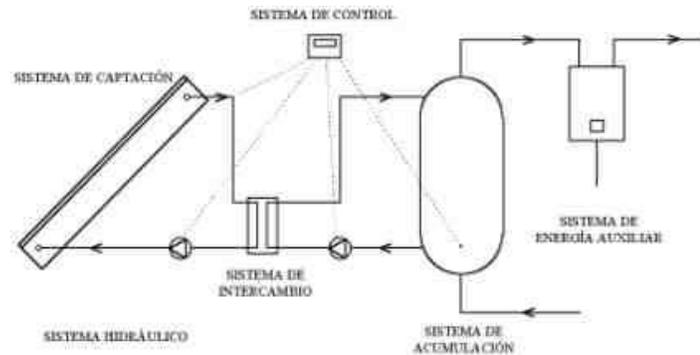


FIGURA 2.1 Sistema de colección de energía térmica solar.

Los colectores solares se dividen en dos grandes grupos³¹:

1. Los Colectores solares sin concentración.

De los cuales se pueden mencionar:

- Colector solar de placa plana
- Colectores de aire
- Colectores de vacío
- Tubos de calor
- Colectores cónicos o esféricos

2. Los Colectores Solares de Concentración:

- Concentradores cilíndricos
- Concentradores paraboloídes

A continuación se realizara una breve descripción algunos de ellos.

2.1 Tipos de colectores solares

Los colectores solares más utilizados en la actualidad son los colectores solares de placa plana pero llega a su mayor eficiencia en días totalmente soleados bajando su rendimiento en días nublados o con lluvia y prácticamente su eficiencia es mínima en climas donde hay nieve. Para lograr el aprovechamiento en estos casos se puede ocupar colectores de vacío que logran tener su mayor eficiencia en estos tipos de climas.

³¹ www.procobre.com

Tanto colectores de vacío como de placa plana alcanzan temperaturas no muy alta por lo que se han diseñado colectores que pueden alcanzar temperaturas más altas para mejorar la eficiencia de los colectores.

Para usos como generación de electricidad se requieren temperaturas muy altas por lo que la mejor opción son los concentradores solares.

A continuación se da una breve descripción de los colectores más utilizados en la actualidad.

2.1.1 Colector de placa plana

El colector de placa plana se suele integrar en los llamados sistemas de energía solar de baja temperatura, los cuales se caracterizan por emplearlo como elemento receptor de energía. Su uso principal es el calentamiento de agua para uso sanitario, siendo el sistema activo más simple.

El colector de placa plana está compuesto por seis elementos principalmente: la cubierta transparente, la placa captadora, el aislante, la carcasa, conductos de circulación para el medio de transferencia, selladores y juntas³².

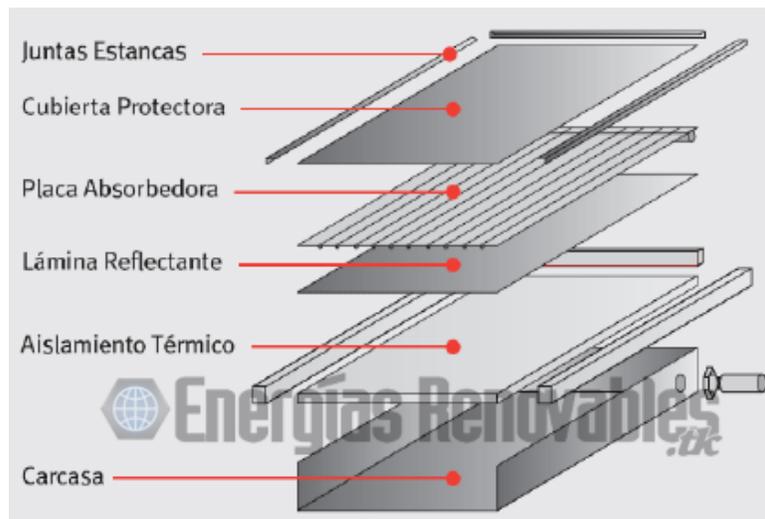


FIGURA 2.2 Partes de un colector de placa plana

a) Cubierta Transparente

Es la encargada de producir el efecto invernadero, reducir las pérdidas por convección y asegurar la transferencia del colector al agua y al aire, en unión con la carcasa y las juntas. El efecto invernadero logrado por la cubierta consiste en que una parte de la radiación que ha atravesado la cubierta y llega a la placa captadora es reflejada hacia la cubierta transparente, con una longitud de onda para la cual ésta es opaca, con lo que se consigue retener la radiación en el interior.

³² www.sc.ehu.es



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 puede usar 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 compleja cuanto más baja sea la temperatura exterior y más fuerte sea el viento.

Los principales materiales utilizados para la cubierta 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 dilatación lineal importante y mala resistencia a temperaturas elevadas. Además, sufren deterioro físico e inestabilidad química bajo la acción de los elementos exteriores.

Existen ciertos tratamientos que se le pueden realizar a la cubierta para mejorar sus propiedades como son:

-Tratamiento antirreflectante sobre la superficie exterior para disminuir las pérdidas por reflexión de los rayos solares 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.

b) Placa Captadora

Tiene por misión absorber de la forma más eficiente posible la radiación solar y transformarla en energía térmica utilizable mediante su transferencia al fluido portador de calor.

Existen diferentes modelos, de los cuales los más usuales son:

i) Dos placas metálicas de cobre separadas por unos milímetros, entre las cuales circula el fluido portador de calor.

ii) Placa metálica de cobre sobre la cual están soldados o embutidos los tubos por los que circula el fluido portador de calor. En lugar de una placa metálica se puede dotar de unas aletas de cobre a los tubos de cobre.

iii) Dos láminas de metal de cobre unidas a gran presión excepto en los lugares que forman el circuito del fluido portador de calor.

iv) Placas de plástico, usadas exclusivamente en climatización de piscinas.

La cara de la placa captadora que se expone al sol ha de estar protegida de los rayos solares por medio de:



- 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.

Es importante cuidar que esta placa tenga ciertas características las cuales se enuncian a continuación:

- 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 m^2 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 portador de calor 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 portador de calor 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 depende 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: Cubrir bien 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 la subida de presión debido a la conexión de la placa a la red, la pérdida de carga y el necesario llenado del circuito primario desde la red.
- La obstrucción del circuito primario: Debido a incrustaciones 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 térmico hacia el exterior. Las características de estos aislantes han de ser:

- Resistir altas temperaturas sin deteriorarse, lo que muchas veces se consigue 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 más usados son la fibra de vidrio, la espuma rígida de poliuretano y el poliestireno expandido. Cualquiera que sea el material escogido debe tener un coeficiente de dilatación compatible con el de los demás componentes del panel solar.

d) Carcasa

Es la encargada de proteger y soportar los elementos que constituyen el colector solar, además de servir de enlace con el edificio o estructura, por medio de los soportes. Debe cumplir los siguientes requisitos:

- Rigidez y resistencia estructural que asegure la estabilidad. Es de suma importancia ya que debe resistir la presión del viento.
- 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.
- 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.
- Ventilación del interior del colector para evitar la condensación del agua. Se realiza por medio de dos técnicas:

*Vacío en el interior del colector cuando éste está frío, para que la carcasa no esté sometida a una presión muy alta cuando el aire en su interior se caliente.

*Practicar unos orificios en la carcasa para permitir la ventilación del colector, así como la evacuación de la condensación. Los orificios se localizan en la parte posterior para evitar la entrada del agua de lluvia y la pérdida de aire caliente del interior del colector.

e) Juntas y selladores

La parte del colector que causa más molestias es la unión entre la cubierta y la carcasa. Por lo general, la carcasa tiene un índice de dilatación diferente al de la cubierta. Si fallan los selladores la humedad penetrará al colector, el vidrio se empañará y el aislamiento se despegará. Estos problemas pueden reducir notablemente el rendimiento del colector.



Hay muchas maneras de sellar satisfactoriamente la cubierta, aunque ningún método satisface todos los requisitos en todos los casos. Por lo cual las juntas y los selladores del colector deben tener las siguientes características:

- *Resistir la luz ultravioleta durante muchos años.
- *Resistir los efectos de la intemperie durante muchos años.
- *No endurecer ni volverse quebradizo.
- *Adherencia perfecta a todas las superficies.
- *Soporte de temperaturas entre -12°C y 204°C
- *Alargarse y contraerse de forma suficiente para soportar estos movimientos sin ser destruidos.

f) Conductos de circulación para el medio de transferencia

En el caso de los colectores planos en el cual circula líquido, el sistema de transferencia puede tener varias configuraciones, algunos de los tipos son los siguientes:

- Tubo en cinta. Con este método de producción, se estira una larga cinta metálica que lleva un tubo integrado. Un colector típico puede contener aproximadamente 30 m de tubo y cinta doblados en forma de serpentín, con los bordes de las aletas adyacentes atornillados mecánicamente o soldados entre sí. Tiene la desventaja de que los tubos son muy separados y de que solo hay un conducto que recorre todo el panel. Si llega a atascarse, el líquido dejara de circular. La eficiencia de las aletas tiende a ser baja.
- Tubo en panel. En esta configuración se estampa un patrón acanalado en una lámina de cobre o aluminio. Se coloca una segunda lámina sobre la primera y las dos se pasan por un laminador caliente para que se adhieran. Estas láminas se colocan entre dos prensas y se inyecta aire a muy alta presión para inflamar los canales. Este sistema se caracteriza por una gran flexibilidad de circulación. Variando el estampado se puede obtener cualquier configuración y tamaño de tubo para modificar la superficie mojada y la eficiencia de las aletas.
- Tubo sobre cinta. Con una soldadura con alto punto de fusión se une un tubo de metal a una cinta de absorción. Se sueldan varias cintas a los cabezales inferior y superior para formar un conjunto de elevadores paralelos.
- Tubo sobre panel. La técnica es similar a la del tubo sobre cinta. Tiene la ventaja de que, si se desea, se puede ensamblar previamente los cabezales y los elevadores para probarlos. La placa de absorción puede también ir extendida sobre el cabezal. Con frecuencia la placa recibe previamente la forma de los canales donde entraran los elevadores y los cabezales.
- Panel tipo oblea. Consiste en dos piezas de metal, generalmente aceros, soldadas en varios lugares. La construcción del panel resulta muy fuerte y el área mojada es muy grande (la mayor parte es ocupada por el flujo de transferencia). Sus desventajas son: el peso del acero, su tendencia a oxidarse con facilidad a menos que se proteja la superficie. Los paneles son pesados y su tiempo de respuesta es lento.
- Aleta en tubo. Se fija mecánicamente una aleta separada a los tubos elevadores. No hay unión metálica entre el tubo y la aleta de manera que se pueden presentar deficiencias en la transferencia



de calor. Si se producen en un determinado colector el resultado se reflejará en la eficiencia térmica. La aleta y el tubo son por lo general de metales diferentes.

- Tubos con aletas. En el diseño de tubos con aletas de aluminio en los elevadores de cobre los que luego se dilatan para establecer una unión mecánica firme. La radiación solar incide en las aletas las que actúan como trampas reflectoras que captan y retienen energía.

Funcionamiento:

El funcionamiento de un colector plano se describe de la siguiente forma; la radiación solar atraviesa la cubierta transparente y cae sobre la capa que cubre la placa de absorción. La capa absorbe la radiación y se convierte en energía utilizable. A su vez este calor es absorbido por el medio de transferencia en los conductos de la placa. Una bomba, conectada en el circuito del colector hace circular el fluido calentado hasta un trasmisor térmico. Este trasmisor forma parte de un circuito secundario de bombeo que toma el calor conducido por el fluido y lo transmite a un tanque de almacenamiento, que es usado para calentar el ambiente o un sistema precalentador de agua. Así, el fluido caliente se puede retirar del colector para ser sustituido por líquido más frío³³.

Si se expone un colector al sol sin circulación de fluido en su interior, la temperatura de la placa captadora o de absorción irá aumentando progresivamente. Dicha placa irá almacenando el calor al mismo tiempo que tendrá unas pérdidas, debido a los fenómenos de conducción, convección y radiación, las cuales aumentan con la temperatura.

Llega un momento en que las pérdidas se equiparan a la energía que recibe la placa del sol y la temperatura se estabiliza, alcanzándose la denominada temperatura de equilibrio estática, que depende de las condiciones exteriores a las que esté sometida la placa (cuanto más frío sea el ambiente y más viento haya, más baja será ésta).

Si en ese momento se hace circular un fluido por el colector, éste recibirá el calor de la placa captadora e irá aumentando la temperatura. Por el contrario, la temperatura de la placa disminuirá.

Manteniendo la circulación del fluido estacionaria o constante, llegará un momento en que se alcance una nueva temperatura de equilibrio llamada temperatura de equilibrio dinámica, la cual es siempre inferior a la estática.

La máxima temperatura que un colector instalado puede alcanzar es la temperatura de equilibrio estática, que es necesario conocer por dos razones:

- a) Será la temperatura que la instalación solar alcanzará cuando esté parada.
- b) La temperatura máxima teórica de utilización de la instalación será siempre inferior a la temperatura de equilibrio estático.

³³ www.quimica.urv.es

2.1.2 Tubos de vacío y tecnología Heat Pipe

Este sistema se basa en un fenómeno llamado principio de concentración, necesitando de una superficie curva que a su vez sea reflectante para poder recibir la radiación. De esta forma los rayos acaban concentrándose en la parte central del colector, alcanzando temperaturas mayores a las obtenidas por los colectores de placa plana. Este circuito consiste en unas cámaras cilíndricas de vidrio con un fluido portador de calor en su interior.

El colector de energía solar de vacío de flujo directo, se caracteriza por tener la tubería soldada a la placa absorbidora dividida en dos mediante una placa de cobre, de manera que por una parte del tubo entra el circuito primario y por la otra sale, calentándose durante el recorrido.

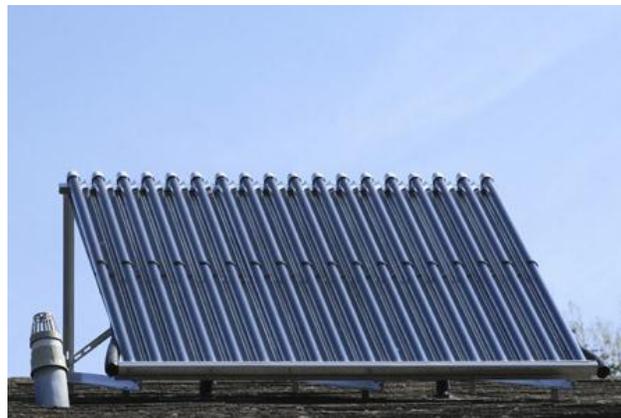


FIGURA 2.3 Colector solar de tubos de vacío

La placa colectora y el tubo del traspaso térmico son sellados al vacío dentro de un tubo de cristal. Esto proporciona un aislamiento excepcional y lo protege perfectamente de los agentes atmosféricos que pueden deteriorarlo o desgastarlo con el tiempo, tales como la humedad y la contaminación. Este aislamiento asegura una pérdida de calor mínima, lo que supone un altísimo rendimiento, incluso en las condiciones más adversas.

Los colectores de tubo de vacío de flujo directo tienen la ventaja de poder adoptar una posición tanto horizontal como vertical sin mermar su rendimiento ya que el tubo puede rotar sobre su eje inclinándose el sistema de absorción de la manera más adecuada.

Tubo evacuado simple

Este sistema es únicamente utilizado en calentadores solares termosifónicos. Son tubos evacuados ensamblados directamente con el depósito acumulador y que por lo tanto contienen agua.

En la pared interior del tubo evacuado se sitúa una capa de color oscuro de material absorbente. Cuando la radiación solar incide sobre la capa de material absorbente se transforma en calor y eleva la temperatura del agua que está en contacto con él. El agua calentada se eleva por convección y comienza a ascender siendo reemplazada por agua fría que a su vez se calienta y reinicia el proceso.

Este tipo de tubo de vacío ofrece la ventaja de tener las ya comentadas escasas pérdidas de calor y los inconvenientes de ser muy sensible a la presión y de no ofrecer ninguna protección contra las bajas temperaturas, no siendo posible su utilización en zonas con inviernos fríos sin la inclusión de un calentador eléctrico que caliente el agua del depósito cuando esta alcanza temperaturas muy bajas.

En caso de baja temperatura la dilatación del agua al congelarse puede reventar los tubos y arruinar el equipo³⁴.

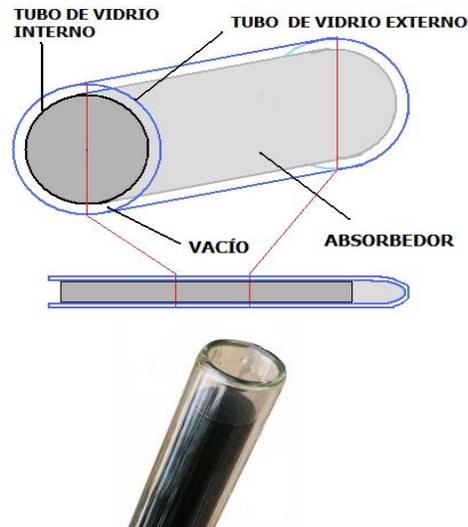


FIGURA 2.4 Tubos evacuado simples

Tubo de vacío de flujo directo

Esta tecnología se emplea tanto para colectores exentos como para calentadores solares compactos con depósito integrado. Los colectores de tubo de vacío de flujo directo colocan en el interior del tubo evacuado una plancha de material absorbente adecuado que hace las veces de absorbedor transformando la radiación solar en calor. El absorbedor es recorrido en su superficie por un tubo con flujo directo en el que circula un fluido que eleva su temperatura en contacto con él.

Algunos colectores con esta tecnología aplican un sistema parabólico concéntrico alterando la forma del absorbedor que adopta una forma semicilíndrica para poder captar la energía solar de la forma más eficiente posible por la parte trasera.

Los colectores de tubo de vacío de flujo directo tienen la ventaja de poder adoptar una posición tanto horizontal como vertical sin mermar su rendimiento ya que el tubo puede rotar sobre su eje inclinándose el absorbedor de la manera más adecuada.

Tiene la ventaja además de ser utilizable en áreas frías ya que permite usar las estrategias contra la congelación de uso general en la energía solar térmica³⁵.

³⁴ www.sitio solar.com

³⁵ www.sitio solar.com

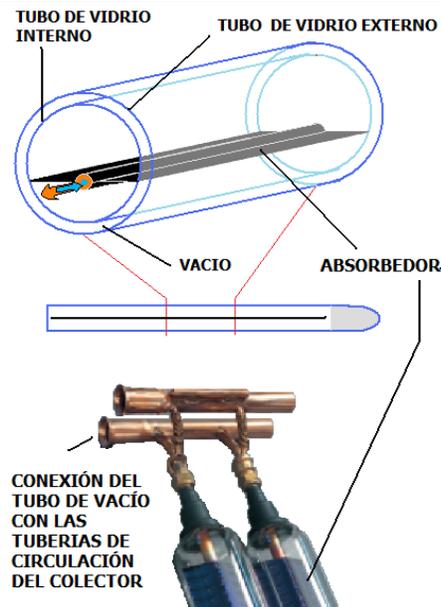


FIGURA 2.5. Tubo de vacío de flujo directo

Tubos al Vacío con Tecnología Heat Pipe

Existe otro tipo de tubos de vacío denominados “Heat Pipe”, son considerados los “Superconductores del calor” debido a su muy baja capacidad calorífica y a su especial conductividad. El tubo Heat Pipe consiste en un cilindro de metal hueco, cerrado en sus extremos y sometido a vacío, cuyo interior contiene una pequeña cantidad de un fluido, normalmente una mezcla de agua-glicol, que funciona como medio transmisor del calor.

Las características principales de los tubos de vacío tipo Heat Pipe son³⁶:

- Está aislado del exterior por una capa de vacío entre dos de vidrio proporcionando así el mejor aislamiento térmico posible.
- Coeficiente de pérdidas varias veces menor que el de un colector plano estándar, de hasta un 35% más que un colector plano bajo condiciones climáticas adversas de baja temperatura y baja radiación. Esta es una gran ventaja que hace que se mantenga el rendimiento a lo largo del año.
- Unión seca. El fluido portador de calor nunca entra en contacto con el Heat Pipe, ofreciendo una gran robustez del sistema. Además se pueden montar y desmontar tubos con la instalación presurizada.
- Los tubos Heat Pipe nunca emitirán calor al ambiente, ya que la transferencia de calor se realiza siempre en un solo sentido, desde el absorbedor hacia el agua, y nunca al revés.
- Limitación de la temperatura: El ciclo de evaporación/condensación se detiene cuando se alcanza la temperatura crítica del fluido vaporizante evitando aumentos incontrolados de temperatura.

³⁶ www.juncoop.com

- Menor volumen de fluido primario por el colector en comparación con los paneles planos: El circuito tiene menos volumen total y consecuentemente el peligro de sobrepresiones disminuye.
- Los colectores de tubo de vacío con tecnología Heat Pipe tienen la ventaja de no sufrir pérdidas por la noche ya que el proceso de transferencia de calor no es reversible (es decir el fluido caliente o el calor no puede pasar del acumulador al tubo y por lo tanto perderse).
- Cada tubo es independiente, pudiéndose cambiar en pleno funcionamiento del sistema.
- Es altamente resistente a las heladas.

Dado que también pueden girar sobre su eje los tubos, existe la posibilidad de que adopten posiciones verticales y horizontales al igual que ocurre en los sistemas de flujo directo, aunque en este caso habrá que respetar una inclinación mínima del largo del tubo para permitir que el fluido una vez licuado pueda descender por gravedad.

Los colectores de tubo de vacío, al tener muy pocas pérdidas, ofrecerán un rendimiento claramente superior en climas muy fríos. Además este tipo de colectores es capaz de aprovechar la radiación difusa que suele darse en los días de nublados ligeros.

Los colectores de tubo de vacío son especialmente apropiados para climas muy fríos y parcialmente nubosos, ya que son capaces de aprovechar niveles de radiación muy bajos, incluso en situaciones de nubosidad. Por el contrario no es aconsejables en zonas de clima cálido y mediterráneo, ya que en temporada de verano disminuye su rendimiento. Otro inconveniente es el costo superior frente a los colectores planos.

Descripción de su funcionamiento

En los colectores solares de tubos al vacío el intercambio de calor se realiza mediante la utilización de un Tubo de Calor, que consiste en un tubo hueco de cobre, cerrado por los dos extremos, sometido al vacío y con una pequeña cantidad de fluido vaporizante en su interior.



FIGURA 2.6 Funcionamiento de colector solar de tubos de vacío con tecnología Heat Pipe

Cuando se calienta la parte del tubo donde se encuentra el fluido, éste se evapora absorbiendo el calor latente de vaporización. Este vapor se desplaza hasta alcanzar la parte superior del tubo o condensador (zona de transferencia de calor) que se encuentra a menor temperatura, produciéndose allí su condensación y la consiguiente liberación de calor latente asociado a este cambio de estado. El líquido condensado retorna por capilaridad, debido a la acción de la gravedad, luego el ciclo de evaporización-condensación se repite.

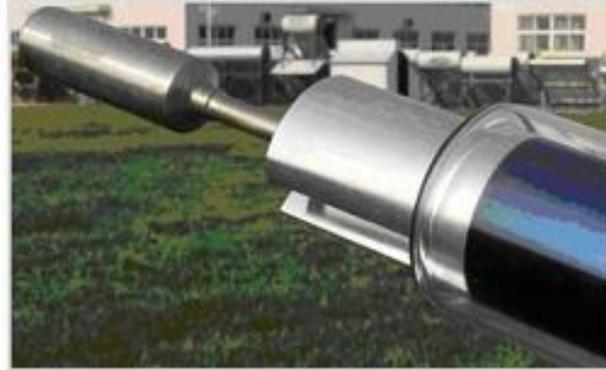


FIGURA 2.7 Tubo de vacío con tecnología Heat Pipe.

A los tubos de calor se les suele llamar los superconductores de calor, ya que cuentan con una capacidad calorífica muy baja y una conductividad excepcional (miles de veces superior a la del mejor conductor sólido del mismo tamaño). Su uso está muy extendido y se pueden encontrar colectores de tubos al vacío Heat Pipe en industrias, hoteles, residencias y en general entidades que utilicen agua caliente sanitaria o requieran calentar cualquier tipo de fluido, dada las características de transferencia de energía indirecta mediante un circuito primario que posee la tecnología Heat Pipe³⁷.

Hay que señalar que este tipo de colectores deben instalarse con una inclinación entre 15° y 90°, a fin de garantizar la recirculación de los condensados del fluido de vaporización.

2.1.3 Concentradores

Son dispositivos en los que se obtiene alta densidad de energía sobre un sistema de absorción de la radiación concentrada, suficiente para lograr temperaturas mayores de 200 °C, pudiéndose llegar arriba de 3000 °C. Para lograr altas concentraciones se requieren mecanismos muy precisos para seguir el movimiento del sol.

Los concentradores estacionarios se caracterizan por su concentración mayor a 1 y menor a 10; no requiere un seguimiento preciso sino sólo un ajuste ocasional a lo largo del año. En cambio, los concentradores con razón de concentración dentro del intervalo de 10 a 3000 necesitan que sus curvas geométricas sean muy precisas al igual que su mecanismo seguidor.

Características de los concentradores

La cantidad de energía colectada por unidad de área sobre la superficie de absorción se aumenta, con la cual se pueden alcanzar altas temperaturas aprovechables en algún ciclo termodinámico o en dispositivos termodinámicos, termoeléctricos, magnetohidrodinámicos u otros.

³⁷ Energiasolarceuta.blogspot.com

Reduciendo las pérdidas de calor al utilizar un sistema de absorción de menor área no sólo se mejoran las eficiencias térmicas sino que también se reducen efectos transitorios, ya que la masa térmica es mucho más pequeña que en colectores planos.

Los costos se reducen al remplazar un sistema de absorción costoso por un área reflectora o refractora menos costosa.

Trabaja sólo con la componente directa de la radiación solar; el criterio de selección de estos sistemas debe incluir características geográficas, quedando restringida su utilización a lugares de alta insolación.

La calidad óptica de la superficie reflectora requiere principalmente mantenimiento y protección contra la intemperie para periodos de exposición prolongados.

Cuanto más alta es la temperatura a la cual la energía va a ser entregada en un concentrador, mayor deberá ser la razón de concentración; para lograr esto, la geometría del concentrador necesita ser lo más precisa posible, así como del sistema que permite seguir al sol.

