



Programa de la asignatura:

Diseño de sistemas termosolares

U2

Clasificación de los sistemas
termosolares



División de Ciencias de la Salud, Biológicas y Ambientales | Ingeniería en Energías Renovables 1

DCSEBA



ENERGÍAS
RENOVABLES



Índice

Presentación de la unidad	3
Competencia específica	4
Propósitos	4
2.1. Sistemas termosolares activos	5
2.1.1. Sistemas con captadores solares de placa plana	6
2.1.2. Sistemas con captadores solares de tubos evacuados y con caloriductos	19
2.1.3. Sistemas con captadores solares tipo parabólicos: cilíndricos, tipo plato y CPC	25
2.1.4. Sistemas termosolares de torre central.....	33
2.2. Sistemas termosolares pasivos	38
2.2.1. Sistemas de ganancia térmica directa.....	38
2.2.2. Sistemas con paredes de almacenamiento térmico	40
2.2.3. Sistemas con techo de almacenamiento térmico	41
Cierre de la unidad	44
Fuentes de consulta	45



Presentación de la unidad



Calentador solar. Retomado de <https://www.flickr.com>

Bienvenido(a) a la Unidad 2, en la que encontrarás información sobre la clasificación de los sistemas termosolares, así como la clasificación de los principales dispositivos que convierten la radiación solar en energía térmica.

Por otro lado, se te invita a que realices conciencia sobre los problemas derivados del consumo indiscriminado de los recursos fósiles, que han ocasionado el deterioro del medio ambiente, así como daños sobre la salud de las personas. Además, recuerda que ha habido una serie de conflictos bélicos por tener el control de estos combustibles.

Es por eso que se requieren de nuevas alternativas que permitan un equilibrio social, económico y ambiental.

¿Crees que las energías renovables, en especial la energía solar, sean esa alternativa que modifique el estatus actual de nuestra sociedad y el mundo? Esta es una de las tantas preguntas que podrás responder al término del estudio de la unidad. ¡Adelante!



Competencia específica



Unidad 2

Analizar los alcances y limitaciones de los sistemas termosolares para tomar decisiones al diseñarlos, utilizando como referencia la temperatura del proceso o medio a calentar y estudiando la clasificación de los sistemas termosolares.

Propósitos

1

Analizar las tecnologías que utilizan los sistemas termosolares activos y pasivos para tomar decisiones a la hora de diseñar un sistema termosolar.



2.1. Sistemas termosolares activos

Un **sistema termosolar activo** es aquél que utiliza elementos que hacen circular el fluido que ha de ser calentado; por ejemplo, una bomba hidráulica, un ventilador, entre otros, de ahí el nombre de **activo**. Generalmente, un sistema se compone de dos o más elementos, y el sistema termosolar puede estar formado de tres elementos:

1. Un captador solar, que convierte la radiación solar en energía térmica.
2. Un recipiente para almacenar la energía térmica.
3. Un sistema hidráulico que distribuya la energía térmica a través de un fluido.

Como te podrás dar cuenta, los captadores solares son fundamentales para los sistemas termosolares.

A continuación se te muestra un panorama de los tipos de captadores solares, sus principales características y su clasificación de acuerdo con su nivel de temperatura.

Tipos de captadores solares		
Clasificación de acuerdo con la temperatura	Características	Captador solar
Captador de baja temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • No utiliza ningún dispositivo para concentrar los rayos solares. • La temperatura del fluido que ha de calentarse está por debajo del punto de ebullición del agua. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Captador de placa plana. ❖ Captador no vidriado o desnudo. ❖ Captador de tubos al vacío y con caloriductos.
Captador de mediana temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Capaz de concentrar la radiación solar en una superficie reducida. • La temperatura de trabajo varía entre los 100 y los 400 °C. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Captadores cilíndrico-parabólicos.
Captador de alta temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Capaz de concentrar la radiación solar en un solo punto. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Captadores de campo heliostático. ❖ Captador de espejos



	<ul style="list-style-type: none"> La temperatura de trabajo oscila desde 400 hasta más de 1000 °C. 	parabólicos.
--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------

Panorama general de los captadores solares. Tomado de Sánchez Maza, (2008).

2.1.1. Sistemas con captadores solares de placa plana

Los captadores solares de placa plana son una tecnología madura, pero en constante estudio teórico y experimental. Estos dispositivos, por lo general, se utilizan para calentar fluidos a temperaturas por debajo de los 100 °C (generalmente agua, agua-etilenglico, etc.), y por ello se clasifican como tecnologías de baja temperatura. Con respecto a su constitución, son equipos relativamente robustos, pero comparados con todos los sistemas termosolares, por su tamaño, se podrían clasificar como sistemas medianos. Generalmente, un captador solar plano consta de una superficie plana, también conocido como **absorbedor**, que es la encargada de captar la radiación solar.

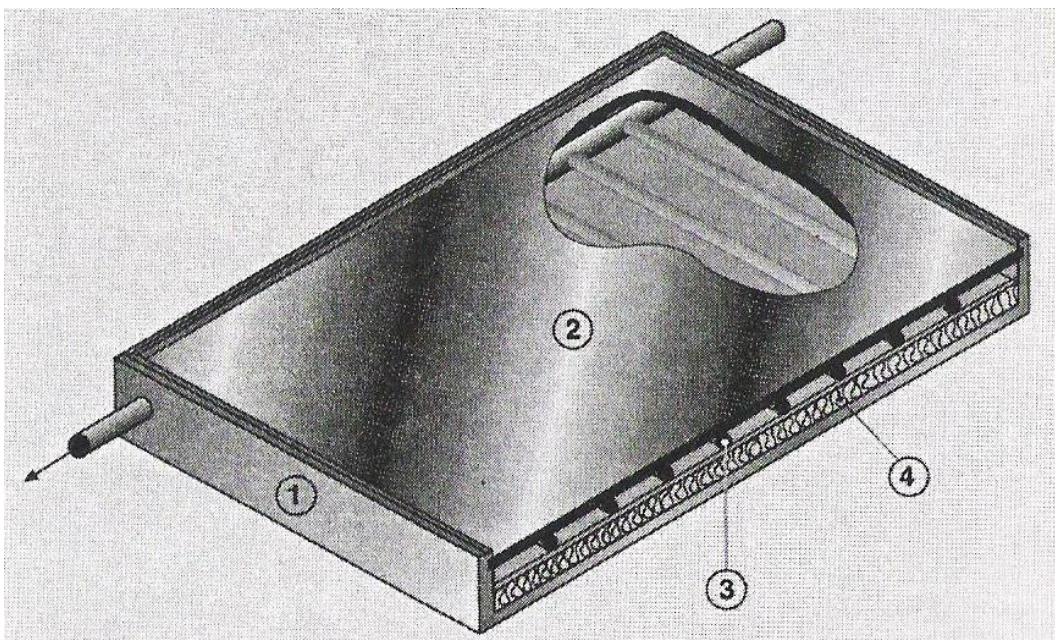
Estos captadores están contruidos principalmente de metal, y entre los materiales de mayor uso está el cobre, esto por tener una de las mejores conductividades térmicas para la transferencia de calor. Pero no son exclusivos los metales, ya que se pueden utilizar materiales poliméricos, tales como polipropileno, polietileno, etc. Estos captadores, generalmente, se utilizan en el calentamiento de agua para albercas.

De acuerdo a Pilatowsky y Martínez, (2013), el absorbedor es recubierto con un material que permite una mayor absorción de la radiación solar, el cual puede ser una pintura negra poco reflejante o algún tipo de recubrimiento especial (ver figura *Vista seccionada de captador solar plano*). Dichos recubrimientos cumplen la función de absorber (absortancia) la mayor cantidad de radiación solar y de reducir las emisiones (emitancia) de calor en el transcurso de la noche, y es por esto que a tales recubrimientos se les denomina **superficies selectivas**.



Captador solar plano.

En la siguiente figura se muestran los diferentes componentes de este captador:



Vista seccionada de un captador solar plano. Tomado de Pareja, (2010).

1. **Soporte o carcasa:** se construye en aluminio o material similar con ranuras para su colocación, debe estar completamente sellada (para asegurar estanqueidad),



- ya que el captador es un elemento situado a la intemperie.
2. **Cubierta:** como su nombre lo indica cubre los tubos absorbentes, también denominado superficie o cristal, suele estar compuesto por vidrio templado o similar.
 3. **Absorbente:** es por donde circula el fluido, suele estar formada por una serie de tubos de cobre con aletas (también de aleación de cobre-aluminio o acero). Por lo general, tiene una posición en vertical aunque también se encuentra de manera de serpentín.
 4. **Aislante:** su función es reducir las pérdidas de calor a través de las paredes laterales, así como de la parte inferior del captador. Suele ser de espuma de poliuretano, entre otros.

Concheiro y Rodríguez (1985) muestran algunos valores de absorptancia (α) y emitancia (ϵ) de algunos recubrimientos metálicos, así como la densidad (ρ) y la conductividad térmica de algunos aislantes utilizados en los captadores solares planos.

Tabla sobre recubrimientos metálicos.

Nombre	Absortancia Valor de 0 a 1	Emitancia Valor de 0 a 1
Negro de níquel (óxidos y sulfatos de níquel y zinc) sobre níquel pulido	0.91 a 0.94	0.11
Negro de níquel con dos capas de níquel electrodepositadas sobre acero	0.94	0.07
Óxido de cobre sobre níquel, mediante electrodepositado de cobre y oxidación	0.81	0.17
Cromo negro electrodepositado sobre recubrimiento de níquel	0.95	0.11

El cromo negro electrodepositado es uno de los recubrimientos de mayor uso en captadores solares.



Tabla sobre aislantes utilizados en captadores solares.

Nombre	Densidad (kg/m ³)	Conductividad térmica (W/m°C)
Lana mineral	12	0.033 a 0.04
Espuma de poliuretano rígida	24	0.0245
Poliestireno expandido	16	0.03

Cabe resaltar que si el captador solar es para calentar agua, el material más adecuado es el cobre, esto a causa de que no se corroe como las tuberías de hierro u otros materiales corrosivos.

Hasta este momento se te presentó la composición de un captador solar plano, ahora se describe cómo opera este dispositivo.

Efecto invernadero en el captador solar plano

El proceso de captación en los captadores solares planos se realiza mediante un fenómeno denominado **efecto invernadero**. Los elementos que participan en este proceso son la cubierta y el absorbedor.

De las diferentes longitudes de onda que componen la radiación solar, son las radiaciones de longitud de onda corta (menores de 3 μm), las que atraviesan la cubierta e inciden sobre el absorbedor, donde parte de la energía solar es transferida al fluido caloportador (por lo general agua) en forma de energía térmica. La cubierta es transparente a la radiación solar, pero es opaca (cuerpo que no permite el paso de la luz) a la radiación infrarroja. El absorbedor al calentarse emite una radiación de mayor longitud de onda (entre 4.5 y 7.2 μm) que no puede escapar de ella y se refleja al interior otra vez. A este proceso se denomina **efecto invernadero** en el captador solar plano (Sánchez Maza, 2008). El efecto invernadero es el mecanismo que se desarrolla en la conversión de la energía solar a energía térmica.

