

Energía solar térmica

El sol genera energía en forma de radiación electromagnética, la cual es la fuente energética indispensable para la vida en la Tierra. El origen de dicha energía se encuentra en el interior del sol, donde se producen las reacciones de fusión por la que 4 átomos de hidrógeno dan lugar a dos átomos de helio y la masa atómica sobrante se transforma en energía de acuerdo con la célebre fórmula de Einstein $E=mc^2$. En definitiva, el sol actúa como un reactor de fusión situado a 150 millones de kilómetros.

La energía solar sería, pues la energía contenida en la radiación solar que es transformada mediante los correspondientes dispositivos, en forma térmica o eléctrica, para su consumo posterior allá donde se necesite. Es una de las fuentes de energía que más desarrollo está experimentando en los últimos años.

La intensidad de energía solar disponible en un punto determinado de la Tierra depende, de forma compleja pero predecible, del día del año, de la hora y de la latitud. Asimismo, la cantidad de energía solar que puede acumularse depende de la orientación del dispositivo receptor.

El potencial solar de España es el más alto de toda Europa.

Energía solar térmica.

Un sistema de aprovechamiento de la energía solar muy generalizado es el térmico.

La energía solar térmica consiste en el aprovechamiento de la energía procedente del Sol para transferirla a un medio portador de calor, generalmente agua o aire. La tecnología actual permite también calentar agua con el calor solar hasta producir vapor y posteriormente obtener energía eléctrica.

La energía solar térmica utiliza la radiación solar directa, por lo que debe situarse en regiones con alta radiación solar directa, que deben ofrecer al menos 2.000 kWh/m² de irradiación solar directa anual, aún pudiendo funcionar con umbrales inferiores. Los mejores enclaves ofrecerán más de 2.500kWh/m², aquellos en los que clima y vegetación no ofrecen niveles altos de humedad atmosférica, incluyen estepas, matorrales, sabanas, semidesiertos y desiertos, situados idealmente a

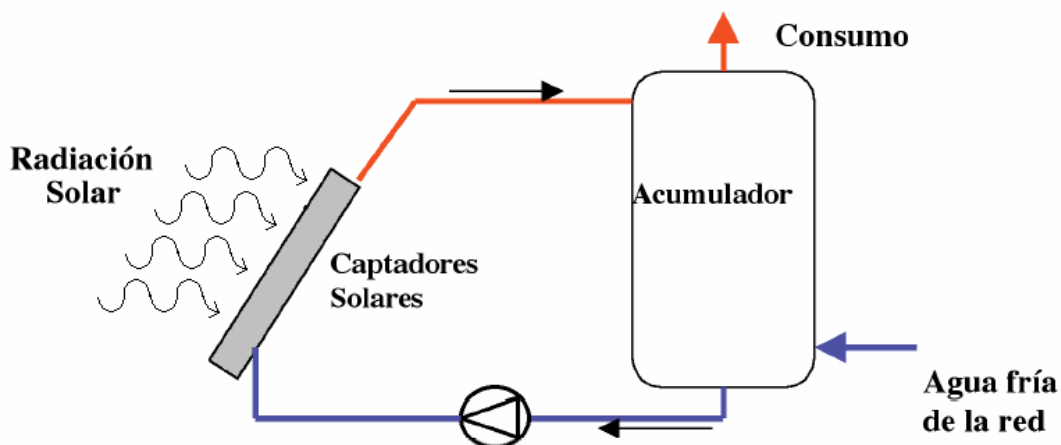
±40 grados de latitud.

En muchas regiones un km² de terreno basta para generar entre 100-200 Gigavatios hora (GWh) de electricidad solar al año usando tecnología solar térmica.

El medio para obtener este aporte de temperatura se realiza a través de colectores.

El colector es una superficie, que expuesta a la radiación solar, permite absorber su calor y transmitirlo a un fluido.

Breve descripción del funcionamiento de una instalación.



El principio de funcionamiento de un captador solar plano se fundamenta en el “efecto invernadero”. La variación solar, de longitud de onda corta traspasa la cubierta transparente e incide sobre el absorbedor del captador donde una parte es absorbida y transformada en energía térmica. Este absorbedor cuando se calienta emite radiación de longitud de onda larga, que no puede escapar al exterior debido a que la cubierta transparente es opaca frente a esta radiación infrarroja de onda larga, disminuyendo de esta forma las pérdidas de calor por radiación. Igualmente la cubierta transparente al evitar el contacto directo del absorbedor con el aire ambiente también minimiza las pérdidas de calor por convección.

El absorbedor consta habitualmente de serie de tuberías que contienen el fluido de trabajo o de transferencia de calor. En el absorbedor, este fluido absorbe el calor generado a partir de la radiación solar y circula hacia el sistema de acumulación de agua caliente donde dicho calor es cedido al agua potable, bien directamente, o por medio de un intercambiador de calor. Una vez que el fluido de trabajo ha cedido su energía al consumo, disminuye su temperatura y se dirige de nuevo hacia el captador solar dando comienzo de nuevo el ciclo.