Tipos de concentradores

Los concentradores se pueden clasificar según las siguientes características:

- Temperatura de operación
- Exactitud en el seguimiento aparente del sol
- Tipos de seguimiento que pueden ser de un solo eje o biaxial.

Concentradores estacionarios

Los concentradores menos complejos son los que no requieren seguimiento continuo del sol; estos tienen un ángulo de recepción grande, concentración baja y diseño con base en alguna curvatura sencilla; su orientación debe ser en dirección este-oeste a fin de obtener mejor aprovechamiento de los ángulos de recepción; las concentraciones pueden llegar hasta 10 con un tiempo de captación del orden de 7 horas, con un ajuste una vez al día.

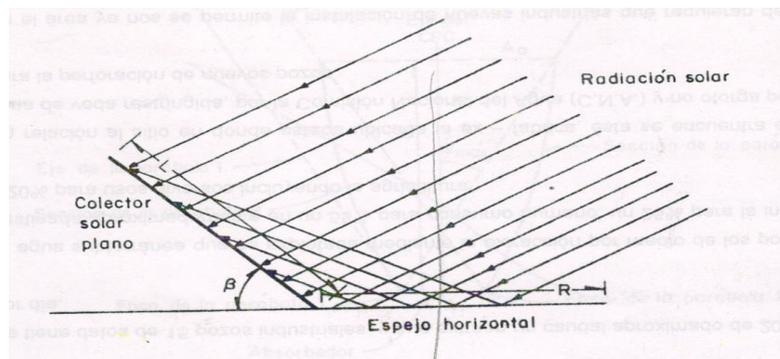


FIGURA 2.8 Concentrador estacionario de energía térmica solar

Los concentradores estacionarios de mayor capacidad son los llamados parabólicos compuestos. Están formados por dos segmentos parabólicos simétricamente colocados alrededor de un eje. El foco de cada

parábola se localiza en el extremo de la superficie de absorción coincidente con la parábola opuesta. El ángulo de cada eje de la parábola proporciona el ángulo de recepción del concentrador.



FIGURA 2.9 Concentrador estacionario parabólico compuesto

Otro tipo sencillo de concentradores se puede construir con dos espejos en forma de V. Con este sistema es factible obtener una concentración hasta de el triple comparándolo con la concentración en una sola placa. A este tipo de colectores se le puede añadir más espejos para mejorar la eficiencia.

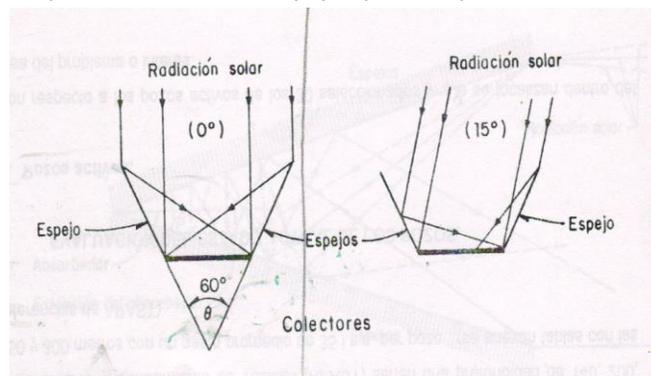


FIGURA 2.10 Concentrador estacionario con espejos en V

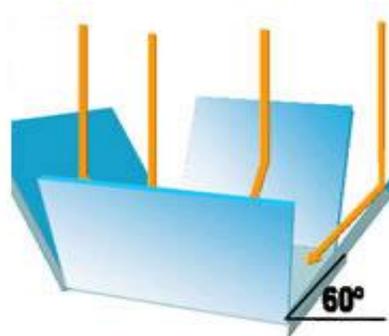


FIGURA 2.11 Concentrador estacionario con cuatro espejos



En la siguiente tabla se muestran varios intervalos de temperaturas con concentradores estacionarios:

Concentrador estacionario	Temp. máx.de operación, en °C	característica	concentración
Concentrador parabólico compuesto fijo	100 a 120	Sin vacío	1.5 a 2
Concentrador parabólico compuesto con 2 ajustes de inclinación por año	160 a 200	Con vacío	3 a 4
Concentrador parabólico compuesto con ajuste diario	180 a 250	Con vacío	3 a 10
Espejos en V con 2 ajustes de inclinación por año	120 a 150	Con vacío	2 a 3
Espejos en V con ajuste diario de inclinación	140 a 180	Con vacío	3 a 4

Tabla 2.1 Rangos de temperatura y concentración de colectores estacionarios³⁸.

Concentradores con seguimiento continuo

Cuando se necesitan concentraciones mayores de 10 por periodos diarios de 6 horas o más a lo largo de todo el año, se requieren sistemas con seguimiento solar. Existen dos tipos diferentes de concentradores al respecto: los de curva simple o concentradores cilíndricos, ya sean con curvatura circular o parabólica, y los de curvatura compuesta, o tipo platillos como los paraboloides de revolución y los casquetes semiesféricos. Los concentradores de curva simple necesitan mecanismos seguidores con un grado de libertad, y los de curvatura compuesta dos grados de libertad mecánica.

En estos sistemas, el seguimiento del sol se hace generalmente a través de sensores fotosensitivos que envían una señal de naturaleza eléctrica a un sistema electrónico y un servomecanismo.

Concentradores con curvatura sencilla

Uno de los sistemas más desarrollados es el concentrador cilíndrico parabólico. En los cuales el sistema de absorción y el concentrador pueden o no girar simultáneamente; el objetivo principal es que exista un buen enfoque sobre el tubo sistema de absorción que se encuentra a lo largo del foco de la parábola.

Las concentraciones en dichos sistemas están en el intervalo de 15 a 50 y las temperaturas de trabajo alcanzables están entre 200 y 350 °C³⁹.

Estos sistemas pueden operar con orientación N-S, E-W, o polar. Conforme su orientación, el movimiento angular necesario para seguir el sol será más lento o más rápido. En el caso del movimiento N-S, el movimiento es alrededor de 15°/h, en tanto que en E-W el movimiento alrededor de mediodía es mínimo. La selección de la orientación dependerá de la cantidad de energía requerida a lo largo del día y a lo largo del año.

³⁸ Concentradores solares. Series del Instituto de Ingeniería

³⁹ Concentradores solares. Series del Instituto de Ingeniería



FIGURA 2.12 Concentrador cilíndrico parabólico

Las pérdidas por reflexión debido al reflejo de los espejos es de 115%; estas pérdidas no se pueden eliminar, ya que sería difícil fabricar espejos baratos con mejores características ópticas. Las pérdidas por el factor de forma son las que se deben a la conservación de una buena geometría durante la construcción de cilindros parabólicos; este factor puede empeorar a lo largo del tiempo si la geometría se deforma.

Un aspecto muy importante en el funcionamiento de un concentrador es el sistema de absorción. Como intento inicial para fijar el diámetro del sistema de absorción, es apropiado tratar de captar toda la energía reflejada por el espejo parabólico. El diámetro del receptor dependerá del tamaño angular del sol, magnitud del error cometido en el seguimiento, error de la curva del espejo, irregularidad de la superficie reflejante y de la absorción angular característica de la superficie receptora.

Las pérdidas térmicas son directamente proporcionales al diámetro del receptor, y se tiene que buscar el menor diámetro posible para reducir dichas pérdidas, es necesario seleccionar un ángulo de borde para el espejo de tal forma que se logre minimizar la distancia máxima de la superficie reflejante al foco. El cono de radiación aumenta su selección circular conforme se incrementa la distancia reflector-receptor, ya que esta aumenta al irse alejando del foco; es por esto que se requiere minimizar la distancia reflector-receptor. Un ángulo de borde de 90° minimiza dicha distancia.

Cuando la apertura del concentrador se conoce, el diámetro del receptor se puede calcular tomando en cuenta las características ópticas del espejo.

Una vez que la radiación solar llega al sistema de absorción, es importante sea captada en la mayor medida posible, por eso es necesario cubrir el sistema de absorción con sustancias de alta absorción. Aunque distintas pinturas negras tienen esa condición, su emisividad también es muy alta, de ahí que se requieran materiales que al mismo tiempo reduzcan las pérdidas por radiación infrarroja. Los materiales que tienen alta absorción de radiación solar y baja emisividad para la radiación infrarroja se llaman películas selectivas, algunos ejemplos son el CuO , Fe_3O_4 y Cr_2O_3 .

Otro tipo de pérdidas importantes en estos concentradores son las debidas a la convección y conducción de calor al medio ambiente, por lo que es necesario reducirlas mediante encerrar el tubo de absorción dentro de tubos de vidrio y bajar la presión del sistema de absorción y la envolvente.

Concentradores con curvatura compuesta

Para concentraciones arriba de 50 es necesario utilizar sistemas de curvatura compuesta, como lo son los reflectores paraboloides de revolución o los casquetes semiesféricos. Idealmente estos sistemas funcionan durante todo el día con una incidencia de la radiación normal a su apertura, a excepción del sistema conocido como reflector esférico estacionario con sistema de absorción móvil (SRTA).

Paraboloides de revolución

Los espejos parabólicos son las únicas superficies que mantienen una distancia focal constante desde el vértice del propio espejo.

El paraboloide de revolución es una superficie producida al girar una parábola alrededor de su eje óptico.

En este tipo de concentradores se pueden alcanzar concentraciones de 500 a 3600. Debido al tamaño finito de la energía solar que llega a la tierra y a imperfecciones en la construcción de espejos, el foco en sistemas de este tipo no es puntual. Las temperaturas que se han logrado alcanzar en estos sistemas van desde los 500 °C hasta temperaturas arriba de los 2000°C⁴⁰.

Debido a que el área del sistema de absorción es reducida, las pérdidas térmicas son pequeñas y principalmente por radiación; generalmente no es necesario utilizar cubiertas en el sistema de absorción para evitar efectos de convección.

El funcionamiento de un paraboloide de alta concentración es mucho más sensible a las propiedades ópticas del sistema que a las pérdidas térmicas.



FIGURA 2.13 Concentrador dinámico de paraboloides de revolución

Sistema reflector esférico estacionario con sistema de absorción móvil (SRTA).

Este sistema se basa en un espejo a base de un casquete semiesférico que efectúa el enfoque sobre un sistema de absorción lineal de tamaño apreciable, colocado paralelo a la radiación incidente.

⁴⁰ Concentradores solares. Series del Instituto de Ingeniería

Dado que el espejo es estacionario en este tipo de concentradores, se pueden construir unidades grandes con relativa facilidad. Además, se reducen en gran medida las pérdidas que ocurren al transportar la energía térmica, y los costos de instalación y bombeo del fluido de trabajo.

Una de las desventajas de este sistema es la llamada pérdida por el coseno del ángulo de incidencia de la radiación solar. Ya que la apertura de este concentrador no sigue al sol, la componente directa de la radiación solar es proporcional al coseno del ángulo entre los rayos solares y la normal al plano de apertura, o sea al ángulo de incidencia, el cual depende de la latitud del lugar y la orientación del espejo, y varía con la hora del día y la época del año. Dado que las pérdidas de absorción por convección y radiación son constantes para una temperatura dada, la eficiencia del sistema depende del ángulo de incidencia, por lo que resultan adecuados en regiones de baja latitud.

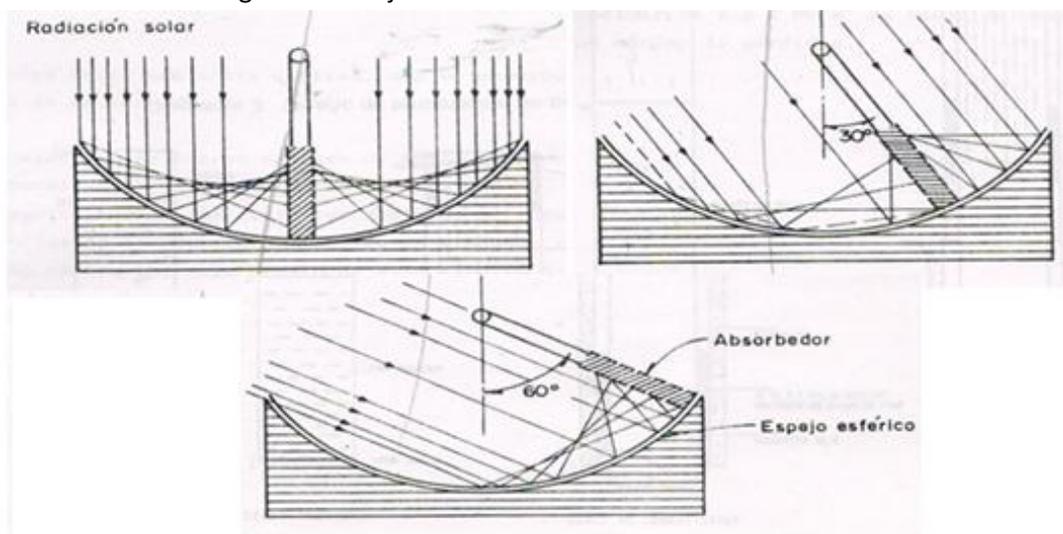


FIGURA 2.14 Sistema reflector esférico estacionario con sistema de absorción móvil (SRTA).

Con excepción de la torre central, otros tipos de concentradores consisten en muchos colectores pequeños que sufren pérdidas térmicas y mecánicas al transportar los fluidos de trabajo.

Sistemas de torre central

Son utilizadas para generar altas potencias, del orden de MW. Consiste en un conjunto de heliostatos que reflejan la radiación solar directa hacia una torre central, con un sistema de absorción colocado en la parte alta de la torre.

En dichos sistemas se logran razones de concentración máxima de 300 y temperatura en el intervalo entre 500 y 2000 °C. El arreglo del sistema de torre central evita instalar gran cantidad de tuberías para cubrir grandes distancias de transporte del fluido de trabajo, reduciendo así las pérdidas de calor. El mayor costo de este tipo de instalación se debe a la gran cantidad de heliostatos que siguen al sol y a que el sistema de absorción debe ser capaz de recibir de 1 a 2 MW/m² de flujo de energía solar y transferir el calor con mínimo de pérdidas⁴¹.

⁴¹ Concentradores solares. Series del Instituto de Ingeniería



FIGURA 2.15 Sistemas de torre central

2.2 Uso de colectores solares para acondicionamiento térmico de agua de alberca

Los requerimientos de temperatura de una alberca van, dependiendo de su uso, desde los 22°C en una alberca deportiva hasta los 30°C en una alberca recreativa. Mantener la temperatura dentro de estos límites requiere de grandes cantidades de energía. Debido a esto y al constante incremento de precios de la principal fuente de energía empleada, que son los hidrocarburos, muchos de los usuarios de sistemas tradicionales (calderas y/o calentadores de gas) para el calentamiento de sus albercas, han dejado de utilizarlos.

Cuando las albercas no cuentan con algún tipo de calentamiento auxiliar sólo tienen una temperatura confortable en algunos meses del año, y rara vez se encuentran lo suficientemente tibia durante la tarde o muy temprano, por la mañana.

Esto ha traído como consecuencia que se tengan que buscar nuevas alternativas de uso de energía y se ha encontrado que el uso de la energía solar encuentra aquí un campo de aplicación muy interesante, ya que la utilización de la energía solar en forma adecuada y eficiente puede suministrar toda la energía que se necesita para mantener la temperatura de la alberca dentro de un rango aceptable⁴².

Esta es una de las aplicaciones en donde el costo del equipo solar es equiparable con el de los sistemas tradicionales. Si también se toma en cuenta que la energía solar es gratuita y que no contamina, la opción por el uso de energía solar para el calentamiento de albercas se hace mucho más atractiva e interesante, ya que calentar el agua de la alberca con una fuente de energía fósil convencional supone un tremendo derroche de recursos, ya que para lograrlo es necesario emplear una gran cantidad de combustible.

El combustible empleado para calentar el agua de las albercas es muy caro y se emiten grandes cantidades de CO₂, perdiéndose el calor además con gran rapidez. Muestra de lo importante de ese derroche es que en muchos países está totalmente prohibido el uso de energías convencionales para calentar albercas, estando sólo permitidas para este fin las energías renovables o las residuales de otras aplicaciones.

⁴² www.química.urv.es

La climatización de albercas es probablemente la aplicación solar más extendida en México. El clima suave del país hace que incluso en los meses considerados de invierno la temperatura diurna en las horas centrales permita el uso de la alberca. Sin embargo es frecuente que el agua en esos meses se encuentre demasiado fría para que el baño sea placentero. Por ello en muchos lugares se opta por instalar calefacción solar en la alberca para calentar el agua a una temperatura de entre 22 y 30 °C. En Chile y en Argentina sólo quizá en las regiones cálidas del Norte sea posible el uso de la alberca durante todo el año. En cambio en las zonas centrales la época de utilización de la alberca se restringe al verano. Mediante la calefacción solar de la alberca se puede ampliar la estación de baño desde Septiembre hasta Abril en las zonas centrales. En España el uso de la alberca queda restringido al verano (con la excepción de Canarias, donde se puede usar durante todo el año). Con los sistemas solares se puede ampliar el uso de la alberca desde Junio a Septiembre⁴³.

El rendimiento de estas instalaciones suelen ser de los más altos de la energía solar ya que sólo tenemos que elevar la temperatura del agua máximo hasta los 30°C, lo que supone un salto térmico bajo en los cuales los colectores solares trabajan con un rendimiento muy alto. En cambio en otras aplicaciones en las que necesitemos temperaturas más altas el rendimiento es sensiblemente más bajo.



FIGURA 2.16 Colectores solares de placa plana para calentamiento de albercas.

Principios básicos de la climatización de albercas

El agua es una sustancia que tiene un gran poder calorífico lo que significa que para lograr que alcance una determinada temperatura es necesario suministrarle una gran cantidad de energía. Por otro lado el agua tiene tendencia a conservar la energía con mayor facilidad que otras sustancias. A esto se le denomina inercia térmica. En comparación con el aire el agua necesita alrededor de 5 veces más energía que el aire para subir 1 °C de temperatura, tardando también mucho más tiempo en perder esa energía.

Las albercas son espacios situados en muchas ocasiones al aire libre con lo que el agua tiene una gran superficie en contacto directo con el aire exterior por el que se pierde una gran cantidad de energía. En el caso de albercas cubiertas este factor es diferente, reduciéndose las pérdidas a través de la superficie en un grado muy importante.

Las formas por las que una alberca puede perder energía calorífica son las siguientes:

⁴³ Sitiosolar.com

Evaporación. En todas las superficies de contacto aire-agua ocurre este fenómeno independientemente de la temperatura a la que nos encontremos. El agua al evaporarse absorbe calor que toma de la masa de agua que se queda en estado líquido, lo que provoca que esta se enfríe. Tendremos una mayor o menor evaporación dependiendo de la humedad y temperatura de la atmósfera, siendo muy importante la exposición al viento de la alberca, ya que suele ser el factor que más provoca la evaporación.

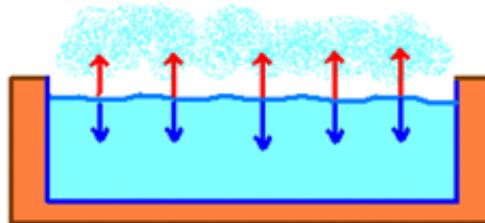


FIGURA 2.17 Evaporación de agua de alberca

Radiación. Es el calor que pierde el agua de la alberca por irradiación a la atmósfera. Las noches frescas de cielo raso (sin una nube) son las más propensas a que ese calor se pierda. En el caso de albercas cubiertas las pérdidas por radiación se reducen en gran medida.

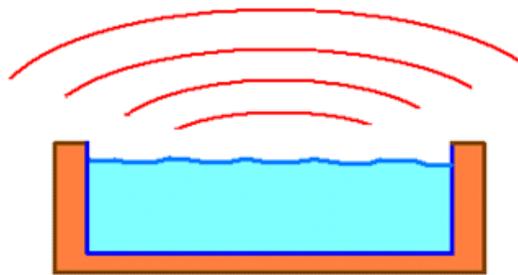


FIGURA 2.18 Radiación de calor de agua de alberca

Conducción. La conducción de calor es un mecanismo de transferencia de energía térmica entre dos sistemas basado en el contacto directo de sus partículas sin flujo neto de materia y que tiende a igualar la temperatura dentro de un cuerpo y entre diferentes cuerpos en contacto por medio de ondas. En este caso la conducción va del agua hacia las paredes de la alberca debido a que el agua se encuentra a una temperatura mayor que las paredes de la alberca.

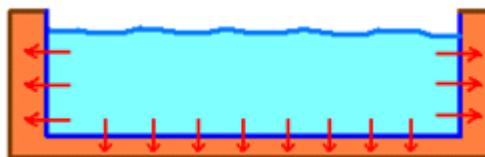


FIGURA 2.19 Conducción de calor de agua de alberca a paredes

Convección. Pérdida que se da sólo en albercas descubiertas al estar en contacto el agua cálida con el aire más frío. Ya que el agua calienta el aire frío y este al disminuir su densidad sube en la atmósfera, mientras que el aire que estaba sobre él baja, ya que tiene mayor densidad, el aire que baja y entra en contacto con la superficie del agua se calienta y sube nuevamente para darle su lugar a aire más frío; este movimiento de aire produce pérdidas térmicas en la alberca.

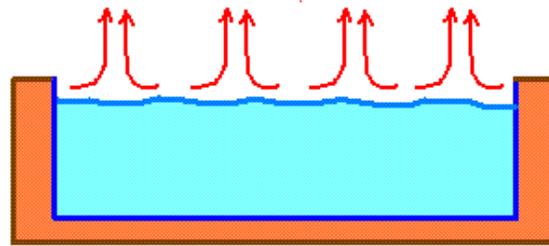


FIGURA 2.20 Convección de aire en alberca

Renovación. Una alberca generalmente pierde agua ya sea por evaporación, por fugas o por derrame, por lo que se necesita recuperar esa agua perdida. La renovación del agua de la alberca normalmente se hace con agua más fría de la temperatura deseada lo que produce una pérdida térmica en la alberca.

Ganancias. Las ganancias de energía en la alberca están siempre relacionadas con la luz del Sol que reciba, cuantas más horas de sol reciba más ganancia de calor tendrá. Siendo muy importantes las sombras que se proyecten sobre la alberca a distintas horas del día.

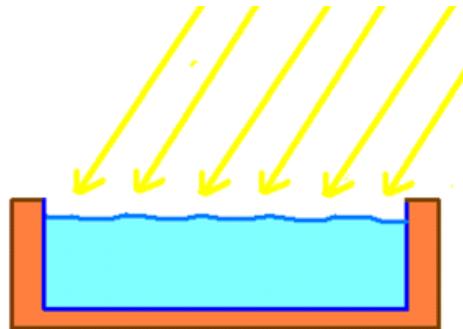


FIGURA 2.21 Radiación solar a agua de alberca

Las pérdidas de calor se calculan al hacer la suma directa de pérdidas por evaporación, radiación, conducción convección y renovación menos las ganancias.

Para hacer el diseño de un sistema de calefacción para albercas es necesario tomar en cuenta estos factores ya que ellos determinarán que tipo de calefacción que se requiere y cuanta energía es la que se necesita para alcanzar la temperatura deseada de la alberca.

Las recomendaciones para los sistemas de calefacción de alberca a partir de colectores de energía térmica solar⁴⁴ son:

- La superficie requerida para el colector solar varía entre el 50 y el 100% de la superficie de la alberca. Las variables que determinan su tamaño son: eficiencia del colector, ubicación del mismo (orientación, viento) y las preferencias del dueño.
- Lo ideal es que el colector mire al sur o norte y tenga una inclinación respecto de la horizontal de unos 20 a 32 grados.

⁴⁴ www.epsea.org



- Albercas instaladas dentro de la casa, para uso durante todo el año, necesitan colectores cerrados planos, con cubierta de vidrio y deben tener una inclinación entre 35 y 45 °.
- Ya sea por una mala orientación o porque la superficie del techo no es suficiente, puede forzar la instalación de los colectores a nivel de tierra, usando una estructura que se ubica cerca de la alberca.
- En regiones muy frías la mayoría de los colectores comerciales requieren que se los drene completamente cuando llega el invierno, para evitar problemas de congelación.
- Pintar toda la cañería de PVC para defenderla de los rayos ultravioletas.
- Para evitar el uso de sistemas automáticos de alto costo es preferible la activación manual del sistema o el uso de un reloj activador (timer).

Elementos utilizados en las instalaciones para calentamiento de albercas⁴⁵

Colectores solares

Para las instalaciones de calentamiento de albercas por energía solar se pueden emplear colectores solares de placa plana y colectores solares específicos de albercas. No es recomendable usar los de tubo de vacío ya que en ese rango de temperaturas el rendimiento es inferior y su costo es mucho más elevado.

En general un sistema de calentamiento de agua de alberca consta de varios sistemas que trabajan en conjunto para hacer la función de control, climatización, limpieza y demás características de la alberca. En general se pueden mencionar a grandes rasgos los siguientes sistemas:

Sistema de colección de calor (Colectores solares de placa plana).

Como ya se ha visto en subtemas anteriores estos colectores son los más habituales en las instalaciones de energía solar. Están compuestos por una caja cubierta por un vidrio para provoca el efecto invernadero. En el interior de la caja se coloca un sistema de absorción de color negro que transforma la radiación solar en calor. El agua circula por unos tubos adheridos al sistema de absorción y elevan su temperatura.

Sistema de conducción

Los conductos a emplear son normalmente de PVC o de polipropileno aunque pueden ser de cualquier material que soporte la corrosión que el agua pueda ocasionar. Técnicamente se puede usar cualquier tipo de conducción empleado en plomería, incluso sin necesidad de aislante.

Sistema de circulación (Bomba de circulación).

Elemento encargado de tomar el agua de la alberca y bombearla a través de los colectores para que se caliente. En determinados casos, si la potencia es suficiente, es posible utilizar la misma bomba que sirve para depurar la alberca. En otros casos será necesario emplear una bomba independiente.

Sistema de control

Conjunto de termopares o sensores eléctricos que paralizan automáticamente la bomba en los momentos en que los colectores no reciben suficiente radiación solar (por tiempo nublado o por ser de noche). De esta manera se aprovecha al máximo la energía solar así como se mantiene la bomba funcionando sólo el tiempo necesario. También se puede tomar en cuenta un rango superior de

⁴⁵ Sitiosolar.com

temperatura para que en días demasiado soleados la bomba deje de funcionar cuando se llegue a la temperatura máxima.

