

4. Descripción de los elementos del proyecto

4.1. Introducción

En esta sección, se procede a explicar en detalle los elementos que estarán presentes en la instalación del proyecto, algunas alternativas de diseño, así como una introducción sobre diversos aspectos básicos, como la radiación solar, que influyen en este tipo de instalaciones.

4.2. La radiación Solar

El origen de la energía que el sol produce e irradia está en las reacciones nucleares que se producen continuamente en su interior, de forma que los átomos de hidrógeno se fusionan entre sí formando átomos de helio, o reacciones entre átomos de helio y/o helio-hidrógeno. Estas reacciones hacen que una pequeña cantidad de materia o defecto de masa se convierta en energía de acuerdo con la famosa ecuación de Einstein: $E = m \cdot c^2$, donde E es la cantidad de energía (en julios) liberada cuando desaparece la masa de m kilogramos y c es la velocidad de la luz (en m/s). La cantidad de energía que transmite el Sol en un segundo es del orden de $4 \cdot 10^{26}$ J. Aunque la temperatura en el interior del sol se estima que es del orden de 10^7 K, en su superficie externa la temperatura “efectiva de cuerpo negro” es de unos 5900K; es decir, la emisión de radiación de un cuerpo negro ideal que se encontrara a 5900K sería muy parecida a la del sol.

La mayor parte de esas ondas electromagnéticas (fotones) emitidas por el Sol tiene una longitud de onda comprendida entre $0.3\mu\text{m}$ y $3\mu\text{m}$, aunque solamente las que van desde 0.4 a $0.7\mu\text{m}$ son susceptibles de ser captadas por el ojo humano, formando lo que se conoce como luz visible.

La radiación solar se valora en diversas unidades. Las más usadas para esa valoración son:

1. La irradiación, denotada por H, es la energía por unidad de superficie. Se mide en J/m^2 o en kWh/m^2 ($1\text{kWh} = 3.6 \cdot 10^3\text{J}$).
2. La irradiancia, denotada por I, es la potencia de la radiación solar por unidad de área. Se mide en W/m^2 .

La energía radiante del Sol se extiende por el espacio en todas las direcciones, repartiéndose según una esfera ficticia, cuyo centro es el Sol y cuyo radio crece a la misma velocidad que la propia radiación. Por lo tanto, al repartirse dicha energía solar sobre un área cada vez más grande, la intensidad en un área de dicha superficie esférica será tanto más pequeña cuanto mayor sea el radio de esa esfera ficticia. El valor aproximado de esta intensidad (irradiancia), a la distancia que se encuentra nuestro planeta del Sol, se conoce como constante solar y su

valor medio aproximado vale $1367\text{W}/\text{m}^2$. El valor real de esa constante solar sufre ligeras variaciones debidas a que la distancia entra la Tierra y el Sol no es constante, porque la órbita terrestre es elíptica y el sol está ubicado en uno de sus focos.

La atmósfera terrestre supone un obstáculo para el libre paso de la radiación emitida por el Sol. Se producen en la capa atmosférica diversos efectos físicos. Quizás los más importantes son:

- La reflexión en la parte superior de las nubes
- La absorción parcial de la radiación por las diferentes moléculas del aire.
- La difusión producida por las moléculas de aire y otros componentes (naturales o contaminantes).

Esto provoca que la intensidad de la radiación que llega a la superficie, incluso en días claros y con la atmósfera muy limpia, rara vez supere los $1000\text{W}/\text{m}^2$.

Si se suma toda la irradiación que incide sobre un lugar a lo largo de, por ejemplo, un año obtenemos la energía total que se recibe en ese lugar durante ese año, medida en $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{año})$. Esta cantidad difiere fuertemente de un lugar a otro del planeta. El valor máximo en la tierra, que se alcanza en algunas zonas desérticas, está por encima de los $2300\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{año})$. El valor mínimo es de unos $600\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{año})$. En el sur de Europa la radiación máxima es de unos $1800\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{año})$.

La irradiancia, obviamente, varía según las distintas horas del día pero, en una determinada hora, también es muy variable de una estación a otra. En el sur de Europa en un día de verano la irradiancia máxima puede ser de $8.2\text{kWh}/\text{m}^2$ y en invierno puede ser de unos $2.9\text{kWh}/\text{m}^2$. En la figura que sigue se muestra una división de la superficie del territorio español en zonas con irradiancias similares.

MAPA NACIONAL DE ZONAS CLIMÁTICAS

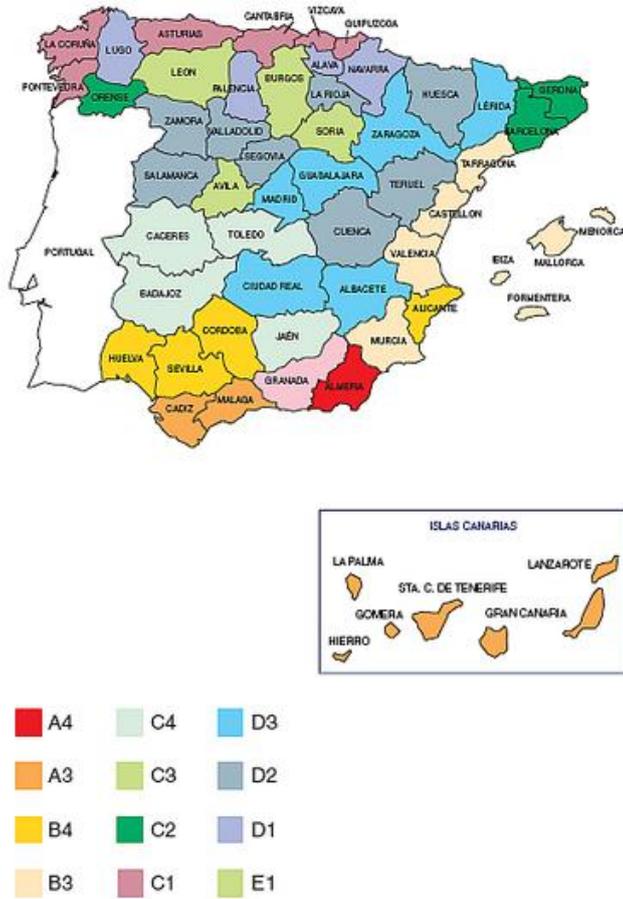


Figura 4.1: Mapa de las zonas climáticas de España (Fuente: Documento HE 4 del CTE)

Por otra parte, aunque los rayos solares se desplacen en línea recta, los fotones al llegar a la atmósfera sufren tanto difusión como dispersión. La luz difundida también llega finalmente a la superficie terrestre, pero debido a que ha cambiado muchas veces de dirección al atravesar la atmósfera, la radiación llega como si proviniese de toda la bóveda celeste (esta es la razón por la que durante el día hay luz en zonas sombreadas). A este tipo de radiación se le conoce con el nombre de radiación difusa. La radiación total que llega a la superficie terrestre es la suma algebraica de la radiación difusa y la radiación directa. En valores medios, la radiación difusa supone aproximadamente un tercio de la radiación total que se recibe a lo largo del año.

El objetivo de los sistemas de aprovechamiento de energía solar es el de utilizar al máximo los efectos físicos de la radiación, adecuando los dispositivos de captación de la misma, a fin de obtener la energía en la forma que se precise para cada necesidad. El aprovechamiento fundamental de la radiación solar es para la obtención de dos tipos de energía: térmica y fotovoltaica.

1. La energía solar térmica se obtiene por medio del calentamiento de algún medio.

Actualmente, la inmensa mayoría de las instalaciones que aprovechan el poder térmico de la radiación solo lo hacen calentando agua, u otros líquidos, para fines domésticos e industriales. Este tipo de energía se usa en numerosos procesos: calentamiento de agua, para regular la temperatura en invernaderos agrícolas, para la producción de hidrógeno o para la conversión termodinámica de la energía solar.

2. La energía solar fotovoltaica se obtiene utilizando células fotoeléctricas capaces de convertir la luz en un potencial eléctrico, sin pasar por un efecto térmico. La energía se almacena en diversos dispositivos, como las baterías.

4.3. Energía solar térmica

4.3.1. Consideraciones sobre la energía solar térmica

La producción de agua caliente sanitaria por medio de energía solar es quizás la aplicación que mejor se adapta a las características de la energía solar que llega a la tierra y a la tecnología actual. Ello se debe a que el rango de temperaturas que son necesarias alcanzar, normalmente entre 40°C y 60°C, coincide con las de mayor eficacia de los colectores de energía solar. Como, además, este tipo de instalaciones suelen ser utilizadas a lo largo de todo el año, la inversión en el sistema se rentabiliza más rápidamente que en otras aplicaciones estacionales (la calefacción en invierno, el calentamiento de piscinas en verano, etc.).