En el sistema de acumulación, el agua potable se distribuye verticalmente de tal forma que el agua más caliente (de menor densidad) tiende a situarse en la zona más alta donde sale del acumulador cuando existe consumo de agua caliente y el agua más fría (más pesada) se sitúa en la parte inferior del acumulador por donde se conecta con el agua procedente de la red de distribución.

Se pueden encontrar numerosas configuraciones de las instalaciones solares térmicas para la producción de agua caliente. De forma abreviada, en función del mecanismo responsable del movimiento del fluido a través del circuito primario, se diferencia entre instalaciones por termosifón e instalaciones de circulación forzada.

En las instalaciones por termosifón, el movimiento del fluido de trabajo tiene lugar mediante variaciones de densidad del mismo, como consecuencia de variaciones en su temperatura, es decir, circula por convección natural.

En las instalaciones de circulación forzada el movimiento del fluido se produce gracias a una bomba de circulación.

El fluido de trabajo utilizado en las instalaciones suele ser agua o una mezcla de agua con líquido anticongelante. En este segundo caso, se requiere necesariamente el empleo de un intercambiador, que eluda el contacto físico directo de la mezcla agua-anticongelante con el agua de consumo. Estos sistemas que integran un intercambiador de calor son denominados sistemas indirectos.

Componentes

1.- Captadores solares.

1.1.-Generalidades.

Un captador solar tiene como fin transformar la radiación solar incidente sobre el mismo en energía térmica mediante el incremento de temperatura del fluido que

circula a través del mismo. Existen varios tipos y diseños de captadores, con costes y rendimientos diferentes y que se pueden utilizar en distintas aplicaciones.

El tipo más empleado, tanto en aplicaciones de producción de agua caliente sanitaria como en usos industriales, es el captador solar plano, que consigue aumentos de temperaturas de 60° C a un coste reducido, de los cuales hay muchas variantes.

1.2.- Componentes de un captador solar plano

Los captadores solares planos constan de una cubierta transparente (normalmente de vidrio), de un absorbedor metálico, de material aislante térmico tanto en la parte posterior como en los laterales y de una caja rectangular o carcasa exterior que integra a los elementos anteriores. Dispone de 2 ó 4 conexiones hidráulicas localizadas en el exterior de la carcasa que posibilitan la entrada y salida del fluido de trabajo.

El peso aproximado de un captador plano, sin cubierta de cristal, oscila entre 8 y 12 kilogramos por m² de captador vacío. Si cuenta con cubierta de cristal el peso varía entre 15 y 29 kg/m². El tamaño de los captadores habitualmente empleados en España varía entre 1,5 y 3 m².

El efecto que se produce es similar al de un invernadero, la luz del Sol atraviesa la placa de vidrio y calienta la placa ennegrecida. El vidrio es una "trampa solar", pues deja pasar la radiación del Sol (onda corta) pero no deja salir la radiación térmica que emite la placa ennegrecida (onda larga) y como consecuencia, esta placa se calienta y transmite el calor al líquido que circula por los tubos.

✓ **Absorbedor**

Es el elemento básico de un captador plano. Basado en una única lámina o varias aletas metálicas con adecuada conductividad térmica (cobre o aluminio) y varias tuberías metálicas, por las que circula el fluido de trabajo. Han de ofrecer un buen contacto con la lámina metálica o las aletas, para optimizar la transferencia de calor. Las láminas o aletas presentan un buen contacto con la lámina metálica con el propósito de optimizar la transferencia de calor.

Estas láminas o aletas presentan un revestimiento exterior (electrodeposiciones de cromo, cromo-níquel, óxidos de aluminio, deposiciones de titanio-nitrógeno-

oxígeno a bajas presiones, etc.) que incrementan la absorbancia y disminuyen la emisividad del absorbedor.

Al incidir la radiación solar sobre el absorbedor, una pequeña fracción es reflejada, siendo el resto absorbida y cedida (excepto una pequeña fracción que se emite) en forma de calor al fluido de trabajo que circula por medio de las tuberías que forman parte del absorbedor, aumentando la energía térmica del mismo. Este fluido transfiere la energía térmica captada al agua contenida en el acumulador bien de forma directa o a través de un fluido y un intercambiador de calor.

Para aumentar el rendimiento de un captador solar y maximizar la energía térmica aportada por éste, el absorbedor ha de tener valores altos de absorbancia y bajos de emisividad, por eso se suelen realizar tratamientos sobre la cara frontal del absorbedor, como el revestimiento selectivo que minimiza la radiación térmica infrarroja o de onda larga y optimiza el proceso de conversión de la radiación solar de longitud de onda corta en energía térmica. Estos revestimientos consisten en electrodeposiciones de cromo o de níquel negro, obteniéndose valores de absorbancia del orden del 95% y de emisividad del 10-15%.

El absorbedor metálico suele ser de cobre. No es recomendable usar tuberías de acero debido a que presentan mayores problemas de corrosión. Actualmente se está probando con absorbedores formados por tuberías de cobre y láminas de aluminio.

Se diferencian diversos modelos de absorbedores en función de la configuración de las tuberías que los componen.