Sistemas de conservación de energía

Manta térmica. Elemento muy recomendable. Consiste en una manta de material plástico aislante que recubre la alberca en los momentos desfavorables (noches y momentos de temperaturas bajas) reduciendo muy considerablemente las pérdidas térmicas. Con el empleo de la manta térmica se reduce en buena medida el número de colectores necesarios, resultando la instalación más económica aunque el mantenimiento es más complicado.

Sistema de tratamiento de agua

El uso de un sistema de tratamiento y filtros de agua es importante para el sistema de calefacción de agua de alberca, ya que evita la corrosión, el desgaste o mal funcionamiento de este, alargando así la vida útil del sistema.

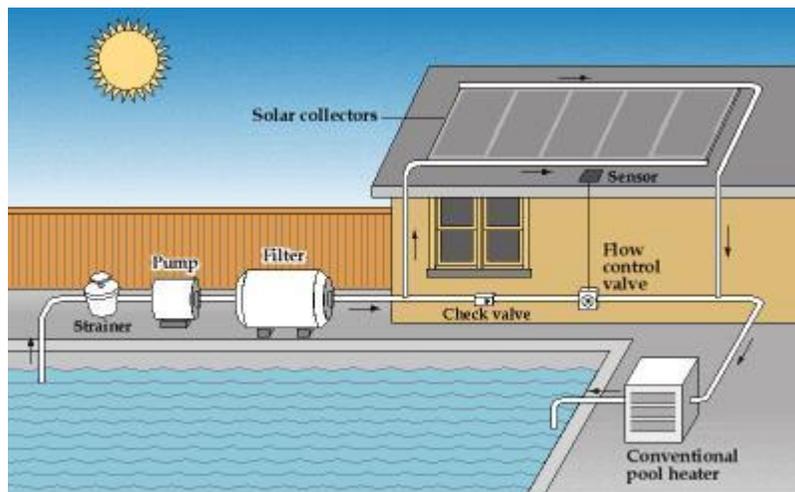


FIGURA 2.22 Partes de un sistema de colección de energía térmica solar.



3 Pruebas experimentales a los paneles colectores de energía térmica solar

En este capítulo se presentara el proyecto por el cual se realizan las pruebas a los paneles colectores de energía térmica solar, así como una breve descripción de las instalaciones y cada uno de sus elementos, así mismo se dará una descripción de los elementos de medición y algunas consideraciones de ellos, para finalmente presentar las mediciones realizadas en estas pruebas y algunas observaciones realizadas en el transcurso de las mismas.

Antecedentes:

La ENP “Miguel E. Schulz” plantel 8 cuenta entre sus instalaciones deportivas con dos albercas, una fosa de clavados y una natatoria semiolímpica, la temperatura del agua de la alberca oscila entre los 14 y los 21 °C alrededor del año, ya que no se mantiene a una temperatura templada, debido al alto gasto que produciría el uso de la caldera para calentar el agua. Por ello se han buscado varias alternativas para mantener a una temperatura aceptable el agua de la alberca para las diferentes necesidades que se requieren en estas. La Facultad de Arquitectura, por medio del Arq. Guillen, proponen la siguiente alternativa:

Cubierta ligera y de captación de energía solar

En el año de 1997 la Facultad de Arquitectura, convocó a concurso abierto, para realizar un proyecto para la cubierta ligera para la alberca de la ENP plantel 8 “Miguel E. Schulz”, resultando ganador y en consecuencia haber obtenido el primer lugar, el equipo encabezado por el Arq. Luis Fernando Guillen O., siendo contratado por la Dirección General de Obras y Conservación, a través de la empresa GUIAL, S.A. de C.V., legalmente construida y registrada en el padrón de contratistas de la dirección de obras y conservación de la UNAM, quedando a salva guarda los derechos de autor en su oportunidad, para el desarrollo del proyecto ejecutivo en el año 2008.

Descripción del proyecto:

Consiste en una estructura donde la cubierta se resuelve con un modelo de panel o colector solar, que cumplirá entre otras características principales con ser cubierta y colector energía, soportada dicha cubierta por tres arcos y cuyo trazo corresponde al recorrido solar, para lograr la forma que posibilite la máxima captación de la energía solar en función de la constante solar y los cuales cubren la totalidad de los dos cuerpos de agua (fosa de clavados y alberca natatoria) para mejorar la climatización de los mismos, siendo el arco central de una estructura de alma abierta, para poder alojar el sistema de tuberías, propias de este tipo de instalaciones.

Dicha cubierta amen, de ser capaz de captar toda la energía necesaria para el calentamiento de los dos cuerpos de agua (1350 m³), capta el agua de lluvia, mediante colector-cubierta, que por sus características estructurales y flexibilidad operativa así como de instalación, se puede considerar único en el mercado, pues permite desarrollarse en etapas siendo su mantenimiento sencillo y de muy bajo costo.

Siendo el caso que la propia cubierta por su disposición y alta eficiencia reduce el área de captación, dando margen a la instalación de paneles fotovoltaicos, para la generación de electricidad, para aplicar a fuerza motriz e iluminación.

CONSIDERACIONES:

Cubierta que no genera impacto al medio ambiente, pues toma la energía del sol (fuente no contaminante).

Comparativamente con fuentes convencionales reduce hasta 2500 TON. la emisión de CO₂ a la atmósfera por año.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM, por medio del Proyecto IMPULSA IV, propuso hacer pruebas físicas de varios colectores solares con diferentes diseños y de diferentes marcas, similares al propuesto en el proyecto de cubierta ligera. La ENP 8, con el objeto de incentivar esta propuesta, facilito las instalaciones de la alberca para realizar esta prueba, la cual se desarrolla a continuación.



FIGURA 3.1. Albercas ENP 8



Planteamiento del proyecto

Estas pruebas se realizaron gracias al proyecto que planteo el arquitecto Luis Fernando Guillen Oliveros, a través de la Facultad de Arquitectura, en el cual propone utilizar colectores solares para el calentamiento de la alberca de la ENP plantel 8. La propuesta de proyecto es la siguiente⁴⁶:

Titulo:

Panel solar de alta eficiencia para la zona metropolitana y del valle de México. AXLF.

Desarrollo del modelo de colector solar, por la Facultad de Arquitectura, de aplicación integral al diseño de la cubierta ligera auto generadora de energía no contaminante, para el calentamiento del cuerpo de agua de la alberca en el Plantel 8 Miguel E. Schulz, de la Escuela Nacional Preparatoria.

Planteamiento del problema:

La UNAM es una institución de educación superior de excelencia, que por su propia naturaleza ha demostrado ser impulsora del desarrollo en nuestro país, mediante la formación de técnicos y profesionales que aportan investigación, difundiendo la cultura en nuestra sociedad, a lo largo de varias décadas se ha convertido en uno de los centro educativos que guía y orienta el desarrollo, en distintos ordenes del que hacer nacional. La Facultad de Arquitectura, sabedora de las nuevas tareas que impulsa nuestra Universidad, propone soluciones para alcanzar dichas metas

Delimitación del tema

La Facultad de Arquitectura junto con otras dependencias de la UNAM, en este caso el instituto de ingeniería, se propone generar proyectos integrales sustentables, socialmente responsables y congruentes al desarrollo tecnológico avanzado, donde deberán estar contemplados los de autogeneración energética y dotados de viabilidad financiera, a partir de esquemas auto financiables desde su puesta en operación.

Justificación del diseño, construcción y puesta en operación del panel colector solar AXLF

El desarrollo de un panel colector solar capaz de captar eficientemente los rayos solares (lumínicos e infrarrojos) para transformar dicha energía en energía calorífica, que permita el calentamiento de cuerpos de agua (albercas de entrenamiento y eventualmente de eventos competitivos), con características apropiadas a las necesidades específicas del sitio (mediante cálculos que deberán ser comprobados en el sitio de aplicación), siendo menester tomar en cuenta desde su diseño y elaboración hasta su puesta en operación, cuidando la eficiencia, su bajo costo operativo y casi nulo mantenimiento, además de su fácil operación.

⁴⁶ Protocolo para el desarrollo de panel (colector solar). M. en Arq. Luis Fernando Guillén Oliveros.



Aplicación de panel colector solar AXLF

La Facultad de Arquitectura en su oportunidad llevó a cabo el concurso denominado “cubierta ligera” y aplicación de altas tecnologías para el calentamiento de la alberca del plantel 8 Miguel E. Schulz, de la Escuela Nacional Preparatoria, dependiente de la UNAM.

Concurso que ganó el grupo encabezado por el M. en Arq. Luis Fernando Guillen Oliveros, mismo que posteriormente desarrolló, mediante la propuesta en que la techumbre fuera cubierta y panel colector solar a la vez, ofertando el sistema, acompañado del modelo de colector solar, apropiado al caso de estudio; por lo que la Facultad de Arquitectura se propone desarrollar el prototipo de panel denominado colector solar AXLF, que deberá ser revisado y en su caso perfeccionado, con la participación Diseño Industrial y contando con la asesoría del propio M. en Arq. Luis Fernando Guillen Oliveros, otros profesionales y técnicos avezados en la materia, para garantizar su eficiencia y su correcta aplicación respetando los derechos de autoría y créditos que correspondan al caso.

Fundamentación teórica

El desarrollo sustentable implica primeramente la preservación del medio que da sustento a la vida. Los encargados de construir edificios e incidir en el quehacer de ciudades, deben de aprovechar los recursos que oferta el medio.

Hasta nuestros días, el desarrollo de la industria energética pareciera no tener problemas serios para subsistir, a pesar de que la demanda de energía es mayor cada día. Ante la creciente necesidad de energía surgen proyectos para desarrollar nuevas fuentes para obtenerla en forma fácil y rápida. A la par un sector de la población mundial preocupada por el fenómeno de la contaminación ambiental, se plantea la necesidad de recurrir a fuentes alternas de energía de escasa o muy baja contaminación.

El aumento de la temperatura de la superficie terrestre indica que existe una relación entre el llamado calentamiento global y los cambios que se aprecian en gases efecto invernadero, como lo son el CO₂, metano, óxido nitroso y otros, ya que se aprecia un aumento significativo en los niveles de estos gases.

La composición del universo es fundamentalmente energía, por lo cual es importante entender los mecanismos de cómo se origina y cómo se puede utilizar, sin poner en riesgo el equilibrio natural. Corresponde a los técnicos y profesionales en materia de desarrollo de proyectos y procesos edificatorios hacer propuestas que coadyuven a aminorar el impacto ambiental y proveer de un cierto grado de sustentabilidad y la Universidad debe actuar pronta y expeditamente, ofertando soluciones poniéndolas en práctica en sus propias instalaciones.

Objetivo

Objetivo general: será el poder alcanzar un desarrollo sustentable a partir de nuevos paradigmas con acciones emprendidas lógicamente y metodológicamente susceptibles de ser aplicada a partir de proyectos y edificios existentes.



Objetivos particulares: los usos de la energía renovables de fácil manejo y operación, así como de bajo impacto ambiental, mediante el desarrollo de modelos específicos técnicamente operativos y financieramente rentables, que sean susceptibles de ser desarrollados y aplicados tanto en instalaciones nuevas, como las ya existentes y que constituyan un aporte de nuestra universidad como proyecto multidisciplinario a la sociedad, pudiendo competir inclusive con modelos existentes en el mercado; pero cuyas patentes de origen no son de carácter nacional y resultarían onerosos para la UNAM.

Alcances y contenidos

Para el desarrollo del modelo se requieren adoptar datos técnicos por parte del equipo de trabajo, así como un mínimo de recursos materiales para la adquisición de insumos al caso de estudio, así como la designación del local, talleres y laboratorios, existentes dentro de la Facultad de Arquitectura.

Datos:

- Datos del sistema radiación-magnetismo. Humedad-viento-temperatura.
Datos climáticos (del sistema) regionales
Datos del sitio
Microclima
- Evaluación y diagnóstico
Evaluación biótica y abiótica del sistema regional
Evaluación de datos del microclima
Establecimiento de valores de confort (bienestar propuesto)
- Método de cálculo
Radiación, ionización, viento, humedad, materiales, fuentes de energía y otros
- Propuesta
Aplicación de fuentes de abastecimiento, protección y regulación, en función de las premisas del diseño y las condiciones de bienestar (confort) y tratamientos de desechos
Evaluación del sistema sustentable post ocupacional y monitores del mismo
- Materiales, herramientas y equipos.
Materiales: para elaboración de carcasa de lámina galvanizada con soportar temperaturas hasta de 96°C, tubería de cobre en diferentes diámetros (12 y 19 mm. de diámetro), placa colectora de cobre y aluminio templado, accesorios para válvulas, conexiones necesarias para su elaboración y puesta en operación de pruebas de campo (según proyecto).

Calendario de actividades a partir de su aprobación

Actividades propuestas:

- Investigación de campo, investigación sobre bases documentales, investigación producto de experiencias propias y de otros autores, conclusiones. (10 días hábiles)
- Elaboración de listado de materiales que deberán intervenir en su fabricación y posterior prueba a partir del prototipo de estudio.(5 días hábiles)

- Puesta en operación, mediante prueba de campo (a partir de las facilidades que otorgue la institución responsable) y su transporte al sitio de prueba del modelo. (5 días hábiles)
- Entrega de resultados, su valoración y conclusiones.

Como ya se menciona, este es el proyecto que el M. en Arq. Luis Fernando Guillen Oliveros presentó a las autoridades competentes para la aprobación del proyecto, mismo que fue avalado por la dirección de la ENP plantel 8, por lo que se le invito al proyecto IMPULSA a participar en dicho proyecto, para realizar las pruebas de campo.

Una vez concluidas las pruebas se les pidió a diversas autoridades analizar el informe de las pruebas junto con el protocolo para el desarrollo del panel colector solar, a fin de dar su opinión y en su caso la aprobación para realizar dicho proyecto⁴⁷.

Con base en este proyecto se realizaron las pruebas de campo en el sitio ubicado en las instalaciones de la ENP plantel 8 en el área de la alberca; por lo cual se procede a dar una descripción de cada una de las partes del sistema que se utilizó para realizar las pruebas, así como de las instalaciones e instrumentos.

3.1 Descripción de la instalación e instrumentación

INSTALACIONES

En la Escuela Nacional Preparatoria (ENP) plantel 8 de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) “Miguel E. Schulz”, se instalaron tres colectores de energía térmica solar, con la colaboración de personal de la Facultad de Arquitectura, auxiliados por personal del plantel de la ENP, para realizar pruebas físicas a estos.

El lugar donde se instaló el sistema de colectores se ubica frente al área de la alberca natatoria de las instalaciones de la preparatoria.



FIGURA 3.2. Vista de conjunto de 3 colectores

⁴⁷ Carta a las autoridades de obras de la UNAM

Las instalaciones de un sistema de captación de energía térmica solar es la parte más importante para la recolectar la energía, ya que un mal posicionamiento o instalaciones no adecuadas producen una baja en el rendimiento del sistema en general. Además este sistema cumple funciones como el soporte o la circulación que son muy importantes para el sistema en general.

Cada una de las partes que componen al sistema de captación solar es necesaria, ya que cumplen con una función en particular la cual no puede ser sustituida por otro elemento, tal es el caso del tanque de almacenamiento ya que sin él la energía no podría almacenarse y se desperdiciaría en gran medida.

El sistema cuenta con diferentes partes que lo componen, a continuación se realiza una breve descripción de cada uno de estos elementos para mejora la comprensión del sistema y funcionamiento del mismo:

- El soporte, que es la parte estructural del sistema, sirve para que los colectores estén en su posición con un ángulo específico y la misma inclinación para los tres colectores. Esta construido con barras de acero soldadas y tiene una separación apropiada para evitar el contacto entre los colectores.



FIGURA 3.3. Soportes para pruebas

Este sistema fue diseñado y acoplado por alumnos de la Facultad de Arquitectura ayudados por personal de la preparatoria y supervisados por los arquitectos Luis Fernando Guillen O. y Axel Villavicencio T.

- Los diferentes colectores, fueron instalados con un ángulo de inclinación igual y adecuado a la zona de captación de los rayos solares. El sistema de colectores esta soportado por la estructura, la cual es ayudada por soportes y amarres. Los colectores fueron marcados con diferentes letra el que estaba en el extremo izquierdo de frente al observador se le nombro "A", el del centro "B" y el de la derecha "C".

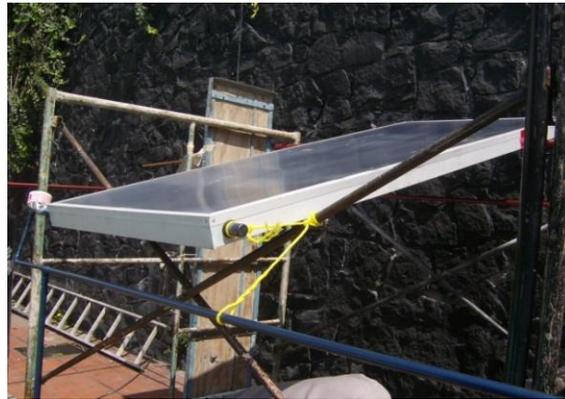


FIGURA 3.4. Colector solar A

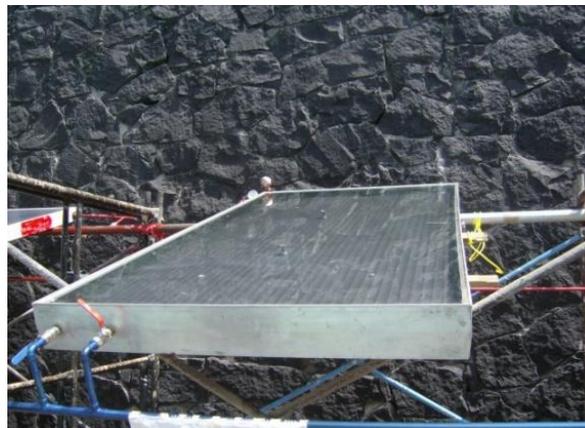


FIGURA 3.5. Colector Solar B

- El Sistema de almacenamiento es una cisterna de 1100 litros marca Rotoplas color negro que se encontraba entre el 80 y 90% de su capacidad. Esta cisterna cuenta con una salida en la parte inferior, la cual alimenta la bomba, y una entrada en la parte superior por la que se encuentra la tubería por la cual llega el agua proveniente de los colectores. La cisterna se encuentra soportada por una tarima, que se encuentra sobre tabiques para elevarla unos centímetros y evitar el contacto con el suelo para evitar la transferencia de calor con éste.



FIGURA 3.6. Tanque de almacenamiento

- A la salida del tanque de almacenamiento se encuentra el sistema de alimentación que consta de una bomba de $\frac{1}{2}$ hp. Antes de la cual se encuentra un termómetro y después se encuentra un manómetro. La bomba se encuentra sobre tabiques para tener la altura de la salida del tanque de almacenamiento.



FIGURA 3.7. Bomba de $\frac{1}{2}$ hp.

- El fluido que transporta el calor (en este caso agua) es desplazado a través del sistema de tuberías. Las tuberías están identificados según la función que lleven, ya que, a la tubería que va de la salida del tanque de almacenamiento y llega a la entrada de los colectores se le asigno el color azul denotando que transporta el liquido a menor temperatura, y el que va de la salida de los colectores hasta la entrada del tanque de almacenamiento se le pinto de color rojo, denotando que lleva el fluido a mayor temperatura.



FIGURA 3.8. Identificación de tuberías de entrada



FIGURA 3.9. Identificación de tuberías de salida

- Sistema de medición inicial: consta de 4 termómetros; 1 a la salida del tanque y 1 en la salida de cada colector. Inicialmente se contaba con 4 manómetros pero después de la primera semana de prueba se instalaron 3 más para dar un total de 7. Los manómetros en un principio se instalaron a la salida de cada colector y a la salida de la bomba. Después de la primera semana los manómetros restantes fueron colocados a la entrada de cada colector.



FIGURA 3.10. Termómetros y manómetros de entrada y salida



FIGURA 3.11. Termómetros y manómetros de entrada y salida



FIGURA 3.12. Termómetros y manómetros de entrada y salida

Instrumentación

Para obtener datos fiables y exactos de las pruebas realizadas a los tres colectores solares dispuestos en la ENP 8 para su evaluación, se requiere de una buena selección de instrumentos de medición, además de su correcta ubicación e instalación.

Para las pruebas realizadas se consideraron dos variables de medición: temperatura y presión. Ambas variables juegan un papel importante en la evaluación de los colectores solares, ya que el conocimiento de las variables antes mencionadas, nos ayudarán en el cálculo de la eficiencia de cada colector solar, por un lado, el instalar un sensor y obtener la temperatura a la entrada y salida de cada colector solar nos cuantifica un salto térmico, por otro lado, la presión a la entrada y salida de cada colector solar nos indicará una caída de presión producto de factores como el diámetro de la tubería interna del colector solar, la inclinación del colector y la longitud de la tubería, entre otros. La relación de ambos diferenciales, presión y temperatura, nos representarán la eficiencia térmica de cada colector solar.

Para este caso se emplearon manómetros de presión y termómetros analógicos, aunque son de distintas marcas se tiene el mismo rango y resolución para todos los instrumentos. Los instrumentos empleados son de las marcas Surex, Metron, Rochetes y Eurosin.

Los rangos de los instrumentos de medición van de 0 a 100 [°C] para los termómetros analógicos y los manómetros pueden ser leídos en dos escalas de presión, hasta 28 [psi] ó 2 [bar]. El rango de los instrumentos de medición es adecuado pues para estas pruebas en ningún caso se superaría los valores máximos de medición, por otro lado, los rangos tampoco son muy grandes comparados con las lecturas máximas que pudieran obtenerse, por lo tanto puede considerarse que se tendrá un menor error en la toma de lecturas.

En lo que respecta a la resolución de los instrumentos, se ha empleado para los termómetros analógicos resolución de 1 [°C], para los manómetros de presión, de 1 [psi] o de 0.05 [bar] según la escala. La resolución de los instrumentos de medición es adecuada para esta aplicación, dado que se toman lecturas cada hora y el cambio en las variables es gradual, no se requiere de una mayor precisión.

La ubicación de los instrumentos de medición es clave ya que se deben tener condiciones similares para los tres colectores solares, para ello los tres manómetros de presión a la entrada, deberán registrar la misma presión, para este caso y con base a las lecturas registradas, existe una diferencia de esta condición para el colector C respecto al A y B que si registraron presiones similares a la entrada. La diferencia se hace aún más notoria cuando se cierran válvulas de paso en el sistema y se entrega el flujo completo de agua a cada colector solar de manera independiente. De forma ideal, cada colector solar debería tener una bomba para igualar condiciones de presión a la entrada, o se podía hacer un rediseño de la tubería donde se montan los manómetros, de tal manera que se trate de evitar pérdidas o se iguale la longitud de tubería entre la bomba y los colectores solares, como se ejemplifica en la **FIGURA 3.13**

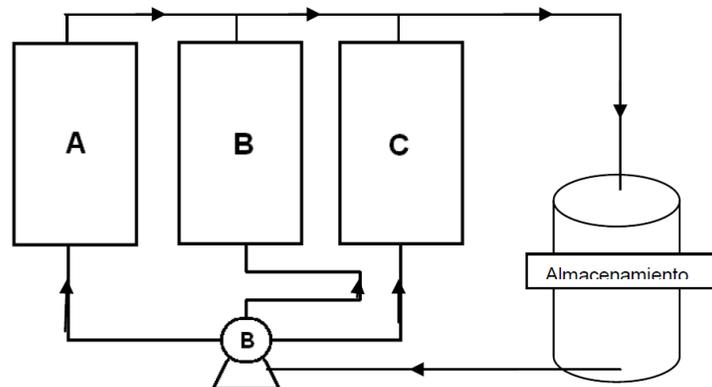


FIGURA 3.13. Diagrama de colectores solares, tubería de alimentación y tanque de almacenamiento

Otro factor con efectos negativos en la toma de lecturas es la ubicación de los termómetros a la salida de cada colector solar, pues existen variaciones que alteran una correcta lectura. Para el caso de la temperatura, la igualdad de condiciones se puede obtener mediante una igual orientación de los instrumentos, es decir, el hecho de que un termómetro se encuentre instalado orientado hacia arriba, como

es el caso del colector B (**FIGURA 3.16**), puede suponer una diferencia respecto a orientarlo de forma horizontal, como es el caso del colector A (**FIGURA 3.15**).

Lo anterior es debido a que un sensor de temperatura como los empleados para estas pruebas, funcionan al tener una punta en contacto con el líquido, al tratarse de un sensor orientado en manera horizontal, el líquido se estanca en la tubería y el sensor pierde contacto directo con el flujo de agua. Esto se ejemplifica en la **FIGURA 3.14**.

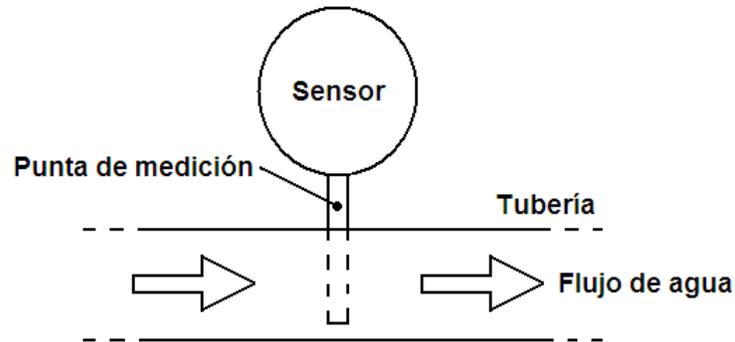


FIGURA 3.14. Vástago sensible para medición.



FIGURA 3.15. Colector Solar A.



FIGURA 3.16. Colector Solar B.



FIGURA 3.17. Colector Solar C.

En resumen tanto la instrumentación eran adecuados para esta prueba pero algunos aspectos producen un error que pudiera considerar importante en algún momento, pero para el carácter de esta prueba estos errores pueden ser omitidos dejando la recomendación de tomarlos en cuenta para este tipo de pruebas.

3.2 Levantamiento de datos en sitio

El levantamiento de datos se llevo durante 5 semanas, del 7 de septiembre de 2009 al 6 de octubre de 2009, y el horario de lecturas fue de 10:00 am a 4:00 pm ya que es el horario en el que la alberca va a ser utilizada con mayor regularidad y en la cual el personal docente labora en la ENP, por lo cual puede hacerse cargo de encender y apagar el equipo.

Los días de medición no fueron continuos ya que hubo días en las que no se tomaron lectura por diversas causas, por ejemplo, hubo días en las que se presentó precipitación pluvial durante todo el día por lo cual no era propicio accionar el sistema para tomar mediciones ya que en lugar de captar la energía solar nuestro sistema solo hubiera desperdiciado la energía que ya había ganado.