Ahora toca el turno de conocer cómo se calienta el fluido al paso por los captadores solares planos. Se detallan brevemente los dos principales sistemas para el calentamiento de agua.



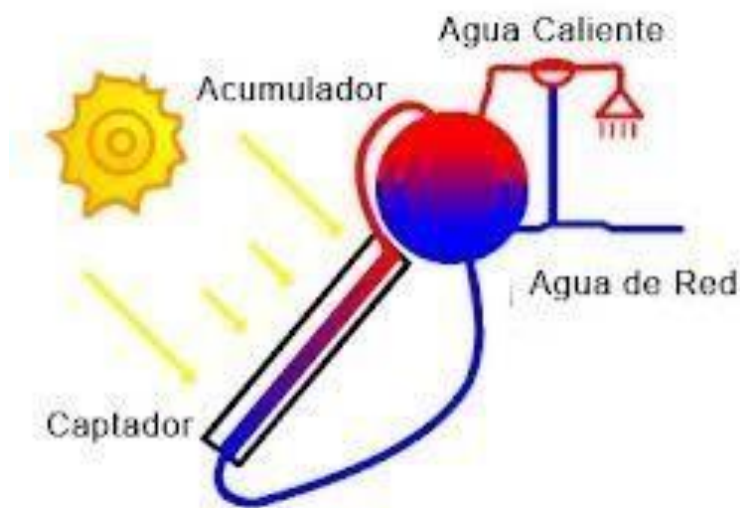
Sistema con efecto termosifón

Aunque realmente el sistema con efecto termosifón es un sistema pasivo (que no utiliza un elemento electromecánico para mover el fluido a calentar), es de gran relevancia por estar inmerso en el tema de captadores solares planos y de tubos evacuados, por esta razón es que se incluye en este apartado dentro de los sistemas activos.

Una instalación con efecto termosifón es aquella que no utiliza un dispositivo electromecánico para mover el fluido a través del captador solar, así como del tanque de almacenamiento; y es ésta la mayor ventaja del sistema con efecto termosifón.

El movimiento del fluido se realiza por el cambio de densidades. El fluido que se calienta en el absorbedor cambia de densidad, se vuelve más ligero, y como el fluido del tanque de almacenamiento está más frío (mayor densidad y, por lo tanto, mayor peso) que el que se ha calentado en el absorbedor, se genera un movimiento en el que el fluido caliente asciende y el fluido frío desciende, y así sucesivamente hasta que llega al equilibrio térmico dentro del tanque de almacenamiento (hasta que la temperatura se homogeniza dentro del tanque de almacenamiento). Cuando se requiere de agua caliente se rompe el equilibrio térmico en el captador y comienza nuevamente el efecto termosifónico, siempre y cuando se tenga disponible la energía solar incidente sobre el absorbedor.

Para visualizar este efecto, se muestra la siguiente figura, en la que puedes observar el movimiento del fluido; el color azul representa el fluido frío; y el color rojo, el fluido caliente.



Efecto termosifónico en captadores solares.



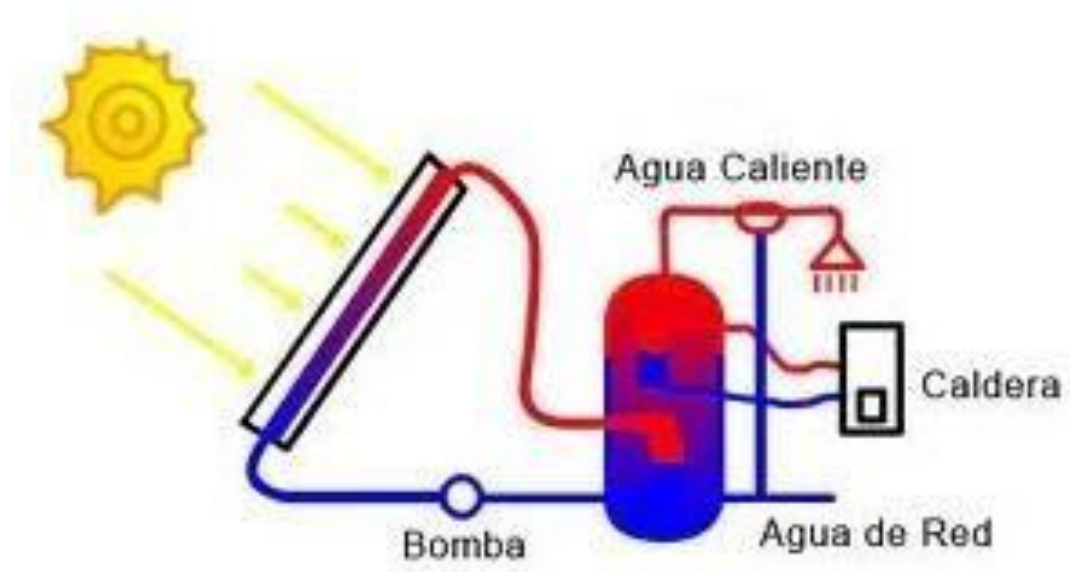
Sistema con circulación forzada

En este sistema se necesita de una bomba hidráulica movida por un motor eléctrico. La ventaja de este sistema es que el tanque de almacenamiento puede colocarse donde mejor convenga y no necesariamente por arriba del captador solar plano, ventaja que en los sistemas de efecto termosifón no ocurre, ya que los tanques de almacenamiento del fluido caliente requieren siempre de una altura mayor a la del captador solar (mínimo 30 cm).

Otro de los inconvenientes de estos sistemas, aparte de necesitar energía eléctrica para accionar el motor de la bomba hidráulica, es que se requiere de un sistema de control para realizar la circulación de agua a través del captador solar y el tanque de almacenamiento; esto constituye un costo mayor que el empleado en el sistema termosifónico.

Un ejemplo de un sistema con circulación forzada es el que se presenta a continuación, (los colores rojo y azul representan lo mismo que en el esquema anterior). En esta figura se muestra, además de la bomba, una caldera o boiler, esto a consecuencia de que en los sistemas de circulación forzada se requiere de una mayor demanda de fluido caliente y es por eso que se utiliza un sistema de respaldo (calentador con gas o eléctrico).

Nota: en los sistemas termosifónicos también se agrega un sistema de respaldo, esto debido a que la energía solar en algún día del año no estará disponible o habrá muy poca radiación solar.



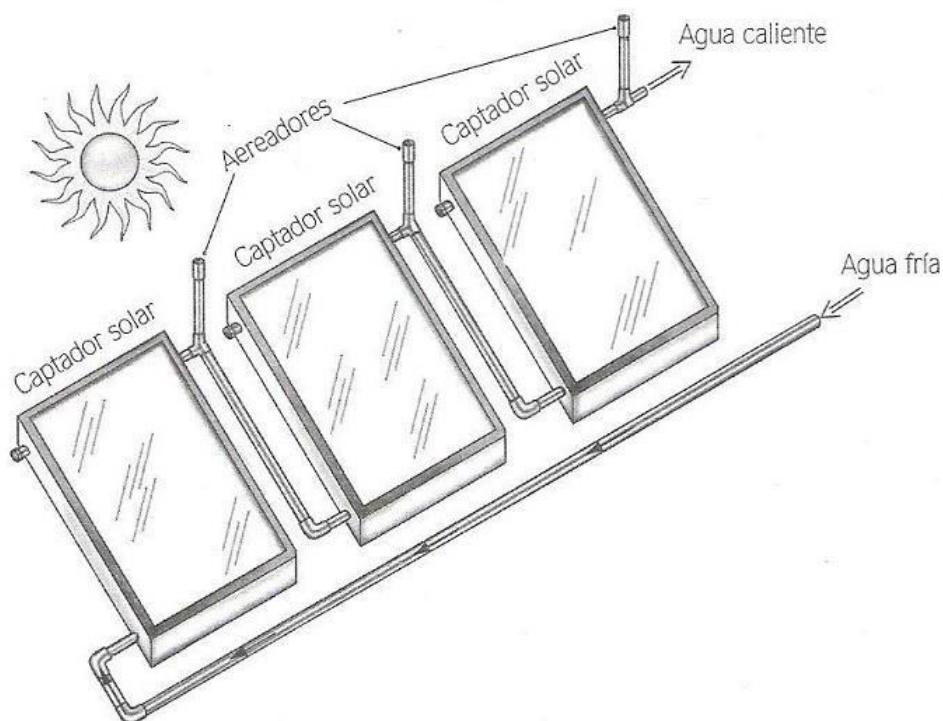
Sistema circulación forzada en captadores solares.



Como te habrás dado cuenta, se te han presentado esquemas en los que se muestra un solo captador solar plano, esto es para tener la idea de lo que ocurre con el fluido a través del captador. Sin embargo, a continuación se describe cómo se realizan las instalaciones de los captadores solares cuando un proceso requiere de mayor capacidad volumétrica o de temperatura. A continuación, se presentan las configuraciones más comunes en las instalaciones de estos dispositivos solares.

Configuraciones de las instalaciones de los captadores solares planos

Instalación en serie



Instalación de captadores solares planos en serie. Tomado de Pilatowsky y Martínez, (2013).

En una conexión en serie de este tipo de captadores, tal como su nombre lo indica y se muestra en la figura anterior, la salida de agua caliente del primer captador se conecta a la entrada del siguiente, y eso se repite con un tercer captador solar.