El absorbedor integral consta de tres conductos de distribución transversal y dos conjuntos de tuberías longitudinales. El fluido de trabajo constantemente circula por las tuberías longitudinales (una en sentido descendente y otra ascendente) logrando aumentar el salto de temperaturas en el captador y disminuir el riesgo de desequilibrio hidráulico. Presenta la ventaja de tener las conexiones de entrada y salida al captador a la misma cota, lo que permite la integración del captador en los edificios, aunque presenta una mayor pérdida de carga que los otros modelos debido a su mayor recorrido hidráulico.

En cualquier caso en el absorbedor se ha de asegurar:

- Buen equilibrado mecánico: el caudal ha de ser el mismo a través de todo el absorbedor, ya que si existiesen partes por las que no circulase fluido o

el caudal de circulación fuese muy distinto al de otras partes, el rendimiento del captador se reduciría.

- Circulación del fluido en régimen turbulento para mejorar la transferencia de calor.

✓ **Aislamiento térmico.**

El captador solar debe aislarse de forma adecuada para evitar pérdidas térmicas por conducción a través de los laterales y por la parte posterior de la carcasa. Es recomendable emplear materiales aislantes que tengan un comportamiento apropiado en el rango de temperaturas de 130 a 240° C.

Cualquier aislante debería de cumplir:

- No desprender vapores por la acción del calor, evitándose la pérdida progresiva de las propiedades ópticas tanto del absorbedor como de la cubierta.
- No perder propiedades aislantes en caso de humedecerse, no sufrir aumentos de volumen que deformen el captador, etc.

Destacamos la lana mineral, la lana de roca y la fibra de vidrio, los paneles laminados de poliuretano rígido expandido (sin contenido de elementos clorofluorocarbonados).

✓ **Caja y cubierta transparente.**

Los dos elementos anteriores se encuentran en el interior de una caja o carcasa externa protegida superiormente con un elemento transparente que reduce las pérdidas térmicas y permite que se produzca el efecto invernadero en el interior del captador. Este elemento, junto con la caja, protege al resto de componentes de los agentes externos (humedad, pedrisco, etc.) y da rigidez al conjunto.

La caja suele ser de aluminio o acero galvanizado y, en menor medida de material plástico.

El material de la cubierta transparente normalmente es vidrio, aunque también se emplean materiales plásticos. Normalmente se utilizan vidrios de bajo contenido

en hierro o vidrios templados. Los vidrios de bajo contenido en hierro suelen emplearse con un espesor de 3-4 mm. El máximo coeficiente de transmisión es próximo al 91%, excepto que se le apliquen tratamientos especiales.

La cubierta transparente debe presentar las siguientes características:

- Cara superior: elevada transmitancia y baja reflectancia y absorbancia respecto a la radiación solar.
- Cara inferior: alta reflectancia ante la radiación de onda larga emitida por el absorbedor.
- Buena resistencia al viento, pedrisco, humedad, radiación ultravioleta, etc.

✓ **Revestimientos antirreflexivos.**

Las cubiertas suelen presentar índices de reflexión, tanto en la cara superior como en la inferior, cercanos al 4% de la radiación incidente, lo que unido a la absorción (1%), consigue que la radiación que penetra en el captador solar sea del 91% de la radiación incidente.

Se puede incrementar hasta el 96% mediante un tratamiento químico sobre la cubierta que aumenta su rugosidad y, por tanto, reduce su índice de reflexión (aproximadamente desde 1,53 hasta 1,3). A través de este tipo de tratamientos el rendimiento óptico pasa de 0,8 a 0,86 aumentando por tanto el rendimiento del captador.

✓ **Juntas.**

Su función es evitar la entrada de agua y partículas en el interior del captador. El material de las juntas aplicado entre la cubierta y la carcasa suele ser goma, silicona o EPDM. En las conexiones de entrada y salida del captador con las tuberías del circuito se emplean juntas de silicona o fluorocaucho cuya temperatura límite de utilización es aproximadamente de 200° C.

1.3.- Principio de funcionamiento de un captador solar plano.

El principio de funcionamiento de un captador solar plano está basado en el “efecto invernadero”.

De la irradiancia solar (longitud de onda corta) que incide sobre la cubierta del captador, una parte (4-8%) es reflejada hacia el exterior (pérdidas ópticas), otra pequeña fracción (1%) es absorbida por el vidrio y el excedente incide sobre el absorbedor, el cual, al calentarse emite radiación de onda larga, que no puede escapar al exterior debido a las propiedades ópticas de la cubierta, y transforma la irradiancia incidente en energía térmica (incremento de la temperatura del fluido de trabajo).

El aislamiento térmico situado en la cara posterior y en las caras laterales reduce las pérdidas térmicas por conducción, disminuyendo parte de las pérdidas representadas. La cubierta transparente también minimiza las pérdidas térmicas por convección.

En cuanto al fenómeno de selectividad transmisiva responsable del efecto invernadero en un captador solar plano hay que mencionar que ciertos materiales (vidrios y plásticos transparentes) muestran altos valores de transmitancia en el rango de longitudes de onda corta de la radiación solar (0,2-3 μm) y, al mismo tiempo, baja transmitividad en las longitudes de onda larga (10-14 μm) en las que emiten los cuerpos a las temperaturas que funciona el absorbedor.