Como ya se había mencionado las lecturas no se realizaron diariamente, las fechas en las que se realizaron fueron:

Primera semana 5 días, del 7 de septiembre al 11 de septiembre.

El día 9 de septiembre se presentó lluvia a las 15:30 horas aproximadamente por lo que se tomó la decisión de apagar el equipo y no tomar la lectura de las 16:00 horas.

El día 10 de septiembre se presentó lluvia poco después de las 14:00 horas por lo que se tomó la decisión de apagar el equipo y no tomar la lectura de las 16:00 horas.

La semana del 14 al 18 de septiembre no se realizó la toma de lecturas debido a lo irregular de esta semana, ya que son fechas no laborables por las fiestas patrias.

Segunda semana 3 días, del 21 de septiembre al 23 de septiembre. Los días jueves 24 y viernes 25 se tenía planeado realizar las mediciones pero por cuestiones meteorológicas no se logró tal acción.



El día 21 de septiembre no se tomo la primera lectura (10:00 am) debido a falta de suministro eléctrico, mismo que se restableció cerca de las 11:00 am, hora en la cual empezaron las lecturas.

Tercera semana 5 días, del 28 de septiembre al 1 de octubre y el 6 de octubre.

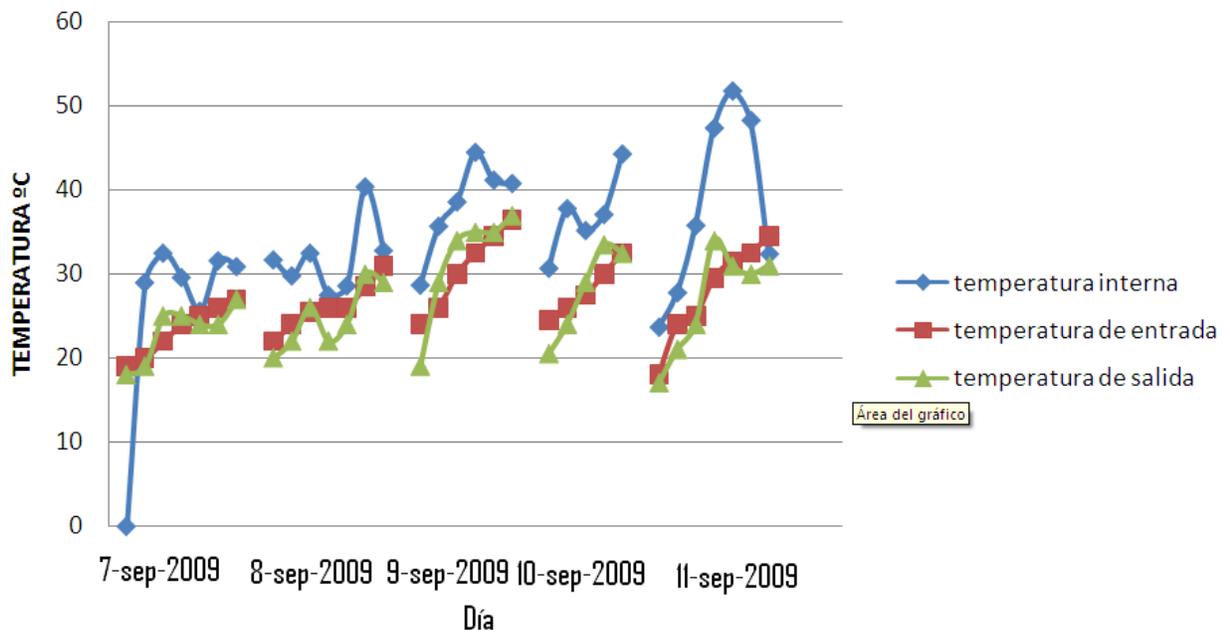
El día 2 de octubre no se realizo lectura debido a que se realizaron pruebas de presión en cada uno de los colectores.

El días 5 de octubre se realizaron pruebas a los termómetros y manómetros para verificar que estos instrumentos estuvieran bien calibrados y así evitar que por esto se pudiera tener una incongruencia en las medidas, así mismo se realizó una adecuación a la posición de los termómetros para que los 3 se encontraran en igualdad de situaciones; por estas acciones no se tomaron lecturas este día.

Los días sábado y domingo no se realizaron lecturas ya que son días en los que no se realizan labores en la ENP.

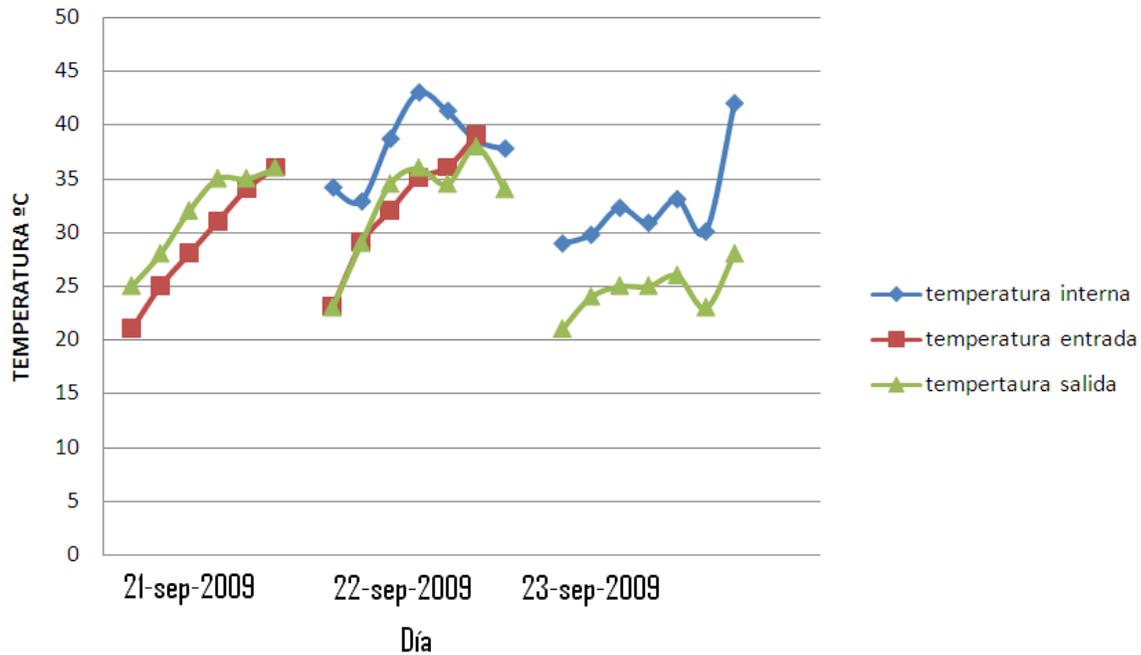
Las lecturas obtenidas se presentan en las siguientes graficas realizadas a partir de los datos de las tablas que se presentan en el Anexo 1:

COLECTOR "A", PRIMERA SEMANA



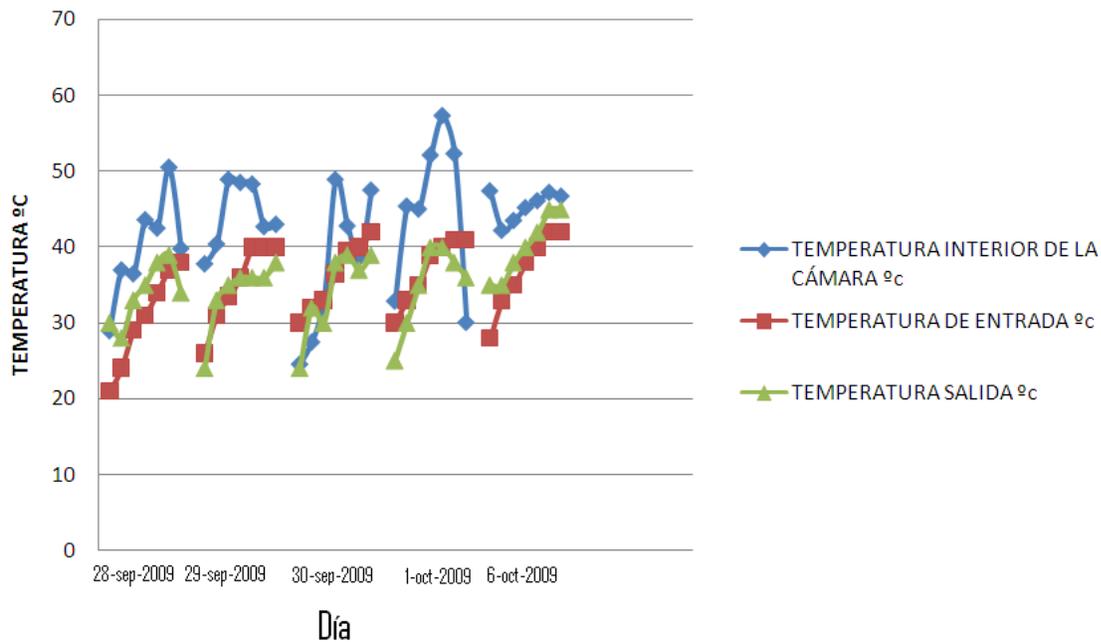
Gráfica 3.1 Colector A primera semana

COLECTOR "A", SEGUNDA SEMANA



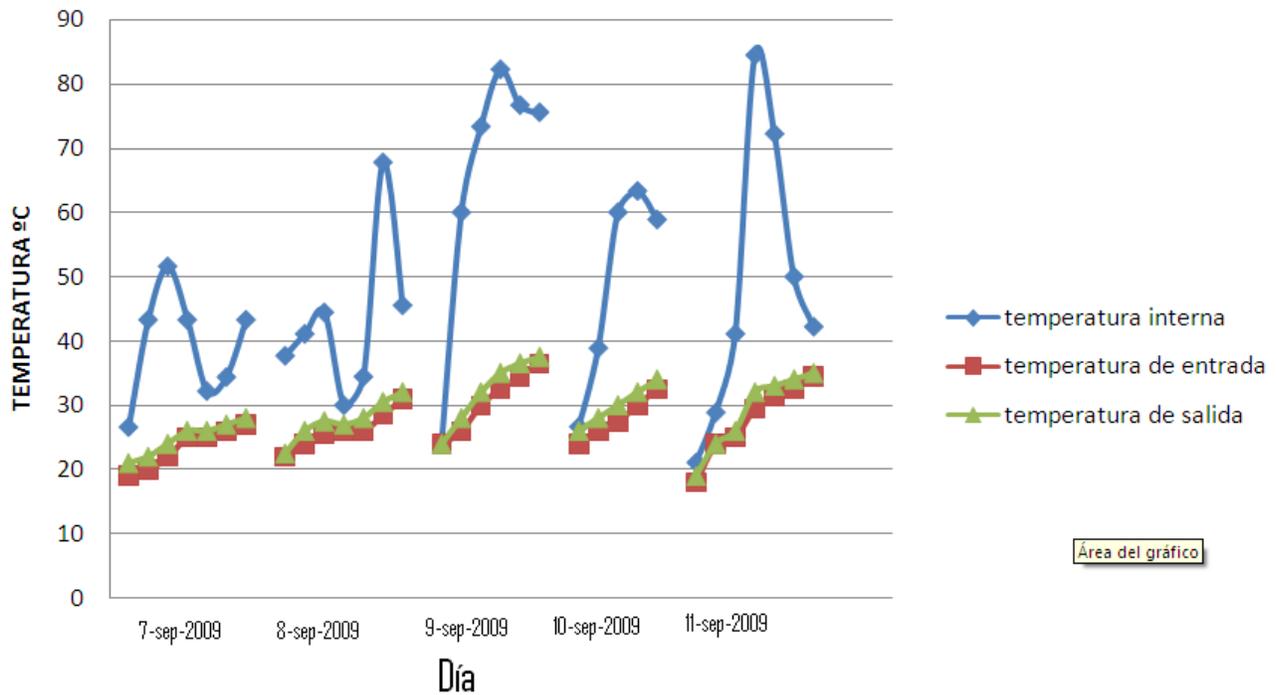
Gráfica 3.2 Colector A segunda semana

COLECTOR "A", TERCERA SEMANA



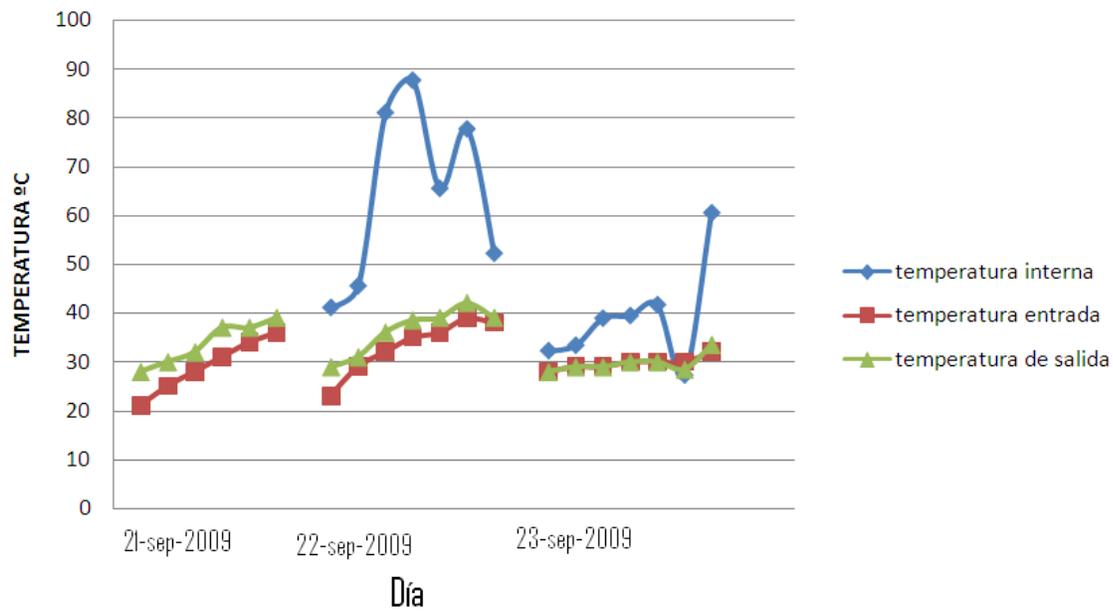
Gráfica 3.3 Colector A tercera semana

COLECTOR "B", PRIMERA SEMANA



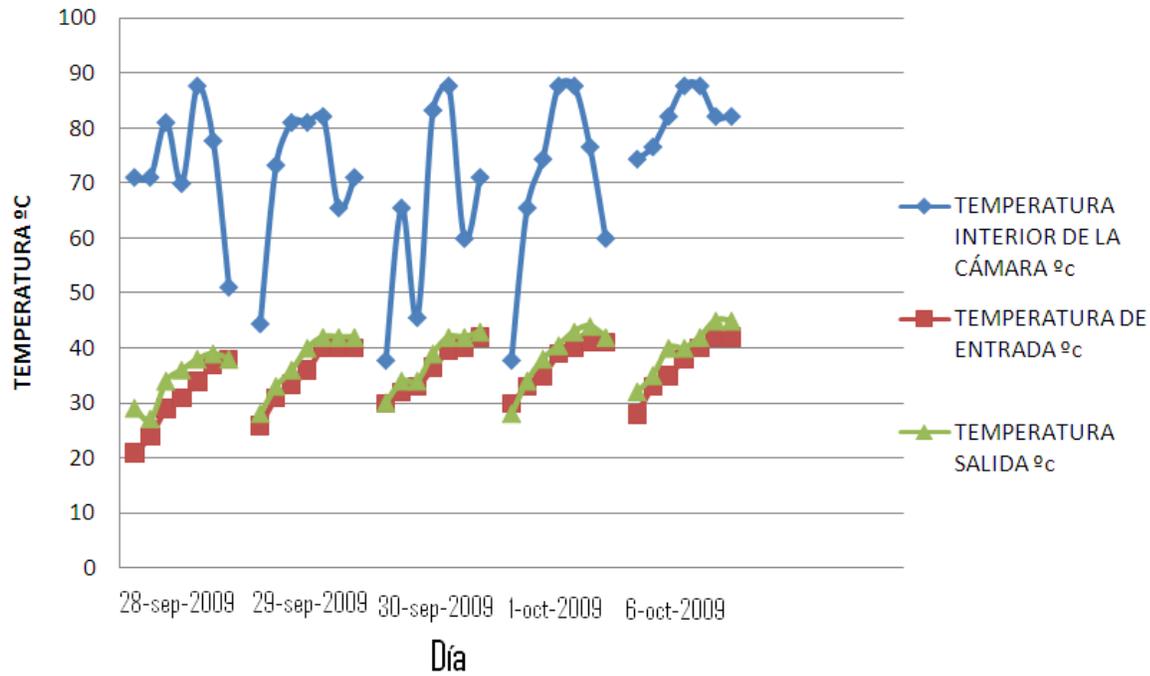
Gráfica 3.4 Colector B primera semana

COLECTOR "B", SEGUNDA SEMANA



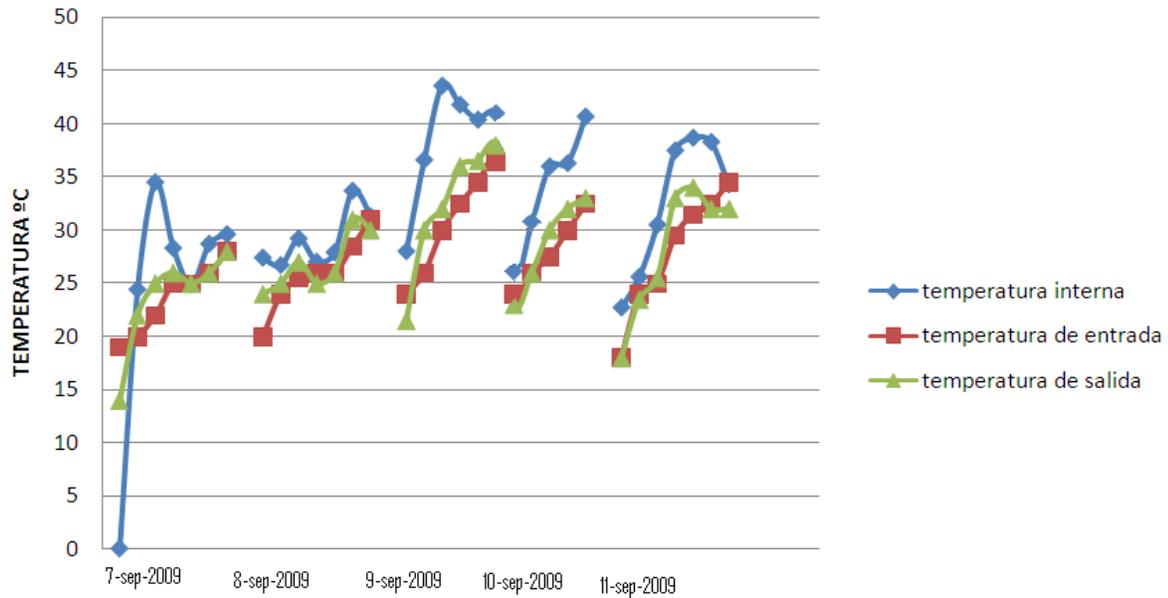
Gráfica 3.5 Colector B segunda semana

COLECTOR "B", TERCERA SEMANA



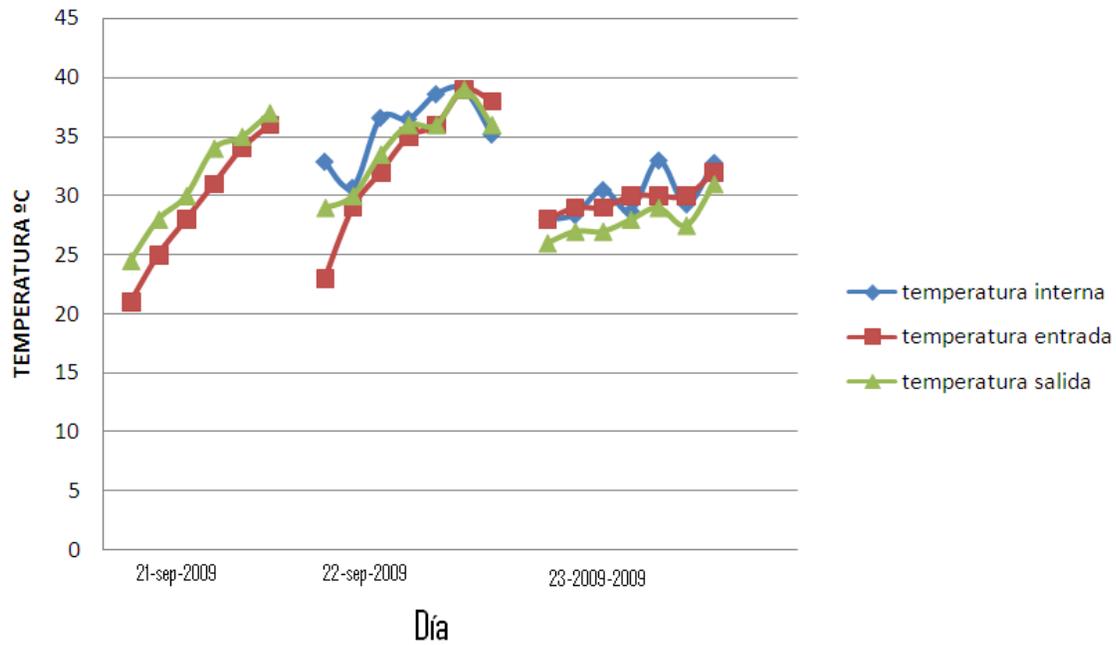
Gráfica 3.6 Colector B tercera semana

COLECTOR "C", PRIMERA SEMANA



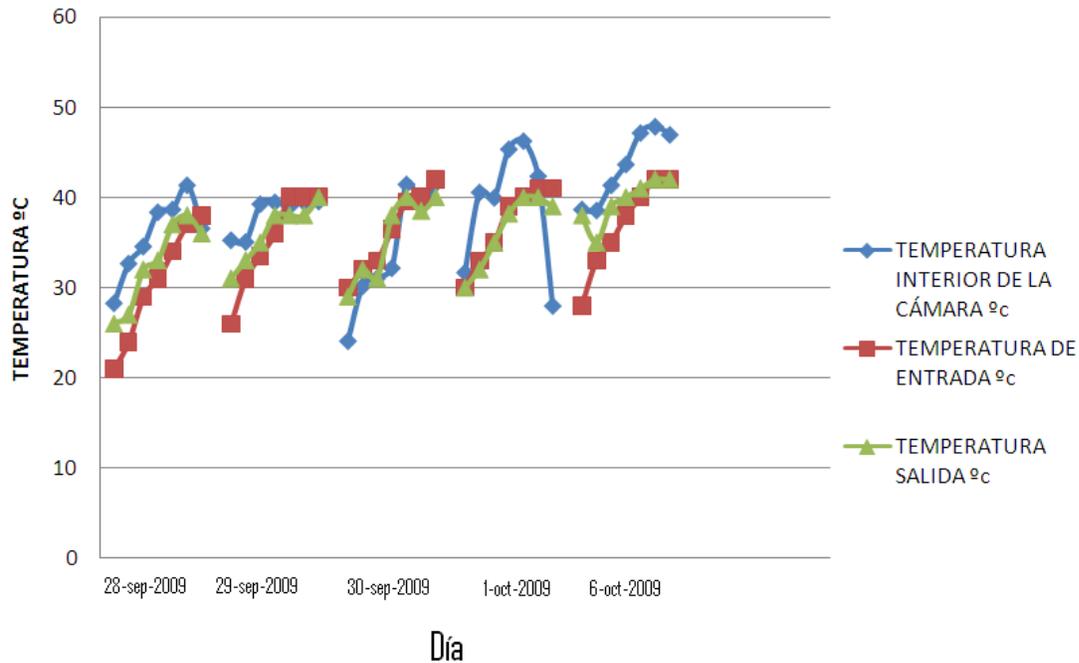
Gráfica 3.7 Colector C primera semana

COLECTOR "C", SEGUNDA SEMANA



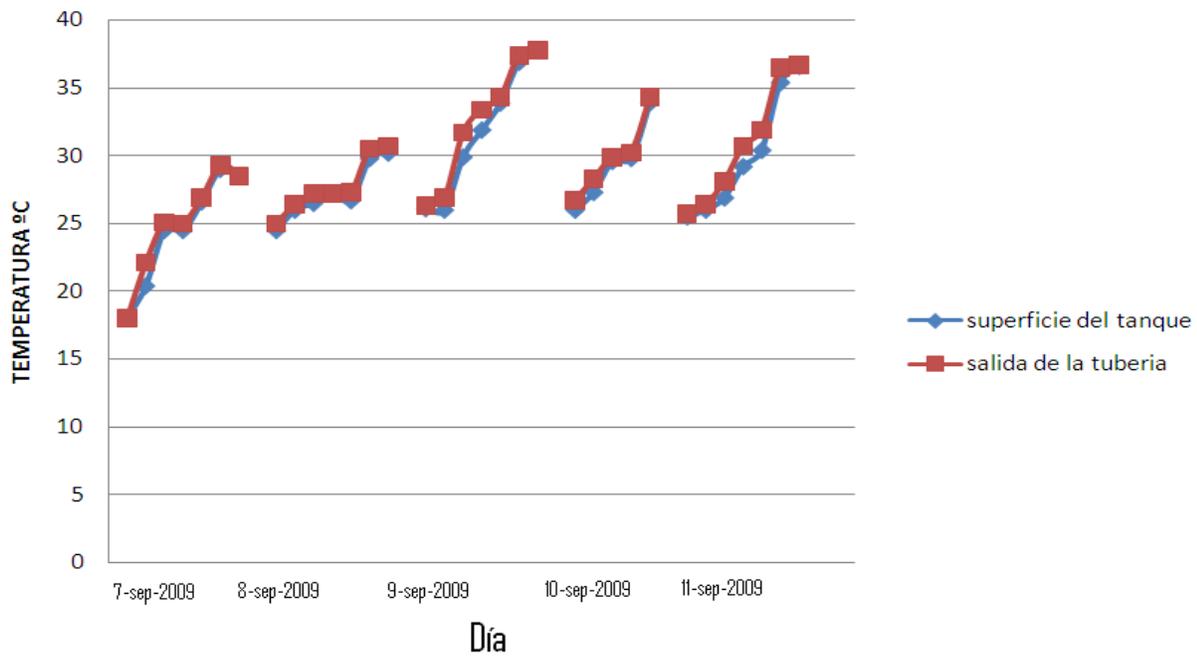
Gráfica 3.8 Colector C segunda semana

COLECTOR "C", TERCERA SEMANA



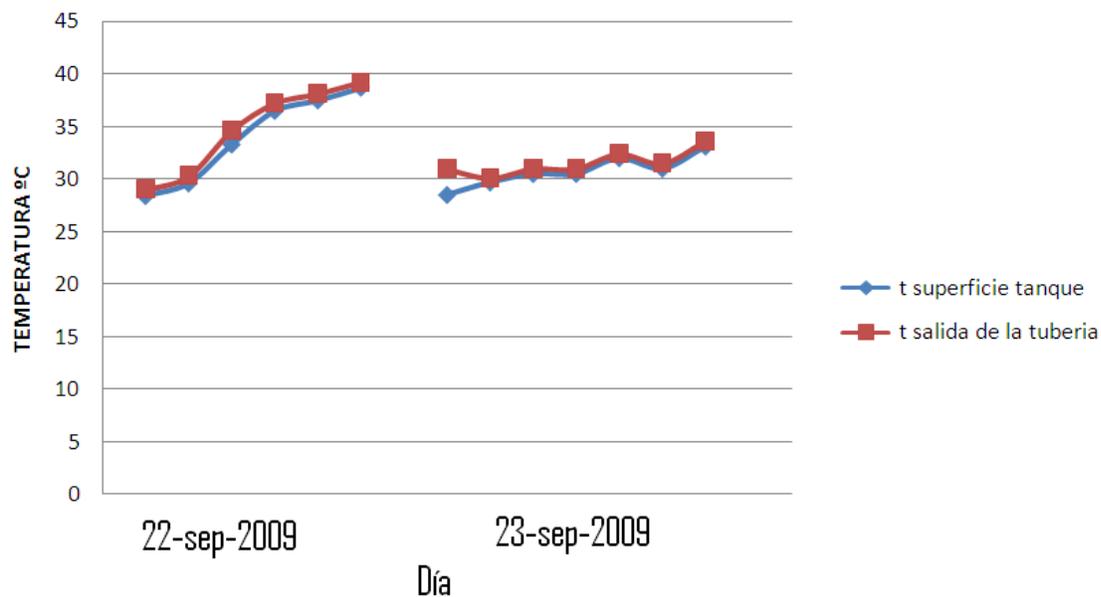
Gráfica 3.9 Colector C tercera semana

TEMPERATURA DEL TANQUE PRIMERA SEMANA

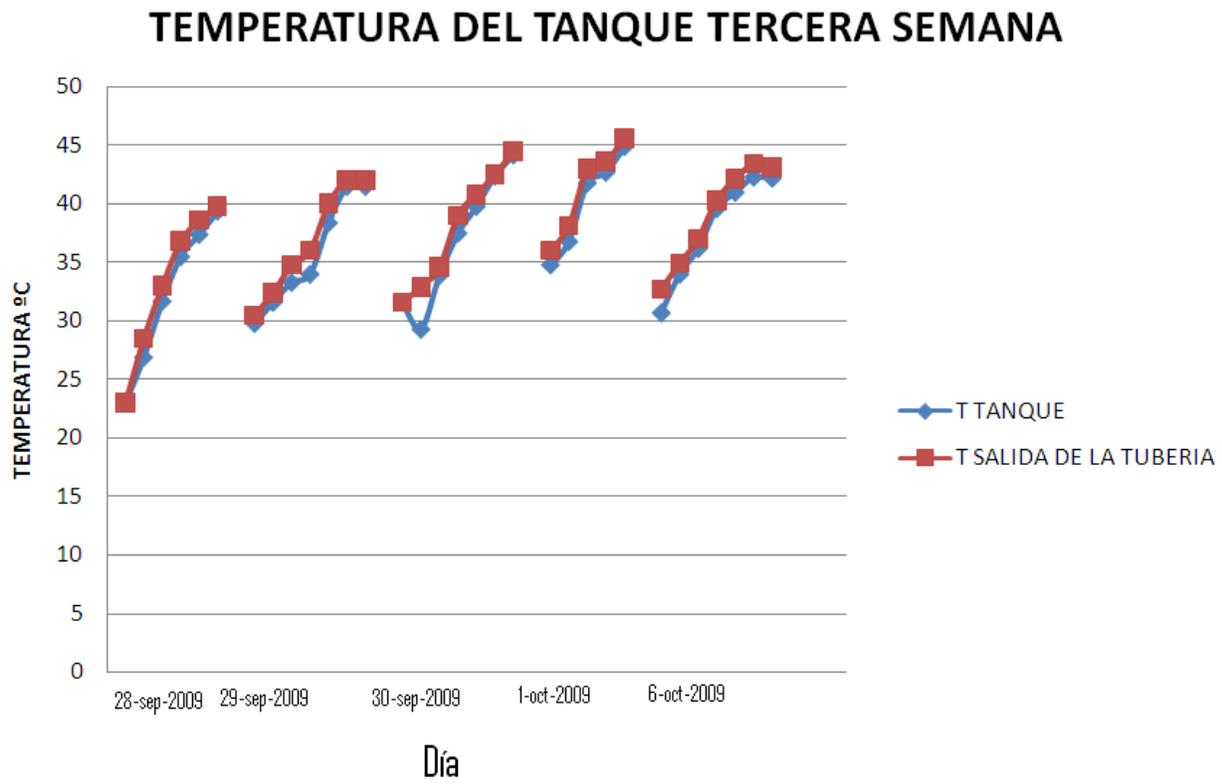


Gráfica 3.10 Temperatura del tanque primera semana

TEMPERATURA DEL TANQUE SEGUNDA SEMANA



Gráfica 3.11 Temperatura del tanque segunda semana



Gráfica 3.12 Temperatura del tanque tercera semana

PRUEBAS DE PRESIÓN EN LOS MANÓMETROS

Se realizaron pruebas de presión en los manómetros para identificar fallas en los mismos. Se encontró que el manómetro en el colector B, a la salida, no mostraba una correcta medición cuando se elevaba la presión. Por lo que se hizo un cambio de manómetros del colector B al C.

OBSERVACIONES

Durante la primera semana de pruebas se observó que el colector "A" tenía algunas deformidades que al parecer fueron provocadas por golpes recibidos en este lugar. Las deformaciones eran de un tamaño pequeño que alcanzaban hasta 3 o 4 centímetros de radio, también se encontró un orificio con un radio no mayor a 1 centímetro y una deformación mayor en un costado del colector.



FIGURA 3.18. Deformaciones en el colector "A"



FIGURA 3.19. Deformaciones en el colector "A"

El día 9 de septiembre a las 12 horas se cambió el flujo que entra en el colector B, se cerró la válvula de 1/2" y de abrió la de 3/8" para ver si con esta operación los colectores B y C tenían la misma presión.

El día 8 de septiembre nos percatamos de que el colector B generaba vapor en el interior de la cámara y sólo con un tiempo considerable de tener los colectores trabajando y un poco de sol el vapor desaparecía, pero al siguiente día el vapor se volvía a generar.

El día 8 de septiembre se encontraron varias fugas en el sistema de bombeo, éstas son insignificantes pues sólo se trataba de un goteo en algunas uniones.



FIGURA 3.20. Goteo en el sistema de bombeo.

El día viernes 18 de septiembre se instalaron 3 manómetros a la entrada de cada colector.



FIGURA 3.21. Instalación de manómetros a la entrada de cada colector.



FIGURA 3.22. Instalación de manómetros a la entrada de cada colector.

El 24 de septiembre se realizó un cambio en el orden de los termómetros pasando el termómetro del colector B al colector C y el del colector C al colector B.

El día 30 de septiembre se realizó la medición del flujo másico que pasa por la bomba. Esto se logró al medir el tiempo que tarda la bomba en llenar un contenedor con capacidad de 20 litros obteniendo como resultado un tiempo total de 35.62 segundos.

Los días 30 de septiembre y 2 de octubre, se realizó una prueba para comprobar la temperatura interna del colector B y se observó que existía una diferencia entre el termómetro interno del colector y nuestro sistema de medición de 10 a 15 °C, teniendo una mayor ganancia el termómetro ubicado en el colector B.



FIGURA 3.23. Toma de temperatura del colector B, por medio de termopar.

Durante las pruebas se encontró que los colectores solares A y C registraron gradientes de temperatura negativos dado que se tuvo en ocasiones una temperatura menor a la salida que a la entrada del colector. El hecho de tener un gradiente negativo de temperatura, supone una falla en el sensor o en la ubicación e instalación del mismo, pues un colector solar está diseñado precisamente para aumentar la temperatura.

Dada la conclusión a la que se llegó respecto de tener gradientes de temperatura negativos, se procedió a colocar los sensores de temperatura de los colectores A y C, orientados hacia arriba. Se llevó a cabo un día más de pruebas, el resultado fue el esperado, ya que no se registraron gradientes negativos de temperatura. Estas pruebas son experimentales y se recabaron datos del Programa de Estaciones Meteorológicas del Bachillerato Universitario (PEMBU) (Anexo 1), para la evaluación del sistema, misma que se presentará en el siguiente capítulo.



4 Análisis de datos y resultados

En el capítulo anterior se presentaron las mediciones que se realizaron a los colectores solares tanto de temperatura como de presión, junto con datos adicionales se tomo la lectura de la temperatura interna de los colectores, la temperatura del tanque tanto a la entrada como a la salida y se realizó una medición de flujo en la bomba.

Una vez realizadas las mediciones se procede a la ejecución del programa evaluador; por lo cual en este capítulo se presenta los criterios y formulas que se consideraron para los cálculos, mismos que fueron introducidos en la paquetería de cálculo de Office Excel para realizar esta evaluación.

En este capítulo se presenta el programa utilizado para evaluar la eficiencia de los colectores de energía térmica solar instalados en la preparatoria número 8, así como una interpretación de los resultados obtenidos.

Para la obtención de los resultados se utilizaron parámetros que muestran las características del agua y algunos datos de los colectores los cuales se presentaran a continuación:

MEMORIA DE CÁLCULO

PROPIEDADES DEL FLUIDO	
Conductividad Térmica del Agua [W/m·°C]	0.589
Calor Específico [kJ/kg·°C]	4.186
Densidad [kg/m ³]	1000
Datos de Colector A	
Gasto [kg/s]	0.5
Potencia de la Bomba [W]	186.425
Diámetro Tuberías [m]	0.0254
$\Delta P (P_s - P_e)$ [Pa]	0
Área [m ²]	1.7
Datos de Colector B	
Gasto [kg/s]	0.5
Potencia de la Bomba [W]	186.425
Diámetro Tuberías [m]	0,0127 y 0,019
$\Delta P (P_s - P_e)$ [Pa]	0
Área [m ²]	1.8
Datos de Colector C	
Gasto [kg/s]	0.5
Potencia de la Bomba [W]	186.425
Diámetro Tuberías [m]	0.0254
$\Delta P (P_s - P_e)$ [Pa]	0
Área [m ²]	1.69

Tabla 4.1 Propiedades del agua y de los colectores



Los datos climatológicos que se utilizaron para realizar este programa fueron proporcionados por el “PEMBU” (Anexo 2) tales como temperatura ambiente media, máxima y mínima, humedad relativa, nubosidad (fracción de cielo cubierto y tipo de nubes), velocidad y dirección del viento, presión atmosférica y tendencia barométrica, precipitación, evaporación a la sombra, radiación solar, radiación UV y presión ambiente entre otros parámetros proporcionados.

Los datos restantes de los colectores se presentan en el Anexo 4.

4.1 Programa evaluador para comparación de resultados

Los programas utilizaron una serie de valores proporcionados por el PEMBU (Anexo 2) entre los que incluye temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$), velocidad del viento (m/s), radiación solar (W/m^2), humedad relativa (%) y fracción de nubosidad. Así mismo se utilizaron los datos obtenidos de las mediciones en la alberca, los cuales son temperatura de entrada y salida de los colectores de los colectores, con los cuales se obtuvo el ΔT del agua, también se utilizaron datos específicos de los colectores como el área, y el gasto de entrada, finalmente se ocuparon características del agua, como calor específico.

Las ecuaciones que se utilizaron para el cálculo de las eficiencias de los colectores se presentan a continuación⁴⁸:

Para nuestro programa evaluador calculamos la energía en forma de calor que es aprovechado por el colector mediante la fórmula:

$$Q = m * C_e * \Delta T \quad \text{Ec. 1}$$

Donde Q: es la energía recibida (W)

m: el gasto másico en los colectores (kg/s)

Ce: calor específico del agua ($\text{kJ}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$) y

ΔT : la diferencia de temperatura de entrada y salida del colector

Se realizó un balance de energía en el cual se sumaron la energía ganada por radiación que llega al colector y la energía cedida por la atmósfera menos el calor cedido por la convección y el calor cedido por radiación, y multiplicado el resultado por el área del colector:

$$Q_{total} = (Q_{rad} + Q_{atm} - Q_{cedrad} - Q_{cedconv}) * A_c \quad \text{Ec. 2}$$

Donde

Q_{total} : Energía total que aprovecha el colector

Q_{rad} : Energía total que llega al colector por radiación

⁴⁸ Manual de diseño de obras civiles, hidrotecnia e hidráulica.CFE



Q_{atm} : Energía total proporcionada por la atmosfera

Q_{cedrad} : Energía cedida por el colector en forma de radiación

$Q_{cedconv}$: Energía cedida por el colector en forma de convección

A_c : Área del colector

La energía total de que llega al colector por radiación se calcula con la formula:

$$Q_{rad} = R_s * 0.45 \tag{Ec. 3}$$

Donde R_s : Radiación solar directa

La energía total proporcionada por la atmosfera se calcula con la formula:

$$Q_{atm} = (511 \times 10^{-15}) * [(T_a + 273.15)^6] * [1 + (0.17 * NUB^2)] \tag{Ec. 4}$$

Donde:

T_a : es la temperatura del aire

NUB : es el factor de nubosidad

La energía cedida por el colector en forma de convección se calcula con la siguiente fórmula:

$$Q_{cedconv} = 2.28 * v_v * (T_p - T_a) \tag{Ec. 5}$$

Donde:

V_v : es la velocidad del viento

T_p : Temperatura promedio del agua

$$T_p = ((T_{sal} + T_{ent})/2) \tag{Ec. 6}$$

T_{ent} : Temperatura de entrada al colector

T_{sal} : Temperatura de salida del colector

Y la energía cedida por el colector en forma de radiación se calcula con la siguiente fórmula:

$$Q_{cedrad} = 5.44 \times 10^{-8} * (T + 273.15)^4 \tag{Ec. 7}$$

Finalmente se calculo la eficiencia con la formula:

$$\eta = \frac{Q}{Q_{total}} * 100 \tag{Ec. 8}$$

Después de realizar estos cálculos se hizo un promedio de la eficiencia por día de cada colector, para después calcular la eficiencia promedio total de cada colector también se calculó la eficiencia promedio por cada horario del día para así tener una tendencia de eficiencia, esto se puede ver en las graficas de eficiencia.

El programa lo podemos dividir en varias secciones (ver FIGURA 4.1)

La primera parte en negro muestra el día y la hora de la toma de la lectura.

La segunda en verde se muestra las características y los parámetros que se tomaran en cuenta para realizar los cálculos.

La tercera parte en amarillo muestra los cálculos ambientales necesarios para realizar el balance energético.

La cuarta parte en morado muestra el balance energético y la energía total.

La quinta parte en azul muestra las eficiencias de los colectores.

Fecha
Hora
Temperatura del Aire [°C]
Velocidad del Viento [m/s]
Radiacion Solar [W/m ²]
Humedad Relativa [%]
Fracción de Nubosidad
Temperatura Prom. del agua [°C]
T salida del agua
ΔT del Agua [°C]
Radiacion Solar [W/m ²]
Energía de la Atmósfera [W/m ²]
Calor cedido Convecc. [W/m ²]
Calor cedido Rad. [W/m ²]
BALANCE DE ENERGÍA [W]
Q [W]
Eficiencia
Eficiencia D
Eficiencia x horario

FIGURA 4.1 Partes del programa evaluador

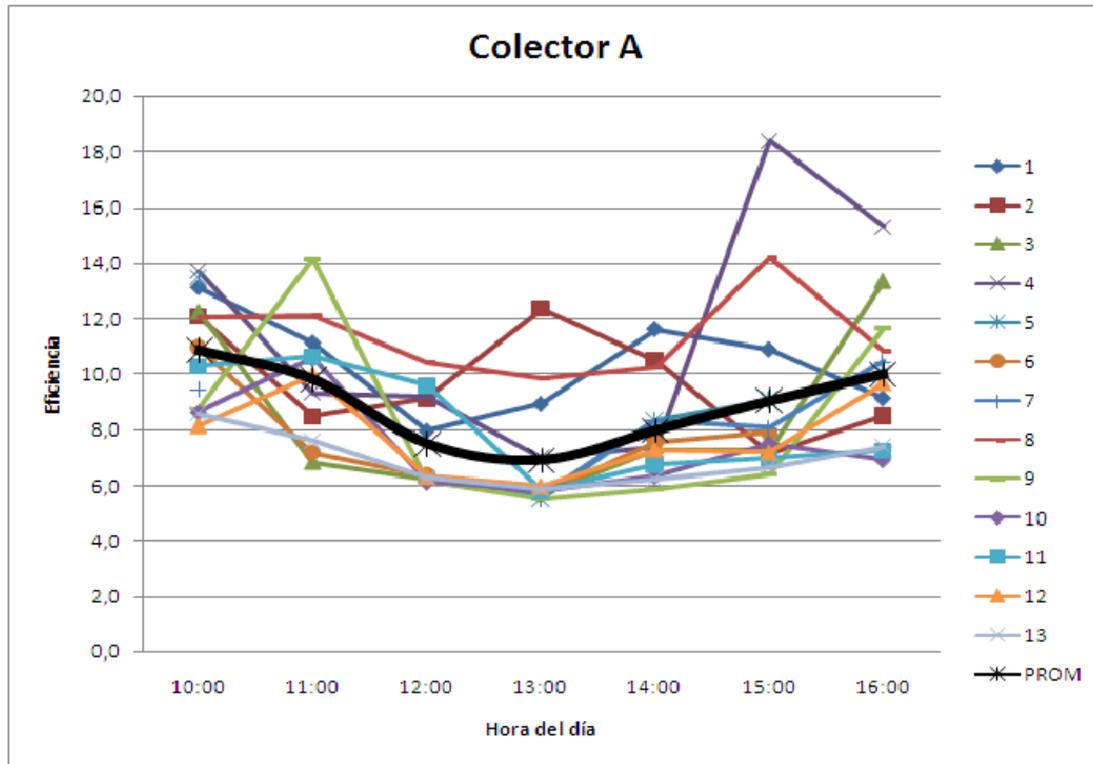
Los datos y resultados numéricos se presentan en el (Anexo 3).

En la siguiente grafica se presentan los resultados de la eficiencia por horario así como el promedio de esta eficiencia.

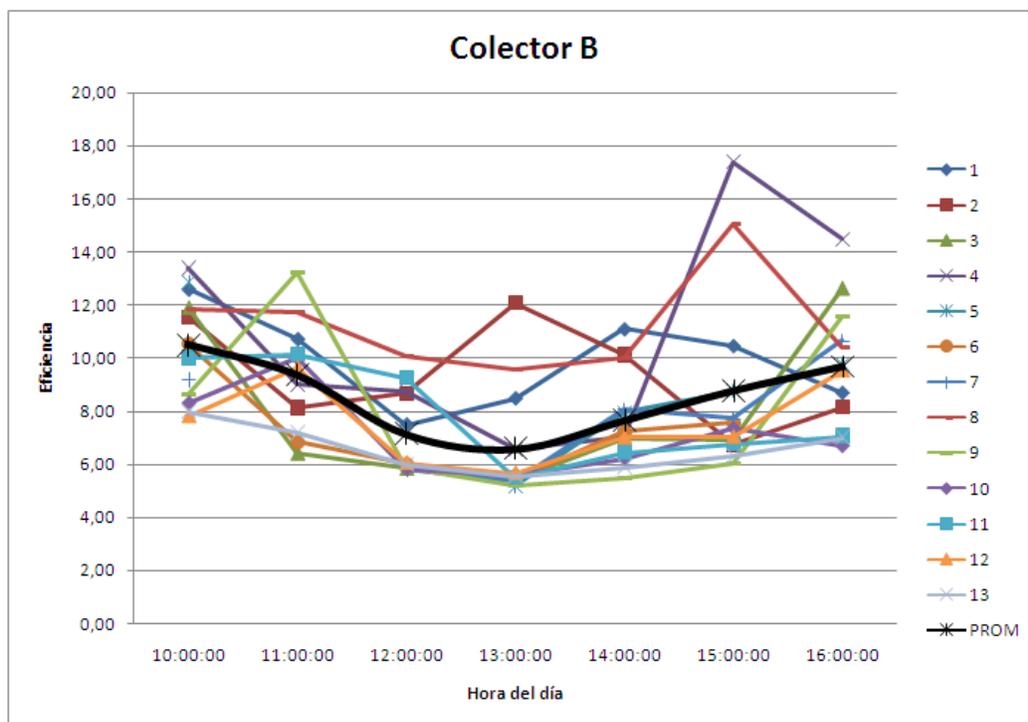
Es importante mencionar que se presentan 2 resultados de eficiencia promedio:

1. La eficiencia promedio global, se determina al promediar la eficiencia diaria de los colectores.
2. La eficiencia promedio por cada horario, se determina al promediar la eficiencia del colector a cierto horario especificado para todos los días. Esta eficiencia muestra su línea de tendencia en las siguientes graficas en color negro.

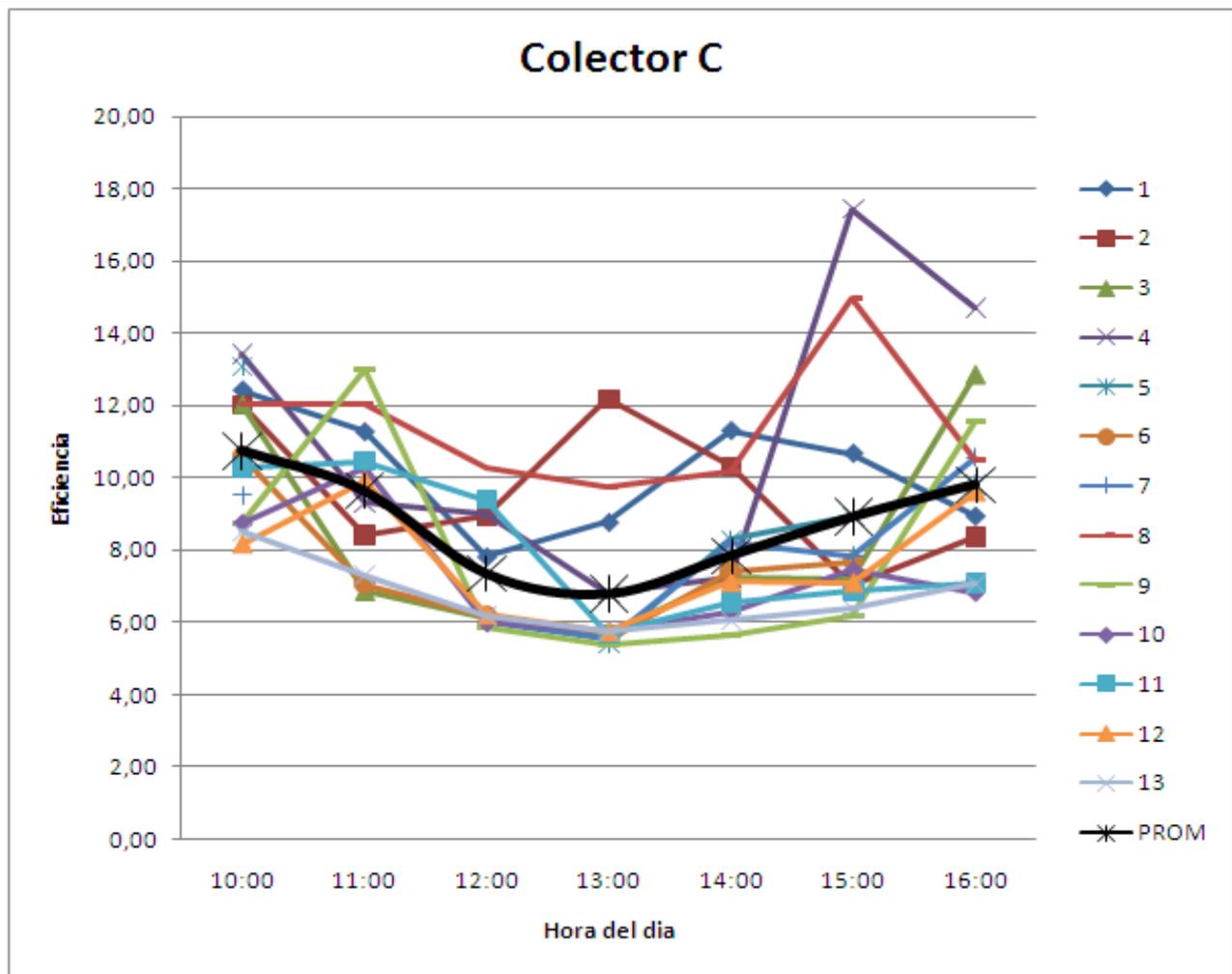
RESULTADOS EFICIENCIAS



Gráfica 4.1 Eficiencia del colector A por día



Gráfica 4.2 Eficiencia del colector B por día



Gráfica 4.3 Eficiencia del colector C por día



4.2 Interpretación de resultados

Para la interpretación de resultados se presenta una tabla resumen la cual muestra la eficiencia promedio de cada colector, así como su eficiencia máxima, su temperatura máxima, su salto térmico máximo, la caída máxima de presión, la potencia promedio y su precio. El resto de las características de los colectores se presentan en el Anexo 4.

Colector	Marca	Temp. Máx. °C	ΔT Máx. °C	Δp Max	Potencia prom. (W)	Eficiencia prom. global	Eficiencia prom horaria	Eficiencia máx.	Eficiencia min	Precio
A	Xnet Solaris	45	9	0,14	68,48	8,76	8,9	18,4	5,50	\$3428.00
B	Solar-Art	45	8	0,2	69,08	8,09	8,5	17,4	5,18	\$6150.00
C	Chromagen	42	10	0,05	68,81	8,27	8,7	17,4	5,36	\$6210.00

Tabla 4.2 Resumen de resultados

TEMP MAX: Es la temperatura máxima de salida registrada en el termómetro de cada colector.