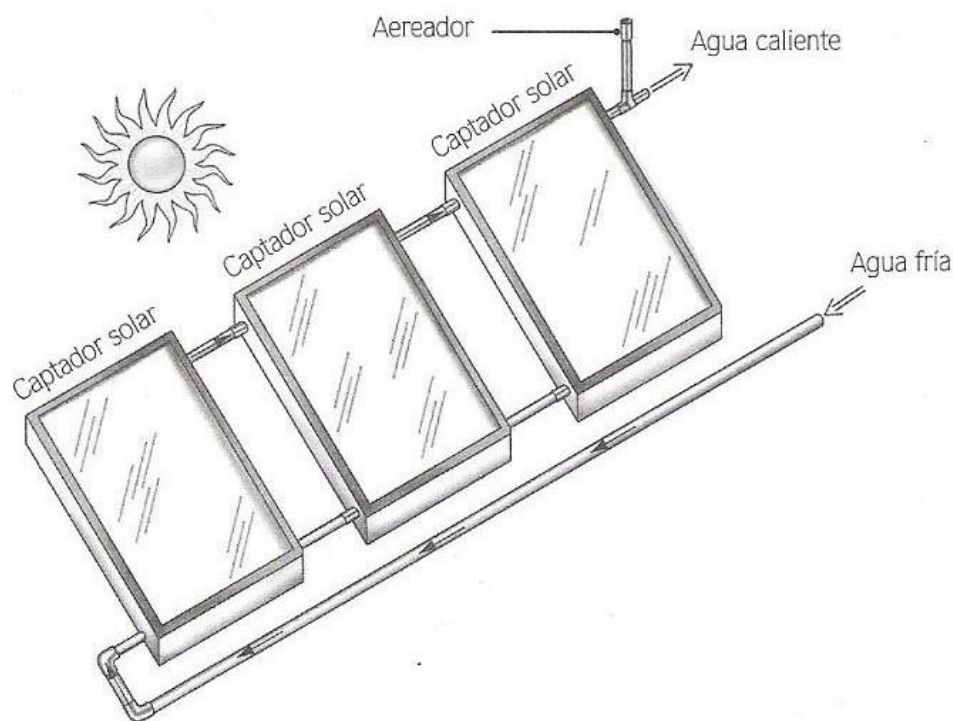
Con respecto a la temperatura del fluido caloportador, en principio la temperatura a la entrada del primer captador se encontrará a temperatura ambiente o a una diferente si viene de un proceso. Al pasar por el captador se incrementa la temperatura, por lo tanto la temperatura de salida del primero captador será mayor a la temperatura de entrada, y así



sucesivamente con el resto de los captadores solares. Si se indica a TE1 y TS1, TE2 y TS2, TE3 y TS3, etc., como las temperaturas de entrada salida de los captadores 1, 2, 3, etc., entonces en este tipo de arreglo: $TE3 > TE2 > TE1$ y $TS3 > TS2 > TS1$ (esto es para el ejemplo de la figura anterior).

Una de las desventajas de estos captadores es que el rendimiento (o eficiencia) de los captadores disminuye; esto quiere decir que la eficiencia del primer captador será mayor que el posterior, y así sucesivamente. Una recomendación para lo anterior es **que se no se conecten más de tres en serie**.

Instalación en paralelo



Instalación de captadores solares planos en paralelo. Tomado de Pilatowsky y Martínez, (2013).

En este tipo de instalación, la entrada del fluido del primer captador se conecta con la entrada del segundo captador, y así sucesivamente (parte inferior del captador o entrada de agua fría). Por el otro extremo del captador (salida de agua caliente) sucede lo mismo: la salida del primer captador se conecta con la salida del segundo, y así hasta el último captador.

Las temperaturas de entrada como las de la salida, en este tipo de arreglo, es la misma, esto es: $TE1 = TE2 = TE3$ y $TS1 = TS2 = TS3$. Lo cual quiere decir que la temperatura de



este arreglo será como si se tuviera un solo captador.

La conexión en paralelo es la más habitual en las instalaciones de sistemas de calentamiento de agua solar, ya que es la más eficiente y rentable.

Existe una tercera conexión en la que se combinan las instalaciones en serie con las de paralelo: las **conexiones mixtas**. La razón de esta instalación es porque hay procesos que requieren grandes volúmenes de fluido y de temperatura.

En los anteriores párrafos se ha mencionado la eficiencia de los captadores solares planos, ahora se describe en qué consiste dicha eficiencia.

Eficiencia de los captadores solares placa plana

El término de **eficiencia energética** se define como el cociente de la energía que sale entre la energía que entra en un sistema y se puede representar de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{E_s}{E_e}$$

Para el caso en un captador solar plano, la energía que sale en un determinado tiempo es la energía en forma de calor, la que se ha sido transferida al fluido. La energía que entra en un determinado tiempo es la que se recibe sobre el área de captación y que es energía proveniente de la radiación solar. La relación entre estas energías se puede expresar de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{\text{Potencia calorífica transferida al fluido}}{\text{Potencia solar incidente}} = \frac{Q_u}{G_I A_C}$$

Donde:

Q_u es el calor útil (en W) y $G_I A_C$ es la irradiancia por el área de captación (W).

A la ecuación anterior se le agregan los factores sobre las pérdidas térmicas. Si se realizan simplificaciones matemáticas a dicha ecuación se transforma en:

$$\eta = a + b \frac{(T_m - T_a)}{G_I} + c \frac{(T_m - T_a)^2}{G_I}$$

Donde T_m (°C) es la temperatura media ($[T_s - T_e]/2$, T_s es la temperatura de salida y T_e es la temperatura de entrada); T_a (°C) es la temperatura ambiente, y G_I (W/m²) es la



irradiancia. Las constantes a , b y c se obtienen de manera experimental, de la siguiente manera:

Para un flujo determinado se miden las temperaturas de entrada y salida y con esto se obtiene la T_m , y para este punto se mide la G_i . Esto se realiza para varias condiciones de flujo y con ellos se obtienen puntos experimentales a los cuales se les realiza un ajuste cuadrático y así de esta manera se obtienen las constantes de la ecuación anterior.

Desventajas de los captadores solares planos

Las pérdidas de calor en un captador solar dependen en gran manera de los materiales de su construcción; dichas pérdidas influyen de manera negativa en el rendimiento térmico del captador. Uno de los factores que más influyen es la pérdida de calor por efecto convectivo, esto a causa del movimiento del aire entre la cubierta transparente y los tubos aletados (o superficie absorbadora). Para eliminar esta problemática se han propuesto varias técnicas, entre las que están las siguientes:

- ❖ Bloquear el espacio entre la cubierta y el absorbedor con materiales transparentes. Al principio se instalaron barreras transparente que tenían forma de hexágonos, por lo que se dio el nombre de captadores solares planos de tipo panel, ya que se semejaban a la estructura de un panel de abejas. Hoy en día estas barreras anticonvectivas tienen formas variadas (hexágonos, tubulares y rectangulares, etc.).
- ❖ Otra técnica planteada que no dio resultado, pero que se utiliza en otro captador solar, es la de evacuar el aire entre la cubierta y el absorbedor, aunque existe la dificultad para mantener presiones reducidas (presiones por debajo de la atmosférica) en estructuras rectangulares.

Por lo anterior, se propusieron estructuras tubulares en donde es más fácil y eficiente evacuar el aire, dando lugar a los captadores solares de tubos evacuados, los cuales se describen más adelante.

Para cerrar con los temas vistos, se te invita a que veas el siguiente video sobre el funcionamiento de dichos dispositivos:

http://www.modulosolar.com.mx/video/AXOL_funcionamiento.html

Hay que recordar que los captadores solares planos funcionan con temperaturas de 60-80 °C; sin embargo, existen otros captadores que no superan los 40 °C y que a continuación se describen.



Captadores solares planos para albercas

Como se mencionó al inicio de esta unidad, existen captadores solares planos de plásticos que proporcionan agua caliente a albercas; sin embargo, se pueden utilizar en instalaciones para calentamiento de agua para su uso en la piscicultura (cría de peces), en tinas de hidroterapia, entre otras aplicaciones.

Este tipo de captadores no tienen cubierta plana de vidrio, son más sencillos y económicos que los que se trataron en la sección anterior. No tienen aislamiento adicional, por lo que las pérdidas por convección con el aire que los circunda los hace unos captadores solares adecuados para aplicaciones de baja temperatura.

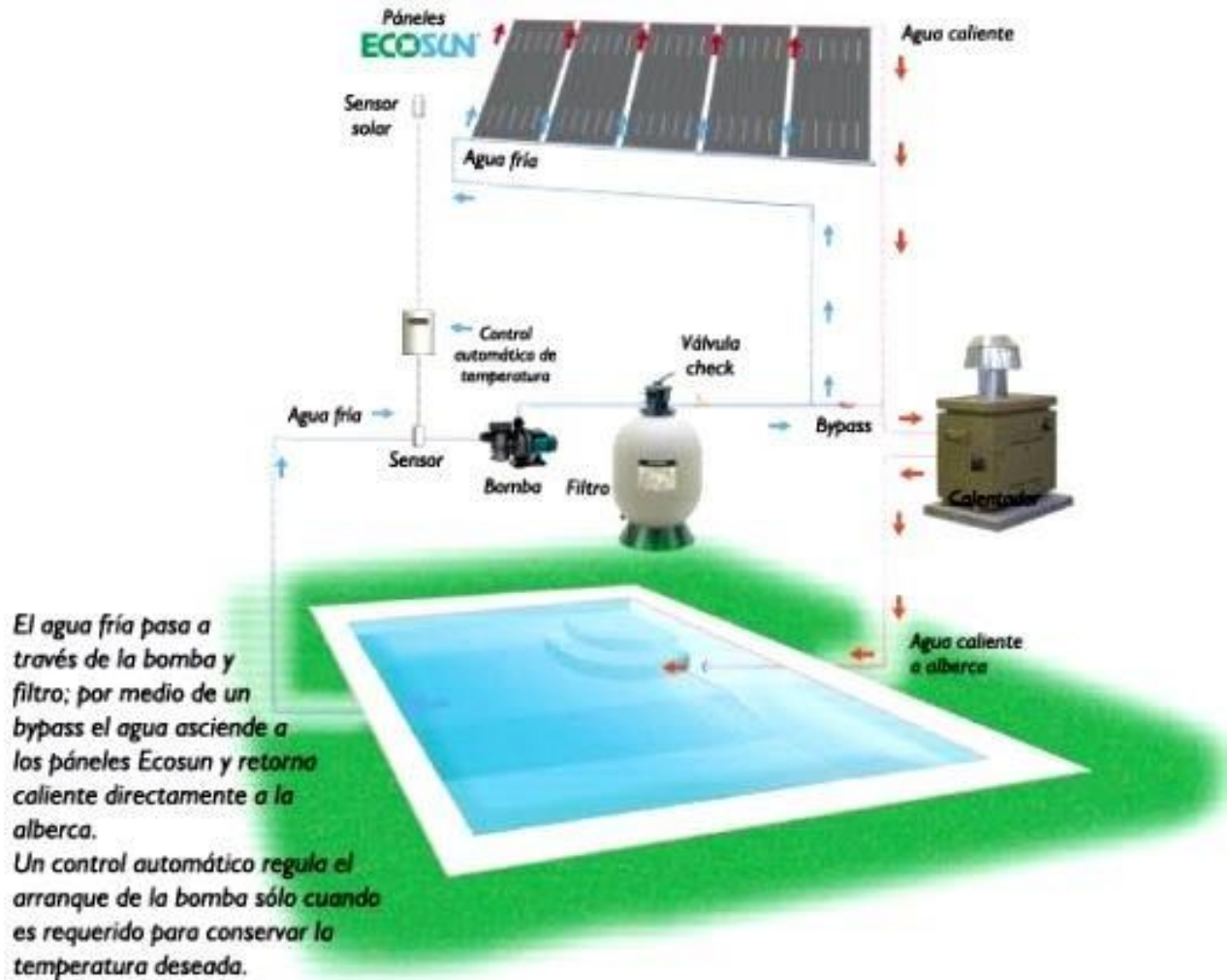
Los absorbedores se construyen de polímeros de color negro. Actualmente, entre los más usados está el polipropileno y el polietileno, a los cuales se les tiene que realizar tratamientos en la superficie captadora para soportar la luz ultravioleta.