Así pues, los requisitos fundamentales que ha de presentar un captador solar plano son:

- Que la cubierta posibilite que atraviese el máximo posible de radiación solar incidente sobre ella (transmitancia elevada) y permita salir la menor cantidad posible de radiación (transmitancia baja en onda larga).
- Que el absorbedor emita la menor cantidad posible de radiación (emisividad baja).
- Que el absorbedor absorba la mayor parte de radiación incidente (absortancia elevada).
- Que el absorbedor efectúe la transferencia de calor al fluido de trabajo de forma eficiente y que las pérdidas térmicas sean mínimas.

El rendimiento del sistema vendría dado por la siguiente relación:

$$\eta = \frac{m \times C_p \times (T_f - T_i)}{I_g \times A_{col} \times d_t}$$

m = masa de agua en kg.

C_p = calor específico a presión constante del agua, igual a 4185 (J/(kg·°C)).

T_f = temperatura final del agua, en °C.

T_i = temperatura inicial del agua, en °C.

I_g = radiación global en el plano del captador, en (W/m²), que para un día con el cielo limpio, cerca del mediodía, presenta valores entre los 800 y los 1000W/m²

A_{capt} = área del absorbedor, en m²

1.4.- Características principales de un captador solar plano.

- Alta durabilidad.
- De fácil montaje (en tejado, integrado en la cubierta, en fachada, etc.)
- Buena relación calidad/precio.
- Coste inferior a otros captadores más complejos.
- Disminución del rendimiento, a temperaturas altas, comparándolo con otros tipos de captadores debido al mayor valor del coeficiente de pérdidas térmicas.
- Necesidad de estructura base para el montaje sobre tejado plano.

1.5.- Otros tipos de captadores solares.

Captador sin cubierta.

En este modelo el único componente es el absorbedor. Frecuentemente este tipo de captadores se emplea para el calentamiento del vaso de piscinas siendo el absorbedor normalmente de material plástico (caucho, etc.)

En otras ocasiones se utiliza un absorbedor de acero inoxidable para el precalentamiento de agua sanitaria. Este tipo de captadores muestran un rendimiento inferior al del captador plano debido a la carencia de cubierta

transparente, aislamiento térmico y carcasa exterior. La falta de estos elementos minimiza el coste pero contribuye a aumentar las pérdidas térmicas del captador.

Captador de vacío o de tubos de vacío.

Un captador de vacío consiste en una serie de tubos que disponen de un elemento absorbedor en su interior. Cada uno de estos tubos se singulariza por el vacío de aire creado entre la superficie de la cubierta transparente y el absorbedor. Igualmente se encuentran herméticamente cerrados. Cada uno de estos tubos está formado por una doble pared de un material transparente (generalmente borosilicato) entre los cuales se origina el vacío, por lo que deben quedar herméticamente cerrados. Tienen un rendimiento muy elevado, aunque su precio también es alto.

Tradicionalmente los colectores de vacío se utilizaban para aplicaciones en los sistemas de temperaturas intermedias (sistemas de acondicionamiento de aire, procesos industriales, etc.) y en lugares fríos con diferencias elevadas entre la temperatura del colector y la del medio ambiente, donde la mejora sustancial del rendimiento del sistema podía compensar el aumento de coste debido a su utilización. Su reducido coeficiente de pérdidas los hace especialmente aptos para el aprovechamiento de la radiación difusa, manteniendo un rendimiento aceptable, no solo a mediodía o en días soleados, sino también cuando el sol está bajo o el tiempo es frío y parcialmente nuboso.

En la actualidad gracias a su fabricación a gran escala, se han conseguido unos costes parecidos a las placas planas, lo que los hace competitivos para su utilización en la producción de agua caliente sanitaria, calefacción, climatización de piscina, etc.

El vacío contribuye no solamente a la reducción de las pérdidas, sino también a minimizar la influencia de las condiciones climáticas (condensación, humedad, etc.) sobre los materiales empleados, evitando su rápido deterioro y mejorando la durabilidad y el rendimiento global del sistema.

Además del vacío en los tubos, estos colectores poseen un recubrimiento altamente selectivo de las superficies absorbentes, mejorando todavía más su rendimiento.

Existen dos tipos de colectores tubulares de vacío, según el método empleado para el intercambio de calor entre el absorbedor y el fluido caloportador:

Captador de vacío de flujo directo.

En este tipo de captador de vacío la transferencia de calor al fluido de trabajo se efectúa directamente al circular éste por medio del absorbedor.

Según la geometría interna de los tubos se distinguen dos tipologías básicas:

- De tubos coaxiales: el fluido de trabajo circula a través de un sistema de tubo en tubo hasta la base de la ampolla de vidrio desde donde retorna.
- De tubo en U: en este caso, el fluido de trabajo circula a través de un tubo en forma de U.

El fluido caloportador entra por el interior del tubo coaxial y retorna por la cavidad exterior ó tubo paralelo que esta en contacto con la superficie absolvedora, elevando así su temperatura.

Se ensamblan de tal manera que cada uno de los intercambiadores coaxiales ó en U, va conectado a las tuberías de entrada (fría) y salida (caliente).

Captador de vacío tipo Heatpipe.

