
Técnicas de conversión de la energía solar

**unidad
didáctica2**

1. Aprovechamiento térmico de la energía solar

El aprovechamiento térmico de la radiación solar puede realizarse por **pasivo** y por **activo**.

1.2. Aprovechamiento pasivo

Se trata de un caso particular de energía solar térmica. En época reciente y aún ahora, los edificios se han ido construyendo ignorando las condiciones ambientales del entorno. Por esto en los edificios no se llega a conseguir toda la comodidad que se podría, ya que o pierden mucha energía, o es necesario refrigerarlos debido a su continua exposición al sol, lo que además, los hace poco económicos.

El **aprovechamiento pasivo** va dirigido a la construcción de los edificios: se trata de la *arquitectura solar pasiva* o *bioclimática*, que es aquella que optimiza las relaciones energéticas con el entorno mediante el propio diseño arquitectónico. Ésta tiene en cuenta el clima del lugar (energía solar recibida, temperatura, dirección del viento, etc.), la vegetación del medio y la orientación para que el edificio reciba el máximo de energía solar posible.

Es en definitiva, realizar diseños arquitectónicos que favorezcan la autorregulación térmica: orientando adecuadamente los edificios se puede lograr que resulten frescos en verano y cálidos en invierno; utilizando materiales aislantes apropiados, mejorando la calidad de los cerramientos, con ventanas de doble acristalamiento, etc., se evitan fugas de calor. La disposición adecuada de las ventanas y su uso correcto, puede refrescar en verano aprovechando el efecto "chimenea". Las ventanas también proporcionan iluminación natural, mucho más beneficiosa que la obtenida por medios artificiales. Un diseño adecuado, además de reducir el consumo energético, proporciona energía solar pasiva y significa

confort para los ocupantes de los edificios: el aprovechamiento de la radiación que llega al edificio se basa en la orientación, la definición de volúmenes, las aberturas del edificio, seleccionar materiales apropiados, así como utilizar elementos con diseños específicos adecuados.

1.1.1. El entorno climático

El entorno climático, que incluye aspectos como la temperatura exterior, la radiación solar, el viento, la humedad, la situación topográfica y la orientación, y los diferentes elementos que conforman el ambiente, determina en gran medida las necesidades energéticas para lograr niveles de bienestar y confort adecuados.

INFLUENCIA DEL ENTORNO				
Factor	Temperatura	Humedad	Radiación	Viento
Incremento de altitud	Disminuye	Disminuye	Aumenta	Aumenta
Proximidad a masas de agua	Disminuye en verano y aumenta en invierno	Aumenta	Disminuye	Aumenta
Proximidad a masas forestales	Disminuye	Aumenta	---	Disminuye
Ciudad	Aumenta	Disminuye	Disminuye	Disminuye
Campo	Disminuye	Aumenta	Aumenta	Aumenta
Emplazamiento en la vertiente norte	Disminuye	Aumenta	Disminuye	Aumentan los vientos fríos
Emplazamiento en la vertiente sur	Aumenta	Disminuye	Aumenta	---
Emplazamiento en la vertiente este	---	---	Aumenta por la mañana y disminuye por la tarde	---
Emplazamiento en la vertiente oeste	---	---	Disminuye por la mañana y aumenta por la tarde	---
Emplazamiento en una depresión	Disminuye	Aumenta	Disminuye	Disminuye

Para disponer de la máxima radiación es recomendable orientar las construcciones $\pm 20^\circ$ al sur. En los climas mediterráneos, no es aconsejable construir junto a las grandes masas de agua, ya que la humedad presente en la atmósfera aumenta la sensación de calor en verano, en vez de refrescar, y en invierno aumenta la sensación de frío. En este tipo de clima, la construcción más adecuada es la rectangular, en la que las fachadas más grandes se construyen mirando al norte y al sur, mientras que las fachadas este y oeste serán menores para evitar el exceso de radiación en verano y el sol de la tarde.

En cuanto al empleo de elementos que hagan de barrera:

- Un elemento que haga barrera orientada al norte facilitará la desviación de los vientos que desde esa dirección incidan sobre el edificio. Si se emplean árboles para formar esta barrera, deberán ser de hoja perenne.
- Para evitar radiaciones directas en verano, pueden emplearse árboles sembrados a este y oeste, pero que sean de hoja caduca. Así resguardarán de las radiaciones en verano, mientras que al carecer de hojas en el invierno, permitirán su llegada.