Una instalación de agua caliente sanitaria calentada por medio de energía solar puede ser diseñada con una gran cantidad de variantes. Sin embargo, en la actualidad la mayoría de los diseños consisten en la combinación de un colector, usualmente de placa plana, junto a un acumulador, bien formando un conjunto o bien de forma independiente.

Parece claro que para poder captar la energía necesaria lo primero que debemos hacer es dotar al sistema del número suficiente de colectores. Asimismo debemos elegir la inclinación idónea de los captadores solares para aprovechar la máxima cantidad de energía solar en cada mes y será preciso regular la captación de dicha energía para que realmente se convierta en energía útil. Por ello, será necesario efectuar un control de la instalación.

Para lograr un buen aprovechamiento de la instalación, en primer lugar se deberá controlar de forma periódica los niveles de temperatura en los colectores y en el almacenamiento. Además se deberá disponer de los mecanismos automáticos necesarios para que en el circuito primario (el de los colectores) se establezca o no la circulación del fluido, en función de si se produce o

no un incremento de la energía útil acumulada. Por todo ello, es preciso establecer un control de la instalación, que normalmente se lleva a cabo mediante un regulador diferencial.

Desde el punto de vista económico también debemos procurar que prioritariamente se consuma la energía solar; es decir, el sistema de almacenamiento deberá trabajar de modo que se favorezca el uso prioritario de la energía solar frente a la auxiliar (calentadores de gas) y nunca al revés. De esta forma, es un objetivo prioritario el asegurar la correcta conjunción entre la energía solar y convencional, por lo que debemos precalentar con energía solar toda el agua que posteriormente sea consumida, para después alcanzar la temperatura de uso (que depende de diversos factores) con la mínima cantidad posible de energía auxiliar.

4.3.2. Alternativas de diseño básicas de las instalaciones solares térmicas

Atendiendo a la utilidad y a los principios físicos que pueden ser usados en una instalación solar térmica, existen muchas alternativas de diseño. En el siguiente esquema planteamos una clasificación general de las instalaciones según diversos criterios; inmediatamente después expondremos las diversas características de cada una de las opciones:

1. Según el principio de circulación:

- a.- Instalaciones por termosifón.
- b.- Instalaciones por circulación forzada.

2. Según el sistema de expansión:

- a.- Sistemas abiertos.
- b.- Sistemas cerrados.

3. Según el sistema de intercambio:

- a.- Sistemas directos.
- b.- Sistemas indirectos.

4. Según la conexión con el sistema auxiliar

- a.- Sistemas centralizados tanto en circuito solar como en el sistema de apoyo.
- b.- Sistemas con circuito y acumulación solar centralizada y apoyo individual con sistema instantáneo.

c.- Sistemas con circuito solar centralizado y acumulación distribuida directa, con apoyo individual mediante sistema instantáneo.

d.- Sistemas con circuito solar centralizado y acumulación distribuida indirecta, con apoyo individual mediante sistema instantáneo.

5. Según la **aplicación**

a.- Sistemas solares térmicos para producción de A.C.S.

b.- Sistemas solares térmicos para calentamiento de piscinas.

c.- Sistemas solares térmicos para apoyo a calefacción.

d.- Sistemas solares térmicos para aplicaciones de refrigeración.

4.3.3. Acoplamiento de colectores

A continuación, una vez expuesto el funcionamiento individual de un colector, vamos a indicar cómo pueden acoplarse varios colectores de forma que se obtenga un campo de colectores.

Los tipos fundamentales de conexión de captadores son:

1. Acoplamiento en serie.

Este tipo de acoplamiento tiene como consecuencia un aumento de la temperatura del agua, a costa de disminuir el rendimiento global de la instalación, porque al ir pasando el fluido térmico de un colector a otro la temperatura de entrada en cada uno va aumentando y por lo tanto disminuyendo la eficacia global de sistema como se puede apreciar en la fórmula de rendimiento. Esta es la razón fundamental por la que no se suele usar mucho este acoplamiento. Sin embargo este acoplamiento puede ser útil cuando sea necesaria una temperatura relativamente elevada; en casos de aplicaciones para algunos usos industriales y refrigeración por absorción sí está justificado. Este número podrá elevarse siempre y cuando sea permitido por el fabricante. En todo caso, para evitar temperaturas excesivas en determinados días, no es recomendable colocar más de tres colectores o tres filas de colectores. En el caso de que la aplicación sea de A.C.S. no suelen conectarse más de dos captadores en serie (aunque esto depende de la zona climática).

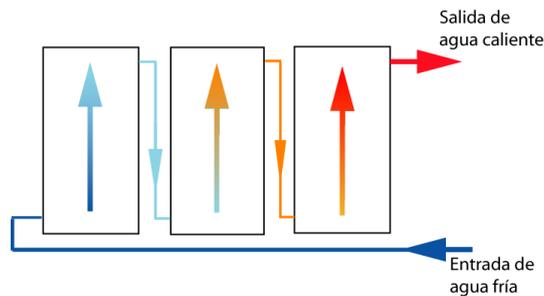


Figura 4.2: Acoplamiento en serie de un conjunto de tres captadores

2. Acoplamiento en paralelo.

La disposición en paralelo es mucho más habitual en las instalaciones solares para A.C.S. En caso de disponer los colectores en varias filas, estos grupos deberán colocarse también en paralelo, con el mismo número de unidades por grupo (para garantizar un circuito equilibrado) y colocando cada grupo de forma paralela, y alineando los grupos entre sí.

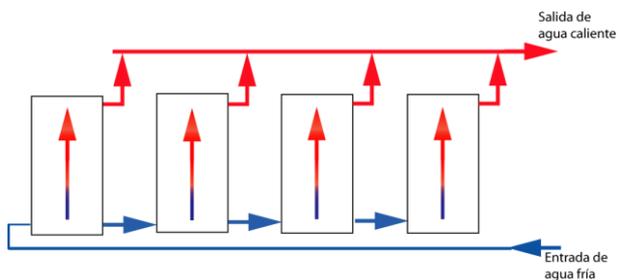


Figura 4.3: Acoplamiento en paralelo de un conjunto de cuatro captadores

4.3.4. Principio de funcionamiento de un captador

El sistema de captación es el encargado de captar o recibir la energía solar incidente y transformarla energía térmica, y está formado por los colectores, sus elementos de sujeción y demás accesorios.

A continuación, analizaremos el proceso que se produce al incidir en el colector la radiación solar. Para ello, conviene recordar que al incidir esa radiación sobre un cuerpo entonces parte o toda la radiación es absorbida, mientras que otras partes se reflejan o atraviesan el cuerpo. La energía que contiene la radiación que es absorbida hace que el cuerpo se caliente y emita a su vez radiación, con una longitud de onda que dependerá de la temperatura de éste.

La cubierta de los captadores solares protege al absorbedor de la intemperie y minimiza las pérdidas por convección debidas a la acción del viento. Los mecanismos de transferencia que tienen lugar en un captador solar se ilustran en la siguiente figura:

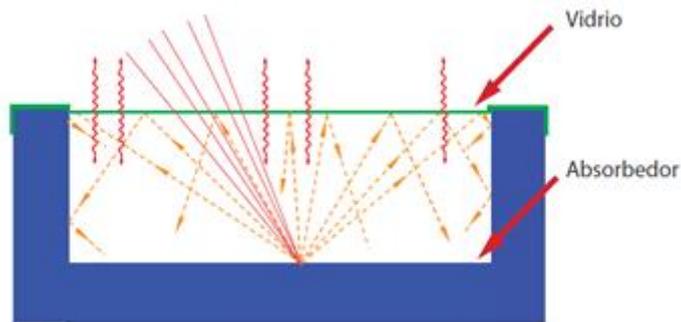


Figura 4.4: Esquema con las distintas trayectorias de la radiación solar en el interior de un recipiente tapado por un cristal

Los captadores con cubierta, que normalmente es de vidrio, propician que se produzca en su interior el llamado efecto invernadero y tienen unas pérdidas mucho menores que los captadores sin cubierta. Por ello, se emplean en aplicaciones que requieren un mayor nivel energético. Sus aplicaciones más usuales son: la preparación de A.C.S, el apoyo a la calefacción y en algunos otros procesos industriales o de refrigeración.

En los captadores planos, el absorbedor está protegido contra las pérdidas térmicas por medio de un material de aislamiento, generalmente lana mineral, y una cubierta transparente de vidrio. Actualmente, en los captadores de alta calidad se emplea para la cubierta transparente el llamado “vidrio solar”, de bajo contenido en hierro, endurecido, de alta transmitancia y de reflectancia baja. Para el marco se suele usar aluminio, y para la parte posterior se usan materiales de aislamiento térmico laminados con aluminio, telas asfálticas o láminas de aluminio, de acero inoxidable o de acero galvanizado. También se pueden emplear chapas embutidas de aluminio o acero inoxidable para fabricar la carcasa.