En este tipo de colectores el intercambio de calor se realiza mediante la utilización de un tubo de calor, el cual consiste en un tubo hueco cerrado por los dos extremos, sometido a vacío y con una pequeña cantidad de fluido vaporizante (mezcla de alcohol) en su interior.

La presión del fluido contenido en el tubo isotérmico es muy baja, por lo que se tiene lugar la evaporación del mismo a temperaturas relativamente bajas (alrededor de 25 °C). El vapor asciende a través del tubo isotérmico hasta llegar al condensador o intercambiador de calor donde se efectúa la transferencia de calor al fluido de trabajo. Una vez condensada, el líquido circula en sentido descendente para iniciar de nuevo el ciclo (volver a calentarse y evaporarse)

A los tubos de calor se les suele llamar los “superconductores” del 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).

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.

Entre las características principales de los colectores de vacío con tubo de calor, destacamos:

- 1.- Unión seca: El intercambio de calor se realiza en seco, sin contacto directo entre el fluido caloportador y el tubo, lo que los hace adecuados en áreas con cualidades desfavorables del agua.
- 2.- Función diodo: La transferencia de calor se realiza siempre en un solo sentido, desde el absorbedor hacia el fluido caloportador, y nunca al revés.
- 3.- Limitación de temperatura: El ciclo de evaporación-condensación tiene lugar mientras no se alcance la temperatura crítica del fluido vaporizante, evitando así los riesgos de un aumento incontrolado de la temperatura en el interior de los tubos.

Captador híbrido.

Genera a la vez energía térmica y energía eléctrica. Compuesto por un captador solar plano con células fotovoltaicas conectadas sobre la cubierta, eléctricamente aisladas del absorbedor metálico con el que han de presentar un óptimo contacto térmico.

Funciona de forma similar a un captador solar plano, aprovechando la radiación solar para calentar el fluido de trabajo que circula a través del absorbedor. El rendimiento eléctrico de los captadores híbridos es algo mayor al de los paneles fotovoltaicos. Como ventaja presenta el aprovechamiento del espacio disponible en la cubierta. Sin embargo, tiene un alto coste económico.

Captador con acumulador integrado.

El captador solar funciona como un acumulador de calor que consiste en una única unidad y no es necesario emplear intercambiador de calor, bomba de circulación, sistema de control ni otros elementos que normalmente constituyen el circuito primario de una instalación por lo que se disminuye notablemente el coste.

Presenta un alto valor de pérdidas térmicas (sobre todo en los periodos nocturnos) y es necesario vaciar el sistema en zonas en las que existe riesgo de heladas con el fin de evitar la congelación del fluido de trabajo.

2.- Acumuladores.

Consiste en almacenar la energía térmica en un depósito de acumulación para su posterior utilización. El agua caliente obtenida mediante el sistema de captación, es conducida hasta donde se va a utilizar. Puede ser directamente, como es el caso del calentamiento del agua de una piscina. En aplicaciones de ACS o calefacción a demanda no siempre coincide con el momento en el que hay suficiente radiación.

El sistema de acumulación está formado por uno o más depósitos de agua caliente. La dimensión de los depósitos de almacenamiento deberá ser proporcional al consumo estimado y debe cubrir la demanda de agua caliente de uno o dos días.

El almacenamiento de energía térmica puede ser desarrollado de diversas formas: calor sensible contenido en un medio líquido o sólido, calor de fusión de sistemas químicos o mediante reacciones químicas reversibles.

Para producción de agua caliente se emplea el calor sensible contenido en la propia agua a través del empleo de un acumulador de agua caliente. Ofrece las ventajas de su elevada capacidad térmica, bajo coste, alta disponibilidad, nula toxicidad e inflamabilidad.

Los requisitos generales que debería cumplir un acumulador son:

- Alta capacidad térmica del medio de almacenamiento.
- Elevada resistencia dentro de los rangos de presión y temperaturas de trabajo.
- Larga durabilidad.
- Buen aislamiento térmico.
- Adecuado posicionamiento de las tuberías de conexión.

- Bajo coste.
- Óptima estratificación de temperaturas.
- Buenas propiedades medioambientales.

3.- Intercambiadores de calor

Un intercambiador de calor tiene la función de realizar la transferencia de calor entre fluidos que, separados por una pared sólida, se encuentran a diferentes temperaturas. Mediante el uso de intercambiadores se logra que el calor se transfiera sin que se mezclen ambos fluidos.

En una instalación solar normalmente se utiliza para transferir calor desde el fluido que circula por los captadores solares al agua almacenada en el sistema de acumulación. Además se puede emplear para transferir la energía previamente almacenada en un acumulador de inercia al agua de consumo.

4.- Circuito hidráulico

Compuesto por el conjunto de tuberías, bombas, válvulas y accesorios que se encargan de conectar los componentes más importantes de la instalación solar entre sí.

5.- Sistema de control

Su finalidad es optimizar el funcionamiento de la instalación solar regulando el flujo de energía entre los diferentes sistemas de la instalación (captación, acumulación, consumo, etc.)

El elemento más importante es la centralita diferencial, el cual maximiza la cantidad de energía aportada por el sistema de captación al sistema de acumulación para lo que, frecuentemente en base a un control diferencial de temperaturas estándar, la centralita pone en funcionamiento o detiene la bomba.