En sus inicios se construyeron como una placa de tubos cuadrados en su interior, pero éstos tenían varios problemas: se rompían los tubos cuadrados, mantenían mucha humedad en la parte de abajo, entre otros. Así, los nuevos diseños se enfocaron en los tubos, tal como se muestra en la siguiente figura, y que son los más utilizados en la actualidad.



Captador solar plano para alberca. Tomado de Soleil, (2013).

La instalación de los captadores solares en las albercas es sencilla. Una vez instalado se puede seleccionar por medio de una derivación (bypass), utilizar el agua caliente proveniente de los captadores solares o del sistema de respaldo, que es un calentador con gas u otro combustible, tal como se muestra en la siguiente figura.



Instalación de los captadores solares planos para alberca. Tomado de Módulo Solar, (2013).

En el siguiente sitio de la web puedes observar un vídeo sobre el funcionamiento de una instalación de captadores solares planos para albercas:

http://www.modulosolar.com.mx/video/ECOSUN_Funcionamiento.html

Pérdidas térmicas en las albercas

Existen algunas ecuaciones empíricas para determinar las pérdidas térmicas en las albercas, sean éstas cubiertas (techadas y con paredes, dentro de una residencia, etc.) o al aire libre.

En albercas cubiertas

Las pérdidas generales totales están clasificadas de la siguiente manera: de 70% a 80%



son pérdidas por evaporación; entre 15% y 20% son las pérdidas por radiación, y las pérdidas por conducción son tan pequeñas que pueden ser despreciadas (IDAE, 2009).

Se ha determinado una ecuación de manera empírica, tal como lo menciona el IDAE, (2009) que determina las pérdidas energéticas en una alberca cubierta, y es:

$$P_c = (130 - 3T_{agua} + 0.2T_{agua}^2)(S_p/1000)$$

Donde:

P_c = Pérdidas térmicas (kW) en alberca cubierta

T_{agua} = Temperatura del agua (°C)

S_p = Superficie de la piscina (m²)

En albercas al aire libre

Las pérdidas que se presentan son por radiación nocturna (el agua libera energía hacia la atmósfera), por efectos convectivos (entre el agua y el viento), por evaporación y finalmente por conducción por las paredes de la alberca.

De igual manera se tiene una ecuación empírica con la cual se puede determinar las pérdidas en este tipo de albercas (IDAE, 2009):

$$P_{al} = [(28 + 20v)(T_{agua} - T_{aire})S_p]/1000$$

Donde:

P_{al} = Pérdidas térmicas en una alberca al aire libre (kW)

v = Velocidad del viento (m/s)

T_{agua} = Temperatura del agua (°C)

T_{aire} = Temperatura del aire (°C)

S_p = Superficie de la piscina (m²)

Se recomienda que una alberca de este tipo se instale en lugares donde la velocidad del viento sea la más baja posible.

Hasta este momento se han descrito los captadores solares planos, que son captadores de baja temperatura. En el mismo orden de temperatura se encuentran los captadores solares de tubos evacuados y que se describe a continuación. Así se cierra la clasificación de los captadores solares de baja temperatura.



2.1.2. Sistemas con captadores solares de tubos evacuados y con caloriductos

Tubos evacuados

Existen similitudes entre los captadores solares planos y los tubos evacuados, entre ellas están:

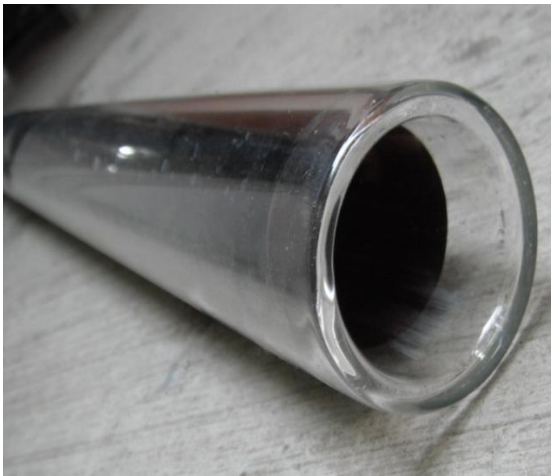
- ❖ Que se orientan hacia el sur (en el caso de México).
- ❖ Su inclinación se puede tomar de acuerdo a la latitud del lugar.
- ❖ Las instalaciones de estos equipos son en serie, paralelo o mixta.

Una clasificación generalizada de estos captadores solares es de acuerdo a su forma de transmisión de calor, y es ésta de:

- I. Tubos evacuados vidrio-vidrio
- II. Tubos evacuados vidrio-metal



a)



b)

Captador de tubos evacuados: a) instalación y b) tubo evacuado vidrio-vidrio.



a) Captador solar de tubos evacuados: a) instalación y b) tubo evacuado vidrio-metal.

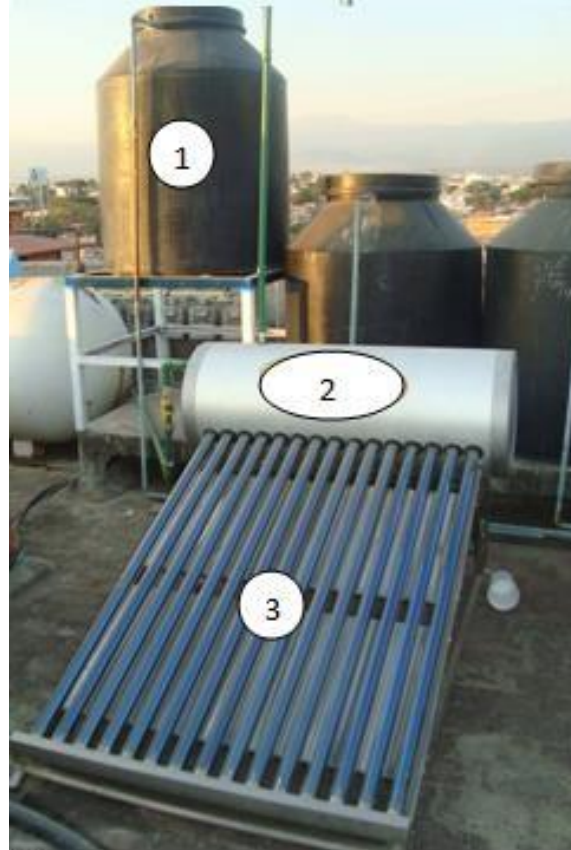
Tubos evacuados vidrio-vidrio

Una de las características de estos captadores es que la radiación solar es perpendicular a lo largo del día, esto a causa de su configuración circular. Y para aprovechar en mayores cantidades la radiación difusa o refleja, se coloca en la parte posterior una lámina reflejante, y con ello se incrementa la eficiencia de estos captadores.

Los tubos evacuados, por lo general, se construyen de borosilicato. El vacío que se les realiza es en el orden de 10^4 mm de mercurio (Lacomba *et ál.*, 1991).

Instalación de los tubos evacuados vidrio-vidrio

Por lo general, los captadores de tubos evacuados funcionan con efecto termosifónico, caso similar a los captadores solares planos, tal como se muestra en la siguiente figura.



Captador solar de tubos evacuado, sistema termosifón.

Se describe brevemente el proceso de calentamiento:

1. El depósito de agua fría (1) se llena con el agua proveniente de la red hidráulica municipal.
2. El depósito suministra de agua fría al tanque de almacenamiento de agua caliente (2).
3. El absorbedor de tubos evacuados (3) calienta el agua que proviene del tanque de almacenamiento (1).

Una de las formas para verificar si el captador solar de tubos evacuados tiene pérdidas térmicas por convección consiste en revisar cada uno de los tubos evacuados. En uno de los extremos del tubo, hay que observar qué color tiene:

1. Si es color plata, significa que el vacío no se ha perdido.
2. Si es de color blanco, significa que se rompió el vacío y por ende el tubo ya tiene pérdidas por convección y es necesario que se cambie.



El color plata se debe al depósito de bario de alta pureza en el tubo evacuado, el cual se puede ver en la siguiente figura:



Depósito de bario de alta pureza en el tubo evacuado.

Ventajas y desventajas

La ventaja más notoria es que estos captadores reducen la cantidad de las pérdidas de calor en el absorbedor, esto a causa del vacío realizado en los tubos. Sin embargo, una de sus desventajas es la capacidad de resistir presión en el absorbedor y el tanque de almacenamiento térmico, ya que los tubos de vidrio no resisten presiones; por ejemplo, 6 kg/cm² presión que es soportable por los captadores solares planos de tubos de cobre.

Otra de las desventajas es que los tubos al ser de vidrio deben ser manejados cuidadosamente desde su transporte hasta la instalación. Por otro lado, existe una tecnología similar, tubos evacuados, pero con un elemento denominado caloriducto o *heat pipe*.

A continuación, se explican estos captadores solares de tubos evacuados con caloriductos.

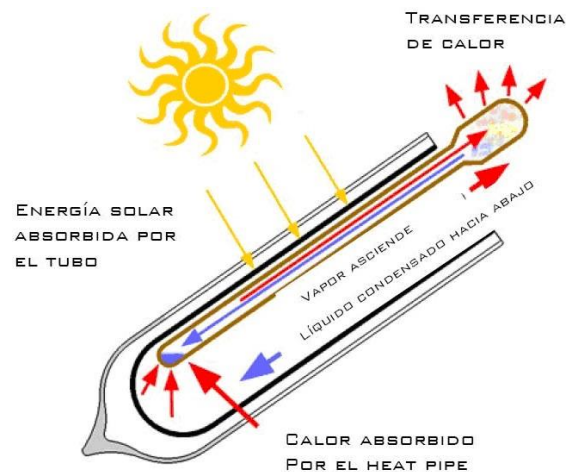
Tubos evacuados con caloriductos

Este tipo de captador consiste en varios tubos evacuados, con la particularidad de que en su interior se encuentra un absorbedor de cobre con un bulbo en un extremo.



Fotografía de un tubo evacuado con caloriducto.

En este absorbedor se encuentra confinado un fluido (algún tipo de alcohol, acetona, etanol, entre otros) de bajo punto de ebullición, que al calentarse con la energía térmica proveniente del sol se evapora y se conduce hacia el bulbo donde transfiere este calor al fluido caloportador, y de esta manera el fluido en el interior del caloriducto se condensa y regresa de nuevo al lugar de calentamiento. Este ciclo de evaporación-condensación se repite, siempre y cuando exista la suficiente energía solar para realizar el ciclo.



Esquema de un tubo evacuado con caloriducto.



Una de las principales ventajas de este captador es que puede funcionar en sistemas termosolares en los que se requieren presiones superiores a la atmosférica. Por lo general, este captador soporta presiones de operación de hasta 6 kgf/cm² (Pilatowsky y Martínez, 2013).

Otra de las ventajas de este tipo de captadores es que los tubos con caloriductos pueden cambiarse fácilmente, debido a una falla o rotura, durante el proceso de calentamiento sin necesidad de pararlo.