Las paredes

La principal función de los cerramientos es conservar el confort en el interior de los edificios, independientemente de las condiciones exteriores. El efecto térmico de los cerramientos depende del grosor de los materiales y de sus propiedades termo-físicas. Para conseguir un buen rendimiento térmico, es conveniente utilizar materiales con gran capacidad o **inercia térmica**, capaces de amortiguar las oscilaciones térmicas del interior del edificio: si tienen poca inercia térmica, reaccionarán rápidamente a la radiación solar, calentándose pronto durante el día (en invierno), pero también por la noche se enfrían más rápido, entonces, el retardo entre los aportes de calor y la temperatura alcanzada es pequeño. En cambio, en viviendas con gran inercia térmica, la radiación solar no provocará una subida rápida de la temperatura de la casa, porque el calor se está almacenando, y posteriormente se liberará lentamente por la noche, por lo que no se producirá una disminución brusca de temperatura; además, las variaciones de temperatura

Energía solar térmica

Técnicas de conversión de la energía solar

se amortiguan, no alcanzando valores tan extremos. Además de los materiales, los colores claros en las fachadas facilitan la reflexión de la luz y por tanto ayudan a rechazar el calor debido a la insolación, mientras que los colores oscuros facilitan la captación solar en forma de calor. Dependiendo de la orientación del edificio, las necesidades serán muy diferentes:

- Si está orientado al norte, el grosor del aislante será mayor para aumentar la resistencia térmica.
- Si está orientado a este o a oeste, deberán combinarse resistencia e inercia térmica.
- Si está orientado al sur, habrá que optar por una combinación entre inercia térmica que permita acumular calor con transparencia para captar la radiación solar directa.

Nota

Inercia térmica es una propiedad que indica la cantidad de calor que puede conservar un cuerpo y la velocidad con que la cede o absorbe del entorno.

Distribución

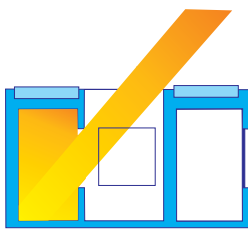
El aprovechamiento de las condiciones de insolación a lo largo del día y las variaciones de estas condiciones durante el año, pueden utilizarse para proporcionar a cada espacio interior las condiciones más idóneas de forma natural. La disposición de los espacios principales (comedores, salas de estar, etc.), se hará con orientación sur; los espacios de paso o independientes, (pasillos, despensas, etc.), se colocarán al norte, frenando las inclemencias que llegan de este frente.

1.1.2. Diseño de sistemas pasivos

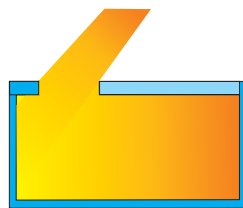
Sistemas de iluminación

La introducción de la iluminación natural en el diseño del edificio hace referencia al ahorro energético relacionado con la reducción de las necesidades de iluminación artificial y con la mejora del confort lumínico. Para un buen uso de la luz natural en los edificios, las claves son:

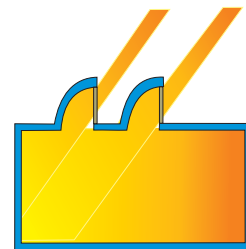
- La introducción de la luz natural, directa o reflejada en todos los espacios habitables.
- La graduación de la luz en cada espacio en función de la actividad que allí se realiza.
- La protección de las aberturas de manera que sea posible amortiguar la entrada de luz en caso de sobrecalentamientos y deslumbramientos.
- La disposición de las aberturas de manera que se pueda captar la luz desde dos o más puntos diferentes, para no verse obligados a emplear luz artificial por el día.