Instalaciones solares térmicas

1.- Tipología de las instalaciones.

Las instalaciones solares se pueden clasificar en función de varios criterios: principio de circulación, sistema de transferencia de calor, acoplamiento, aplicación, etc.

Sistema de transferencia de calor.

Este criterio estima como se produce la transferencia de calor desde el fluido de trabajo al agua caliente destinada a consumo. Bajo este criterio, las instalaciones se clasifican en directas e indirectas.

2.- Funcionamiento de las instalaciones.

Instalaciones por termosifón.

La circulación del fluido comienza cuando existe una diferencia de densidad o de temperatura suficientemente alta entre distintos puntos del fluido contenido en el circuito primario que es capaz de originar una fuerza impulsora superior a la pérdida de carga de la instalación. El valor de esta fuerza impulsora del movimiento depende de varios factores:

- Diámetro, longitud y propiedades de las tuberías del circuito primario.
- Tipo de fluido de trabajo.
- Irradiancia incidente sobre el captador solar.
- Diseño de la instalación.

Manteniendo constante el resto de factores, a medida que aumenta la irradiancia incidente aumenta el valor de esta fuerza impulsora y, por tanto, se incrementa el caudal de circulación a través de los captadores y al igual que aumenta la temperatura entre la salida y la entrada del captador solar.

Instalaciones por termosifón directas

Son de menor coste y rendimiento energético superior que las instalaciones indirectas. Se aconseja su empleo en pequeñas instalaciones individuales y únicamente en aquellas regiones donde:

- La calidad del agua es óptima y, por tanto, la dureza de la misma es baja. De esta forma se evitan los problemas producidos por las deposiciones calcáreas.
- No se llegan a temperaturas ambiente inferiores a la de congelación del agua. En estos casos, sería necesario emplear sistemas de protección frente a heladas cuya utilización no se aconseja, ya que hace dependiente a la instalación del suministro eléctrico, aumenta la complejidad y la probabilidad de fallos en la misma y, sobre todo, en determinadas condiciones el consumo eléctrico de las resistencias puede ser muy considerable.

Instalaciones por termosifón indirectas.

Disponen de un intercambiador que habitualmente es de doble envolvente, dada su pequeña pérdida de carga, aunque también se utilizan intercambiadores de serpentín. Además del mayor coste de instalación el inconveniente principal de las instalaciones por termosifón indirectas reside en la mayor pérdida de carga que supone la incorporación del intercambiador si bien ésta se puede minimizar mediante un diseño y dimensionado apropiados del intercambiador y de las tuberías y accesorios de conexión.

En pequeñas instalaciones individuales localizadas en áreas con riesgo de heladas (temperaturas inferiores a las de congelación del agua) es muy corriente emplear mezclas de agua con aditivos anticongelantes como fluido de trabajo en el circuito primario para evitar la congelación del mismo, lo que obliga a utilizar un intercambiador. En estos casos es muy aconsejable, debido a su simplicidad de las instalaciones por termosifón y a que no necesitan disponer de energía eléctrica, el uso de instalaciones por termosifón indirectas.

Instalaciones de circulación forzada.

La circulación del fluido de trabajo tiene lugar gracias a la activación de la bomba de circulación del circuito primario. Dispone de un sistema de control, normalmente una centralita de control diferencial que, según la diferencia de temperaturas entre la sonda situada a la salida de los captadores solares y la sonda instalada en la parte inferior del acumulador, activa o desactiva la bomba.

Cuando la diferencia de temperaturas entre captador y acumulador supera el nivel estipulado (alrededor de 6-7° C) el sistema de control activa la bomba, incrementando la energía interna del acumulador. Cuando esta diferencia llega a ser de 2-3° C la bomba se desactiva.

Una de las ventajas que presenta es la posibilidad de colocar el acumulador a una cota sensiblemente inferior a la de los captadores solares, resultando más fácil conseguir una apropiada integración en un edificio de la instalación solar dado que los acumuladores y el resto de componentes se suelen instalar en el interior del edificio.

También pueden ser directas o indirectas. Cuando las instalaciones son indirectas el intercambiador es de doble envolvente o de tipo serpentín en las instalaciones de menor tamaño (aproximadamente hasta 15 m²), empleando normalmente un intercambiador exterior de placas en las instalaciones con superficies de captación mayores, a excepción de las instalaciones solares de acumulación distribuida con intercambiadores incorporados en los acumuladores solares (configuración utilizada exclusivamente en viviendas multifamiliares).

El coste de las instalaciones de circulación forzada es mayor que el de las instalaciones por termosifón (incorporación de bomba de circulación, centralita de control, etc.) aunque presentan una serie de ventajas:

- Mayores posibilidades de emplazamiento para el sistema de acumulación.
- Posibilidad de emplear intercambiadores de mejores características.
- Control sobre la temperatura máxima en el acumulador.
- Protección ante heladas.

Sistema de energía de apoyo.