Hasta este apartado se han descrito los captadores solares de baja temperatura, captadores solares planos y de tubos evacuados.

Ahora bien, el **factor de concentración (C)** (concepto que se utiliza con mayor frecuencia con los sistemas de concentración) es la manera de conocer cuantitativamente las veces que se puede incrementar la energía solar en la superficie captadora o absorbedor, y se refiere a la relación entre el área del plano de la apertura del captador solar y el área del plano donde incide la radiación.

$$C = \frac{A_{\text{apertura}}}{A_{\text{absorbedor}}}$$

A continuación se te muestra una tabla sobre los factores de concentración de los captadores solares que en esta unidad se describen:

Tabla sobre el factor de concentración de los captadores solares.

Captador	Concentración	Temperaturas características (°C)	Seguimiento
Plano	C = 1	30 < T < 80	Estacionario
Tubos evacuados	C < 1	50 < T < 190	Estacionario
Captador parabólico compuesto (CPC)	1 < C < 5	70 < T < 240	Estacionario
Cilíndrico-parabólico	5 < C < 15	70 < T < 290	Un eje
Plato parabólico	15 < C < 40	70 < T < 290	Un eje
Torre central	100 < C < 1000	70 < T < 930	Dos ejes
	100 < C < 1500	130 < T < 2700	Dos ejes

Tomado de Sener, 2005.

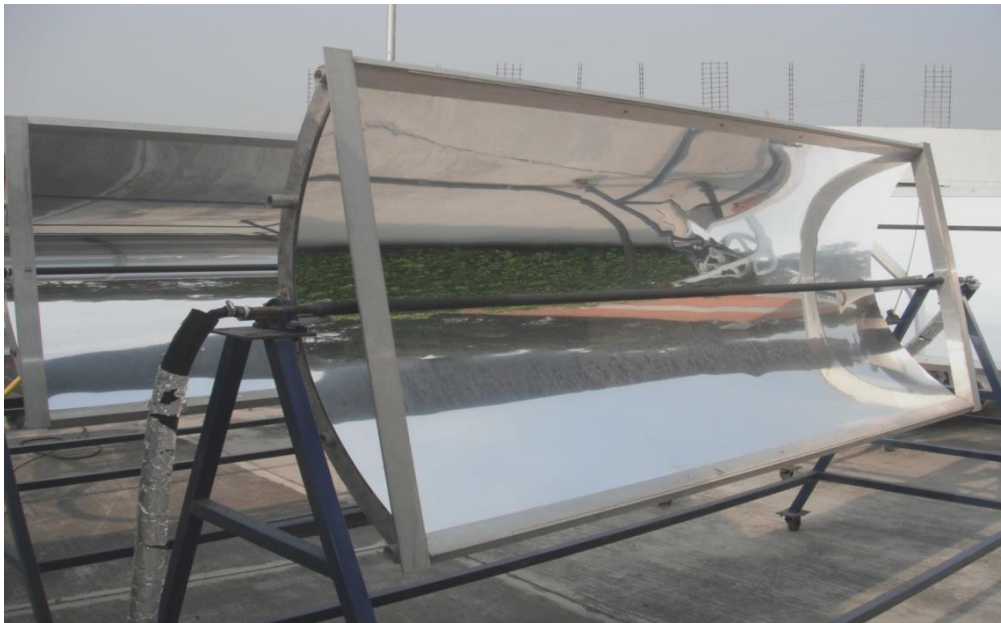


2.1.3. Sistemas con captadores solares tipo parabólicos: cilíndricos, tipo plato y CPC

Los sistemas con captadores solares de tipo parabólico se clasifican por su capacidad de concentración; además siguen la trayectoria aparente del sol con la finalidad de incrementar el potencial de captación de la energía solar.

Captador cilíndrico-parabólico

De acuerdo con Castro, Colmenar, Carpio y Guirado (2006) la función de un captador cilindro-parabólico consiste en recoger la energía solar utilizando un reflector. Este dispositivo frecuentemente es de tipo espejo, el cual concentra la radiación solar sobre el tubo receptor metálico con lo que produce un calentamiento en el fluido que circula a través de dicho tubo. A continuación se muestra un ejemplo de un captador cilíndrico-parabólico.

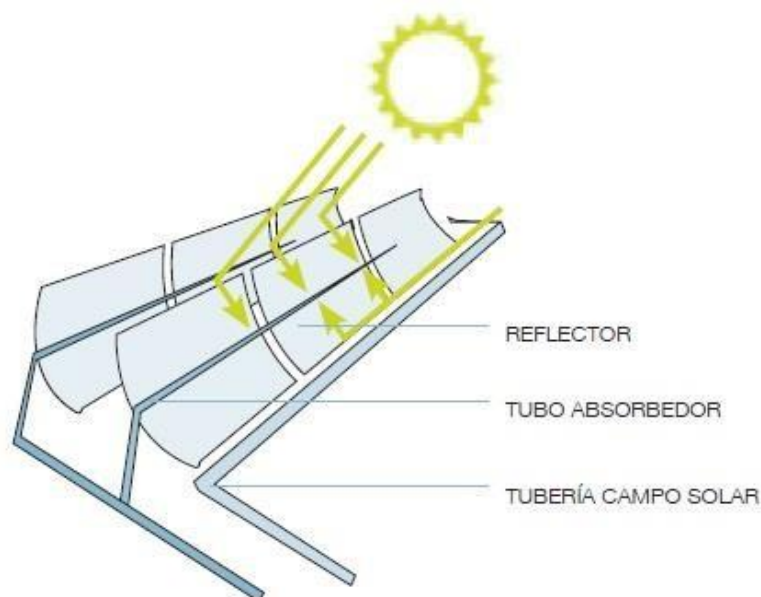


Captador cilíndrico-parabólico tomado en el IER-UNAM.

Los rayos solares se concentran en el tubo receptor siempre y cuando el haz incidente sea paralelo al eje de simetría de la parábola; en caso contrario no convergerá en el tubo receptor. Esta condición obliga a que el captador tenga que moverse para seguir el



movimiento aparente del sol. Generalmente, este tipo de tecnología se diseña para seguir el sol en un eje, y usualmente es de norte-sur.

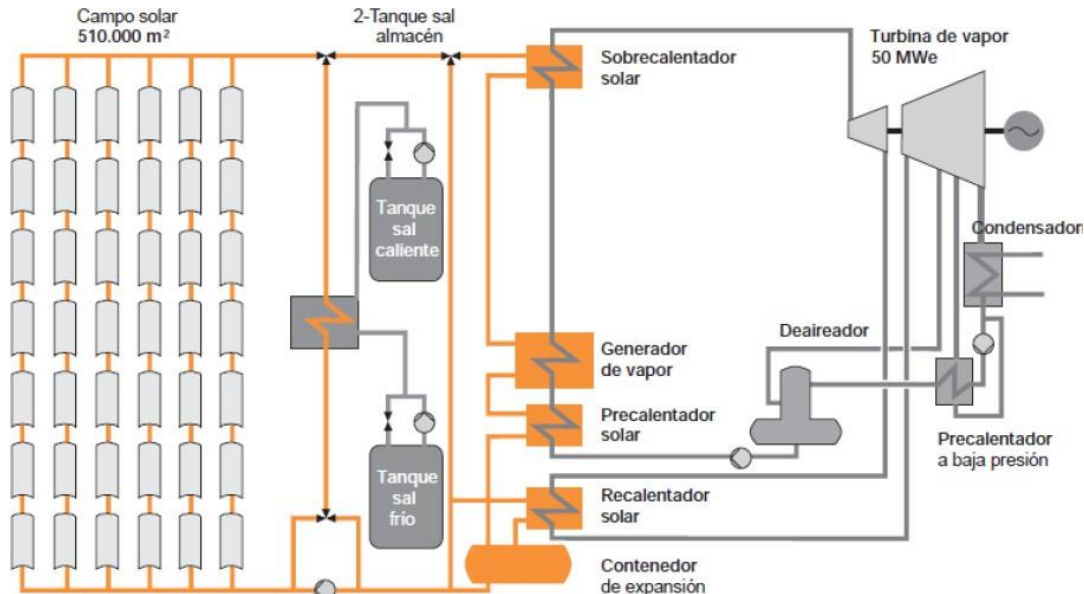


Esquema de un captador cilíndrico-parabólico.

Los tubos receptores o absorbentes, por lo general, son tubos metálicos, y en usos industriales se les coloca un tubo concéntrico de vidrio con la finalidad de evitar las pérdidas de calor por convección.

Las aplicaciones industriales de estos captadores son la generación de vapor para algún proceso o para alimentar una turbina y producir electricidad. Para el primer caso, se trabaja con vapor saturado en el orden de 200 °C, y para la generación de electricidad se requiere vapor sobrecalentado a unos 400 °C y unos 100 bar de presión (Castro, Colmenar, Carpio y Guirado 2006).

Un ejemplo ilustrativo de una instalación termosolar para la generación de electricidad es la siguiente:



Esquema de una central termosolar. Tomado de Rivero, (2011).

En este video puedes ver una instalación real:

<http://www.youtube.com/watch?v=yKkyLKYamUo>

Entre los fluidos de mayor uso en las plantas termosolares para generación de electricidad, está la mezcla eutéctica, compuesta por un 26.5% en peso de óxido de difenilo y un 73% de bifenilo, que se denomina HTF (*heat transfer fluid*). El intervalo de temperaturas del HTF es de unos 290 °C a la entrada de la línea de absorción del captador solar, y de unos 390 °C a la salida. Las características químicas del HTF impiden que se pueda utilizar por arriba de los 400 °C, ya que pueden originarse hidrocarburos volátiles y pesados, lo que modificaría el comportamiento de la planta termosolar (Fenercom, 2012). Así, el límite de temperatura para estos sistemas termosolares es de 400 °C.

Según Fenercom (2012), se requiere de dos hectáreas de captadores cilíndrico-parabólicos por cada MW de potencia eléctrica instalada.

Las primeras plantas termosolares con sistemas de captadores cilindro-parabólicos se instalaron en los años ochenta en el desierto de Mojave en California, Estados Unidos. Dichas plantas son conocidas como SEGS (*solar electric generating systems*). La capacidad de generación eléctrica es de 14 a 80 MW cada una, así como una capacidad total instalada de 354 MW. Son las plantas que acumulan el mayor tiempo de experiencia sobre la generación de electricidad por medio solar y, por ende, la tecnología más estudiada en este ramo.



En México se han realizado esfuerzos para utilizar esta tecnología en la generación de electricidad. Tal es el caso más conocido, de 1978, en el que investigadores del Instituto de Ingeniería de la UNAM instalaron 16 concentradores cilindro-parabólicos, cada uno con 2.5 m de apertura y 14 m de longitud, por lo que el área total de captación era de 550 m², y la capacidad nominal era de 10 kWe pico. Esta planta fue la primera en su tipo en Latinoamérica.