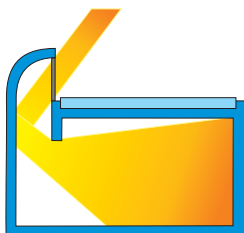
Patio de luz



Techo translúcido



Cubierta en diente de sierra



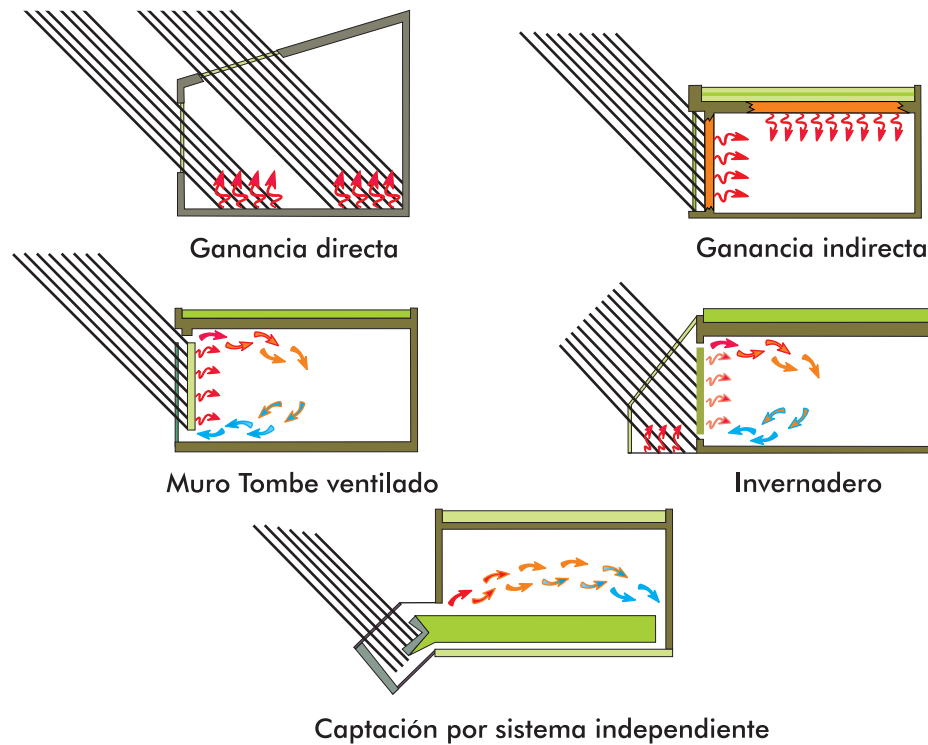
Conducto de iluminación

Sistemas de captación

Los sistemas de captación incluyen los procesos de: captación, absorción, almacenamiento, distribución y regulación del calor. La relación entre estos y el espacio a acondicionar, definen el tipo genérico de sistema pasivo de captación solar: sistemas de ganancia directa, sistemas de ganancia indirecta y sistemas de ganancia separada.

- En el *sistema de ganancia directa*, la ganancia de energía solar se realiza mediante superficies captadoras orientadas al sur, como ventanas, claraboyas, tragaluces, etc. Este sistema debe combinar un acristalamiento suficientemente grande con el uso de materiales con elevada capacidad de almacenamiento de energía, como por ejemplo, el hormigón.
- La *ganancia indirecta* consiste en la disposición de un espacio abierto o sin cerramiento térmico entre el interior de la vivienda y el exterior (muro Trombe ventilado).
- En el *sistema de ganancia separada* existe una separación física entre el espacio o elemento donde se absorbe y almacena el calor solar y el espacio a calentar. Es el caso de invernaderos o de captadores solares separados del edificio.

Las necesidades de calefacción de los espacios son diferentes según las actividades que allí se realicen. Dependiendo de ello, las soluciones a emplear pueden ser diferentes, lo que hace del diseño de edificios algo muy flexible.



Sistemas de refrigeración

La refrigeración natural o pasiva, tiene por objetivo fundamental conseguir la refrigeración de un edificio actuando sobre el propio diseño arquitectónico. La refrigeración pasiva depende del clima y de las diferencias térmicas entre las estaciones. La refrigeración por pérdidas directas incluye el enfriamiento por sombreado o protección solar, y la ventilación. La protección solar puede conseguirse con medios fijos, como voladizos o móviles como toldos, persianas; utilización de cristales reflectantes o absorbentes...

La *ventilación natural* es el sistema más utilizado, en concreto, la ventilación cruzada, que consiste en facilitar la circulación de aire en los edificios con grandes aberturas de entrada y salida de aire, y evitando interponer obstáculos entre dichas aberturas. Otros sistemas de ventilación son la **chimenea solar** (para eliminar calor) y la **torre de viento** (para introducir aire del exterior).