Fundamental para asegurar el suministro de agua caliente sanitaria de forma continua. Pueden ser:

- Instantáneos: se prepara o calienta el caudal de agua demandado a medida que se va consumiendo.
- Con acumulación: antes de producirse el consumo se dispone una determinada cantidad de agua que se almacena en un acumulador desde el que se distribuye el agua al consumo.

Aparte, la forma de acoplamiento entre la instalación solar y el sistema de apoyo afecta en el funcionamiento global de la instalación de producción de agua caliente sanitaria. Destacamos como aspectos a tener en cuenta:

- Maximizar el rendimiento de la instalación global:
- Máximas prestaciones de la instalación solar.
- Mínimo consumo de energía convencional.
- Prestar servicio adecuado al usuario.

Se recomienda que el sistema de apoyo se conecte en serie con la instalación solar con el fin de optimizar las prestaciones de la misma. Mediante este conexionado se logra que el agua destinada a consumo sea calentada en un primer momento por la instalación solar y, en caso de que sea necesario, el sistema de apoyo será quien se encargue de realizar el calentamiento final hasta la temperatura deseada. Para evitar que, cuando está suficientemente caliente, el agua calentada exclusivamente por la instalación solar deba pasar por el sistema de apoyo se aconseja disponer de una tubería (denominada by-pass) que permita el conexionado directo entre la instalación solar y el circuito de consumo sin necesidad de pasar a través del sistema de apoyo.

3.- Tecnología de las instalaciones.

Fluido de trabajo.

El uso de un determinado tipo de fluido de trabajo en el circuito primario de una instalación solar térmica afecta a la fiabilidad, durabilidad y prestaciones energéticas de una instalación. Las propiedades recomendables que ha de ofrecer el fluido de trabajo son:

- Coeficiente de expansión térmica bajo.
- Alta temperatura de ebullición.
- Temperatura de congelación baja.
- Baja viscosidad.
- Calor específico elevado.
- Buena estabilidad en el rango de temperatura y presión de trabajo.
- Adecuadas propiedades medioambientales: inocuo y biodegradable.
- Compatibilidad con los materiales de sellado del circuito.
- Bajo coste y alta disponibilidad.

Los fluidos de trabajo más empleados en las instalaciones solares térmicas son agua y mezclas de agua con aditivos anticongelantes (normalmente glicoles). En este último caso, es imprescindible que la instalación sea de tipo indirecto para evitar que el aditivo anticongelante pase al circuito de consumo.

Protección frente a heladas.

En lugares con riesgo de heladas el fluido puede experimentar un cambio de fase de estado líquido a estado sólido. Este proceso de cambio de fase tiene lugar de forma gradual y depende de:

- Diferencia de temperaturas entre el ambiente y el fluido de trabajo.
- Relación superficie/volumen del fluido en contacto con el ambiente.

Para evitar la congelación del fluido de trabajo en una instalación solar se pueden utilizar varios mecanismos o sistemas de protección. Destacamos:

- Instalaciones indirectas con mezclas anticongelantes.
- Recirculación del fluido del circuito primario.
- Drenaje automático.

Protección frente a deposiciones calcáreas.

Cuando existe un elevado contenido de sales de calcio y magnesio en el agua y ésta experimenta un proceso de calentamiento se puede originar la deposición de estas sales. Esto se intensifica cuando la temperatura es superior a 50° C.

En el circuito primario de las instalaciones solares este fenómeno de deposición calcárea es mayor en los captadores solares debido a que es en éstos donde se alcanzan temperaturas más elevadas, siendo también los elementos que presentan tuberías de menor diámetro. Al producirse la deposición calcárea se reduce la transferencia de calor y aumenta la pérdida de carga a través del circuito.

Para minimizar la pérdida de carga y así eliminar los problemas causados por las deposiciones calcáreas se utiliza un sistema de intercambio, limitando la cantidad de sales que se pueden depositar en el circuito a la contenida en el agua del mismo, excepto en el caso de que se produzcan fugas continuas de agua y sean resueltas mediante reposición con aguas de elevado contenido en sales.

Entre los sistemas de protección mencionamos:

- Filtro de sales (polifosfatos)
- Ósmosis inversa.
- Descalcificador de resinas iónicas con o sin regeneración
- Descalcificador magnético.

Protección frente a sobrecalentamientos.

Es aconsejable que todos los componentes de la instalación resistan adecuadamente las máximas temperaturas que se puedan alcanzar en los mismos evitándose así la adopción de medidas específicas para que la instalación retorne a la situación original.

Selección de tipología básica.

Para determinar que tipo de instalación solar térmica se puede emplear se debe relacionar principalmente con el volumen de acumulación, el riesgo de heladas del lugar y la dureza de las aguas.