Hoy en día se sigue investigando esta tecnología en el Instituto de Energías Renovables, (tal como se puede ver en la figura *Captador cilíndrico-parabólico*, presentada anteriormente). Estos captadores se diseñaron para producir vapor de agua directamente en los captadores a una temperatura de 120 °C y a una presión absoluta cercana a los 1.7 bar.

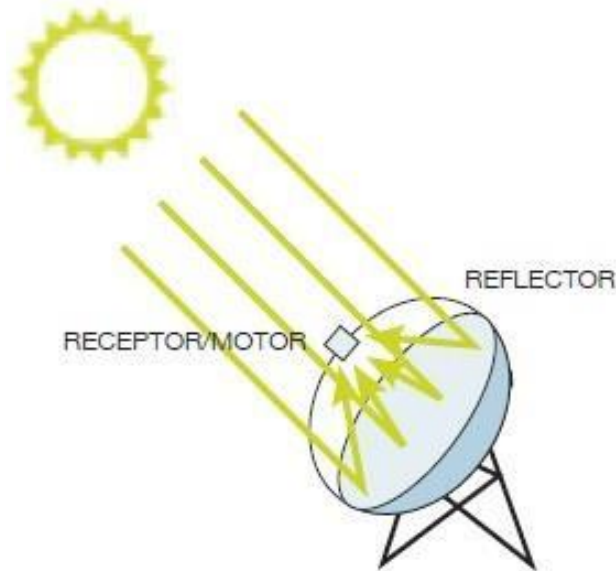
Captador solar tipo plato parabólico

Este tipo de tecnología puede ser considerada como la más eficiente entre la gama de captadores solares, pero resulta ser la tecnología más costosa.

Hoy en día este tipo de captadores sirven para accionar un motor tipo Stirling colocado en el punto focal del disco paraboloide. Este motor es considerado el motor más eficiente, termodinámicamente hablando, debido a que en la práctica su eficiencia es la más próxima al rendimiento ideal de ciclo de Carnot, que es el más eficiente. El principio de funcionamiento de este motor es la expansión y la contracción de un gas. Éste se enfría en un extremo y se contrae, y por el otro extremo del motor se calienta por medio de la radiación solar concentrada por el captador solar de disco, con lo cual se logra una expansión en el gas y, así, en un ciclo continuo. Una de las ventajas de este motor es su vida media, pues no tiene suciedad interna, caso contrario de los motores de combustión interna accionados por combustibles fósiles.

Estos motores tienen la finalidad de generar electricidad, y los prototipos existentes van desde 10 hasta 100 kW. Los fluidos de trabajo que se utilizan en este tipo de captadores son helio, hidrógeno, nitrógeno e incluso aire. Por otra parte, la superficie de captación que se necesita es de 4.5 ha de captadores solares de disco por cada MW instalado, lo que representa el doble con respecto a los captadores cilíndricos-parabólicos.

A continuación, se presenta un esquema sobre este tipo de captadores solares.



Esquema de un captador tipo plato parabólico.

A nivel mundial, se han instalado varios sistemas con discos parabólicos, de los cuales se te presentan sólo algunos; se resaltan los valores de diámetro, tipo de tecnología en el disco, capacidad y el factor de concentración:



DISTAL I

7'5 m de diámetro
Membrana tensionada
Hasta 9 kW_e
C = 12000



DISTAL II

8'5 m de diámetro
Membrana tensionada
Hasta 10 kW_e
C = 16000



EURODISH

8'5 m de diámetro
Segmentos individuales
Hasta 10 kW_e
C = 16000
Reducción de costes

Discos parabólicos con motores Stirling. Tomado de Balado, (2011).

En México se han realizado investigaciones de este tipo de tecnología. Tal es el caso del captador paraboloïdal denominado COSPAA-90, que se encuentra en el Instituto de Energías Renovables, de la UNAM. Este captador paraboloïdal es un producto reutilizado,



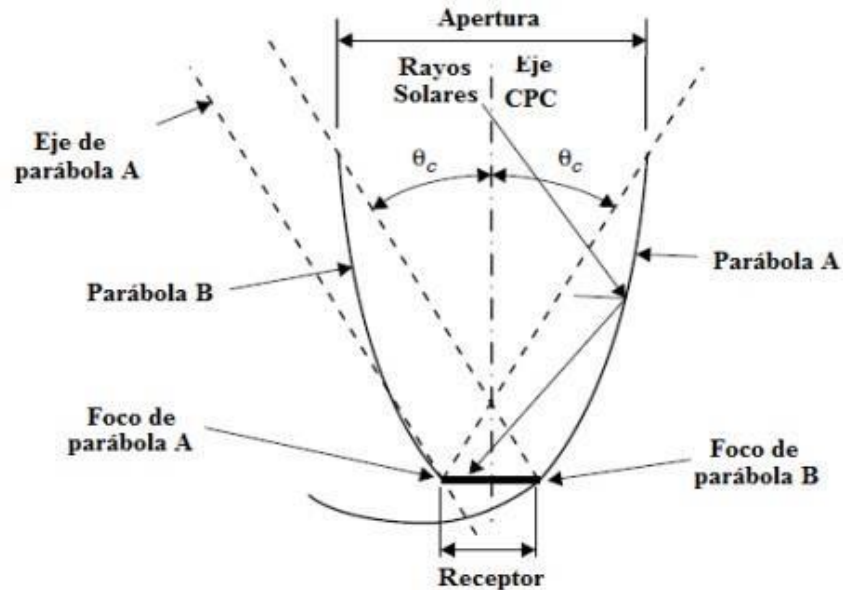
ya que en sus inicios se usaba como antena de telecomunicaciones. Se le acondicionaron dispositivos tales como un receptor de forma cónica y un sistema hidráulico, con los que han realizado pruebas experimentales sobre producción de vapor a baja presión (200 °C y 2 bar).



Captador de tipo plato parabólico, IER-UNAM.

Captador solar CPC

Un CPC (captador parabólico compuesto) es un captador que está integrado por dos parábolas truncas, parábola A y B, una enfrente de la otra con una apertura $2\theta_c$, tal como se muestra en la siguiente figura:



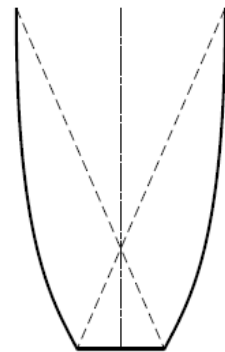
Composición de un CPC.

Estos captadores solares reflejan toda la radiación incidente hacia el foco, esto a causa de las reflexiones internas.

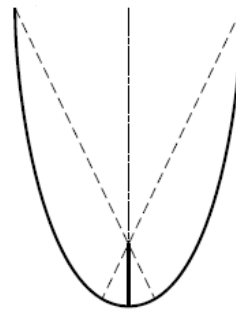
Por otro lado, esta tecnología tiene la particularidad de que se pueden instalar sin depender de un sistema de seguimiento solar –lo que puede considerarse como ventaja sobre otros captadores solares de tipo concentración–. Y entre otras ventajas están que puede captar la radiación difusa, las pérdidas térmicas son menores y su precio de manufactura es comparable con la de los captadores solares planos. Sin embargo, entre sus desventajas están la eficiencia óptica –que es menor que la de los captadores planos debido a las pérdidas reflectivas– y una menor energía colectada anualmente –a causa del ángulo fijo establecido durante el año–.

Es recomendable que a la superficie reflectiva de este captador se le realice un mantenimiento de pulido, con la finalidad de minimizar su degradación, así como reducir las pérdidas térmicas. Con respecto a estas últimas, se puede utilizar una cubierta sobre el receptor y con ello disminuir las pérdidas convectivas.

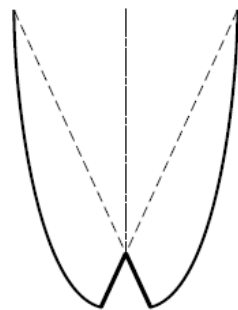
Existe una diversidad de captadores CPC. A continuación se te muestran algunos de ellos. Entre los que más se han desarrollado, al menos en México, están los de absorbedor tubular.



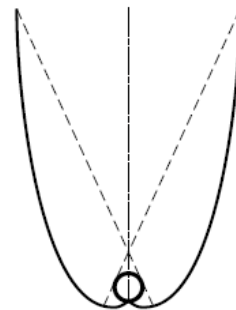
Absorbedor plano



Absorbedor bifacial



Absorbedor angular



Absorbedor tubular

Tipos de CPC.



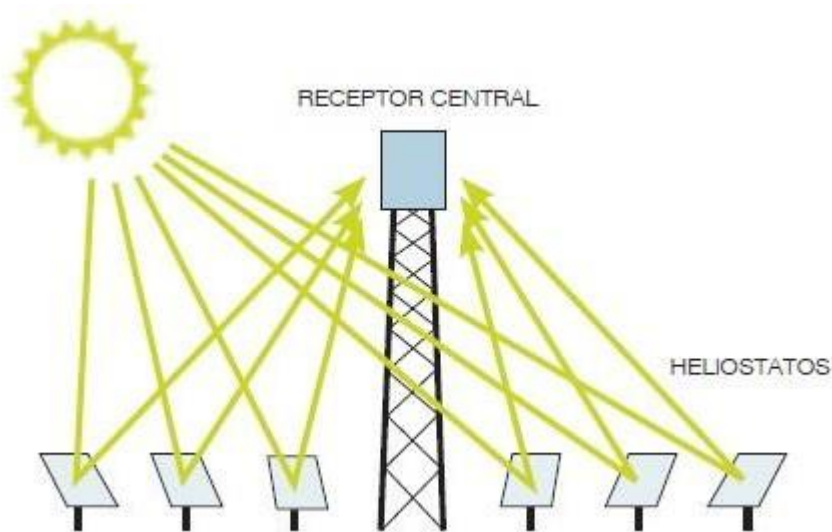
CPC Instalado en el Instituto de Energías Renovables.



La fotografía anterior es la de un captador CPC, tipo plano, con absorbedores tubulares; la temperatura de salida del agua ha superado los 90 °C, por lo que se considera una tecnología prometedora para su uso en procesos que requieran esos niveles de temperatura. Es por ello que en el Instituto de Energías Renovables se están realizando algunos prototipos similares.

Con esta tecnología se han realizado investigaciones sobre refrigeración solar, desarrollo de reactores fotocatalíticos. Como ejemplo se muestra un video de un CPC en un ciclo de refrigeración solar: <http://www.aztecanoticias.com.mx/capitulos/tecnologia/135375/usan-sol-para-producir-hielo>

2.1.4. Sistemas termosolares de torre central



Esquema de un campo de heliostatos y torre central.

El fundamento de esta tecnología es la de hacer incidir la radiación solar por medio de unos dispositivos denominados **heliostatos** en un receptor instalado en la parte superior de una torre. Los elementos primordiales de esta tecnología son los siguientes:

1. La torre y su cimentación
2. El campo de heliostatos
3. El receptor



La torre

La contribución de la torre es posicionar al receptor a una distancia y altura óptimas con respecto al campo de heliostatos. Las torres actuales pueden llegar a medir 100 m (Balado, 2011), son construidas de hormigón, aunque también se reportan de estructuras metálicas, tal como se muestra en la siguiente imagen:



CESA I (Almería)



PS10 (Sevilla)



Solar Two (EEUU)

Ejemplo de instalación de Torres. Tomado de Balado, (2011).