ΔT Máx.: Es el gradiente de temperatura máximo, obtenido de $(T_{\text{salida}} - T_{\text{entrada}})$ en cada colector.

ΔP Máx.: Es el gradiente de presiones máximo, obtenida de $(P_{\text{salida}} - P_{\text{entrada}})$ en cada colector.

POTENCIA PROMEDIO [W]: Promedio de la energía ganada para cada colector.

EFICIENCIA PROMEDIO: Promedio de eficiencias, obtenida de (energía ganada por el colector/ energía que llega del Sol) en cada colector.

EFICIENCIA MÁXIMA: Es la eficiencia máxima registrada para cada colector.

EFICIENCIA MÍNIMA: Es la eficiencia mínima registrada para cada colector.

En ambos casos de la eficiencia promedio más alta lo presenta el colector A y también presenta la eficiencia más alta durante 1 día. El colector B tienen el mayor gradiente de presión, el colector C tiene el menor gradiente de presión. El colector al que se le adjudica el menor precio es el colector A mientras el C es el de mayor precio.

Para realizar una selección del colector más adecuado se necesita evaluar las prioridades del sistema que se va a instalar, ya que se tiene que considerar factores muy importantes como la capacidad de la bomba, el área disponible de colección solar, el tipo de montaje que se requiera, el uso para lo que se va a instalar el colector, el capital que se está dispuesto a invertir, la cantidad de agua que se va a calentar, los materiales del colector, las condiciones ambientales del sitio donde se instalaran y una serie de características que definirán el diseño de colector ideal para cada instalación.

Por último cabe señalar que las marcas y modelos de los colectores son las siguientes:

Colector A: Marca X-net solaris, modelo marchand Bonilla de la empresa X-net solaris

Colector B: Marca Solar-Art, modelo Ax-LF G5 de la empresa Solar-Art

Colector C: Marca Chomagen, modelo CR-90 de la empresa Heliocol de México S.A. de C.V.

Las características de los colectores proporcionadas por los proveedores se encuentran en el Anexo 4



5 Conclusiones

Las energías renovables se han vuelto tema de interés fundamental en el mundo, por lo que esta tesis plantea la posibilidad de utilizar la energía solar para el uso en una de las instalaciones dependientes de la UNAM, la ENP número 8. El uso de esta energía se plantea mediante colectores solares, ya que son una buena opción para el calentamiento térmico de albercas, pues su uso no contamina y es renovable, además los colectores solares cada día se están desarrollando más, haciendo más eficiente la recolección de esta energía.

Dentro del estudio realizado, se encontraba efectuar pruebas de campo a los colectores para evaluar la factibilidad de su instalación en la alberca de la ENP número 8, por tal motivo se realizó el programa evaluador descrito en este trabajo. Para ello se tomaron datos de temperatura y presión en cada uno de los colectores, estos datos junto con las características de los colectores y datos proporcionados por el “PEMBU”, son utilizados para realizar el programa evaluador, en el cual se presenta como resultado la energía que absorbe el colector y la eficiencia de cada una de las lecturas y la eficiencia promedio del colector durante el periodo de pruebas.

El programa es eficaz, aunque hay factores que se tienen que considerar, como por ejemplo, el que los datos se toman de manera puntual proporciona un error, aunque es mínimo se tiene que tomar en cuenta, ya que si en algún momento se toma la lectura justo después de que se coloca una nube en el cielo en un día soleado, el dato de la radiación solar será menor en la lectura de lo que había estado recibiendo el colector solar, lo mismo pasa cuando está nublado y hay unos minutos con el cielo despejado. Otro error que se tiene que mencionar es el factor humano, ya que las lecturas de temperatura y presión se realizan de forma manual y a ciertos horarios, y puede divergir en cierta forma con los datos que proporciona el PEMBUI ya que estos datos se registran de manera automática, lo cual puede producir un desfase entre las lecturas. En general las características del ambiente no cambian de manera radical durante el día, por lo cual este error no es considerable. Otros errores que se pueden presentar son los de calibración y los de apreciación. Estos errores no se pueden evitar pero se puede hacer lo posible por no cometerlos y gracias a esto disminuirlos.

Los errores que se pueden evitar están en la instalación, se pueden mencionar los siguientes, junto con una propuesta de solución:

Selección de los instrumentos de medición. Una mala selección de estos instrumentos produce un error a la hora de las lecturas, ya que si el rango es mayor a lo recomendable, la lectura tiende a ser imprecisa por lo que suele tener errores, por el contrario si la resolución es muy baja se puede salir del rango, en este caso los instrumentos fueron adecuados ya que tienen la resolución y el rango adecuados para minimizar este error.

La posición de los sistemas de medición, puede producir un error, ya que su mala colocación produce un error a la hora de las mediciones, los cuales pueden ser evitados. Se recomienda realizar una buena planificación de dónde y cómo se colocarán los instrumentos antes de la instalación para evitar lo anterior.



La posición de los colectores. Los colectores solares tienen un ángulo ideal para captar la máxima energía solar posible, para esto se realizan cálculos dependiendo de la posición global en la que se encuentra el sitio donde se pretende instalar los colectores solares. Si se colocan de forma adecuada los colectores se garantiza un mejor aprovechamiento de la energía. Aunque no es un error como tal, esto se tiene que tener en cuenta para hacer más eficiente la colección de energía.

El diseño del sistema puede afectar la igualdad entre los colectores ya que una mala planificación puede tener en desventaja a un colector respecto de otro, aunque sean de las mismas características y eficiencias, ya que si uno recibe más flujo que otro, el primero elevará la temperatura del agua en menor grado que el segundo, por lo cual se recomienda tomar en cuenta este factor para que los colectores reciban el mismo flujo, para esta prueba se propone instalar una bomba para cada colector para asegurar que los colectores estén en las mismas condiciones.

En general las pruebas son un buen parámetro para la evaluación de los colectores, y se puede decir que estas pruebas sirven para futuras evaluaciones, ya que se puede tomar en cuenta lo realizado en ellas, para mejorar las que se puedan hacer en un futuro. En lo que respecta a estas pruebas se puede mencionar que son un parámetro a considerar en la toma de decisión para la instalación de un sistema de calentamiento del agua de una alberca y en su momento se puede tomar como una justificación en la instalación de colectores solares. También se puede mencionar que los parámetros y los cálculos para determinar la eficiencia de los colectores son basados en el Manual de obra de toma y descarga de CFE⁴⁹ por lo que estos cálculos pueden ser diferentes a los que el proveedor atribuye a sus colectores u otras metodologías que se puedan llegar a proponer.

Respecto a los colectores se puede mencionar que los tres tienen eficiencias muy parecidas y en caso de que se decida instalarlos en alguna obra, se tiene que realizar una evaluación desde las instalaciones, hasta el tipo de tubería y bomba que se va a usar, además de caracterizar las prioridades del sistema que se requiera, así como el presupuesto disponible para la selección de alguno.

⁴⁹ Manual de diseño de obras civiles, hidrotecnia e hidráulica.CFE



ANEXOS



Anexos

Anexo 1 Toma de datos en sitio

COLECTOR "A" PRIMERA SEMANA

FECHA	HORA	TEMPERATURA INTERIOR DE LA CÁMARA °C	TEMPERATURA DE ENTRADA °C	TEMPERATURA SALIDA °C	PRESIÓN DE ENTRADA Kg/cm ²	PRESIÓN DE SALIDA Kg/cm ²
1er DÍA 7-sep-2009	10:00	0	19	18	0,4	0,15
1er DÍA 7-sep-2009	11:00	29	20	19	0,4	0,15
1er DÍA 7-sep-2009	12:00	32,5	22	25	0,4	0,15
1er DÍA 7-sep-2009	13:00	29,6	24	25	0,4	0,15
1er DÍA 7-sep-2009	14:00	25,6	25	24	0,4	0,15
1er DÍA 7-sep-2009	15:00	31,6	26	24	0,4	0,15
1er DÍA 7-sep-2009	16:00	30,9	27	27	0,4	0,15
2do DÍA 8-sep-2009	10:00	31,7	22	20	0,4	0,15
2do DÍA 8-sep-2009	11:00	29,8	24	22	0,4	0,15
2do DÍA 8-sep-2009	12:00	32,5	25,5	26	0,4	0,15
2do DÍA 8-sep-2009	13:00	27,5	26	22	0,4	0,15
2do DÍA 8-sep-2009	14:00	28,6	26	24	0,4	0,15
2do DÍA 8-sep-2009	15:00	40,4	28,5	30	0,4	0,15
2do DÍA 8-sep-2009	16:00	32,8	31	29	0,4	0,15
3ro DÍA 9-sep-2009	10:00	28,7	24	19	0,4	0,15
3ro DÍA 9-sep-2009	11:00	35,7	26	29	0,4	0,15
3ro DÍA 9-sep-2009	12:00	38,6	30	34	0,4	0,15
3ro DÍA 9-sep-2009	13:00	44,5	32,5	35	0,4	0,15
3ro DÍA 9-sep-2009	14:00	41,2	34,5	35	0,4	0,15
3ro DÍA 9-sep-2009	15:00	40,8	36,5	37	0,4	0,15
4to DÍA 10-sep-2009	10:00	30,7	24,5	20,5	0,4	0,15
4to DÍA 10-sep-2009	11:00	37,8	26	24	0,4	0,15
4to DÍA 10-sep-2009	12:00	35,2	27,5	29	0,4	0,15
4to DÍA 10-sep-2009	13:00	37,1	30	33,5	0,4	0,15
4to DÍA 10-sep-2009	14:00	44,3	32,5	32,5	0,4	0,15
5to DÍA 10-sep-2009	10:00	23,7	18	17	0,4	0,15
5to DÍA 10-sep-2009	11:00	27,8	24	21	0,4	0,15
5to DÍA 10-sep-2009	12:00	35,8	25	24	0,4	0,15
5to DÍA 10-sep-2009	13:00	47,4	29,5	34	0,4	0,15
5to DÍA 10-sep-2009	14:00	51,8	31,5	31	0,4	0,15
5to DÍA 10-sep-2009	15:00	48,3	32,5	30	0,4	0,15
5to DÍA 10-sep-2009	16:00	32,4	34,5	31	0,4	0,15

Tabla 0.1. Toma de datos del colector A, primera semana



COLECTOR "A" SEGUNDA SEMANA

FECHA	HORA	TEMPERATUR A INTERIOR DE LA CÁMARA °C	TEMPERATUR A DE ENTRADA °C	PRESIÓN DE BOMBA Kg/cm ²	TEMPERATUR A SALIDA °C	PRESIÓN DE ENTRADA Kg/cm ²	PRESIÓN DE SALIDA Kg/cm ²
1er DIA 21-sep-2009	11:00		21	0,4	25	0,3	0,17
1er DÍA 21-sep-2009	12:00		25	0,4	28	0,3	0,17
1er DÍA 21-sep-2009	13:00		28	0,4	32	0,3	0,17
1er DÍA 21-sep-2009	14:00		31	0,4	35	0,3	0,17
1er DÍA 21-sep-2009	15:00		34	0,4	35	0,3	0,17
1er DÍA 21-sep-2009	16:00		36	0,4	36	0,3	0,17
2do DÍA 22sep-2009	10:00	34,2	23	0,4	23	0,3	0,17
2do DÍA 22sep-2009	11:00	32,9	29	0,4	29	0,3	0,17
2do DÍA 22sep-2009	12:00	38,7	32	0,4	34,5	0,3	0,17
2do DÍA 22sep-2009	13:00	43	35	0,4	36	0,3	0,17
2do DÍA 22sep-2009	14:00	41,3	36	0,4	34,5	0,3	0,17
2do DÍA 22sep-2009	15:00	38,6	39	0,4	38	0,3	0,17
2do DÍA 22sep-2009	16:00	37,8	38	0,4	34	0,3	0,17
3ro DÍA 23-sep-2009	10:00	29	28	0,4	21	0,3	0,17
3ro DÍA 23-sep-2009	11:00	29,8	29	0,4	24	0,3	0,17
3ro DÍA 23-sep-2009	12:00	32,3	29	0,4	25	0,3	0,17
3ro DÍA 23-sep-2009	13:00	30,9	30	0,4	25	0,3	0,17
3ro DÍA 23-sep-2009	14:00	33,1	30	0,4	26	0,3	0,17
3ro DÍA 23-sep-2009	15:00	30,1	30	0,4	23	0,3	0,17
3to DÍA 23-sep-2009	16:00	42	32	0,4	28	0,3	0,17

Tabla 0.2. Toma de datos del colector A, segunda semana



COLECTOR "A" TERCERA SEMANA

FECHA	HORA	TEMPERATURA INTERIOR DE LA CÁMARA °C	TEMPERATURA DE ENTRADA °C	PRESIÓN DE BOMBA Kg/cm ²	TEMPERATURA A SALIDA °C	PRESIÓN DE ENTRADA A Kg/cm ²	PRESIÓN DE SALIDA Kg/cm ²
1er DÍA 28-sep-2009	10:00	29	21	0,4	30	0,3	0,17
1er DÍA 28-sep-2009	11:00	37	24	0,4	28	0,3	0,17
1er DÍA 28-sep-2009	12:00	36,5	29	0,4	33	0,3	0,16
1er DÍA 28-sep-2009	13:00	43,6	31	0,4	35	0,25	0,16
1er DÍA 28-sep-2009	14:00	42,5	34	0,4	38	0,25	0,16
1er DÍA 28-sep-2009	15:00	50,5	37	0,4	39	0,25	0,16
1er DÍA 28-sep-2009	16:00	39,8	38	0,4	34	0,25	0,16
2do DÍA 29-sep-2009	10:00	37,8	26	0,4	24	0,25	0,16
2do DÍA 29-sep-2009	11:00	40,4	31	0,4	33	0,25	0,16
2do DÍA 29-sep-2009	12:00	48,9	33,5	0,4	35	0,25	0,16
2do DÍA 29-sep-2009	13:00	48,5	36	0,4	36	0,25	0,16
2do DÍA 29-sep-2009	14:00	48,3	40	0,4	36	0,25	0,16
2do DÍA 29-sep-2009	15:00	42,7	40	0,4	36	0,25	0,16
2do DÍA 29-sep-2009	16:00	43	40	0,4	38	0,25	0,16
3ro DÍA 30-sep-2009	10:00	24,6	30	0,4	24	0,25	0,17
3ro DÍA 30-sep-2009	11:00	27,5	32	0,4	32	0,3	0,17
3ro DÍA 30-sep-2009	12:00	32,8	33	0,4	30	0,3	0,17
3ro DÍA 30-sep-2009	13:00	48,9	36,5	0,4	38	0,3	0,17
3ro DÍA 30-sep-2009	14:00	42,8	39,5	0,4	39	0,3	0,17
3ro DÍA 30-sep-2009	15:00	38,6	40	0,4	37	0,3	0,17
3ro DÍA 30-sep-2009	16:00	47,5	42	0,4	39	0,25	0,17
4to DÍA 1-OCT-2009	10:00	32,9	30	0,4	25	0,25	0,16
4to DÍA 1-OCT-2009	11:00	45,4	33	0,4	30	0,25	0,16
4to DÍA 1-OCT-2009	12:00	45	35	0,4	35	0,25	0,16
4to DÍA 1-OCT-2009	13:00	52,1	39	0,4	40	0,25	0,16
4to DÍA 1-OCT-2009	14:00	57,3	40	0,4	40	0,25	0,16
4to DÍA 1-OCT-2009	15:00	52,3	41	0,4	38	0,25	0,16
4to DÍA 1-OCT-2009	16:00	30,1	41	0,4	36	0,25	0,16
5to DÍA 6-OCT-2009	10:00	47,4	28	0,4	35	0,3	0,17
5to DÍA 6-OCT-2009	11:00	42,2	33	0,4	35	0,3	0,17
5to DÍA 6-OCT-2009	12:00	43,5	35	0,4	38	0,3	0,17
5to DÍA 6-OCT-2009	13:00	45,2	38	0,4	40	0,3	0,17
5to DÍA 6-OCT-2009	14:00	46,1	40	0,4	42	0,3	0,17
5to DÍA 6-OCT-2009	15:00	47,2	42	0,4	45	0,3	0,17
5to DÍA 6-OCT-2009	16:00	46,7	42	0,4	45	0,3	0,17

Tabla 0.3. Toma de datos del colector A, tercera semana



COLECTOR "B" PRIMERA SEMANA

FECHA	HORA	TEMPERATUR A INTERIOR DE LA CÁMARA °C	TEMPERATUR A DE ENTRADA °C	TEMPERATURA SALIDA °C	PRESIÓN DE ENTRADA Kg/cm ²	PRESIÓN DE SALIDA Kg/cm ²
1er DÍA 7-sep-2009	10:00	26,6	19	21	0,4	0,16
1er DÍA 7-sep-2009	11:00	43,3	20	22	0,4	0,16
1er DÍA 7-sep-2009	12:00	51,6	22	24	0,4	0,16
1er DÍA 7-sep-2009	13:00	43,3	25	26	0,4	0,16
1er DÍA 7-sep-2009	14:00	32,2	25	26	0,4	0,16
1er DÍA 7-sep-2009	15:00	34,4	26	27	0,4	0,16
1er DÍA 7-sep-2009	16:00	43,3	27	28	0,4	0,16
2do DÍA 8-sep-2009	10:00	37,7	22	22,5	0,4	0,15
2do DÍA 8-sep-2009	11:00	41,1	24	26	0,4	0,15
2do DÍA 8-sep-2009	12:00	44,4	25,5	27,5	0,4	0,15
2do DÍA 8-sep-2009	13:00	30,0	26	27	0,4	0,15
2do DÍA 8-sep-2009	14:00	34,4	26	28	0,4	0,15
2do DÍA 8-sep-2009	15:00	67,8	28,5	30,5	0,4	0,15
2do DÍA 8-sep-2009	16:00	45,6	31	32	0,4	0,15
3ro DÍA 9-sep-2009	10:00	24,4	24	24	0,4	0,15
3ro DÍA 9-sep-2009	11:00	60,0	26	28	0,4	0,15
3ro DÍA 9-sep-2009	12:00	73,3	30	32	0,4	0,15
3ro DÍA 9-sep-2009	13:00	82,2	32,5	35	0,4	0,15
3ro DÍA 9-sep-2009	14:00	76,7	34,5	36,5	0,4	0,15
3ro DÍA 9-sep-2009	15:00	75,6	36,5	37,5	0,4	0,15
4to DÍA 10-sep-2009	10:00	26,7	24	26	0,4	0,15
4to DÍA 10-sep-2009	11:00	38,9	26	28	0,4	0,15
4to DÍA 10-sep-2009	12:00	60,0	27,5	30	0,4	0,15
4to DÍA 10-sep-2009	13:00	63,3	30	32	0,4	0,15
4to DÍA 10-sep-2009	14:00	58,9	32,5	34	0,4	0,15
5to DÍA 10-sep-2009	10:00	21,1	18	19	0,4	0,15
5to DÍA 10-sep-2009	11:00	28,9	24	24	0,4	0,16
5to DÍA 10-sep-2009	12:00	41,1	25	26	0,4	0,16
5to DÍA 10-sep-2009	13:00	84,4	29,5	32	0,4	0,16
5to DÍA 10-sep-2009	14:00	72,2	31,5	33	0,4	0,16
5to DÍA 10-sep-2009	15:00	50,0	32,5	34	0,4	0,15
5to DÍA 10-sep-2009	16:00	42,2	34,5	35	0,4	0,15

Tabla 0.4 Toma de datos del colector B, primera semana



COLECTOR "B" SEGUNDA SEMANA

FECHA	HORA	TEMPERATUR A INTERIOR DE LA CÁMARA °C	TEMPERATUR A DE ENTRADA °C	PRESIÓN DE BOMBA Kg/cm2	TEMPERATUR A SALIDA °C	PRESIÓN DE ENTRADA Kg/cm ²	PRESIÓN DE SALIDA Kg/cm ²
1er DÍA 21-sep-2009	11:00		21	0,4	28	0,3	0,15
1er DÍA 21-sep-2009	12:00		25	0,4	30	0,3	0,15
1er DÍA 21-sep-2009	13:00		28	0,4	32	0,3	0,15
1er DÍA 21-sep-2009	14:00		31	0,4	37	0,3	0,15
1er DÍA 21-sep-2009	15:00		34	0,4	37	0,3	0,15
1er DÍA 21-sep-2009	16:00		36	0,4	39	0,3	0,15
2do DÍA 22sep-2009	10:00	41,11	23	0,4	29	0,3	0,15
2do DÍA 22sep-2009	11:00	45,56	29	0,4	31	0,3	0,15
2do DÍA 22sep-2009	12:00	81,11	32	0,4	36	0,3	0,15
2do DÍA 22sep-2009	13:00	87,78	35	0,4	38,5	0,3	0,15
2do DÍA 22sep-2009	14:00	65,56	36	0,4	39	0,3	0,15
2do DÍA 22sep-2009	15:00	77,78	39	0,4	42	0,3	0,15
2do DÍA 22sep-2009	16:00	52,22	38	0,4	39	0,3	0,15
3ro DÍA 23-sep-2009	10:00	32,22	28	0,4	28	0,3	0,15
3ro DÍA 23-sep-2009	11:00	33,33	29	0,4	29	0,3	0,15
3ro DÍA 23-sep-2009	12:00	38,89	29	0,4	29	0,3	0,15
3ro DÍA 23-sep-2009	13:00	39,44	30	0,4	30	0,3	0,15
3ro DÍA 23-sep-2009	14:00	41,67	30	0,4	30	0,3	0,15
3ro DÍA 23-sep-2009	15:00	27,22	30	0,4	28,5	0,3	0,15
3to DÍA 23-sep-2009	16:00	60,56	32	0,4	33,5	0,3	0,15

Tabla 0.5. Toma de datos del colector B, segunda semana



COLECTOR "B" TERCERA SEMANA

FECHA	HORA	TEMPERATUR A INTERIOR DE LA CÁMARA °C	TEMPERATUR A DE ENTRADA °C	PRESIÓ N DE BOMBA Kg/cm2	TEMPERATUR A SALIDA °C	PRESIÓN DE ENTRADA Kg/cm ²	PRESIÓN DE SALIDA Kg/cm ²
1er DÍA 28-sep-2009	10:00	71,11	21	0,4	29	0,3	0,15
1er DÍA 28-sep-2009	11:00	71,11	24	0,4	27	0,3	0,15
1er DÍA 28-sep-2009	12:00	81,11	29	0,4	34	0,3	0,15
1er DÍA 28-sep-2009	13:00	70	31	0,4	36	0,3	0,15
1er DÍA 28-sep-2009	14:00	87,78	34	0,4	38	0,3	0,15
1er DÍA 28-sep-2009	15:00	77,78	37	0,4	39	0,3	0,15
1er DÍA 28-sep-2009	16:00	51,11	38	0,4	38	0,3	0,15
2do DÍA 29-sep-2009	10:00	44,44	26	0,4	28	0,3	0,15
2do DÍA 29-sep-2009	11:00	73,33	31	0,4	33	0,3	0,15
2do DÍA 29-sep-2009	12:00	81,11	33,5	0,4	36	0,3	0,15
2do DÍA 29-sep-2009	13:00	81,11	36	0,4	40	0,3	0,15
2do DÍA 29-sep-2009	14:00	82,22	40	0,4	42	0,3	0,15
2do DÍA 29-sep-2009	15:00	65,56	40	0,4	42	0,3	0,15
2do DÍA 29-sep-2009	16:00	71,11	40	0,4	42	0,3	0,15
3ro DÍA 30-OCT-2009	10:00	37,78	30	0,4	30	0,25	0,15
3ro DÍA 30-OCT-2009	11:00	65,56	32	0,4	34	0,3	0,15
3ro DÍA 30-OCT-2009	12:00	45,56	33	0,4	34	0,3	0,15
3ro DÍA 30-OCT-2009	13:00	83,33	36,5	0,4	39	0,3	0,15
3ro DÍA 30-OCT-2009	14:00	87,78	39,5	0,4	42	0,3	0,15
3ro DÍA 30-OCT-2009	15:00	60	40	0,4	42	0,3	0,15
3ro DÍA 30-OCT-2009	16:00	71,11	42	0,4	43	0,25	0,15
4to DÍA 1-OCT-2009	10:00	37,78	30	0,4	28	0,25	0,15
4to DÍA 1-OCT-2009	11:00	65,56	33	0,4	34	0,25	0,15
4to DÍA 1-OCT-2009	12:00	74,44	35	0,4	38	0,25	0,15
4to DÍA 1-OCT-2009	13:00	87,78	39	0,4	40,5	0,25	0,15
4to DÍA 1-OCT-2009	14:00	87,78	40	0,4	43	0,25	0,15
4to DÍA 1-OCT-2009	15:00	76,67	41	0,4	44	0,25	0,15
4to DÍA 1-OCT-2009	16:00	60	41	0,4	42	0,25	0,15
5to DÍA 6-OCT-2009	10:00	74,44	28	0,4	32	0,3	0,1
5to DÍA 6-OCT-2009	11:00	76,67	33	0,4	35	0,3	0,1
5to DÍA 6-OCT-2009	12:00	82,22	35	0,4	40	0,3	0,1
5to DÍA 6-OCT-2009	13:00	87,78	38	0,4	40	0,3	0,1
5to DÍA 6-OCT-2009	14:00	87,78	40	0,4	42	0,3	0,1
5to DÍA 6-OCT-2009	15:00	82,22	42	0,4	45	0,3	0,1
5to DÍA 6-OCT-2009	16:00	82,22	42	0,4	45	0,3	0,1