Entre las ventajas de los captadores planos cabe mencionar las siguientes:

- (a) Estructura robusta y sencilla.
- (b) Tecnología suficientemente contrastada.
- (c) Buena relación entre el precio y el rendimiento.
- (d) Atractivo desde un punto de vista estético, debido a las superficies planas.

Hay muchas características que permiten diferenciar unos captadores de otros: la forma, el recubrimiento de los absorbedores, el diseño hidráulico interno, el valor de la pérdida de carga, la forma de las conexiones, espesor y calidad del aislamiento, la carcasa, cubierta transparente, juntas, así como por su proceso de fabricación, o inclusive por los sistemas de montaje, estética y vida útil.

Balance energético del captador

Vamos a ver el balance energético que se produce en el colector durante su funcionamiento. Supongamos que el colector está en estado estacionario: recibe una radiación solar constante y uniformemente repartida y por su interior circula el fluido caloportador con un caudal determinado, entrando por un orificio a una temperatura y saliendo por otro orificio a una temperatura superior a la de entrada, como consecuencia del calor absorbido al pasar por los conductos del absorbedor. En estas circunstancias el valor de la energía útil que es posible conseguir en el captador: será:

$$Q_U = Q_T - Q_p$$

Dónde:

- Q_T es la energía incidente total recibida en el captador; es decir, la suma de la directa, la difusa y la reflejada.
- Q_U es la energía útil; es decir, la recogida por el fluido caloportador.
- Q_p es la energía perdida por disipación al exterior.

A continuación pondremos las expresiones de Q_T y Q_p en función de otros parámetros:

1. En principio, el valor de la energía incidente total, Q_T , será igual al producto de la intensidad de radiación por la superficie de exposición. Sin embargo, en caso de existir cubierta, hay que contar con la transmitancia de la misma, que denotaremos por τ , que indica la proporción de energía que la cubierta deja pasar. También hay que contar con el coeficiente de absorción o absorptividad, que denotaremos por α , de la placa absorbidora. Con estos parámetros tenemos que la energía incidente total Q_T también viene dada por:

$$Q_T = I \cdot S \cdot \tau \cdot \alpha$$

donde:

- I es la irradiancia incidente total sobre el colector por unidad de superficie (medida en W/m^2).
- S es la superficie del colector (medida en m^2).
- τ es la transmisividad de la cubierta transparente (sin dimensiones).
- α es la absorptividad de la placa absorbidora (sin dimensiones).

2. El cálculo de la energía perdida por disipación al exterior es algo más complejo debido a que se producen simultáneamente los fenómenos de conducción, convección, y radiación. Es usual englobar esos tres efectos en un coeficiente que trata de combinarlos, es el llamado coeficiente global de pérdidas, denotado por U_L , que se mide experimentalmente y su valor es suministrado por el fabricante. Utilizando estos parámetros es posible obtener una buena aproximación del valor de las pérdidas por unidad de superficie. Estas pérdidas son proporcionales a la diferencia entre la temperatura media de la placa absorbadora y la del ambiente de forma que:

$$Q_P = S \cdot U_L \cdot (T_m - T_a),$$

donde:

- S es la superficie del colector (medida en m^2).
- U_L es el coeficiente global de pérdidas (medido en $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$).
- T_m es la temperatura media de la placa absorbadora (medida en $^\circ C$).
- T_a es la temperatura ambiente (medida en $^\circ C$).

Como consecuencia, la ecuación inicial del balance energético queda ahora de la siguiente forma:

$$Q_U = Q_{util} = S \cdot [I \cdot (\tau \cdot \alpha) - U_L \cdot (T_m - T_a)]$$

Sin embargo, el valor de la energía captada depende de las pérdidas ópticas y térmicas del captador. La potencia térmica útil generada se obtiene como la diferencia entre la irradiancia disponible sobre el absorbador y las pérdidas térmicas por conducción, convección y radiación:

$$Q_U = F_a \cdot S \cdot [I \cdot (\tau \cdot \alpha) - U_L \cdot (T_m - T_a)],$$

Donde F_a es el factor de evacuación, factor de eficacia o coeficiente de transporte de calor del absorbador.

Rendimiento de un captador

El rendimiento de un captador solar térmico se define como el cociente entre la energía térmica útil, extraída por el fluido de trabajo, y la irradiación solar incidente sobre éste.

$$\eta = \frac{\text{Energía util captada}}{\text{Energía incidente}} = \frac{Q_U}{I \cdot S}$$

donde:

- Q_U es potencia térmica útil generada (se mide en W).
- I es la irradiancia incidente sobre el captador (se mide en W/m^2).
- S es el área de referencia del captador (en m^2).

4.4. Almacenamiento de calor

4.4.1. Introducción

Parece claro que es necesario el disponer de un sistema de almacenamiento que haga frente a la demanda de A.C.S. en momentos de insuficiente radiación solar (por la noche, días nublados, etc.). El método habitual de almacenar energía es mediante acumuladores de agua caliente. Estos acumuladores suelen fabricarse con materiales tales como: acero, acero inoxidable, aluminio o fibra de vidrio reforzado.

La misión de los acumuladores es la de almacenar la energía térmica absorbida por los captadores solares. Dado que las horas de mayor entrada de energía no suelen corresponderse con las horas de mayor consumo energético, la importancia de los acumuladores es grande porque permiten independizar el suministro de calor solar del consumo. El periodo de tiempo de acumulación es variable: puede oscilar entre unas pocas horas y varios días. La misión de un acumulador se corresponde, por tanto, con la misión de un volante de inercia en mecánica. Los acumuladores de agua tienen, por consiguiente, la misión de acumular la energía solar captada durante períodos de escasa demanda para después poder suministrar esa energía de la manera más eficaz cuando se necesite.

La forma habitual de un acumulador es cilíndrica, con una altura mayor que su diámetro. Esta forma geométrica permite la mejor estratificación de temperaturas en su interior: dado que la densidad del agua disminuye con el aumento de la temperatura, cuanto mayor sea la altura del acumulador mayor será la diferencia entre la temperatura de la parte superior y la parte inferior del acumulador; es decir, mayor será la estratificación. Mientras que el calentamiento

solar se aplica en la parte inferior, el A.C.S. de consumo se extrae por la parte superior. De esta forma, hacemos funcionar a los colectores a la mínima temperatura posible, lo que repercute en un mayor rendimiento

En la figura que sigue se muestra un esquema de la estratificación del agua en el interior de un acumulador:

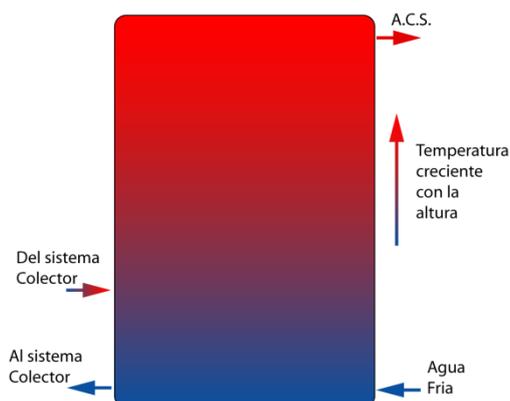


Figura 4.5: Estratificación de temperaturas en el interior de un acumulador solar

Con el fin de limitar la temperatura con la que se extrae el agua caliente hacia los distintos puntos de consumo, puede ser conveniente instalar la salida del acumulador una válvula termostática mezcladora. Este nuevo elemento apenas influye en el rendimiento de la instalación.

Según el documento HE 4 del CTE, los acumuladores para A.C.S. y las partes de acumuladores combinados que estén en contacto con agua potable, deberán cumplir los requisitos de UNE EN 12897.

Preferentemente, los acumuladores serán de configuración vertical y se ubicarán en zonas interiores. Para aplicaciones combinadas con acumulación centralizada es obligatoria la configuración vertical del depósito, debiéndose además cumplir que la relación altura/diámetro del mismo sea mayor de dos.

En caso de que el acumulador esté directamente conectado con la red de distribución de agua caliente sanitaria, deberá ubicarse un termómetro en un sitio claramente visible por el usuario. El sistema deberá ser capaz de elevar la temperatura del acumulador a 60°C y hasta 70°C con objeto de prevenir la legionelosis, tal como aparece en el RD 909/2001 de 27 de julio.

En caso de aplicaciones para A.C.S. y sistema de energía auxiliar no incorporado en el acumulador solar, es necesario realizar un conexionado entre el sistema auxiliar y el solar de

forma que se pueda calentar este último con el auxiliar, para poder cumplir con las medidas de prevención de legionela. No obstante, existen otros métodos de tratamiento anti-legionela que podrían ser aprobados por la administración competente.