El campo de heliostatos

Un heliostato es un conjunto de espejos que se montan en una estructura soporte, la cual es movida por un mecanismo que da seguimiento a la trayectoria aparente del sol. Por lo general, estos espejos se construyen de vidrio, a los cuales se les da un tratamiento superficial con plata o aluminio, con la finalidad de que alcancen el mayor porcentaje de reflectividad, que puede llegar hasta un 90 %.

Estos espejos pueden ser completamente planos o no. Algunos tienen una cierta curvatura y así se puede lograr una mejor incidencia de los rayos solares sobre el receptor. A continuación se muestra un heliostato instalado en el Instituto de Energías Renovables; se puede observar que está compuesto de treinta espejos planos. Este heliostato es complemento de un horno solar instalado en instituto.



Heliostato instalado en el IER-UNAM.

Además de tener la configuración como la mostrada arriba, se han venido realizando investigaciones sobre heliostatos de membrana tensionada, que sirve para realizar la curvatura necesaria en esta tecnología. Observa algunos ejemplos de estos heliostatos:



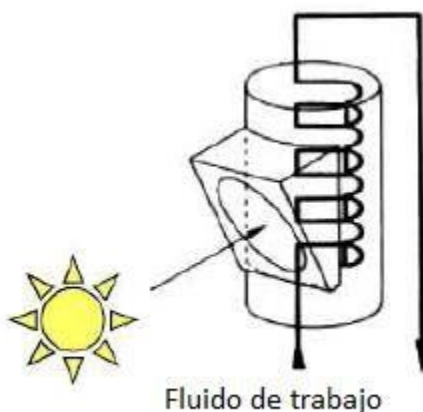
Heliostatos de membrana tensionada. Tomado de Balado, (2011).



El receptor

El receptor es el elemento que capta la radiación solar procedente de los heliostatos, y es éste el que la transforma en energía térmica. Este proceso es de altas temperaturas, por lo que se debe realizar un diseño adecuado para evitar en gran medida las pérdidas por radiación y convectivas.

Existen numerosas propuestas sobre receptores de torre con diversas configuraciones, y una clasificación general son los receptores de intercambio directo e indirecto. En el primero, la radiación es absorbida directamente por el fluido de trabajo (agua, sales fundidas, etc.) al circular por el receptor; en el segundo caso, un intercambiador se encarga de transformar la energía radiante en energía calorífica para luego ceder esta energía al fluido de trabajo. Uno de los receptores de mayor uso es el de cavidad. Un esquema de dicho receptor se muestra a continuación:



Receptor de torre tipo cavidad. Tomado de Balado, (2011).

Observa el vídeo titulado de la planta Gemasolar de un sistema solar de torre central, que se encuentra la siguiente página web:

<http://www.torresolenergy.com/TORRESOL/tecnologia-torre-central/es>

Se han cubierto los principales sistemas termosolares activos. Es momento de que continúes en la búsqueda de mayor información sobre estos sistemas.

Ahora se estudiarán algunos sistemas termosolares pasivos: de ganancia directa, de ganancia indirecta y paredes o techos de almacenamiento térmico. Cabe mencionar que se mencionarán algunos y sólo para el calentamiento de edificaciones para zonas con clima frío. En México es el clima es muy diverso, por lo que se presentan algunos



sistemas para zonas donde se requiere calefacción solar. Sin embargo, cabe destacar que existen mecanismos para realizar enfriamiento residencial, comercial o industrial con energía solar, pero dado que se está revisando el tema de sistemas pasivos, aquéllos no se consideran, ya que la gran mayoría de los sistemas de enfriamiento solar utilizan dispositivos electromecánicos y con ello entran en los sistemas ya descritos.



2.2. Sistemas termosolares pasivos

Los sistemas termosolares pasivos constituyen la más antigua de las tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar. Las primeras referencias a sistemas termosolares pasivos se remontan a la antigua Grecia (siglo V a. C.), cuando Aristóteles, Jenofonte y Esquilo bosquejaron los principios de la helioarquitectura. Posteriormente, durante el primer siglo de nuestra era, los tres arquitectos romanos de mayor influencia, Vitruvio, Palladio y Faventino, enfatizaron la importancia de tomar en cuenta la orientación de las construcciones para el aprovechamiento de la energía solar (Concheiro y Rodríguez, 1985).

El principio de operación de los sistemas termosolares pasivos es que la energía solar captada se convierte en calor sin el empleo de equipos electromecánicos, tales como ventiladores o bombas (lo que significa que no utilizan elementos “activos”). La transferencia de calor y, en dado caso, la circulación del fluido caliente ocurre de manera natural. Los sistemas térmicos pasivos son empleados principalmente para el acondicionamiento del ambiente en construcciones y edificios, proporcionando calor en invierno y frescor en verano, lo que se ha llamado **heliodesign** o **helioarquitectura**.

Los principales elementos de captación de la energía solar en estos sistemas suelen ser ventanas de vidrio en aquellas paredes orientadas al sur (en el hemisferio norte), y las propias paredes de la construcción como el elemento de almacenamiento de la energía. Los sistemas de enfriamiento utilizan la radiación infrarroja o evaporación para rechazar calor, generalmente, durante la noche.

Una de las principales ventajas es que el mantenimiento de los elementos es casi nulo, esto a causa de que no tienen elementos móviles que se desgasten.

2.2.1. Sistemas de ganancia térmica directa

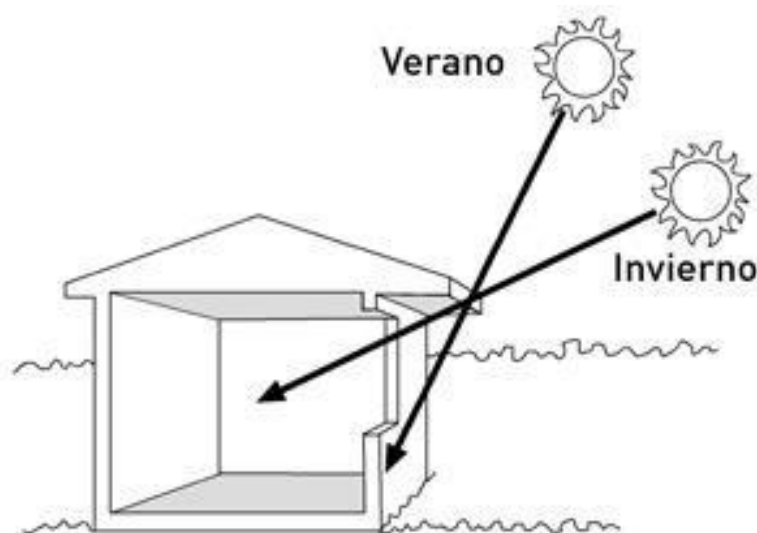
En los sistemas de ganancia térmica directa la energía solar es recibida a través de una superficie vidriosa orientada hacia el sur (en el hemisferio norte), con frecuencia colocada verticalmente. La energía captada en exceso de la requerida durante el día se almacena en los elementos constructivos de la edificación (por ejemplo, en las paredes de concreto, ladrillo, o en los pisos y techo) para su aprovechamiento durante la noche. Los sistemas de ganancia directa son sumamente simples, pero la exposición continua de los



materiales a la radiación solar puede deteriorarlos.

Se presentan variaciones moderadamente grandes de temperatura en el interior de la construcción entre el día y la noche (aunque su magnitud depende del microclima del lugar de insolación), y la luz reflejada en el vidrio puede molestar al ser vista desde el interior.

A continuación se muestra un esquema de este sistema:



Esquema de un sistema de ganancia térmica.

En el esquema se observa que la altura solar es mayor en verano que en invierno. Esta condición es considerada por los arquitectos que toman en consideración la posición del sol para diseñar las fachadas verticales. También en el esquema se puede ver que en verano la fachada sur recibe menos radiación; en el invierno la fachada sur recibe una gran cantidad de radiación solar, y es aquí donde se diseñan sistemas con ventanas para que la radiación directa llegue al interior de la casa y con ello calentar el interior de ésta.



2.2.2. Sistemas con paredes de almacenamiento térmico

Una pared colocada a unos 30 cm detrás de la superficie vidriada orientada al sur recibe la radiación solar que atraviesa el vidrio y sirve de almacén térmico. El calor almacenado se transfiere al resto del edificio por convección y radiación. Estos sistemas reciben también el nombre de **muros de Trombe**, por haber sido empleados en las casas Trombe Michel de Odeillo-Font Romeu, en los pirineos franceses. En estas casas las paredes son de concreto, de 0.6 m de espesor, e incluyen circulación natural del aire entre el vidrio y la pared a través de ventilas en la parte inferior y superior de esta última (las ventilas no forman parte intrínseca del concepto de los muros Trombe y su uso puede o no ser benéfico) (Concheiro y Rodríguez, 1985).

La principal ventaja de estos sistemas pasivos es que aíslan el ambiente interior de la construcción en condiciones extremosas. Las fluctuaciones de temperatura se reducen en los cuartos detrás de la pared; los interiores quedan protegidos de la insolación directa que puede dañar los materiales, y se atenúan los efectos de reflejos molestos.