Tabla 0.6. Toma de datos del colector B, tercera semana



COLECTOR "C" PRIMERA SEMANA

FECHA	HORA	TEMPERATURA INTERIOR DE LA CÁMARA °C	TEMPERATURA DE ENTRADA °C	TEMPERATURA SALIDA °C	PRESIÓN DE ENTRADA Kg/cm ²	PRESIÓN DE SALIDA Kg/cm ²
1er DÍA 7-sep-2009	10:00	0	19	14	0,4	0,3
1er DÍA 7-sep-2009	11:00	24,4	20	22	0,4	0,3
1er DÍA 7-sep-2009	12:00	34,5	22	25	0,4	0,2
1er DÍA 7-sep-2009	13:00	28,3	25	26	0,4	0,2
1er DÍA 7-sep-2009	14:00	24,9	25	25	0,4	0,2
1er DÍA 7-sep-2009	15:00	28,7	26	26	0,4	0,2
1er DÍA 7-sep-2009	16:00	29,6	28	28	0,4	0,2
2do DÍA 8-sep-2009	10:00	27,4	20	24	0,4	0,25
2do DÍA 8-sep-2009	11:00	26,7	24	25	0,4	0,25
2do DÍA 8-sep-2009	12:00	29,2	25,5	27	0,4	0,3
2do DÍA 8-sep-2009	13:00	27	26	25	0,4	0,3
2do DÍA 8-sep-2009	14:00	27,9	26	26	0,4	0,3
2do DÍA 8-sep-2009	15:00	33,7	28,5	31	0,4	0,3
2do DÍA 8-sep-2009	16:00	31,3	31	30	0,4	0,3
3ro DÍA 9-sep-2009	10:00	28	24	21,5	0,4	0,3
3ro DÍA 9-sep-2009	11:00	36,6	26	30	0,4	0,3
3ro DÍA 9-sep-2009	12:00	43,6	30	32	0,4	0,3
3ro DÍA 9-sep-2009	13:00	41,8	32,5	36	0,4	0,3
3ro DÍA 9-sep-2009	14:00	40,4	34,5	36,5	0,4	0,3
3ro DÍA 9-sep-2009	15:00	41	36,5	38	0,4	0,3
4to DÍA 10-sep-2009	10:00	26	24	23	0,4	0,3
4to DÍA 10-sep-2009	11:00	30,7	26	26	0,4	0,2
4to DÍA 10-sep-2009	12:00	36	27,5	30	0,4	0,2
4to DÍA 10-sep-2009	13:00	36,3	30	32	0,4	0,2
4to DÍA 10-sep-2009	14:00	40,7	32,5	33	0,4	0,3
5to DÍA 10-sep-2009	10:00	22,7	18	18	0,4	0,2
5to DÍA 10-sep-2009	11:00	25,6	24	23,5	0,4	0,3
5to DÍA 10-sep-2009	12:00	30,5	25	25,5	0,4	0,3
5to DÍA 10-sep-2009	13:00	37,5	29,5	33	0,4	0,3
5to DÍA 10-sep-2009	14:00	38,7	31,5	34	0,4	0,3
5to DÍA 10-sep-2009	15:00	38,3	32,5	32	0,4	0,3
5to DÍA 10-sep-2009	16:00	34,3	34,5	32	0,4	0,3

Tabla 0.7 Toma de datos del colector C, primera semana



COLECTOR "C" SEGUNDA SEMANA

FECHA	HORA	TEMPERATURA INTERIOR DE LA CÁMARA °C	TEMPERATURA DE ENTRADA °C	PRESIÓN DE BOMBA Kg/cm ²	TEMPERATURA A SALIDA °C	PRESIÓN DE ENTRADA Kg/cm ²	PRESIÓN DE SALIDA Kg/cm ²
1er DÍA 21-sep-2009	11:00		21	0,4	24,5	0,25	0,22
1er DÍA 21-sep-2009	12:00		25	0,4	28	0,25	0,22
1er DÍA 21-sep-2009	13:00		28	0,4	30	0,25	0,22
1er DÍA 21-sep-2009	14:00		31	0,4	34	0,25	0,22
1er DÍA 21-sep-2009	15:00		34	0,4	35	0,25	0,22
1er DÍA 21-sep-2009	16:00		36	0,4	37	0,25	0,22
2do DÍA 22sep-2009	10:00	32,9	23	0,4	29	0,25	0,22
2do DÍA 22sep-2009	11:00	30,7	29	0,4	30	0,25	0,22
2do DÍA 22sep-2009	12:00	36,6	32	0,4	33,5	0,25	0,22
2do DÍA 22sep-2009	13:00	36,5	35	0,4	36	0,25	0,22
2do DÍA 22sep-2009	14:00	38,6	36	0,4	36	0,25	0,22
2do DÍA 22sep-2009	15:00	39	39	0,4	39	0,25	0,22
2do DÍA 22sep-2009	16:00	35,2	38	0,4	36	0,25	0,22
3ro DÍA 23-sep-2009	10:00	28	28	0,4	26	0,25	0,22
3ro DÍA 23-sep-2009	11:00	28,4	29	0,4	27	0,25	0,22
3ro DÍA 23-sep-2009	12:00	30,5	29	0,4	27	0,25	0,22
3ro DÍA 23-sep-2009	13:00	28,7	30	0,4	28	0,25	0,22
3ro DÍA 23-sep-2009	14:00	33	30	0,4	29	0,25	0,22
3ro DÍA 23-sep-2009	15:00	29,3	30	0,4	27,5	0,25	0,22
3to DÍA 23-sep-2009	16:00	32,8	32	0,4	31	0,25	0,22

Tabla 0.8. Toma de datos del colector C, segunda semana



COLECTOR "C" TERCERA SEMANA

FECHA	HORA	TEMPERATURA INTERIOR DE LA CÁMARA °C	TEMPERATURA DE ENTRADA °C	PRESIÓN DE BOMBA Kg/cm2	TEMPERATURA SALIDA °C	PRESIÓN DE ENTRADA Kg/cm ²	PRESIÓN DE SALIDA Kg/cm ²
1er DÍA 28-sep-2009	10:00	28,3	21	0,4	26	0,25	0,22
1er DÍA 28-sep-2009	11:00	32,7	24	0,4	27	0,25	0,22
1er DÍA 28-sep-2009	12:00	34,6	29	0,4	32	0,25	0,22
1er DÍA 28-sep-2009	13:00	38,4	31	0,4	33	0,25	0,22
1er DÍA 28-sep-2009	14:00	38,7	34	0,4	37	0,25	0,22
1er DÍA 28-sep-2009	15:00	41,4	37	0,4	38	0,25	0,22
1er DÍA 28-sep-2009	16:00	36,6	38	0,4	36	0,25	0,22
2do DÍA 29-sep-2009	10:00	35,3	26	0,4	31	0,25	0,22
2do DÍA 29-sep-2009	11:00	35,1	31	0,4	33	0,25	0,22
2do DÍA 29-sep-2009	12:00	39,3	33,5	0,4	35	0,25	0,22
2do DÍA 29-sep-2009	13:00	39,5	36	0,4	38	0,25	0,22
2do DÍA 29-sep-2009	14:00	39	40	0,4	38	0,25	0,2
2do DÍA 29-sep-2009	15:00	39,5	40	0,4	38	0,25	0,2
2do DÍA 29-sep-2009	16:00	39,6	40	0,4	40	0,25	0,2
3ro DÍA 30-OCT-2009	10:00	24,1	30	0,4	29	0,25	0,2
3ro DÍA 30-OCT-2009	11:00	30,2	32	0,4	32	0,25	0,2
3ro DÍA 30-OCT-2009	12:00	31,1	33	0,4	31	0,25	0,2
3ro DÍA 30-OCT-2009	13:00	32,2	36,5	0,4	38	0,25	0,2
3ro DÍA 30-OCT-2009	14:00	41,5	39,5	0,4	40	0,25	0,2
3ro DÍA 30-OCT-2009	15:00	39,2	40	0,4	38,5	0,25	0,2
3ro DÍA 30-OCT-2009	16:00	41,6	42	0,4	40	0,25	0,2
4to DÍA 1-OCT-2009	10:00	31,7	30	0,4	30	0,25	0,2
4to DÍA 1-OCT-2009	11:00	40,6	33	0,4	32	0,25	0,2
4to DÍA 1-OCT-2009	12:00	40	35	0,4	35	0,2	0,2
4to DÍA 1-OCT-2009	13:00	45,4	39	0,4	38,2	0,25	0,2
4to DÍA 1-OCT-2009	14:00	46,3	40	0,4	40	0,25	0,2
4to DÍA 1-OCT-2009	15:00	42,4	41	0,4	40	0,25	0,2
4to DÍA 1-OCT-2009	16:00	28	41	0,4	39	0,25	0,2
5to DÍA 6-OCT-2009	10:00	38,7	28	0,4	38	0,25	0,2
5to DÍA 6-OCT-2009	11:00	38,6	33	0,4	35	0,25	0,2
5to DÍA 6-OCT-2009	12:00	41,4	35	0,4	39	0,25	0,2
5to DÍA 6-OCT-2009	13:00	43,7	38	0,4	40	0,25	0,2
5to DÍA 6-OCT-2009	14:00	47,2	40	0,4	41	0,25	0,2
5to DÍA 6-OCT-2009	15:00	47,9	42	0,4	42	0,25	0,2
5to DÍA 6-OCT-2009	16:00	47	42	0,4	42	0,25	0,2

Tabla 0.9. Toma de datos del colector C, tercera semana



LECTURAS EN EL TANQUE PRIMERA SEMANA

FECHA	HORA	Temp. Tanque °C	Temp. salida de tubería °C
1er DÍA 7-sep-2009	10:00	18	18
1er DÍA 7-sep-2009	11:00	20,4	22,1
1er DÍA 7-sep-2009	12:00	24,5	25,1
1er DÍA 7-sep-2009	13:00	24,5	25
1er DÍA 7-sep-2009	14:00	26,6	26,9
1er DÍA 7-sep-2009	15:00	29	29,3
1er DÍA 7-sep-2009	16:00	28,5	28,5
2do DÍA 8-sep-2009	10:00	24,5	25
2do DÍA 8-sep-2009	11:00	26	26,4
2do DÍA 8-sep-2009	12:00	26,5	27,2
2do DÍA 8-sep-2009	13:00	27,2	27,2
2do DÍA 8-sep-2009	14:00	26,7	27,3
2do DÍA 8-sep-2009	15:00	29,8	30,5
2do DÍA 8-sep-2009	16:00	30,2	30,7
3ro DÍA 9-sep-2009	10:00	26,1	26,3
3ro DÍA 9-sep-2009	11:00	26	26,9
3ro DÍA 9-sep-2009	12:00	29,9	31,7
3ro DÍA 9-sep-2009	13:00	31,9	33,4
3ro DÍA 9-sep-2009	14:00	33,9	34,3
3ro DÍA 9-sep-2009	15:00	36,9	37,4
3ro DÍA 9-sep-2009	16:00	37,8	37,8
4to DÍA 10-sep-2009	10:00	26	26,7
4to DÍA 10-sep-2009	11:00	27,3	28,3
4to DÍA 10-sep-2009	12:00	29,6	29,9
4to DÍA 10-sep-2009	13:00	29,8	30,2
4to DÍA 10-sep-2009	14:00	33,9	34,3
5to DÍA 10-sep-2009	10:00	25,5	25,7
5to DÍA 10-sep-2009	11:00	26	26,4
5to DÍA 10-sep-2009	12:00	26,9	28,1
5to DÍA 10-sep-2009	13:00	29,2	30,7
5to DÍA 10-sep-2009	14:00	30,4	31,9
5to DÍA 10-sep-2009	15:00	35,4	36,5
5to DÍA 10-sep-2009	16:00	36,6	36,7

Tabla 0.10. Lecturas en el tanque, primera semana



LECTURAS EN EL TANQUE SEGUNDA SEMANA

FECHA	HORA	Temp. Tanque °C	Temp. salida de tubería °C
2do DÍA 22sep-2009	10:00	28,4	29
2do DÍA 22sep-2009	11:00	29,6	30,3
2do DÍA 22sep-2009	12:00	33,3	34,6
2do DÍA 22sep-2009	13:00	36,5	37,2
2do DÍA 22sep-2009	14:00	37,5	38,1
2do DÍA 22sep-2009	15:00	38,7	39,2
3ro DÍA 23-sep-2009	10:00	28,5	31
3ro DÍA 23-sep-2009	11:00	29,7	30,1
3ro DÍA 23-sep-2009	12:00	30,5	31
3ro DÍA 23-sep-2009	13:00	30,5	31
3ro DÍA 23-sep-2009	14:00	32	32,4
3ro DÍA 23-sep-2009	15:00	31	31,5
3ro DÍA 23-sep-2009	16:00	33,1	33,6

Tabla 0.11. Lecturas en el tanque, segunda semana



LECTURAS EN EL TANQUE TERCERA SEMANA

FECHA	HORA	Temp. Tanque °C	Temp. salida de tubería °C
1er DÍA 28-sep-2009	11:00	23	23
1er DÍA 28-sep-2009	12:00	26,9	28,5
1er DÍA 28-sep-2009	13:00	31,7	33
1er DÍA 28-sep-2009	14:00	35,5	36,8
1er DÍA 28-sep-2009	15:00	37,4	38,6
1er DÍA 28-sep-2009	16:00	39,4	39,8
2do DÍA 29-sep-2009	10:00	29,8	30,5
2do DÍA 29-sep-2009	11:00	31,6	32,4
2do DÍA 29-sep-2009	12:00	33,3	34,8
2do DÍA 29-sep-2009	13:00	34	36
2do DÍA 29-sep-2009	14:00	38,4	40
2do DÍA 29-sep-2009	15:00	41,5	42
2do DÍA 29-sep-2009	16:00	41,5	42
3ro DÍA 30-OCT-2009	10:00	31,6	31,6
3ro DÍA 30-OCT-2009	11:00	29,3	32,9
3ro DÍA 30-OCT-2009	12:00	33,9	34,6
3ro DÍA 30-OCT-2009	13:00	37,5	39
3ro DÍA 30-OCT-2009	14:00	39,8	40,8
3ro DÍA 30-OCT-2009	15:00	42,4	42,5
3ro DÍA 30-OCT-2009	16:00	44,2	44,5
4to DÍA 1-OCT-2009	11:00	34,8	36
4to DÍA 1-OCT-2009	12:00	36,8	38,1
4to DÍA 1-OCT-2009	13:00	41,8	43
4to DÍA 1-OCT-2009	14:00	42,7	43,6
4to DÍA 1-OCT-2009	15:00	44,9	45,6
5to DÍA 6-OCT-2009	10:00	30,7	32,7
5to DÍA 6-OCT-2009	11:00	34	34,9
5to DÍA 6-OCT-2009	12:00	36,2	37
5to DÍA 6-OCT-2009	13:00	39,6	40,3
5to DÍA 6-OCT-2009	14:00	41	42,1
5to DÍA 6-OCT-2009	15:00	42,3	43,4
5to DÍA 6-OCT-2009	16:00	42,2	43,1

Tabla 0.12. Lecturas en el tanque, tercera semana



Anexo 2 Datos del PEMBU

Fecha	Hora	Temp Aire	Vel. Viento	Rad. Solar	Hum. Relativa
07/09/2009	10:00 AM	14,6	0	123	100
07/09/2009	11:00 AM	15,6	0,4	240	100
07/09/2009	12:00 PM	18,4	0	535	65
07/09/2009	1:00 PM	19,6	0,4	396	58
07/09/2009	2:00 PM	19,6	0	148	56
07/09/2009	3:00 PM	20	0	190	58
07/09/2009	4:00 PM	20,7	0	346	55
08/09/2009	10:00 AM	15,3	0	172	100
08/09/2009	11:00 AM	18,2	0	448	67
08/09/2009	12:00 PM	18,8	0,9	412	64
08/09/2009	1:00 PM	18,1	0,4	125	69
08/09/2009	2:00 PM	19,4	0	229	63
08/09/2009	3:00 PM	20,7	0,9	674	54
08/09/2009	4:00 PM	21,6	0,4	420	52
09/09/2009	10:00 AM	16,2	0	139	78
09/09/2009	11:00 AM	19,6	0	712	62
09/09/2009	12:00 PM	20,6	0,9	879	57
09/09/2009	1:00 PM	21,9	0,9	994	51
09/09/2009	2:00 PM	22,7	0,9	633	48
09/09/2009	3:00 PM	22,9	0,9	643	48
09/09/2009	4:00 PM	21	1,8	121	52
10/09/2009	10:00 AM	15,6	0	76	100
10/09/2009	11:00 AM	18,3	0	350	72
10/09/2009	12:00 PM	20	0	359	64
10/09/2009	1:00 PM	21,7	0	658	54
10/09/2009	2:00 PM	22,7	0,4	578	48
10/09/2009	3:00 PM	19,3	3,6	63	64
10/09/2009	4:00 PM	16,2	0	15	100
11/09/2009	10:00 AM	15,4	0	92	99
11/09/2009	11:00 AM	16,4	0	---	99
11/09/2009	12:00 PM	---	0,9	---	77
11/09/2009	1:00 PM	20,1	0	1032	58
11/09/2009	2:00 PM	21,7	0	429	53
11/09/2009	3:00 PM	22,1	0	325	48
11/09/2009	4:00 PM	23,4	0,4	228	45
21/09/2009	11:00 AM	18,6	0	225	64
21/09/2009	12:00 PM	21	0	627	53
21/09/2009	1:00 PM	21,6	0	790	49
21/09/2009	2:00 PM	24,1	0,4	942	40
21/09/2009	3:00 PM	23,3	0,4	548	45
21/09/2009	4:00 PM	23,9	0,9	522	42
22/09/2009	10:00 AM	15,9	0	378	77



Pruebas experimentales a paneles colectores de energía térmica solar



22/09/2009	11:00 AM	---	0	---	74
22/09/2009	12:00 PM	20,3	0,4	879	52
22/09/2009	1:00 PM	21,7	0,4	991	47
22/09/2009	2:00 PM	21,9	0,9	493	45
22/09/2009	3:00 PM	22,6	0,9	534	44
22/09/2009	4:00 PM	22,7	1,8	312	44
23/09/2009	10:00 AM	16,4	0	144	69
23/09/2009	11:00 AM	17,1	0	142	65
23/09/2009	12:00 PM	17,8	0	253	65
23/09/2009	1:00 PM	18,8	0,4	304	61
23/09/2009	2:00 PM	19,3	0,9	287	59
23/09/2009	3:00 PM	18,2	2,7	126	67
23/09/2009	4:00 PM	19,4	2,2	322	63
28/09/2009	10:00 AM	18,4	1,3	509	57
28/09/2009	11:00 AM	19,8	1,8	80	52
28/09/2009	12:00 PM	21,6	1,8	923	44
28/09/2009	1:00 PM	22,4	0,4	1027	41
28/09/2009	2:00 PM	22,8	1,3	996	41
28/09/2009	3:00 PM	23,4	1,8	889	37
28/09/2009	4:00 PM	23,1	1,8	215	36
29/09/2009	10:00 AM	17	0	447	68
29/09/2009	11:00 AM	18,6	0	259	59
29/09/2009	12:00 PM	20	0,4	888	50
29/09/2009	1:00 PM	21,4	0,4	943	43
29/09/2009	2:00 PM	22,3	0,4	782	39
29/09/2009	3:00 PM	22,6	0,4	556	38
29/09/2009	4:00 PM	23,5	0,4	657	37
30/09/2009	10:00 AM	17,2	0	267	70
30/09/2009	11:00 AM	18,9	0	243	60
30/09/2009	12:00 PM	19,6	0,4	337	56
30/09/2009	1:00 PM	21,9	0	921	44
30/09/2009	2:00 PM	23	0,9	756	41
30/09/2009	3:00 PM	23,6	0,9	681	37
30/09/2009	4:00 PM	24,3	1,3	656	37
01/10/2009	10:00 AM	18,6	0	474	63
01/10/2009	11:00 AM	19,6	0	275	58
01/10/2009	12:00 PM	21,5	0	784	50
01/10/2009	1:00 PM	22,6	0,9	940	46
01/10/2009	2:00 PM	23,8	0,4	599	39
01/10/2009	3:00 PM	24,8	0,4	581	35
01/10/2009	4:00 PM	24,4	0,4	257	35
06/10/2009	10:00 AM	19,6	0	468	49
06/10/2009	11:00 AM	21,5	0	554	44
06/10/2009	12:00 PM	23,6	0	782	35
06/10/2009	1:00 PM	25,2	0,4	882	28
06/10/2009	2:00 PM	25,8	0,9	825	26



Pruebas experimentales a paneles colectores de energía térmica solar



06/10/2009	3:00 PM	26,2	0,9	747	24
06/10/2009	4:00 PM	26,6	1,8	677	22

Tabla 0.13 Datos PEMBU



Anexo 3 Programa evaluador de eficiencia de colectores solares

Colector A

BALANCE DE ENERGÍA [W]	Radiacion Solar [W/m ²]	Energía de la Atmósfera [W/m ²]	Calor cedido Convecc. [W/m ²]	Calor cedido Rad. [W/m ²]	Q [W]	Eficiencia	Eficiencia D
520,91	55,35	290,08	0,00	39,01	68,3	13,1	
613,82	108,00	296,18	3,56	39,55	68,3	11,1	
869,86	240,75	313,83	0,00	42,90	69,3	8,0	
769,24	178,20	321,66	4,47	42,90	68,8	8,9	10,40
588,09	66,60	321,66	0,00	42,33	68,3	11,6	
624,72	85,50	324,31	0,00	42,33	68,1	10,9	
749,05	155,70	328,98	0,00	44,06	68,6	9,2	
563,79	77,40	294,34	0,00	40,09	68,1	12,1	
804,01	201,60	312,54	0,00	41,20	68,1	8,5	
754,94	185,40	316,43	14,26	43,48	68,7	9,1	
546,67	56,25	311,90	5,38	41,20	67,6	12,4	9,73
647,82	103,05	320,35	0,00	42,33	68,1	10,5	
967,11	303,30	328,98	17,54	45,85	68,9	7,1	
800,98	189,00	335,08	7,66	45,25	68,1	8,5	
548,92	62,55	299,89	0,00	39,55	67,3	12,3	
1014,58	320,40	321,66	0,00	45,25	69,3	6,8	
1108,65	395,55	328,31	23,39	48,32	69,6	6,3	
1208,97	447,30	337,13	24,32	48,96	69,2	5,7	8,43
941,49	284,85	342,65	24,73	48,96	68,7	7,3	
943,04	289,35	344,04	28,42	50,24	68,7	7,3	
511,04	54,45	331,00	38,99	45,85	68,3	13,4	
493,02	34,20	296,18	0,00	40,37	67,6	13,7	
728,21	157,50	313,19	0,00	42,33	68,1	9,3	
749,04	161,55	324,31	0,00	45,25	68,9	9,2	
992,55	296,10	335,76	0,00	48,01	69,4	7,0	11,48
928,93	260,10	342,65	8,94	47,39	68,6	7,4	
374,88	28,35	319,69	81,67	45,85	68,9	18,4	
444,36	6,75	299,89	0,00	45,25	68,1	15,3	
506,38	41,40	294,95	0,00	38,48	68,3	13,5	



Pruebas experimentales a paneles colectores de energía térmica solar



#iVALOR!	####	301,14	0,00	40,64	67,8		
#iVALOR!	####	####	####	42,33	68,3		
1259,79	464,40	324,97	0,00	48,32	69,7	5,5	9,31
819,99	193,05	335,76	0,00	46,46	68,4	8,3	
746,13	146,25	338,50	0,00	45,85	67,9	9,1	
671,76	102,60	347,54	8,53	46,46	67,7	10,1	
634,91	101,25	315,13	0,00	42,90	69,6	11,0	
966,45	282,15	331,00	0,00	44,65	69,3	7,2	
1093,95	355,50	335,08	0,00	47,08	69,6	6,4	
1222,85	423,90	352,49	8,12	48,96	69,6	5,7	7,61
908,26	246,60	346,84	10,21	48,96	68,8	7,6	
869,64	234,90	351,07	24,83	49,59	68,6	7,9	
724,83	170,10	298,03	0,00	41,76	68,6	9,5	
#iVALOR!	####	####	####	45,25	68,6		
1124,39	395,55	326,31	11,81	48,64	69,2	6,2	
1223,20	445,95	335,76	12,59	49,59	68,8	5,6	
821,01	221,85	337,13	27,39	48,64	68,2	8,3	6,87
847,85	240,30	341,96	32,63	50,89	68,3	8,1	
646,24	140,40	342,65	54,58	48,32	67,6	10,5	
553,00	64,80	301,14	0,00	40,64	66,8	12,1	
556,07	63,90	305,53	0,00	42,33	67,3	12,1	
647,58	113,85	309,98	0,00	42,90	67,6	10,4	
684,06	136,80	316,43	7,93	42,90	67,3	9,8	
658,77	129,15	319,69	17,85	43,48	67,6	10,3	11,39
469,86	56,70	312,54	51,09	41,76	66,8	14,2	
624,62	144,90	320,35	53,17	44,65	67,6	10,8	
809,18	229,05	313,83	21,04	45,85	70,8	8,8	
491,11	36,00	322,98	25,44	44,65	69,6	14,2	
1129,06	415,35	335,08	38,58	47,70	69,6	6,2	
1264,97	462,15	340,57	9,67	48,96	69,6	5,5	8,35
1192,60	448,20	343,35	39,12	50,89	69,6	5,8	
1081,41	400,05	347,54	59,92	51,55	69,1	6,4	
579,57	96,75	345,44	52,94	48,32	67,6	11,7	
788,33	201,15	304,90	0,00	42,33	68,1	8,6	
652,77	116,55	315,13	0,00	47,70	69,1	10,6	
1125,33	399,60	324,31	13,00	48,96	68,9	6,1	
1181,76	424,35	333,71	13,32	49,59	68,6	5,8	
1067,37	351,90	339,88	14,32	49,59	67,6	6,3	7,42
898,48	250,20	341,96	14,04	49,59	67,6	7,5	
984,08	295,65	348,25	14,14	50,89	68,1	6,9	
652,77	120,15	306,16	0,00	42,33	67,1	10,3	
644,90	109,35	317,08	0,00	47,08	68,6	10,6	
708,23	151,65	321,66	10,85	45,85	67,8	9,6	
1191,17	414,45	337,13	0,00	50,89	68,9	5,8	8,17
1020,08	340,20	344,74	33,35	51,55	68,4	6,7	
976,80	306,45	348,95	30,57	50,24	67,8	6,9	