En la tabla que se muestra a continuación podemos observar las tipologías básicas recomendadas en función del volumen de acumulación y del riesgo de heladas de la localidad:

Tabla 1: *Tipologías básicas.*

RIESGO DE HELADAS	
V<500 LITROS	No hay limitaciones por la integración arquitectónica
500 < V <2000	Existen limitaciones debido a la integración arquitectónica
V > 2000 LITROS	

RIESGO DE HELADAS (ALTO)	
V<500 LITROS	Termosifón + Indirecto
500 < V <2000	Forzado + Indirecto
V > 2000 LITROS	Forzado + Indirecto

RIESGO DE HELADAS (MEDIO)	
V<500 LITROS	Termosifón + Indirecto
500 < V <2000	Forzado + Indirecto Forzado + Directo
V > 2000 LITROS	Forzado + Indirecto

RIESGO DE HELADAS (BAJO, ALTA DUREZA)	
V<500 LITROS	Termosifón + Indirecto
500 < V <2000	Forzado + Indirecto
V > 2000 LITROS	Forzado + Indirecto

RIESGO DE HELADAS (BAJO, BAJA DUREZA)	
V<500 LITROS	Termosifón + Directo
500 < V <2000	Forzado + Directo
V > 2000 LITROS	Forzado + Indirecto

4.- Mantenimiento de las instalaciones

Plan de vigilancia.

Es un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales, para comprobar el correcto funcionamiento de la instalación. Debe incluir:

- Temperaturas de funcionamiento: valores frecuentes de la temperatura del acumulador solar, en verano e invierno, con poco consumo, normal o elevado.
- Acciones de vigilancia en:
 - Circuito (aislamiento exterior, válvulas de seguridad, bomba de circulación y sistema de control)
 - Acumulador (conexiones).

- Captadores (cristales, conexiones y estructura).
- Consumo de energía auxiliar en condiciones normales de funcionamiento.

Plan de mantenimiento preventivo.

Son operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otros, que aplicados a la instalación deben posibilitar el mantenimiento dentro de los límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación. Realizadas por personal técnico competente especializado.

Plan de mantenimiento correctivo.

Son operaciones realizadas como resultado de la detección de cualquier anomalía en el funcionamiento de la instalación, en el plan de vigilancia o en el de mantenimiento preventivo.

Es aconsejable realizar las operaciones de mantenimiento en un día soleado, para verificar el rendimiento de la instalación.

Los resultados de las revisiones se registrarán en el correspondiente manual de instrucciones de la instalación, en el apartado correspondiente al mantenimiento periódico.

Aplicaciones de una instalación solar térmica.

- **Producción de agua caliente sanitaria.**

Actualmente es sin duda la aplicación más extendida de la energía solar. Los sistemas están diseñados para cubrir el 100% de la demanda de agua caliente durante el verano, y el 50-80% del total a lo largo del año. 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. Los termosifones utilizados para el agua caliente sanitaria de una vivienda unifamiliar tipo tienen un colector de 2-5 m² y un depósito de 100-200 litros, y los sistemas con circulación forzada cuentan generalmente

con un colector de 3 a 6 m² y un acumulador de 150-400 litros. También existen instalaciones grandes que dan servicio a edificios plurifamiliares, bloques de apartamentos, hoteles o edificios de oficinas. En estos sistemas la superficie de colectores puede variar desde los 10 hasta los centenares de m².

- **Producción de agua caliente para usos industriales**

- **Climatización ambiental**

Para la 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". El ciclo de absorción se consigue utilizando mezclas absorbentes-refrigerantes (agua amoníaco, bromuro de litio agua,...). En ellas el calor solar se usa para vaporizar parte del agua de la mezcla (se requieren pues temperaturas de trabajo superiores a los 100 ° C). El vapor se condensa mediante un refrigerante, luego se expande hasta volver a la fase de vapor (por tanto extrae calor de la zona a ser refrigerada) y es devuelto a la unidad de absorción.

- **Calefacción ambiental**

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. Estos sistemas son muy adecuados en edificios industriales con gran demanda de ventilación. Existen sistemas muy simples y efectivos de calefacción solar por aire en el mercado.

- **Calentamiento del agua de vasos de piscinas**

- **Sistemas combinados de ACS y calefacción**

En Europa Central y del Norte resulta común instalar sistemas solares térmicos para cubrir la demanda de calefacción además de la de agua caliente sanitaria. 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. Estos sistemas son más complejos que los que se utilizan sólo para el agua caliente sanitaria.

- **Secado solar**

Son de una gran utilidad en países donde no se dispone de otras formas de energía para la conservación de alimentos. El secado solar de las cosechas se ha utilizado durante siglos, simplemente esparciendo el grano para exponerlo al Sol y al aire. También el secado de madera y de pescado se puede realizar mediante sistemas solares.

- **Desalinización solar**

La escasez de agua potable se da muchas veces en áreas con un alto índice de radiación solar o donde el precio de las fuentes de energías convencionales son muy altos. La destilación solar de agua (ya sea agua de mar, ya sea agua impura procedente de pozos) se realiza por medio de un alambique solar.

- **Cocinas solares**

Estos simples artefactos permiten el cocinado de alimentos y la pasteurización de agua en pocas horas, haciendo posible que en muchos lugares del mundo se ahorren cantidades considerables de leña para cocinar, además de reducir el riesgo de enfermedades ocasionadas por la contaminación fecal de las aguas.

- **Solar térmica de alta temperatura**

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 utilizando colectores solares de concentración (campos de helióstatos que focalizan en un punto) o mediante generadores termoiónicos 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. Se han

www.olivacordobesa.es

www.olivacordobesa.com

desarrollado res variantes de este principio: las centrales de torre, los discos parabólicos y los cilindros parabólicos.