El intercambiador del circuito de captadores incorporado al acumulador solar estará situado en la parte inferior de este último y podrá ser de tipo sumergido o de doble envolvente. El intercambiador sumergido podrá ser de serpentín o de haz tubular. La relación entre la superficie útil de intercambio del intercambiador incorporado y la superficie total de captación no será inferior a 0.15. Los acumuladores de los sistemas grandes a medida con un volumen mayor de 20m³ deberán llevar válvulas de corte u otros sistemas adecuados para cortar flujos al exterior del depósito no intencionados en caso de daños del sistema.

4.4.2. Sistemas de estratificación de temperaturas

Al entrar el agua fría por la parte baja de un acumulador y al extraer el agua caliente por la parte superior del mismo, la temperatura del agua en un acumulador no es uniforme y se forman corrientes pues el agua caliente, al tener menor densidad que la fría, tiende a ascender. Por diversas razones que se indican más arriba es conveniente que la temperatura del agua aumente de forma uniforme conforme la altura del agua en el depósito sea mayor; es decir, que las temperaturas estén estratificadas. Uno de los factores que favorece esa estratificación de temperaturas es que la relación entre la altura del acumulador y su diámetro sea tan alta como sea posible, permitiendo que la diferencia entre la temperatura de la parte alta y la de la parte baja sea lo más grande posible. Esta circunstancia favorece el rendimiento global de la instalación porque permite:

1. Al extraer agua caliente del depósito, la temperatura del agua será la máxima posible. Si esta temperatura es suficiente se evitará la puesta en marcha del sistema auxiliar de energía.
2. Al extraer agua de la parte baja del depósito para llevarla a los captadores o al intercambiador, su temperatura será la más baja posible, lo que repercute en un mayor rendimiento.

La estratificación de temperaturas está condicionada por diversos factores de diseño como la posición de entrada/salida de las tuberías, el caudal, etc.

La estratificación de temperaturas en el interior de un acumulador solar puede verse favorecida por diversos procedimientos. La idea que subyace en algunos de estos procedimientos es conseguir que el agua procedente de los captadores entre en el acumulador

a la altura que corresponde a su temperatura. De esta forma se evita la formación de mezclas de aguas a temperaturas diferentes, el agua de la parte superior sigue estando a la máxima temperatura posible y la de la parte inferior a la menor temperatura posible.

4.4.3. Mezclas

El efecto de la producción de mezclas de agua caliente con agua fría en el acumulador es el de la homogeneización de la temperatura del agua. Este proceso es contrario al deseado, que es la estratificación de las temperaturas.

Para reducir los efectos de la mezcla suelen emplearse deflectores, tubos difusores o dispositivos análogos que reducen la velocidad de entrada de agua. En la figura que sigue, el empleo de un deflector en la tubería de entrada de agua fría reduce el efecto de la mezcla pues el agua que entra lo hace en zonas con temperatura similar. Si la velocidad del agua fría es demasiado grande entonces el agua penetraría en zonas de agua más caliente y se producirían las mezclas. Lo mismo ocurre, pero en sentido inverso, para la entrada de agua caliente procedente de los captadores.

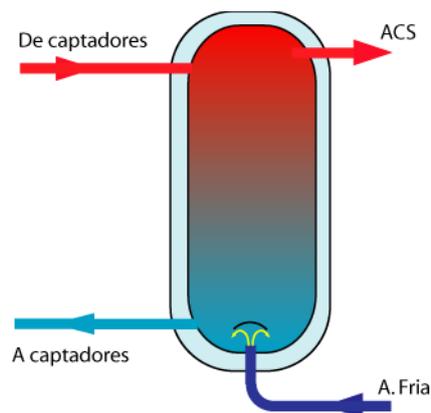


Figura 4.6: Entrada de agua fría al acumulador y sistema de deflección

4.4.4. Características generales de un acumulador

Los requisitos que se exigen de un acumulador son los siguientes:

1. Bajas pérdidas térmicas.
2. Alto calor específico del medio de acumulación.
3. Estratificación de temperaturas en el acumulador.

4. Correcto posicionado de las tuberías de conexión.
5. Larga durabilidad
6. Costes bajos y fácil disponibilidad del medio de acumulación.
7. Impacto medioambiental escaso o nulo.
8. Ser capaz de soportar las presiones y temperaturas de trabajo previstas.

Como medio de acumulación se suele elegir el agua normal, debido a su disponibilidad, su alto calor específico y a no ser contaminante para el medio ambiente.

4.4.5. Tipos de acumuladores de Agua Caliente Sanitaria

Obviamente, este tipo de acumuladores deben cumplir la normativa sobre el almacenamiento de agua potable, entre otras la norma UNE EN 12897. Dado que el agua potable tiene una cierta proporción de oxígeno, estos acumuladores deben ser resistentes a la corrosión. Hay varios tipos de acumuladores de A.C.S. que describimos a continuación.

(a) Los **acumuladores directos** disponen de dos bocas de conexión de entrada/salida desde/hacia el circuito de los captadores y de dos bocas adicionales para las tuberías de entrada/salida del circuito de consumo de agua caliente. Las presiones de trabajo de este tipo de acumuladores suelen estar entre los 4 y los 6 bar.

(b) Los **acumuladores indirectos** (también denominados interacumuladores) incluyen un intercambiador que suele ser de dos tipos: en forma de serpentín o de tipo doble envolvente. Los acumuladores indirectos se conectan directamente con el circuito de los captadores solares de forma que el fluido que circula a través de los captadores no se mezcle con el agua potable del circuito de consumo. Las presiones de trabajo de este tipo de acumuladores también suelen estar entre los 4 y los 6 bar.

4.4.6. Conexión de acumuladores

Con objeto de aprovechar al máximo la energía captada y evitar la pérdida de la estratificación por temperatura en los depósitos, la situación de las tomas para las diferentes conexiones suelen ser:

a) La conexión de entrada de agua caliente procedente del intercambiador o de los captadores al acumulador se realiza, preferentemente, a una altura comprendida entre el 50% y el 75% de la altura total del mismo.

b) La conexión de salida de agua fría del acumulador hacia el intercambiador o los captadores se realiza por la parte inferior de éste.

c) En caso de una sola aplicación, la alimentación de agua de retorno de consumo al depósito se realiza por la parte inferior. En caso de sistemas abiertos en el consumo, como por ejemplo A.C.S., esto se refiere al agua fría de red. La extracción de agua caliente del depósito se realiza por la parte superior.

d) En caso de varias aplicaciones dentro del mismo depósito hay que tener en cuenta los niveles térmicos de éstas, de forma que tanto las salidas como los retornos para aplicaciones que requieran un mayor nivel térmico en temperaturas estén por encima de las que requieran un nivel menor.

Se recomienda que la entrada de agua de retorno de consumo esté equipada con una placa deflectora en la parte interior, a fin de que la velocidad residual no destruya la estratificación en el acumulador o el empleo de otros métodos contrastados que minimicen la mezcla. Las conexiones de entrada y salida se situarán de forma que se eviten caminos preferentes de circulación del fluido.

Cuando sea necesario que el sistema de acumulación solar esté formado por más de un depósito, éstos se conectarán en serie invertida en el circuito de consumo o en paralelo con los circuitos primarios y secundarios equilibrados. En cualquier caso, la conexión de los acumuladores permitirá la desconexión individual de los mismos sin interrumpir el funcionamiento de la instalación.

4.4.7. Diseño y cálculo del sistema de acumulación

Para instalaciones solares térmicas destinadas a la producción de A.C.S., se debe tener en cuenta que el sistema solar se debe diseñar y calcular en función de la energía que aporta a lo largo del día y no en función de la potencia del generador (captadores solares). Por tanto se debe prever una acumulación que esté en consonancia con la demanda y el aporte, al no ser ésta simultánea con la generación. Según el documento HE4 del CTE, para este tipo de aplicación el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición:

$$50 < \frac{V}{A} < 180.$$

Donde V es el volumen de acumulación solar, expresado en litros, y A es el área de los captadores, expresada en m². El volumen V recomendado es aproximadamente la carga de

consumo diaria M ; es decir debe ser $V \simeq M$. Además, el valor del cociente V/A debe ser función creciente de la fracción solar; es decir debe aproximarse a 50 si la fracción solar es baja y debe aproximarse a 180 para fracciones solares grandes.

4.5. Circuito hidráulico y bombas

En una instalación solar, el circuito hidráulico está constituido por el conjunto de tuberías, bombas, válvulas y accesorios que se encargan de conectar entre sí los componentes principales de la instalación solar.