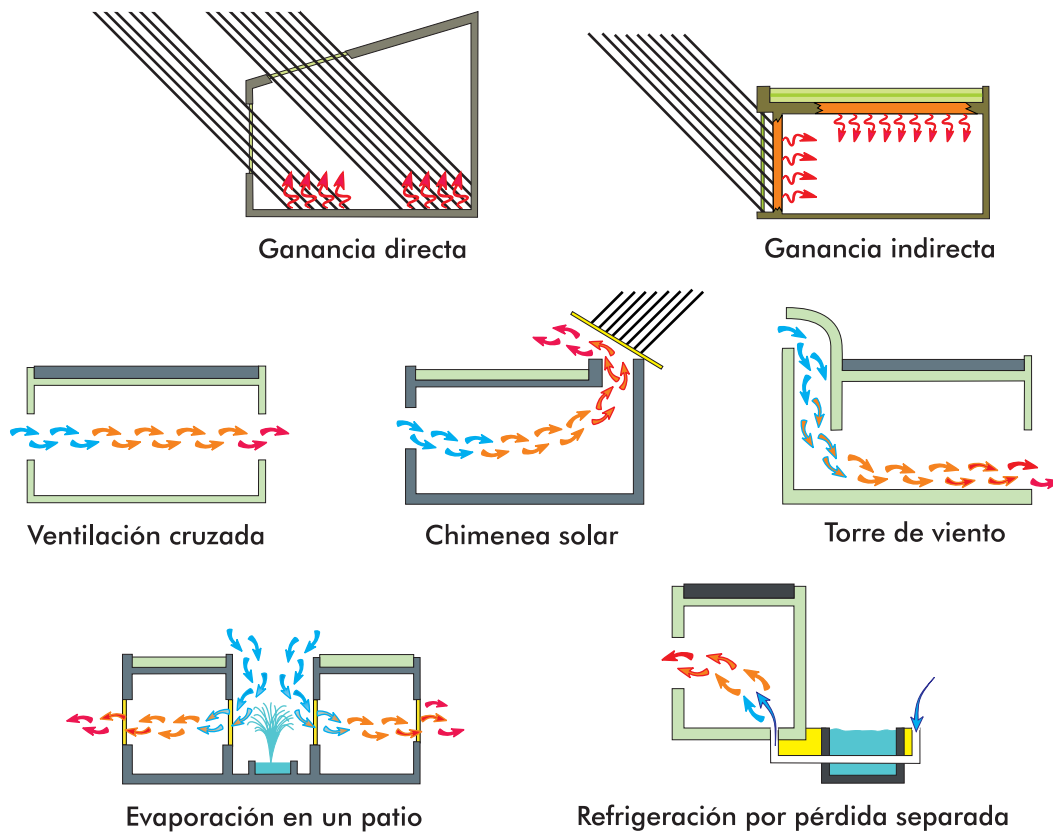
La *refrigeración por pérdida indirecta* se basa en la evaporación, que consiste en disminuir la temperatura ambiente aprovechando el proceso de evaporación del agua y la absorción de calor por masa térmica. Consiste en diseñar edificios de

Energía solar térmica

Técnicas de conversión de la energía solar

manera que la masa del mismo edificio pueda absorber el calor del interior durante el día, y cederlo por la noche. El ejemplo más conocido de esta técnica es el construir casas medio enterradas.

La *refrigeración por pérdida separada* obtiene aire fresco en una zona separada del edificio a refrigerar, como la tierra o bien un volumen de agua. El procedimiento se basa en hacer circular el aire exterior por un tubo enterrado o que atraviesa un volumen de agua: el aire se enfriará más cuanto más largo sea su recorrido antes de ser introducido en el edificio.



1.2. Aprovechamiento activo

La **energía solar activa** se consigue mediante la instalación de elementos materiales para la captación y acumulación de la radiación solar. Permite usos tan diversos como la obtención de ACS y la generación de energía eléctrica. Cada

instalación específica requiere una determinada temperatura de aplicación. En función de esa temperatura, las instalaciones solares se clasifican en:

- Sistemas de aprovechamiento de baja temperatura.
- Sistemas de aprovechamiento de media temperatura.
- Sistemas de aprovechamiento de alta temperatura.