Pruebas experimentales a paneles colectores de energía térmica solar



681,74	103,05	320,35	0,00	44,65	69,07	10,13	
1022,53	303,30	328,98	18,06	46,16	69,07	6,75	
842,35	189,00	335,08	9,03	47,08	68,82	8,17	
576,20	62,55	299,89	0,00	42,33	68,57	11,90	
1075,34	320,40	321,66	0,00	44,65	69,07	6,42	
1179,80	395,55	328,31	21,34	47,08	69,07	5,85	
1280,08	447,30	337,13	24,32	48,96	69,19	5,41	8,01
992,37	284,85	342,65	26,27	49,92	69,07	6,96	
997,01	289,35	344,04	28,93	50,56	68,82	6,90	
541,10	54,45	331,00	38,99	45,85	68,32	12,63	
516,42	34,20	296,18	0,00	43,48	69,07	13,37	
766,86	157,50	313,19	0,00	44,65	69,07	9,01	
792,01	161,55	324,31	0,00	45,85	69,19	8,74	
1052,61	296,10	335,76	0,00	47,08	69,07	6,56	10,94
980,65	260,10	342,65	9,62	48,32	68,94	7,03	
396,93	28,35	319,69	81,67	45,85	68,94	17,37	
470,50	6,75	299,89	0,00	45,25	68,06	14,47	
534,24	41,40	294,95	0,00	39,55	68,82	12,88	
#####	#####	301,14	0,00	42,33	68,57		
#####	#####	#####	#####	43,48	68,82		
1336,14	464,40	324,97	0,00	47,08	69,19	5,18	8,91
866,00	193,05	335,76	0,00	47,70	68,94	7,96	
785,57	146,25	338,50	0,00	48,32	68,94	8,78	
703,51	102,60	347,54	10,35	48,96	68,69	9,76	
669,10	101,25	315,13	0,00	44,65	70,32	10,51	
1021,14	282,15	331,00	0,00	45,85	69,82	6,84	
1158,30	355,50	335,08	0,00	47,08	69,57	6,01	
1297,39	423,90	352,49	5,38	50,24	70,07	5,40	7,25
960,20	246,60	346,84	9,76	50,24	69,32	7,22	
919,12	234,90	351,07	23,80	51,55	69,32	7,54	
761,18	170,10	298,03	0,00	45,25	70,07	9,21	
#####	#####	#####	#####	46,46	69,07		
1194,15	395,55	326,31	8,85	49,59	69,57	5,83	
1294,69	445,95	335,76	11,22	51,22	69,45	5,36	
858,52	221,85	337,13	30,47	51,55	69,32	8,07	2,47
896,62	240,30	341,96	30,57	53,56	69,32	7,73	
645,21	140,40	342,65	73,05	51,55	68,82	10,67	
578,31	64,80	301,14	0,00	44,65	68,57	11,86	
583,52	63,90	305,53	0,00	45,25	68,57	11,75	
681,44	113,85	309,98	0,00	45,25	68,57	10,06	
716,53	136,80	316,43	9,30	45,85	68,57	9,57	
685,86	129,15	319,69	21,96	45,85	68,57	10,00	11,24
452,97	56,70	312,54	72,64	44,95	68,19	15,05	
662,10	144,90	320,35	49,41	48,01	68,94	10,41	
819,18	229,05	313,83	42,53	45,25	70,58	8,62	
524,75	36,00	322,98	23,39	44,06	69,32	13,21	



Colector C

BALANCE DE ENERGÍA [W/m ²]	Radiacion Solar [W/m ²]	Energía de la Atmósfera [W/m ²]	Calor cedido Convecc. [W/m ²]	Calor cedido Rad. [W/m ²]	Q	Eficiencia	Eficiencia Dias
542,23	55,35	302,40	0,00	36,91	67,31	12,41	
626,38	108,00	308,77	4,92	41,20	70,58	11,27	
887,28	240,75	327,17	0,00	42,90	69,32	7,81	
785,30	178,20	335,33	5,38	43,48	68,82	8,76	10,17
606,77	66,60	335,33	0,00	42,90	68,57	11,30	
642,39	85,50	338,09	0,00	43,48	68,57	10,67	
767,28	155,70	342,97	0,00	44,65	68,57	8,94	
577,84	77,40	306,85	0,00	42,33	69,57	12,04	
818,85	201,60	325,83	0,00	42,90	68,82	8,40	
770,51	185,40	329,87	15,29	44,06	68,94	8,95	
560,67	56,25	325,16	6,75	42,90	68,32	12,18	9,61
665,07	103,05	333,96	0,00	43,48	68,57	10,31	
982,29	303,30	342,97	18,57	46,46	69,19	7,04	
818,55	189,00	349,32	8,12	45,85	68,32	8,35	
564,91	62,55	312,64	0,00	40,92	67,94	12,03	
1030,70	320,40	335,33	0,00	45,85	70,70	6,86	
1131,29	395,55	342,27	21,34	47,08	69,07	6,11	
1223,25	447,30	351,46	25,34	49,59	69,45	5,68	8,27
956,34	284,85	357,21	26,27	49,92	69,07	7,22	
959,37	289,35	358,66	29,45	50,89	68,94	7,19	
531,81	54,45	345,07	38,99	45,85	68,32	12,85	
509,04	34,20	308,77	0,00	41,76	68,32	13,42	
744,48	157,50	326,50	0,00	43,48	69,32	9,31	
766,91	161,55	338,09	0,00	45,85	69,19	9,02	
1012,40	296,10	350,03	0,00	47,08	69,07	6,82	11,14
947,16	260,10	357,21	9,17	47,70	68,69	7,25	
395,64	28,35	333,28	81,67	45,85	68,94	17,43	
463,29	6,75	312,64	0,00	45,25	68,06	14,69	
523,69	41,40	307,48	0,00	39,01	68,57	13,09	
#¡VALOR!	###	313,93	0,00	42,04	69,95		



Pruebas experimentales a paneles colectores de energía térmica solar



#iVALOR!	###	#iVALOR!	###	43,19	68,69		
1276,78	464,40	338,79	0,00	47,70	69,45	5,44	9,12
836,14	193,05	350,03	0,00	48,32	69,19	8,28	
763,98	146,25	352,89	0,00	47,08	68,44	8,96	
690,96	102,60	362,31	8,98	47,08	67,94	9,83	
654,29	101,25	328,52	0,00	42,61	69,45	10,61	
984,54	282,15	345,07	0,00	44,65	69,45	7,05	
1113,65	355,50	349,32	0,00	45,85	69,07	6,20	
1248,21	423,90	367,48	4,47	48,32	69,32	5,55	7,42
930,91	246,60	361,58	8,39	48,96	68,82	7,39	
893,85	234,90	365,99	21,75	50,24	68,82	7,70	
736,07	170,10	310,70	0,00	45,25	70,07	9,52	
#iVALOR!	###	#iVALOR!	###	45,85	68,82		
1148,06	395,55	340,17	8,39	48,01	68,94	6,01	
1244,36	445,95	350,03	10,08	49,59	68,82	5,53	
837,91	221,85	351,46	27,91	49,59	68,57	8,18	2,53
874,99	240,30	356,49	27,50	51,55	68,57	7,84	
644,10	140,40	357,21	66,90	49,59	68,06	10,57	
566,58	64,80	313,93	0,00	43,48	68,06	12,01	
571,81	63,90	318,52	0,00	44,06	68,82	12,04	
664,07	113,85	323,15	0,00	44,06	68,06	10,25	
699,03	136,80	329,87	8,39	44,65	68,06	9,74	
671,39	129,15	333,28	19,90	45,25	68,32	10,18	11,38
453,94	56,70	325,83	69,56	44,36	67,94	14,97	
651,50	144,90	333,96	46,90	46,46	68,32	10,49	
800,91	229,05	327,17	38,83	43,48	69,82	8,72	
529,75	36,00	336,71	15,18	44,06	68,82	12,99	
1185,68	415,35	349,32	16,01	47,08	69,32	5,85	
1287,97	462,15	355,04	7,39	47,70	69,07	5,36	8,04
1231,38	448,20	357,94	27,27	50,24	69,32	5,63	
1118,47	400,05	362,31	49,66	50,89	68,82	6,15	
588,42	96,75	360,12	59,10	49,59	68,06	11,57	
798,60	201,15	317,86	0,00	46,46	69,82	8,74	
671,56	116,55	328,52	0,00	47,70	69,07	10,28	
1145,47	399,60	338,09	10,94	48,96	68,94	6,02	
1199,29	424,35	347,90	11,72	50,89	69,07	5,76	
1084,86	351,90	354,32	13,41	50,89	68,06	6,27	7,34
914,02	250,20	356,49	14,96	50,89	68,06	7,45	
1001,07	295,65	363,05	14,14	52,21	68,57	6,85	
665,98	120,15	319,17	0,00	45,25	68,32	10,26	
663,88	109,35	330,55	0,00	47,08	69,32	10,44	
725,37	151,65	335,33	11,31	46,46	68,06	9,38	
1208,38	414,45	351,46	0,00	50,89	68,94	5,71	8,05
1044,65	340,20	359,39	29,24	52,21	68,69	6,58	
990,13	306,45	363,78	33,14	51,22	68,19	6,89	
959,31	295,20	368,96	44,31	52,21	68,06	7,10	

Anexo 4 Características de colectores solares y equipo

Colector “A”

Marca: Xnet Solaris

Modelo: Marchand Bonilla

Precio: \$3 428.00

Hojas de especificaciones: No se entrego hoja de especificaciones.

Imágenes del colector:



FIGURA 0.1 Colector solar “A”

CARACTERÍSTICAS Y MATERIALES PARA EL COLECTOR SOLAR “A”

Sin Datos.

COLECTOR "B"

Marca: Solar-Art

Modelo: Ax-LF G5

Precio: \$6 150.00

Hojas de especificaciones:

Anverso de hoja de especificaciones;

Características:

RESISTENTE AL ÓXIDO, alcalinos, sales y detergentes de bajo mantenimiento.

NÓ TÓXICO, CÁMARA DE ALTA SEGURIDAD con temperatura operativa máxima de 96° C (con válvula de seguridad) y temperatura mínima de operación de 5° C (en temperaturas mas bajas no es recomendable su operación).

CAUDAL DE OPERACIÓN EFICIENTE CON RENDIMIENTO sujeto a la constante solar calculada para el verano en 800 w/m² y en invierno de 450w/m² siendo su eficiencia termica según nubosidad y velocidad de viento así como su **ADECUADA Y DEBIDA ORIENTACIÓN.**

PRESIÓN DE TRABAJO SEGUN SU APLICACIÓN

RESISTENCIA A LA SUCCIÓN DE VIENTO hasta 80 km/h debido a su SISTEMA ESPECIAL de anclaje.

RESISTENCIA DE CARGA uniformemente repartida, máxima de 148 kg/m² (en claros de 1.5 m)

CONSTRUIDO CON MATERIALES IGNÍFUGOS

DURABILIDAD PROLONGADA DE 15 A 20 AÑOS cuando su operación atienda a las recomendaciones del fabricante y su debida instalación.

Para mayor información

SOL-ART
DIVISIÓN DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
GUAL S.A DE C.V.
México DF.
Este folleto es única y exclusivamente **INFORMATIVO** No es una guía mecánica:
Nombre.
Dirección.
Tel.
Fax.
Correo electrónico.
SOL-ART
Es una marca registrada así como los productos y resultados expuestos, tanto teóricos, técnicos y prácticos.

NOTA IMPORTANTE
La eficiencia de este panel depende de la correcta orientación, posicionamiento, arriostamiento, limpieza sugerida cada 20 días en ambientes de polución, caudal controlado entre 80 y de 70 litros hora máximo, presión recomendada entre 300 y 500 g/cm² y uso para el cual fuese calculado, diseñado y producido en serie o -in situ- **en el caso de cubiertas o fachadas integrales.** DERECHOS RESERVADOS Y CARACTERÍSTICAS SUJETAS A CAMBIO SIN PREVIO AVISO.

Colector Térmico Solar Ax-LF G5

Los altos índices de contaminación y deterioro del medio ambiente obligan a modificar nuestros hábitos de consumo en materia de energía



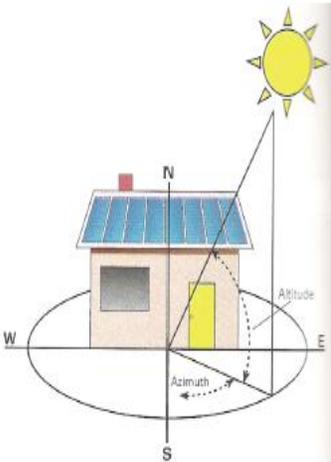


FIGURA 0.2 Anverso de hoja de especificaciones colector B

Reverso de hoja de especificaciones;

Ax-LF G5 Lo último en tecnología aplicada al diseño.

Su diseño óptimo tanto en procesos cerrados como abiertos ofrece una amplia gama de aplicaciones. Resistente a la intemperie y choques de presión hasta 4.5 Kg/cm² al interior del serpentín.

Auto Eliminante de condensación de humedad al interior de la cámara. Placa de captación térmica de alta eficiencia. Absorción del 86.75 %, Emitancia del 13.25%

Vidrio Templado en 4 mm
Resistencia en cargas accidentales y mejora de transmisividad en el caso de película interior.

Marco en Aluminio
Refuerzos estructurales opcionales sobre pedido.

Tornillería de Fijación
Hasta 150 kg en tensión.

Superficie de Absorción
En aluminio anodizado negro o cobre, según modelos.

Cristal templado.
4 mm de espesor que aumenta su resistencia en el caso de apoyos intermedios, tiene una trasmisividad del 90%, con bajo contenido de hierro, la superficie de absorción es en aluminio anodizado negro ó lámina de cobre

La salida roscable en 1/2" de diámetro en combinación con la salida opcional de 3/8"
Permite regular la eficiencia a niveles donde la superficie colectora puede ser resuelta con menor número de paneles.

PRESIÓN INTERIOR.
El colector Ax-LF G5 ha sido sometido a pruebas de presión interiores de hasta 7 kg. Sin embargo su eficiencia esta sujeta a un trabajo máximo de 900 g.

EN EL CASO DE PANELES ESTRUCTURALES*
Modelos específicos según necesidades pueden ser resueltos bajo pedido.

La carga máxima permitida será de 150 kg por m² evitando TOTALMENTE la concentración de carga sobre el cristal, es resistente, es ligero, económico y confiable ya que es una excelente opción como cubierta integral. Una azotea ecológica que desvía la energía térmica al interior hacia un proceso de calentamiento de agua.

Carcasa Rígida
Estéticamente diseñada para formar secciones modulares de cubierta en acabado de aluminio anodizado natural (recomendado por FIDE). Mantenimiento bajo y resistencia a la corrosión.

Aislante de Poliestireno Extruido
Alta densidad de 36 Kg por metro cúbico.

Fondo de aluminio
De idéntica calidad y características cualitativas a la carcasa.

Serpentín de cobre Tipo L
Libre de conexiones y/o soldaduras al interior del colector.

Salida(s) Roscable(s)
Doble serpentín en modelos especiales que permiten regular gasto y presión sin necesidad de conexiones especiales.

HECHO EN MÉXICO

Tipo	Largo (cm)	Ancho (cm)	Profundidad (cm)	Superficie (m ²) AT/AEC*	Peso vacío (kg/m ²)	Peso en funcionamiento (kg/m ²)
AXLF**	200	90	12	1.75/1.73	26.75	29.25
SUNIVERSOL**	305	102	12	3.11/3.03	23.5	26.5
2300-90-C12-12	230	90	9	2.07/2.00	23.5	25
3000-90-C6-12	305	90	9	2.75/2.56	21	22.5
3000-90-C12-12	305	90	9	2.75/2.66	23.5	25
3000-105-C12-14	305	105	9	3.2/3.12	23.5	25

** Modelo estructural/Modelos entradas izquierdas y derechas * Área Total y Área Efectiva ** ESTRUCTURAL

FIGURA 0.3 Reverso de hoja de especificaciones colector B

Imágenes del colector:



FIGURA 0.4 Colector solar "B"



FIGURA 0.5 Termómetro del colector solar "B"



CARACTERÍSTICAS Y MATERIALES DEL COLECTOR SOLAR

COLECTOR No.	B
CARCASA	Aluminio anodizado natural
FONDO	Aluminio
CUBIERTA	Aluminio anodizado natural
PLACA COLECTORA	Aluminio anodizado negro
DIMENSIONES	Largo; 2 m, Ancho; 0.9 m, Profundidad; 0.12 m
ÁREA TOTAL	4.29 m ²
ÁREA NETA	1.8 m ²
CAP. MAX DE OPERACIÓN	96 °C
PESO	48.15 kg
PARÁMETROS DE EFICIENCIA	no especificado
INSTALACIÓN	no necesita de una base, por su diseño estructural
GEOMETRÍA	Prisma Rectangular
COSTO	\$ 6,150.00
NÚMEROS DE TUBOS	1
AISLANTES	Poliestireno extruido
ÁREA ABSORVEDORA	1.8 m ²
PRESIÓN MÁXIMA DE OPERACIÓN	4.5 kg/cm ²
NÚM. MAX D COLECTORES EN SERIE	no especificado
GROSOR DEL SUPERFICIE	4 mm
MATERIAL DE LA SUPERFICIE	Vidrio templado
RESISTENCIA A ALM INTEMPERIE	resistencia al óxido, alcalinos, sales y detergentes de bajo mantenimiento
VIDA ÚTIL	de 15 a 20 años
GARANTÍA	no especificado
MANTENIMIENTO	limpieza sugerida cada 20 días

Tabla 0.17 Características y materiales del colector solar b

COLECTOR "C"

Hojas de especificaciones:

Marca: Chromagen

Modelo: CR-90

Precio: \$6 210.00

Hojas de especificaciones:

Anverso de hoja de especificaciones;

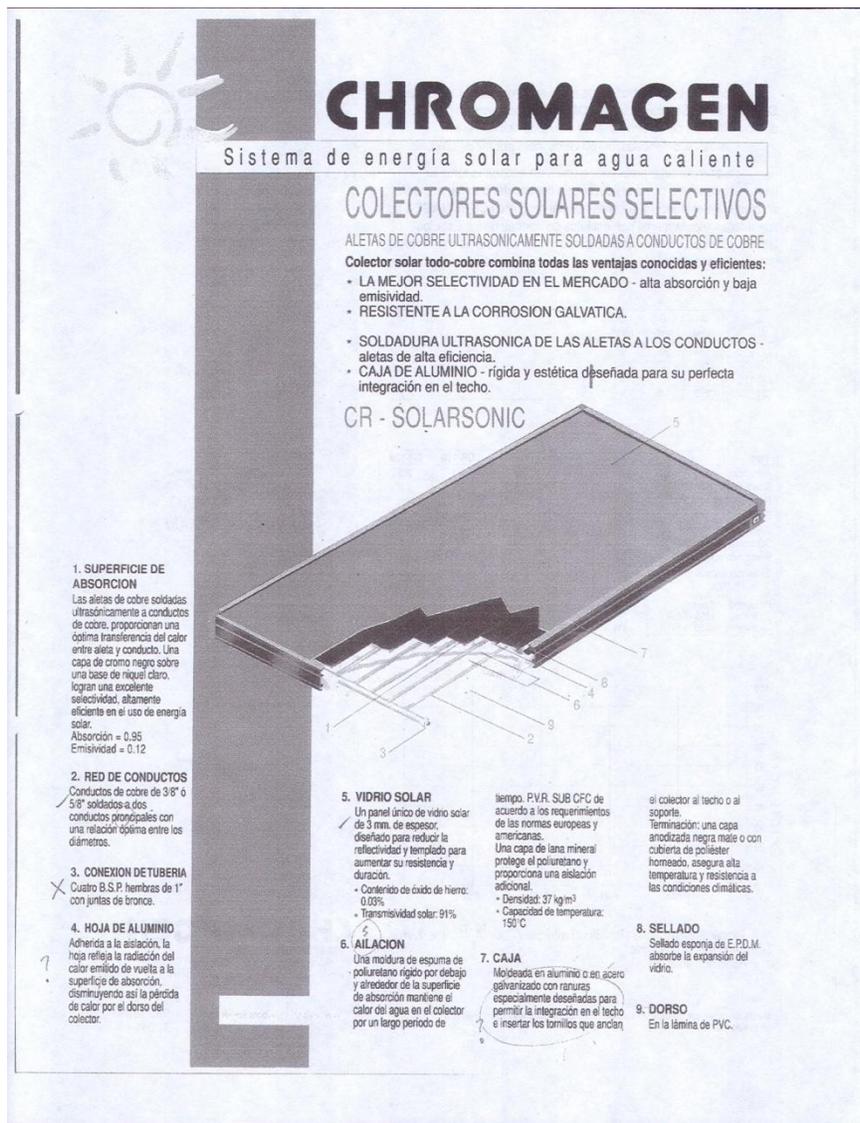


FIGURA 0.6 Anverso de hoja de especificaciones colector C

Reverso de hojas de especificaciones;

☀ Duración: Los criterios de diseño y la calidad de los materiales del Colector Solar Selectivo de **CHROMAGEN** nos permiten prever una duración de más de 15 años cuando es usado debidamente.

☀ Caudal recomendado: 50-60 Litros/ hora por m² de colector.

☀ La energía solar proporciona una gran economía tanto al consumidor privado como al público, sin contaminar o dañar el medio ambiente. La eficiencia y la calidad de los productos **CHROMAGEN** son controladas regularmente por institutos de normas de los Estados Unidos y Europa, permitiéndonos proporcionar a nuestros consumidores un valor incondicional.

DIMENSIONES:

Tipo	A (cm)	B (cm)	C (cm)
CR-90	182	93	9
CR-100	190	109	9
CR-110	219	109	9
CR-120	219	129	9

CARACTERÍSTICAS:

Tipo	CR-90	CR-100	CR-110	CR-120
Área bruto	m ² 1.7	2.1	2.4	2.8
Área efectiva	m ² 1.5	1.9	2.2	2.6
Relación área neto/bruto	88	90	91	92
Peso	kg 32	39	44	51
Capacidad de fluido	litro ³ 3.0	3.6	4.2	5.0
Control de operación	bar 14	14	14	14
Presión de operación	bar 9	9	9	9
Eficiencia térmica (α = 0.050)	% 61	62	62	63
Producción de calor				
Verano (850 W/m ²)	KW 92	1.2	1.3	1.6
Invierno (-450 W/m ²)	KW 43	52	57	-71

COLECTOR SOLAR CHROMAGEN CR-100

T_m = Temperatura del agua (Tsalida = Tentrada)/2. $X = \frac{T_m - T_a}{I}$, (m² K/W)
 T_a = Temperatura ambiente
 I = Radiación solar, W/m²

Dadas las continuas mejoras de los productos, las características son sujetas a cambio sin previo anuncio.

Colectores Solares Selectivos

ALETAS DE COBRE SOLDADAS ULTRASONICAMENTE A CONDUCTOS DE COBRE.

NO CONTAMINA EL AIRE. ES INOCUO AL MEDIO AMBIENTE.

Para mas información, favor de contactarse a:

CHROMAGEN

Sha'ar Ha'amakim
30097, ISRAEL
Tel. 972-4-9839660
972-4-9839476
Fax. 972-4-9839599
972-4-9839246

FIGURA 0.7 Reverso de hojas de especificaciones colector C

Imágenes del colector:



FIGURA 0.8 Colector solar "C"



CARACTERÍSTICAS Y MATERIALES DEL COLECTOR SOLAR	
COLECTOR No.	C
CARCASA	acero galvanizado
FONDO	aluminio y de bajo una lámina de PVC
CUBIERTA	aluminio
PLACA COLECTORA	capa de cromo negro sobre una base de níquel claro
DIMENSIONES	Largo; 1.82 m, Ancho; 0.93 m, Profundidad; 0.9 m
ÁREA TOTAL	8.33 m ²
ÁREA NETA	1.69 m
CAP. MAX DE OPERACIÓN	150 °C
PESO	32 kg
PARÁMETROS DE EFICIENCIA	61%
INSTALACIÓN	Se necesita de una superficie para colocarlo
GEOMETRÍA	Prisma Rectangular
COSTO	\$ 6,210.00
NÚMEROS DE TUBOS	1 de 3/8"
AISLANTES	espuma de poliuretano y capa de lana mineral cubriendo al poliuretano como aislante adicional
ÁREA ABSORVEDORA	1.69 m ²
PRESIÓN MÁXIMA DE OPERACIÓN	8 bar
NÚM. MAX D COLECTORES EN SERIE	no especificado
GROSOR DEL SUPERFICIE	3 mm
MATERIAL DE LA SUPERFICIE	vidrio solar
RESISTENCIA A ALM INTEMPERIE	resistencia a las condiciones climáticas
VIDA ÚTIL	más de 15 años
GARANTÍA	no especificado
MANTENIMIENTO	no especificado
CALIDAD	ISO 9000

Tabla 0.18 Características y materiales del colector solar

BOMBA HIDRÁULICA:

Especificaciones:

Potencia: ½ HP

Tensión: 127 V

Corriente: 4.5 A

Peso: 6.7 kg

Eficiencia nominal: 55 %



FIGURA 0.9 Bomba hidráulica

NOTA: La bomba trabajo con variaciones de potencia, ya que no se contaba con un supresor de picos.



Bibliografía

Cuaderno de energías renovables. “energías renovables para todos” Jesús Fernández, Hugo Lucas y otros. Madrid España 2006

Revista digital de comunicación interna del servicio geológico mexicano. Noviembre 2005

Cambio climático 2007 informe de síntesis. Informe del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático.

Fuentes renovables de energía. Artículos 2006

Hacia una Estrategia Mexicana para el Desarrollo Sustentable en un Mundo en Transición. SENER Noviembre, 2006

Tesis: una aproximación al aprovechamiento de las energías de las olas para la generación de electricidad. Universidad politécnica de Madrid

Tesis: Factibilidad de instalar una planta OTEC (conversión de la energía térmica del océano) en las costas de México. Universidad Nacional Autónoma De México

Colectores solares planos Construcción. Universidad Autónoma De Ciudad Juárez, Instituto de Ingeniería y Tecnología

Reporte pruebas experimentales a panel colector solar. Instituto de Ingeniería UNAM 2009.

Protocolo para el desarrollo de panel (colector solar). Panel de alta eficacia para zona metropolitana y del valle de México. AXLF. Luis Fernando Guillen Oliveros. Facultad de Arquitectura UNAM 2009

Manual de diseño de obras civiles, hidrotecnia e hidráulica. Obras de toma y sistemas de enfriamiento para plantas termoeléctricas México 1983.

Páginas web consultadas

www.invdes.com.mx

www.conae.gob.mx

www.enersilva.org

www.biodisol.com

www.espaciosolar.com

www.asades.org.ar

www.slideshare.net

bibliotecadigital.ilce.edu.mx

www.madrimasd.org

www.gia-energias.com.artecno.sostenibilidad.org

www.cfe.gob.mx

www.vistaalmar.es

www.terra.org

www.censolar.es

www.gstriatum.com

www.blogenergiasrenovables.com

www.amordad.es



www.bhtavanza.com
www.slideshare.net