4.5.1. Tuberías

Las tuberías se utilizan para transportar los líquidos de los circuitos entre los distintos elementos del mismo. Los materiales de fabricación de las tuberías deben reunir diversos requisitos.

Deben:

1. ser compatibles con el tipo de fluido que se emplee en la correspondiente parte del circuito.
2. ser capaces de soportar las presiones que le correspondan.
3. soportar sin deterioro las temperaturas de servicio.
4. ser resistentes a la corrosión.
5. ser capaces de soportar las tensiones mecánicas a las que estén sometidas.
6. ser fáciles de instalar.
7. tener una larga durabilidad.

Con objeto de evitar pérdidas térmicas, la longitud de tuberías del sistema deberá ser tan corta como sea posible, evitando al máximo los codos y pérdidas de carga en general. El diseño y los materiales deberán ser tales que no exista posibilidad de formación de obturaciones o depósitos de cal en sus circuitos que influyan drásticamente en el rendimiento del sistema.

Las tuberías que se suelen utilizar para el transporte de A.C.S. están fabricadas, normalmente, de cobre, acero inoxidable o de material plástico de calidad alimentaria.

Las tuberías que transportan, por ejemplo, el fluido térmico suelen estar fabricadas de cobre, acero inoxidable o acero negro siempre que el fluido lleve algún componente anti-corrosión.

La variedad de estas tuberías, en cuanto a su composición, su espesor, su diámetro, etc. es muy grande y en el mercado existe una alta disponibilidad de estos elementos.

Existen diversas normativas y recomendaciones sobre los tipos de tuberías a utilizar en diversos elementos de una instalación térmica. Parte de estas normas están recogidas en el documento PET-REV Enero 2009 del IDAE. Como condiciones de diseño específicas para la instalación solar térmica se han de contemplar siguientes observancias:

1. El diámetro de las tuberías se seleccionará de forma que la velocidad de circulación del fluido sea inferior a 2m/s cuando la tubería discurra por locales habitados y a 3m/s cuando el trazado sea al exterior o por locales no habitados.
2. El dimensionado de las tuberías se realizará de forma que la pérdida de carga unitaria en tuberías nunca sea superior a 40mm de columna de agua por metro lineal.

4.5.2. Bomba de circulación

La circulación del fluido a través de un circuito hidráulico puede producirse de forma natural (si existen gradientes de presión o temperatura) o de forma forzada, por medio de una bomba de circulación. Una bomba de circulación es un dispositivo electromecánico esencial en una instalación solar de circulación forzada. En el mercado existe una inmensa variedad de sistemas de bombeo para las aplicaciones más diversas. Las bombas podrán ser del tipo en línea, de rotor seco o húmedo o de bancada. Siempre que sea posible se deberían usar bombas tipo de circulación en línea.

En relación a la instalación de bombas de circulación, suelen seguirse los siguientes requisitos de diseño:

- Si el circuito de captadores está dotado con una bomba de circulación, la caída de presión se debería mantener aceptablemente baja en todo el circuito.
- Siempre que sea posible, las bombas en línea se montarán en las zonas más frías del circuito, teniendo en cuenta que no se produzca ningún tipo de cavitación y siempre con el eje de rotación en posición horizontal.
- En instalaciones con superficies de captación superiores a 50m², que no es el caso de nuestro proyecto, se montan dos bombas idénticas en paralelo, dejando una de reserva, tanto en el circuito primario como en el secundario. En este caso se

establecerá el funcionamiento alternativo de las mismas, de forma manual o automática.

- Las tuberías conectadas a las bombas se soportarán en las inmediaciones de éstas, de forma que no provoquen esfuerzos recíprocos de torsión o flexión. El diámetro de las tuberías de acoplamiento no podrá ser nunca inferior al diámetro de la boca de aspiración de la bomba.

Aparte de las consideraciones anteriores, son deseables los siguientes requisitos para las bombas de circulación:

1. En circuitos de agua caliente sanitaria, los materiales de la bomba serán resistentes a la corrosión.
2. Los materiales de la bomba del circuito primario serán compatibles con las mezclas anticongelantes y en general con el fluido de trabajo utilizado.
3. Las bombas serán resistentes a las averías producidas por efecto de las incrustaciones calcáreas.
4. Las bombas serán resistentes a la presión máxima del circuito.
5. La bomba se seleccionará de forma que el caudal y la pérdida de carga de diseño se encuentren dentro de la zona de rendimiento óptimo especificado por el fabricante.
6. Cuando todas las conexiones son en paralelo, el caudal nominal será el igual al caudal unitario de diseño multiplicado por la superficie total de captadores conectados en paralelo.
7. La presión de la bomba deberá compensar todas las pérdidas de carga del circuito correspondiente.
8. La bomba permitirá efectuar de forma simple la operación de desaireación o purga.
9. Baja potencia eléctrica, con objeto de disminuir el consumo eléctrico y aumentar la eficiencia energética de las instalaciones solares. Más adelante veremos algunos límites a la potencia eléctrica de las bombas que establece la diversa normativa existente.
10. Buen rendimiento alrededor del punto de trabajo.

Es recomendable que las bombas se instalen en los puntos más fríos de la instalación solar. En el primario este lugar es la tubería de retorno a captadores, debido a las altas temperaturas que pueden alcanzarse a la salida de los captadores solares.

La potencia eléctrica parásita para la bomba no debería exceder los siguientes valores:

1. Para sistemas pequeños, la potencia eléctrica no debería exceder los 50W o el 2% de la mayor potencia calorífica que pueda suministrar el grupo de captadores.
2. Para sistemas grandes, la potencia eléctrica no debería exceder el 1% de la mayor potencia calorífica que pueda suministrar el grupo de captadores.

Las potencias máximas especificadas anteriormente no incluyen la potencia de las bombas de los sistemas de drenaje con recuperación, que sólo son necesarias para rellenar el sistema después de un drenaje.

En las instalaciones solares de tamaño pequeño suelen emplearse bombas intercaladas directamente en la tubería (bombas en línea): básicamente constan de un rodete (alojado en el interior del cuerpo de la bomba) que está conectado a un eje que se acopla a un pequeño motor eléctrico. En la figura que sigue se muestra una de estas bombas.



Figura 4.7: Bomba de circulación de rotor húmedo con conexión roscada, motor EC y adaptación automática de potencia (Fuente: www.wilo.es).

En las instalaciones grandes suelen usarse bombas de bancada: en las que el cuerpo de la bomba, el eje y el motor está claramente diferenciados y están los tres elementos básicos montados sobre una bancada. En la figura que sigue se muestra una de este tipo:



Figura 4.8: Bomba de bancada (Fuente: www.bombasbari.com)

Puede ocurrir que al cabo de cierto tiempo de la puesta en funcionamiento de una instalación solar las bombas dejen de prestar el servicio que se pretendía cuando se realizó el diseño de la instalación. Alguno de los factores que producen este hecho son: la instalación de nuevos accesorios, deposiciones de partículas, etc. El resultado es que las bombas se encuentran trabajando en condiciones diferentes a las de diseño y el rendimiento es muy bajo. Este problema está siendo solucionado mediante el empleo de bombas que se adapten a estas circunstancias. Uno de estos tipos son las bombas de caudal variable que permiten modificar el caudal de circulación en función de las “órdenes” recibidas desde el sistema de regulación y control.

En lo que a una instalación solar térmica se refiere, los parámetros fundamentales a considerar, en el proceso de selección de la bomba, son el caudal de circulación y las pérdidas de carga que ha de superar, que obviamente dependen de la instalación específica que se vaya a realizar.

4.6. Sistema de energía auxiliar

La variación diaria o estacional de la energía solar provoca que la temperatura del agua en el acumulador no sea constante y pueda alcanzar temperaturas más bajas a las exigibles en un sistema de A.C.S. Ello hace necesaria la instalación de un sistema de apoyo que aporte la energía necesaria para cumplir nuestros objetivos. Podríamos pensar en tres formas diferentes de conexión de este sistema auxiliar:

1. Conexión directa del sistema auxiliar al acumulador de A.C.S.
2. Conectar el sistema auxiliar a un segundo acumulador alimentado por el primero.
3. Situar el sistema auxiliar justo después de la salida del acumulador del A.C.S.

Para asegurar la continuidad en el abastecimiento de la demanda térmica, las instalaciones de energía solar deben disponer de un sistema de energía auxiliar. Por razones de eficiencia energética, entre otras, se desaconseja la utilización de energía eléctrica (efecto Joule) como fuente auxiliar de energía, especialmente en los casos de altos consumos y fracciones solares anuales bajas.