1.2.1. Sistemas de aprovechamiento de baja temperatura

Son aquellos en los que el fluido no alcanza el punto de ebullición. Las aplicaciones más utilizadas para el calentamiento de agua entran en esa gama de temperaturas. Son las instalaciones en las que se obtiene agua caliente sanitaria para uso doméstico o de climatización. Veremos estas aplicaciones más detenidamente en las unidades didácticas siguientes.

Estas instalaciones tienen como componente principal los captadores planos, llamados también colectores o paneles, el colector solar es el elemento activo de elevación de la temperatura del líquido que circula por él, y también poseen un medio de almacenamiento del líquido calentado para utilizarlo en periodos diferentes a los de la conversión térmica, aunque incorporan más elementos, dependiendo de la aplicación concreta a que se dediquen, como veremos más adelante cuando hablemos de las instalaciones.



1.2.2. Sistemas de aprovechamiento de media temperatura

Estos sistemas se utilizan para generar vapor a altas temperaturas para procesos industriales, para producir energía eléctrica, para desalar el agua de mar y también para la producción de frío.

Dependiendo de la aplicación, así será la temperatura del sistema, oscilando entre la temperatura límite de los sistemas de baja temperatura (80-90 °C) y los 250-400 °C.

En estos sistemas los captadores utilizados no son planos. Los más utilizados son los captadores *cilíndrico-parabólico* (CCP).

Los elementos principales de un CCP son:

- El reflector cilíndrico-parabólico.
- El tubo receptor.
- El sistema de seguimiento del sol.
- La estructura metálica.

El **reflector cilíndrico-parabólico** es la forma parabólica, que está recubierta de un material reflectante que concentra los rayos solares sobre un tubo receptor colocado en la línea focal de la parábola.

La superficie especular se consigue a base de películas de plata o aluminio, depositadas sobre un soporte que le da la suficiente rigidez, que puede ser de chapa metálica de aluminio pulido, vidrio de bajo contenido en hierro o de plástico.

El **tubo receptor** puede estar formado por un solo tubo o, más frecuentemente, por dos tubos concéntricos. En este último caso, el tubo interior, por el que circula el fluido que se calienta, es metálico y el exterior de cristal. El tubo metálico lleva un recubrimiento selectivo que posee una elevada absorción y una baja emisividad en el espectro infrarrojo, lo que le proporciona un elevado rendimiento térmico. El tubo de cristal que rodea al tubo interior metálico tiene la doble misión de reducir las pérdidas térmicas en el tubo interior y de proteger de las inclemencias meteorológicas su recubrimiento selectivo. El tubo de cristal suele llevar también un

tratamiento antirreflexivo por ambas caras, para aumentar su transmisividad solar y, por tanto, el rendimiento óptico del colector.