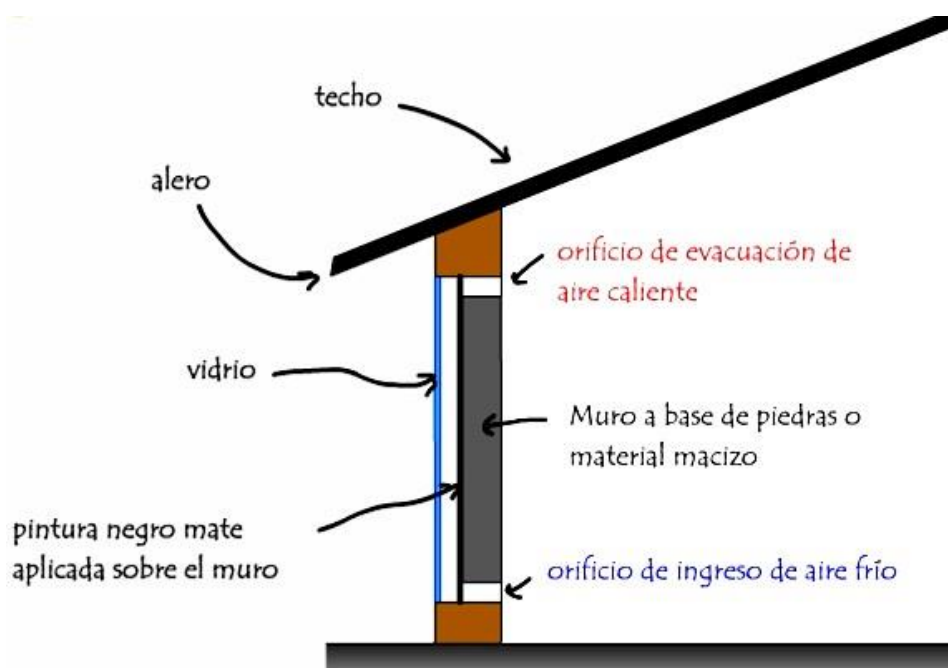
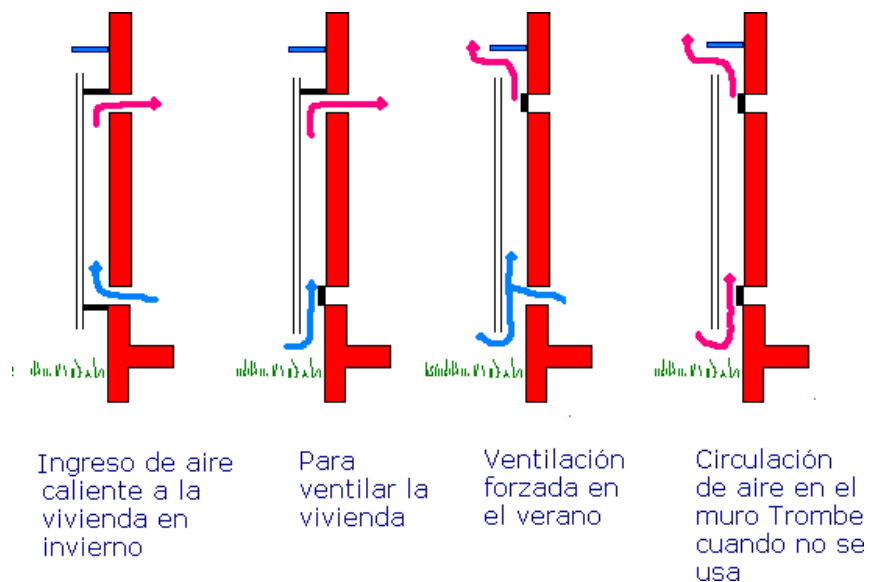


Diagrama simple de muro Trombe.



Algunas variaciones del muro Trombe se ilustran a continuación:



Diferentes usos del muro Trombe.

2.2.3. Sistemas con techo de almacenamiento térmico

En este sistema, como su nombre lo indica, es el techo el que almacena la energía solar. El almacén térmico puede estar compuesto por bolsas de plástico llenas de agua, un estanque de agua poco profundo con una cubierta superficial de plástico u otros tipos de almacén térmico. Para la operación eficaz de estos sistemas, se requiere del empleo de algún aislante móvil que propicie la ganancia de calor en invierno y rechazo de calor en verano. El almacén térmico se cubre durante las noches y se descubre durante el día en invierno, y viceversa durante el verano. Así, resultan más apropiados para sistemas combinados de calentamiento solar pasivo y de enfriamiento natural en climas relativamente secos (Concheiro y Rodríguez, 1985).

En los apartados anteriores se describieron algunos de los sistemas pasivos más característicos. Tales sistemas pueden estar integrados con sistemas activos, por lo que se convertirían en sistemas más complejos. El estudio o investigación sobre multisistemas resulta complejo y se necesitarían cursos más avanzados sobre el tema. Y como prueba de ello se muestran algunas publicaciones al respecto.



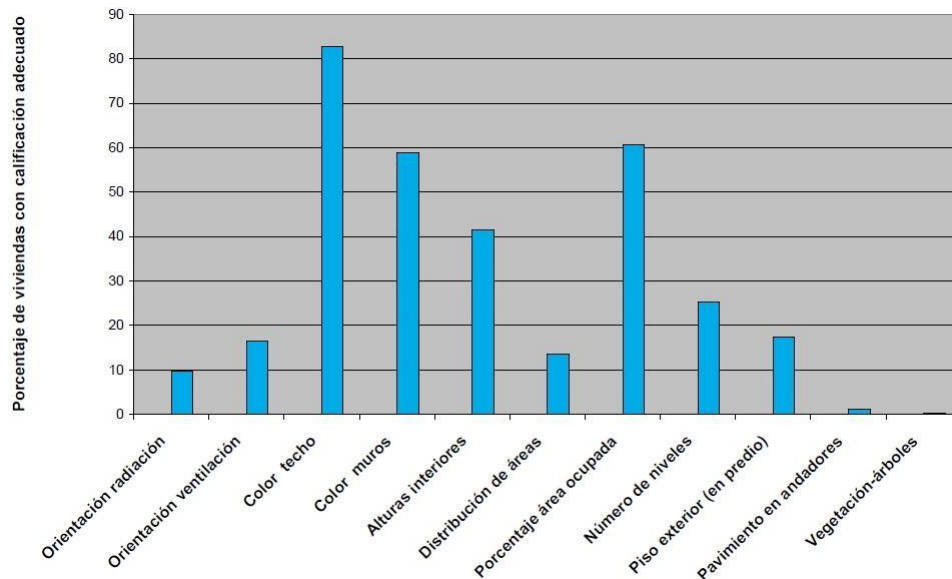
Investigaciones sobre sistemas pasivos en México

Morillón (2011) presenta una reseña histórica de trabajos y proyectos relacionados con la edificación sustentable en México; los sitúa en cuatro épocas:

- El inicio: de 1950 a 1980.
- El auge: de 1980 a 1995.
- El contexto internacional: de 1996 a 2000.
- El día de hoy: de 2000 a 2011.

Para que tengas el panorama generalizado de los avances que se han realizado con respecto a los sistemas pasivos en México, **lee** el documento de Morillón (2011) titulado *Edificación sustentable en México*, que se encuentra en el *Material de apoyo*, así como el de *Vivienda sustentable en México*, del mismo autor.

Por otro lado, Huelsz, Ochoa, Elías-López, Gómez y Figueroa (2011) reportaron el uso y las características de los sistemas pasivos de climatización utilizados en viviendas nuevas, construidas en cinco ciudades del país: Colima, Hermosillo, la ciudad de México, Tampico y Temixco. En este trabajo se analizaron un total de 126 prototipos de viviendas y se evaluaron estos elementos: orientación para el control de la radiación solar, orientación para la ventilación, color de la superficie exterior del techo, color de la superficie exterior de los muros, altura interior, distribución de áreas, porcentaje de área ocupada, número de niveles, piso exterior en el predio, pavimento o material en andadores, uso de vegetación y árboles. El resultado mostró que el uso de los sistemas pasivos en las viviendas es deficiente, tal como se muestra en la siguiente figura. Esto indica que el diseño de sistemas pasivos es un área de oportunidades para desarrollo e investigación en México.



Porcentaje de viviendas del total de la muestra con calificación adecuado por sistema pasivo.
Tomado de Huelsz, (2011).

Barrios, Salas, Huelsz y Rojas (2011) presentan una herramienta numérica para evaluar el desempeño térmico de un muro o un techo de la envolvente (edificación), considerando la transferencia de calor en estado transitorio o dependiente del tiempo. Esta herramienta está disponible en Internet de forma gratuita (<http://www.enerhabitat.unam.mx/Cie2/>). El usuario selecciona la ciudad donde se realiza la evaluación, se analiza de manera mensual o anual, y el sistema se selecciona con o sin aire acondicionado. Esto último significa que en el sistema con aire acondicionado la temperatura al interior de la edificación se mantiene constante, y sin aire significa que el acondicionamiento de la temperatura en el interior varía por efecto de la transferencia de calor por la envolvente. Este *software* surge por la necesidad de mejorar las deficiencias térmicas en México, que son grandes, tal como lo muestra la gráfica anterior.

Estos ejemplos son sólo algunos de los múltiples esfuerzos que se vienen realizando en México sobre viviendas, con la finalidad de que éstas generen el menor impacto ambiental y que el habitante se encuentre en una zona de confort, esto con la participación de las energías renovables, en especial de la energía solar. Nuevamente, se recomienda que continúes con la búsqueda de más información al respecto.



Cierre de la unidad

Al término de esta unidad, se concluye que existe una gama de tecnologías termosolares, en un intervalo de temperaturas que van desde los 40 °C hasta varios miles de °C. Por ello, estas tecnologías deben llevar un proceso de investigación hasta su desarrollo en México, con la finalidad de que se logre una diversificación en el ramo energético.

Esta unidad te sirvió para identificar algunas de las tecnologías existentes, y se deja como tarea seguir investigando sobre nuevas investigaciones al respecto.

En la siguiente unidad se presenta la metodología para desarrollar un diseño de un sistema termosolar, tomando como referencia lo estudiado en la unidad anterior y esta.



Fuentes de consulta



1. Balado, E. (2011). *Prototipo de campo de colectores solares cilindro-parabólicos para la generación de calor a alta temperatura*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid. Recuperado de <http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/12857/1/PFC%20Emilio%20Balado%20Leal.pdf>
2. Barrios, G., Salas, M., Huelsz, G. y Rojas, J. (2011). *Herramienta numérica para la evaluación térmica de la envolvente de una edificación*. Memorias del XXXV Congreso Nacional de Energía Solar. ANES. Chihuahua.
3. Castro, M., Colmenar, A., Carpio, J., y Guirado, R. (2006). *Energía solar térmica de media y alta temperatura*. Sevilla: Progensa.
4. Concheiro, A., y Rodríguez, L. (1985). *Alternativas energéticas*. México: Fondo de Cultura Económica.
5. Fenercom (2012). *Guía técnica de la energía solar termoeléctrica*. Recuperado de
6. Huelsz, G., Ochoa, J., Elías-López, P., Gómez, A. y Figueroa, A. (2011). *Uso de sistemas pasivos de climatización en cinco zonas de la República Mexicana*. Memorias del XXXV Congreso Nacional de Energía Solar. ANES. Chihuahua.
7. Lacomba, R., et ál. (1991). *Manual de arquitectura solar*. México: Trillas.
8. Módulo Solar (2013). *Calentamiento de alberca*. Recuperado de http://www.modulosolar.com.mx/Catalogos/Catalogo_Poliheat2011.pdf
9. Morillón, D. (2011). *Edificación sustentable en México: retos y oportunidades*.
10. Mulás del Poso, P. (coord.) (2005). *Visión a Largo Plazo Sobre la Utilización de las Energías Renovables en México. Energía solar*.
11. Pareja, M. (2010). *Radiación solar y su aprovechamiento energético*. Barcelona:



Marcombo.

12. Pilatowsky, I., y Martínez, R. (2013). *Sistemas de calentamiento solar de agua. Una guía para el consumidor*. México: Trillas.
13. Rivero, J. (2011). *Estudio de viabilidad técnico-económica de una central termosolar*. Cádiz: Universidad de Cádiz.
14. Sánchez Maza, M. A. (2008). *Energía solar fotovoltaica*. México: Limusa
15. Soleil (2013). *Soluciones para el ahorro de energía*.