Según el documento HE 4, queda prohibido el uso de sistemas de energía auxiliar en el circuito primario de captadores. El diseño del sistema de energía auxiliar se realizará en función de la aplicación (o aplicaciones) de la instalación, de forma que sólo entre en funcionamiento cuando sea estrictamente necesario y que se aproveche lo máximo posible la energía extraída del campo de captación solar. Para pequeñas cargas de consumo se recomienda usar un sistema de energía auxiliar en línea, siendo para estos casos los sistemas de gas modulantes los más idóneos.

Para A.C.S., el sistema de aporte de energía auxiliar con acumulación o en línea siempre dispondrá de un termostato de control sobre la temperatura de preparación que en condiciones normales de funcionamiento permitirá cumplir con el RD 909/2001.

4.7. Regulación y control

Para que una instalación de energía solar térmica permita absorber toda la energía que llegue a los colectores y no disipe energía hacia el exterior es imprescindible que la instalación disponga de un sistema de regulación y control que permita una regulación eficaz del sistema en todo momento.

Para efectuar esa regulación, el método más usual consiste en la utilización de un regulador diferencial, también llamada centralita diferencial, que compara la temperatura del colector con la temperatura existente en la parte inferior del acumulador.

Las sondas de temperatura son normalmente resistencias variables semiconductoras NTC (resistencia con el coeficiente de temperatura negativo, es decir que varían la resistencia con el valor inverso de la temperatura). El termostato diferencial (TD) va comparando las temperaturas; cuando la diferencia es igual o superior a un valor prefijado el TD da órdenes para que la bomba se ponga en funcionamiento. La parada de la bomba se producirá cuando la diferencia de medidas se sitúe en un valor menor o igual que el valor que se tenga prefijado en el TD para provocar la parada. Los valores más habituales que el regulador aplica para controlar la maniobra de marcha y de paro están en los intervalos de diferencias de temperatura 5°C – 8°C para la marcha y 2°C – 3°C para la parada de las bombas. Las bombas no

se deberán poner en marcha (o deberán pararse) si la temperatura en la parte inferior del acumulador solar es superior a los 60°C.

Dependiendo de la instalación a realizar, podría ser aconsejable un sistema de regulación diferente. Por ejemplo, cuando las distancias entre colectores y acumulador son relativamente grandes, se suele realizar una regulación por temperatura diferencial y válvula de conmutación (válvula de tres vías). En este caso la bomba de circulación es activada por el regulador cuando se alcanza la temperatura mínima utilizable. Al mismo tiempo se coloca una válvula de conmutación, que inicialmente hace un *bypass* al circuito primario dejando cerrado el camino entre los interacumuladores de forma que cuando la temperatura supere la definida en el regulador la válvula permita el paso del fluido a través del intercambiador.

Para las regiones donde exista riesgo de congelación del fluido caloportador, el sistema de control deberá asegurar que en ningún punto la temperatura del fluido de trabajo descienda por debajo de una temperatura tres grados superior a la de congelación del fluido.

Para las medidas de temperaturas, se han de colocar las sondas de temperatura en la parte superior de los captadores (de forma que dicha temperatura represente la máxima temperatura del circuito de captación) y la sonda de temperatura de la acumulación se colocará preferentemente en la parte inferior, y en una zona no influenciada por la circulación del circuito secundario o por el calentamiento del intercambiador si éste estuviese incorporado.

En la actualidad hay muchos modelos de reguladores diferenciales que permiten controlar diversos circuitos y elementos de una instalación y que, con la adecuada programación, permiten un alto grado de control de la instalación, lo que permite aumentar sus prestaciones. Así, por ejemplo, el uso de un tercer sensor en la parte superior del acumulador permite conocer la temperatura en la parte superior del acumulador y por tanto la temperatura aproximada que fluye hacia el circuito de consumo de agua caliente. Además, ello permite desactivar la bomba cuando se alcanza la temperatura máxima que puede admitir el acumulador (esta temperatura debe ser asignada en la centralita). En este caso, aunque la diferencia de temperaturas entre la sonda de los captadores y la sonda situada en la parte inferior del acumulador sea superior a los 8°C la bomba se ha de parar para evitar posibles deterioros en el acumulador.

El sistema de regulación y control comprende los siguientes sistemas:

1. Control de funcionamiento del circuito primario y secundario (si existe).
2. Sistemas de protección y seguridad de las instalaciones contra sobrecalentamientos, heladas, etc.

El sistema de control asegurará que en ningún caso se alcancen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales, componentes y tratamientos de los circuitos.

Con la programación adecuada, los controladores están dotados de histéresis, es decir, que la respuesta del controlador depende de las entradas y de las historia del sistema. Un ejemplo de este tipo de controladores aparece en la figura siguiente:

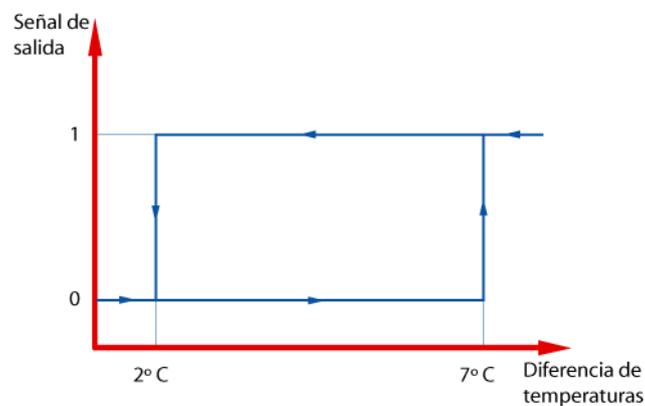


Figura 4.9: Diagrama de activación y desactivación de la bomba de circulación del circuito primario (1=encendido, 0=apagado).

Así pues, si la bomba está en funcionamiento (salida 1), seguirá hasta que la diferencia de temperaturas sea inferior a 2°C, parándose (salida 0) a partir de ese valor. Si la bomba estaba parada no comienza a funcionar hasta que la diferencia de temperaturas no supere los 7°C, momento en cual responde con un 1, y comienza a funcionar la bomba. Con este tipo de control se pretende:

- Evitar que por los colectores circule fluido en horas sin radiación, lo que llevaría a la disminución de la energía acumulada en los depósitos y, por tanto, a la disminución de la eficiencia energética del sistema.
- Evitar que el número de arranques y paradas sea excesivo, lo que conduciría a un aumento del consumo eléctrico y, por tanto, a una nueva disminución de la eficiencia energética del sistema. Además la vida de los circuladores se vería penalizada.

4.8. Elementos de la parte fotovoltaica

4.8.1. Introducción

En este apartado procedemos a hacer un análisis de las distintas alternativas de diseño de una instalación fotovoltaica, así como la descripción de los elementos necesarios.

Una instalación fotovoltaica está compuesta por un grupo generador formado por una extensión de paneles solares fotovoltaicos, un regulador de carga, un grupo acumulador y un inversor. Durante las horas de insolación, los paneles fotovoltaicos producen energía eléctrica en forma de corriente continua que es almacenada en los acumuladores. En los momentos de consumo energético, los acumuladores suministran a los receptores esta electricidad, que es transformada en corriente alterna por el inversor.

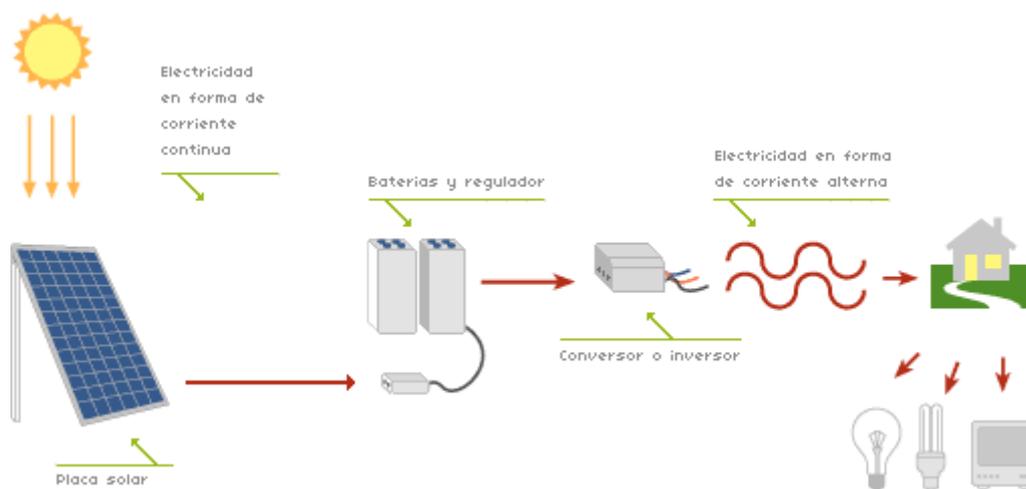


Figura 4.10: Esquema simplificado de una instalación fotovoltaica.