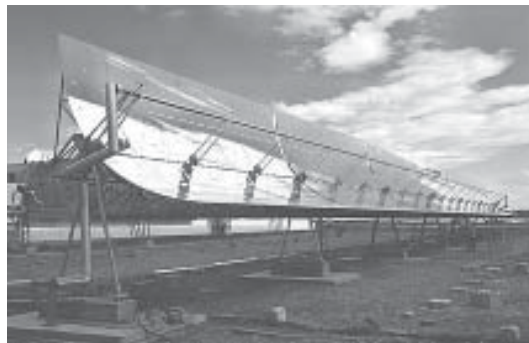
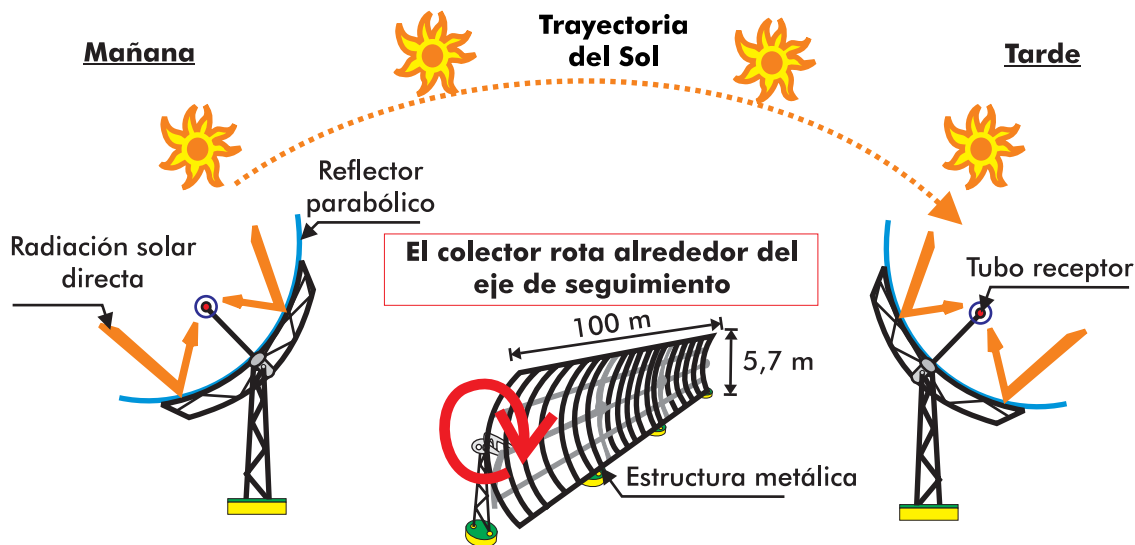
Esta radiación concentrada provoca que el fluido que circula por el interior del tubo se caliente, transformando así la radiación solar en energía térmica en forma de calor sensible del fluido. El tipo de fluido que se utiliza depende de la temperatura máxima de operación. Si las temperaturas que se desean son moderadas, se puede utilizar agua desmineralizada, o una mezcla con etilenglicol, como fluido de trabajo. Para temperaturas más altas, se utiliza aceite sintético. La razón para ello es que a altas temperaturas, para mantener el agua en forma líquida en el interior de los colectores y evitar que se evapore, debe someterse el fluido a presiones mucho más elevadas de las que habría que emplear con el aceite.

Estos captadores aprovechan exclusivamente la componente directa de la radiación, por lo tanto deben incorporar un **sistema de seguimiento solar** que les permita permanecer constantemente situados en la mejor posición para recibir los rayos solares a lo largo del día. Como solo aprovechan la componente directa del sol, no resultan apropiados para zonas climáticas relativamente nubosas. Sólo son eficaces en zonas auténticamente soleadas.

Un colector CCP completo está formado por varios módulos concentradores cilíndrico-parabólicos que están unidos rígidamente en serie y movidos por un mismo mecanismo de seguimiento solar. La rotación del colector requiere un mecanismo de accionamiento, eléctrico o hidráulico que oriente al colector de acuerdo con la posición del sol. La misión de la **estructura del colector** es la de dar rigidez al conjunto de elementos que lo componen, a la vez que actúa de interfase con la cimentación del colector. Todos los colectores CCP actuales usan estructuras metálicas.

Energía solar térmica

Técnicas de conversión de la energía solar

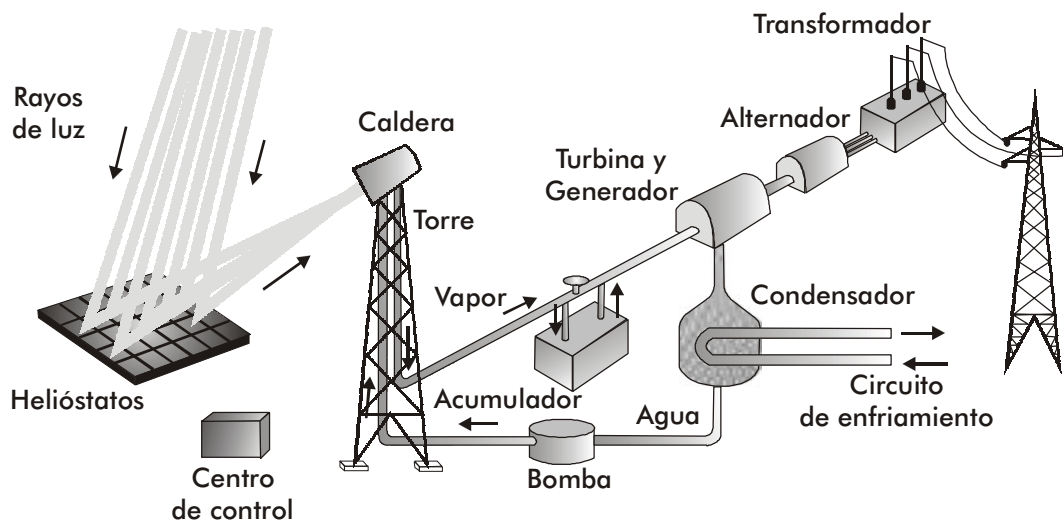


1.2.3. Sistemas de aprovechamiento de altas temperaturas

Son sistemas que trabajan con temperaturas muy elevadas, superiores a las máximas de los sistemas de aprovechamiento a medias temperaturas. Corresponden a instalaciones industriales en los que la generación de vapor está destinada a la producción de energía eléctrica, como en cualquier otra central de producción de electricidad.

Su funcionamiento sigue el siguiente esquema: la radiación solar calienta a alta temperatura un fluido primario (el *fluido caloportador*: agua, sodio, sales fundidas, aire, etc., dependiendo de la instalación). Este fluido transmite el calor a un circuito secundario por el que circula un segundo fluido que, tras transformarse en vapor por la acción del calor, pone en marcha una turbina acoplada a un alternador y produce electricidad. Su funcionamiento en esta parte es similar al de cual-

quier central térmica o nuclear, con la diferencia que el calor se recibe directamente del sol. En algunos casos, es el propio fluido primario el que, convertido en vapor, acciona la turbina. Generalmente, todas estas instalaciones solares tienen incorporado un dispositivo que permite almacenar una cierta cantidad de energía en forma de calor para compensar las fluctuaciones que pueda presentar la radiación solar.



Hay diversos tipos de centrales solares basadas en este principio (de caldera única, de receptores distribuidos, de discos parabólicos, etc.). Las más extendidas son las centrales solares termoelectricas de receptor central.

Los sistemas más comunes de este tipo tienen el receptor instalado en una torre, por lo que reciben el nombre de *centrales solares de tipo torre central*.

En ellas, la radiación solar producida por un campo de grandes espejos (helióstatos) se concentra en este receptor. El despliegue del campo de helióstatos en relación al receptor está condicionado en gran medida por las características del terreno disponible (forma de la parcela, orografía...), por el tamaño de la planta y por la posición del receptor. Existen dos disposiciones clásicas:

- Despliegue del campo de helióstatos alrededor (campo circundante).

Energía solar térmica

Técnicas de conversión de la energía solar

- Despliegue a un lado (norte o sur, según la latitud del emplazamiento) de la torre, sobre la cual se sitúa el receptor.



Los componentes principales de un sistema de receptor central son:

- El sistema colector o campo de helióstatos, formado por helióstatos.
- La torre.
- El receptor.
- El sistema de control.

Los **helióstatos** constan de una estructura soporte y de una superficie reflectante. Asimismo, tienen incorporados unos mecanismos de movimiento que permiten que esta superficie reflectante se mueva según dos ejes de giro, de modo que pueda captar de la mejor forma y en cada momento la radiación solar y concentrarla en el receptor instalado en la torre. Para mover los helióstatos, se utiliza un sistema de control por medios electrónicos: cada espejo recibe periódicamente las órdenes que emite un programa incorporado a un ordenador central.

Las superficies reflectantes más empleadas hasta hoy son a base de espejos de vidrio, de características similares a los descritos para los colectores cilíndrico-parabólicos. También se han empleado superficies reflectantes a base de películas poliméricas.



La función de la **torre** es la de servir de soporte al receptor, que normalmente debe situarse a una cierta altura sobre el nivel del campo de helióstatos para reducir las sombras y bloqueos entre éstos, y a diversos elementos auxiliares. Las torres construidas son estructuras metálicas o de hormigón.

En cuanto al **receptor**, se han propuesto y ensayado un gran número de receptores de diversas características geométricas y de funcionamiento, y con distintos fluidos de trabajo.

- Desde el punto de vista de la geometría del receptor podemos distinguir entre receptores de cavidad y externos. Estos últimos pueden ser planos, cilíndricos y semicilíndricos.
- Por el mecanismo de transferencia de calor, podemos distinguir entre receptores de absorción directa y de absorción indirecta, contando entre estos los tubulares, los de placa y los volumétricos.
- En cuanto al fluido de trabajo, encontramos receptores de agua-vapor, con evaporación y sobrecalentamiento o sólo evaporación, con aire, sales fundidas, sodio fundido, etc.