La energía solar fotovoltaica se basa en el efecto fotoeléctrico para convertir directamente la energía de los rayos solares en electricidad. La energía solar se encuentra almacenada en partículas de luz: los fotones. Para obtener una corriente eléctrica se ha de crear una diferencia de potencial eléctrico. Se deben usar materiales conductores ya que sus electrones tienen una actividad más elevada y permiten crear flujo eléctrico fácilmente.

Para que la célula fotovoltaica genere electricidad deberemos crear una diferencia entre la carga positiva y la negativa añadiendo a un semiconductor puro unas pequeñas dosis de átomos contaminantes, capaces de ceder o aceptar electrones.

Mediante cargas deberemos generar una corriente exponiendo la célula fotovoltaica a una radiación luminosa para aprovechar la energía de los fotones. El fotón cede energía a un

electrón de la banda de valencia y lo hace pasar a la banda de conducción. Así, se provoca la ausencia de electrones, que crean cargas y establecen una corriente eléctrica. Obtendremos una diferencia de potencial uniendo dos semiconductores que contienen diferentes densidades de cargas positivas o negativas. Esto genera un campo eléctrico.

4.8.2. Sistema fotovoltaico

Las placas o módulos solares fotovoltaicos usan ciertos materiales semiconductores, como el silicio, que absorben los fotones y los convierten en una corriente continua de electrones, es decir, en electricidad. Esta electricidad se recoge mediante unos hilos metálicos que al final la conducen hacia el regulador.



Figura 4.11: Captador solar fotovoltaico.

Las diferentes tecnologías en células fotovoltaicas que se pueden encontrar son:

-El *silicio cristalino* (ya sea monocristalino o policristalino): es una tecnología probada y robusta (con una esperanza de vida de hasta 30 años), cuyo rendimiento es del orden del 13 % al 18 %. Estas células están adaptadas para potencias de unos cientos de watts hasta algunas decenas de kilowatts.

-*Silicio policristalino*: estas células, gracias a su potencial de mayor productividad, se han impuesto hoy en día. La ventaja de estas células respecto al silicio monocristalino es que producen pocos restos al cortarlas y que necesitan menos energía para su fabricación.

-*Silicio monocristalino*: su procedimiento de fabricación es largo y requiere mucha energía; aunque más costoso, es más eficaz que el silicio policristalino.

-*Silicio amorfo*: el coste de fabricación es sensiblemente más económico que el del silicio cristalino. Las células amorfas son utilizadas allí donde se busca una alternativa más económica o cuando se requiere muy poca electricidad (por ejemplo, alimentación de relojes,

calculadoras, luces de emergencia). Sin embargo, el rendimiento es más de dos veces inferior al del silicio cristalino y requiere por tanto de más superficie para instalar la misma potencia.

Existen otras tecnologías más recientes, pero no serán mencionadas por su poca importancia (actualmente) como alternativa para la instalación del presente proyecto.



Figura 4.12: Distintos tipos de células fotovoltaicas

4.8.3. Inversor

Sirve para convertir la corriente continua producida por el campo fotovoltaico en corriente alterna de onda senoidal, que es la única que se puede usar en la alimentación de electrodomésticos convencionales.

El inversor será el dispositivo que transformará la corriente continua (CC) suministrada por los sistemas fotovoltaicos y demás fuentes de energías renovables o sus componentes de almacenamiento, en corriente alterna (CA), necesaria para alimentar la mayoría de los receptores domésticos. La mayoría de los inversores aceptan tensiones continuas de entrada de 12, 24, 32 o 48V y suministran en la salida tensión alterna de 230 V y 50 Hz. Las potencias nominales abarcan desde los 50 W a los 5 kW, aunque existen disponibles en el mercado inversor de potencias mucho mayores, fundamentalmente para aplicaciones de gran potencia.

Los inversores de menor potencia suelen suministrar tensión alterna monofásica, mientras que los de mayor potencia pueden ser también monofásicos o bien suministrar directamente tensión trifásica.

El tipo de inversor a utilizar será el electrónico (estáticos), donde la transformación de CC a CA se realiza mediante componentes de estado sólido. Estos inversores utilizan un único transformador de tamaño y potencia reducidos, resultando sistemas mucho más livianos que los inversores rotativos (funcionan mediante motores de CC que mueven un generador de tensión alterna).



Figura 4.13: Inversor para un sistema fotovoltaico.

La electricidad proveniente de las baterías pasa, en este tipo de inversores, por dos circuitos *troceadores*. El primero de estos circuitos transforma la elevada corriente de entrada (de muy baja tensión) en corriente alterna (también de muy baja tensión) de alta frecuencia (25 kHz). La conmutación a alta frecuencia permite el uso de un transformador pequeño. El transformador eleva el nivel de tensión de la CA saliente del primer circuito “*chopper*”, dejando inalterada la frecuencia. Seguidamente, la CA de tensión elevada y alta frecuencia es rectificadora, pasando a ser corriente continua a tensión elevada.

Finalmente, esta CC pasa al segundo circuito *troceador* que la convierte en CA a 230 V y 50 Hz.

4.9. Refrigeración

El objetivo principal de una instalación de climatización es la obtención de un flujo de aire a las condiciones de confort adecuadas para combatir las cargas de calor del espacio que se desea acondicionar.

Los sistemas de agua enfriada se utilizan en la actualidad especialmente para grandes instalaciones de aire acondicionado, dada las ventajas que ofrecen en cuanto a distribución y centralización. Son los llamados sistemas de expansión indirecta, ya que en ellos el evaporador no está en contacto directo con el producto a enfriar, sino que el agua es enfriada en transferencia térmica con un refrigerante, siendo empleada como refrigerante secundario y posteriormente distribuida para el acondicionamiento del aire hasta el lugar donde se produce la demanda.

4.9.1. Clasificación

La obtención de aire frío se consigue gracias a un proceso de transferencia térmica. El aire es enfriado mediante el intercambio con un medio más frío y posteriormente distribuido a aquellos puntos donde se produce la demanda de frío.

Existen dos tipos fundamentales de equipos de climatización empleados con este fin:

– *Unidades de expansión directa o equipos autónomos*: Son aquellas en las que la transferencia térmica se lleva a cabo entre un fluido refrigerante a baja temperatura y el aire a enfriar. El evaporador o el condensador del sistema de refrigeración está en contacto directo con el medio a enfriar o calentar.

– *Unidades de expansión indirecta o equipos centralizados*: El evaporador o el condensador del sistema de refrigeración enfría o calienta un fluido secundario que se hace circular para enfriar o calentar al medio. En general, el equipo productor de frío estará situado en un local distinto al de utilización.

A esta tipología pertenecen las enfriadoras de agua. Se emplea el agua como refrigerante secundario y ésta es enfriada en la transferencia térmica con un refrigerante. Posteriormente esta agua es distribuida para el acondicionamiento de aire.

Las enfriadoras de líquido se clasifican de modo que se indica primero el medio de transferencia de calor para el intercambiador de calor (según la UNE-EN 14511-1) resultando la tabla siguiente:

Medio de transferencia de calor		
Intercambiador exterior	Intercambiador interior	
Aire	Agua	Bomba de calor aire/agua o enfriadora de líquido condensada por aire
Agua	Agua	Bomba de calor agua/agua o enfriadora de líquido condensada por agua
Salmuera	Agua	Bomba de calor salmuera/agua o enfriadora de líquido condensada por salmuera

Tabla 4.1: Clasificación de enfriadoras en función del medio de transferencia.

Destacando los dos grupos siguientes:

– *Enfriadoras de agua condensadas por agua*: Se benefician del calor específico del agua y su calor latente de vaporización. Requieren una red de suministro de agua.

– *Enfriadoras de agua condensadas por aire*: El aire está disponible a coste cero. Sin embargo, su bajo calor específico obliga a mover grandes cantidades del mismo para un buen intercambio térmico y se hace necesario el uso de ventiladores.

A pesar de que la forma más común de clasificar las enfriadoras de agua es según el medio que se utilice para el intercambio de calor con el refrigerante en el condensador, es decir, en enfriadoras de agua condensadas por agua o por aire, existen sin embargo, varios criterios en función de los cuales se pueden clasificar estas máquinas, especialmente, dependiendo de la tipología de sus componentes básicos:

- Fluidos Refrigerantes .
- Reversibilidad.
- Tipo y número de compresores.
- Tipo de condensador .
- Tipo de evaporador .
- Número de circuitos frigoríficos .

4.9.2. Descripción de las máquinas enfriadoras

En los sistemas de agua enfriada circulante la temperatura del agua va bajando a medida que pasa por la sección del evaporador de la máquina. Luego, se hace circular por todo el edificio donde recolecta el calor. La temperatura típica para un sistema de agua enfriada circulante es de 7°C para el agua que se envía al edificio y de 12°C para el agua que retorna del edificio. El calor del edificio aumenta la temperatura del agua que retorna al enfriador, donde se elimina el calor y se vuelve a hacer circular el agua.

Según la UNE-EN 14511-1 (Mayo 2004), una enfriadora de líquido es un “Aparato montado en fábrica concebido para la refrigeración de líquido utilizando un evaporador, un compresor de refrigerante, un condensador integrado o externo y los controles adecuados. Puede además tener dispositivos para calentar que pueden ser por inversión de ciclo de refrigerante como en la bomba de calor”.

Las enfriadoras de agua se basan en el ciclo frigorífico de compresión mecánica para la obtención del efecto frigorífico, fundamentado en el ciclo inverso de Carnot (máquina frigorífica ideal) cuyos componentes básicos son un compresor, un evaporador, un condensador y un sistema de expansión. El corazón del sistema de refrigeración por compresión mecánica es el compresor.

El principio básico que rige el funcionamiento de las enfriadoras de agua es la absorción de calor por parte de un líquido para realizar el cambio de estado a vapor, enfriando un medio externo.

El refrigerante vaporizado, está dentro de un circuito cerrado y es recuperado para que se produzca cíclicamente el cambio de estado para una producción de frío continua.

La evaporación del refrigerante se produce a baja presión en el evaporador. Para poder ser de nuevo evaporado, debe pasar antes por estado líquido.

Mediante un aporte externo de energía, se eleva la temperatura del gas a su paso por el compresor mediante una compresión isentrópica desde vapor saturado a la presión de evaporación hasta la presión de condensación.

En el condensador se pasa de nuevo al estado líquido mediante la cesión de calor a presión constante un medio externo (enfriamiento sensible + condensación).

Por último una válvula de expansión baja la presión del refrigerante mediante una expansión adiabática e irreversible (isentálpica) desde líquido saturado y lo lleva a las condiciones de entrada del evaporador para un nuevo cambio de estado.

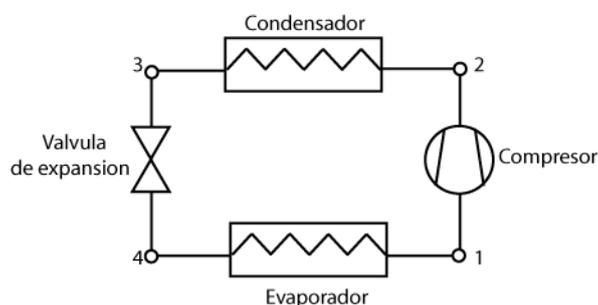


Figura 4.14: Componentes del ciclo frigorífico de compresión mecánica.

En realidad los procesos no ocurren exactamente como los descritos anteriormente, ya que las máquinas térmicas poseen distintas limitaciones, como pueden ser las pérdidas de carga a lo largo del circuito, la irreversibilidad de la expansión, la imposibilidad de realizar la compresión de manera isentrópica o las diferencias de temperaturas en los intercambios. Aparte de éstos, existen otros fenómenos como el recalentamiento del vapor a la salida del evaporador y el subenfriamiento del líquido a la salida del condensador, que hacen que el ciclo adopte un comportamiento más real.

A continuación se definen algunos de los parámetros fundamentales que caracterizan los balances energéticos en estos equipos y que evalúan sus rendimientos:

- Potencia frigorífica Total o Capacidad Frigorífica, Q_f (kW).

Calor extraído del medio de transferencia de calor por el equipo por unidad de tiempo.

- Potencia de compresión, P_c (kW),
La potencia de compresión es la potencia necesaria para mover el compresor. Esta potencia es la potencia eléctrica absorbida total por todos los componentes del aparato.
- Volumen de gas, V_r (m^3/s)
Es el volumen de gas teórico que circula a la entrada del compresor por unidad de tiempo y depende de la cantidad de frío que suministra la instalación y de las condiciones de operación.
- COP (Coefficient of Performance) teórico según el ciclo de Carnot .
Partiendo de la base de que el objetivo de la instalación frigorífica es absorber una cantidad determinada de calor del foco frío Q_1 , mediante la aplicación de una cierta cantidad de trabajo, de tal forma que se desprenda en el foco caliente una cantidad de calor $Q_2 > Q_1$ y que el ciclo es reversible pudiendo, por tanto, ser recorrido en ambos sentidos, entendiéndose que el camino se recorre en camino inverso.

$$COP = \frac{Q_1}{Q_2 - Q_1}$$

donde

- COP real, EER o Eficacia del ciclo (coeficiente de funcionamiento real)
es el cociente entre la Potencia Frigorífica Total y el trabajo de compresión realmente realizado para ello:

$$COP = \frac{Q_f}{P_c}$$

4.9.3. Enfriadoras condensadas por aire

Por su importancia en el presente proyecto, se va a explicar con detalle los tipos de enfriadoras condensadas por aire que existen.

Los *chillers* o enfriadoras de agua de condensación por aire pueden ser de varios tipos: con ventiladores axiales, para ser instalados en el exterior, y ventiladores centrífugos, para ser instalados en espacios cerrados.

Enfriadoras con ventiladores axiales

Las enfriadoras de condensación por aire que disponen de ventiladores axiales están diseñadas para ser instaladas en terrazas, azoteas, o en cualquier espacio exterior, donde se realizan pruebas estrictas para poder instalar el equipo en el exterior, para llevar a cabo su buen funcionamiento. El espacio de dicha instalación tiene que disponer con el espacio suficiente para poder garantizar un volumen de aire adecuado a través del condensador, y también que no haya ninguna limitación en el lado de descarga del ventilador.



Figura 4.15: Enfriadora Carrier

Las características que podemos destacar de estas enfriadoras son las siguientes:

- Enfriadoras de líquidos con alto rendimiento y elevado ahorro de consumo eléctrico.
- Diseñadas para instalaciones exteriores: industriales, viviendas, edificios (hospitales, oficinas, hoteles).
- Su mecanismo funciona a través de un condensador por aire con ventiladores helicoidales.
- Reducido nivel sonoro.
- Control de presión de condensación.
- Estado de la resistencia antihielo.
- Es de fácil acceso a todos sus componentes.
- Compresores de tornillos o *scroll*.
- Función solo frío y bomba de calor.

Enfriadoras con ventiladores centrífugos

Las enfriadoras de líquido de condensación por aire con ventiladores centrífugos están diseñadas para instalaciones en el interior de edificios, industrias, etc. Es ventajoso tener la instalación en el interior, ya que se evitan amenazas exteriores y no está expuesta a la contaminación externa. La admisión del aire del condensador está en un lado de la máquina, esto permite aislar el equipo contra las bajas temperaturas ambiente. La salida de aire puede ser tanto vertical como horizontal.

Las características que podemos destacar de estas enfriadoras son las siguientes:

- Muy bajo nivel de ruido y de vibraciones.
- Es una solución alternativa al evaporador remoto.
- Durante las estaciones de frío se puede utilizar para calentar espacios internos.
- Compresores *scroll*.
- Su mecanismo funciona a través de un condensador por aire con ventiladores centrífugos.
- Diseñadas para instalaciones interiores: industriales, viviendas, edificios (hospitales, oficinas, hoteles).
- Protección antihielo.
- Función solo frío y bomba de calor

4.9.4. Elementos adicionales

La máquina enfriadora de agua necesita de elementos adicionales que le permitan funcionar:

- Redes de tubería y colectores. Distribuyen el agua enfriada hacia donde se necesita.
- Bombas de circulación. Generalmente dos en paralelo para asegurar que al menos una funciona, así como facilitar operaciones de mantenimiento de la otra.
- Vaso de expansión. Compensan la dilatación del líquido de la red de tuberías.
- Elementos de control, presostatos y sondas de temperatura.
- Depósito de inercia.

-Válvula de llenado y válvula de vaciado.

-Decantadores.

-Torre de enfriamiento o intercambiador exterior, en los que se disipa en el ambiente el calor extraído.

Ablandador de agua: se trabaja con agua blanda para evitar la corrosión en la tuberías de condensación

4.9.5. Reversibilidad (bombas de calor)

En el mercado existen enfriadoras de agua reversibles (son capaces de producir agua caliente, para calefacción o agua fría, para refrigeración) denominadas bombas de calor o enfriadoras de agua sólo para refrigeración.

La refrigeración consiste en la eliminación de calor de un lugar en que no resulta deseable y su depósito en un lugar donde su presencia no moleste. De hecho, el calor puede llevarse a un lugar donde sí que se desee su presencia, recuperando así el calor. En esto radica la diferencia entre una bomba de calor y un aparato de solo frío. Con el acondicionador de solo frío solo se puede bombear el calor en un sentido, mientras que la bomba de calor es un sistema de refrigeración que puede bombear calor en ambos sentidos.