Sin que ninguno de ellos sea claramente superior a otro.

Otra variedad de centrales solares térmicas de alta concentración son las que usan *discos parabólicos*: son espejos con forma de paraboloide de revolución (el reflector) que también se mueven con el sol y concentran la energía solar en un receptor ubicado en el foco del paraboloide.

Energía solar térmica

Técnicas de conversión de la energía solar

Los discos parabólicos pueden ser contruidos con facetas que aproximan de forma discreta a la geometría del paraboloide o con membrana tensada de metal, aproximándose así de manera continua a la geometría buscada. La superficie reflexiva se consigue a base de espejos de vidrio o de películas reflectantes.



Un sistema de disco parabólico debe disponer también de una estructura soporte y un mecanismo de seguimiento del sol en dos ejes, con objeto de seguir la posición del sol en todo momento.

En estos receptores, la radiación concentrada entra por una apertura incidiendo posteriormente sobre el absorbedor.

El receptor absorbe la energía solar incidente convirtiéndola en energía térmica, que puede ser convertida inmediatamente después mediante un sistema de generación (motor o turbina más alternador), en energía eléctrica o ser conducida mediante tuberías a una central de conversión. Estos colectores son los más eficientes de todos. Se caracterizan por un alto rendimiento, modularidad y autonomía.

El tamaño del reflector dependerá tanto de la potencia nominal como de la energía a generar en un periodo de tiempo para unas determinadas condiciones de radiación solar y rendimientos asociados de los elementos que constituyen el sistema. Tienen relaciones de concentración de alrededor de 600 a 2.000, pueden alcanzar temperaturas superiores a los 1.500 °C. Este tipo de sistema usa como fluido aceite o vapor de agua.

Nota

La relación de concentración (RC) puede definirse como la relación entre el área de la superficie de captación (área de apertura) y el área del reactor (área del componente que recibe la radiación solar concentrada, aunque no esté totalmente iluminada). La RC influye directamente en la temperatura de trabajo del sistema.

2. Componentes de una instalación solar térmica a baja temperatura

Estas instalaciones solares están configuradas en torno a los siguientes grupos de componentes:

- Un **sistema de captación** formado por uno o varios captadores que transforman la radiación solar incidente en energía térmica de forma que se calienta el fluido de trabajo que aquellos contienen.
- Un **sistema de acumulación** constituido por un depósito que almacena el agua caliente hasta que se precise su uso.
- Un **sistema de intercambio** que realiza la transferencia de energía térmica captada desde el circuito de colectores, o circuito primario, al agua caliente que se consume.
- Un **circuito hidráulico** constituido por tuberías, bombas, válvulas, etc., que se encarga de conducir el movimiento del fluido caliente desde el sistema de captación hasta el sistema de acumulación y desde éste a la red de consumo.
- Un **sistema de regulación y control** que fundamentalmente se encarga de asegurar el correcto funcionamiento del equipo, para proporcionar un adecuado servicio de agua caliente y aprovechar la máxima energía solar térmica posible. Por otro lado, pueden incorporar distintos elementos de protección de la instalación.
- Adicionalmente los equipos suelen disponer de un **sistema de energía auxiliar** que se utiliza para complementar el aporte solar suministrando la energía necesaria para cubrir la demanda prevista garantizando la conti-

nuidad del suministro de agua caliente en los casos de escasa radiación solar o consumo superior al previsto.

Muy importante en una instalación solar térmica es el fluido caloportador, que pasa a través del absorbedor y transfiere a la parte del sistema de aprovechamiento térmico la energía. Los más usados son el agua y la mezcla de anticongelante, también se usan aceites de silicona o líquidos orgánicos sintéticos.

Los anticongelantes más usados son los glicoles: etilenglicol y propilenglicol.

Estos glicoles se emplean porque tienen un alto punto de ebullición y son totalmente miscibles en agua. Cuando se mezclan con ella, hacen que el punto de fusión baje (una mezcla al 25-30% tiene un punto de congelamiento de alrededor de -20 °C) y elevan el punto de ebullición, más o menos unos cinco a siete grados por encima de 100 °C. Esto hace que, en caliente, la formación de burbujas de vapor en las superficies de calentamiento extremo sea menor manteniéndose así el contacto directo entre el líquido y la superficie metálica.