

VI.- CALENTAMIENTO DE AGUA, CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN POR ENERGÍA SOLAR

VI.1.- INTRODUCCIÓN

Las consideraciones planteadas en el diseño de sistemas de calentamiento de agua, se pueden ampliar a sistemas de calefacción y refrigeración solar. Los elementos constructivos básicos de los calentadores de agua solares más corrientes son, el colector de placa plana y el depósito de almacenamiento.

Los colectores se conectan para cubrir una carga, (generalmente se dispone de energía auxiliar), y se tienen que incluir los medios para la circulación de agua y el control del sistema; un esquema práctico de un ejemplo de un sistema de circulación natural se muestra en la Fig VI.1; en este dispositivo el depósito está situado por encima del colector, y el agua circula por convección natural siempre que la energía solar en el colector aporte la suficiente energía al agua que asciende por el mismo, estableciéndose así un gradiente de densidades que provoca el movimiento del fluido por convección natural. La energía auxiliar se aplica en la parte superior del depósito, y tiene como misión mantener el agua caliente en esta zona del depósito, a un nivel de temperatura mínimo, necesario y suficiente para cubrir las cargas y mantener la circulación.

En las Fig VI.2 se muestran otros esquemas, con agua en circulación forzada, en los que no es necesario colocar el depósito por encima del colector, aunque sí es necesaria una bomba que, generalmente, va controlada por control diferencial que la acciona y pone en marcha cuando la temperatura detectada por un sensor colocado a la salida del colector está varios grados por encima de la temperatura del agua en la parte inferior del depósito.

También es necesaria una válvula de retención para evitar se produzca una circulación inversa durante los períodos de inactividad del colector, incluida la noche, y las correspondientes pérdidas térmicas nocturnas. En estos esquemas se muestra que la energía auxiliar se aporta al agua entre la salida del depósito de almacenamiento y la carga.

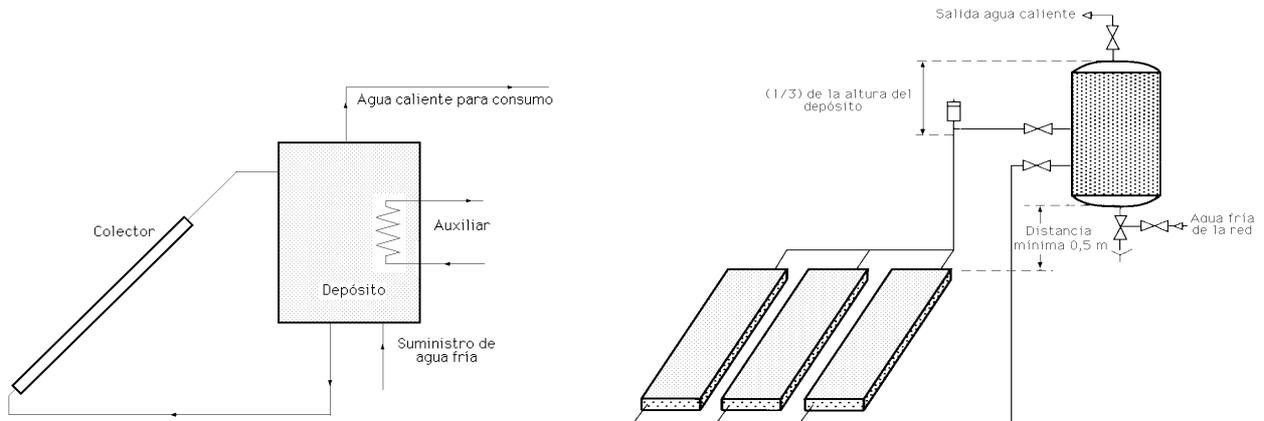
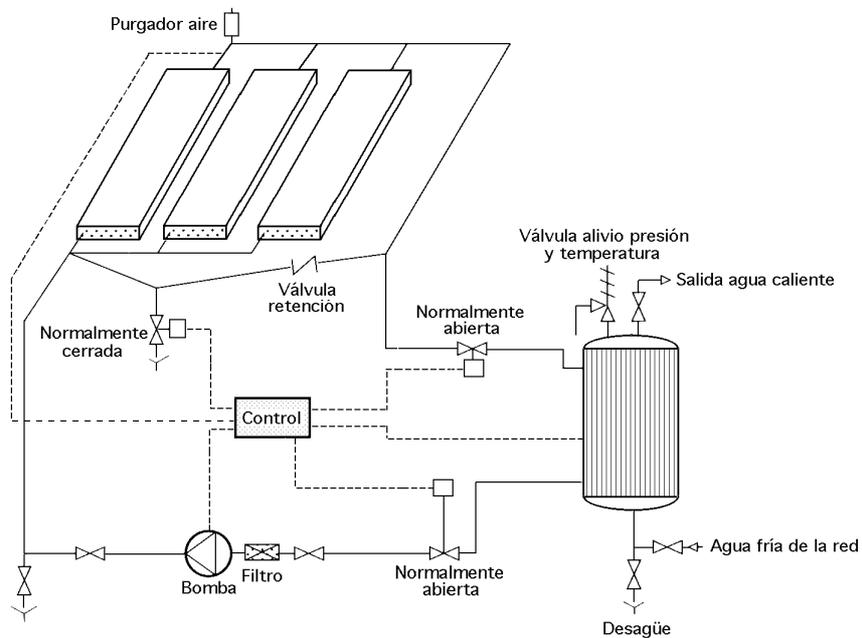
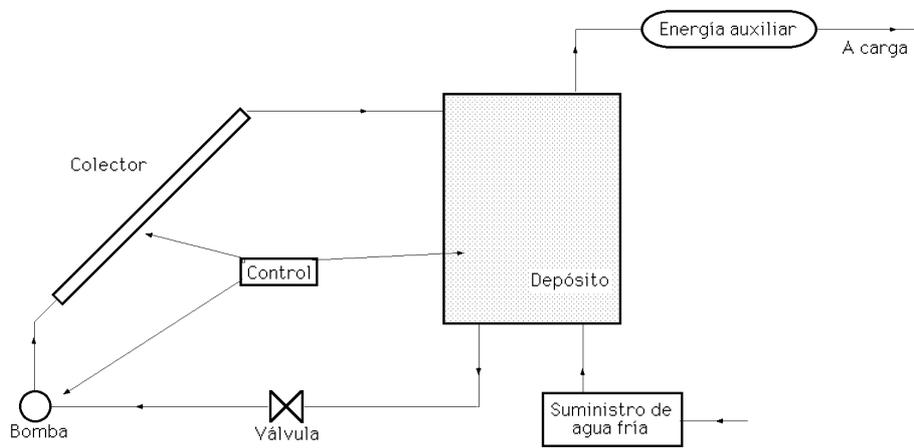


Fig VI.1.- Calentador de agua con circulación natural, con aporte de energía auxiliar al depósito de almacenamiento



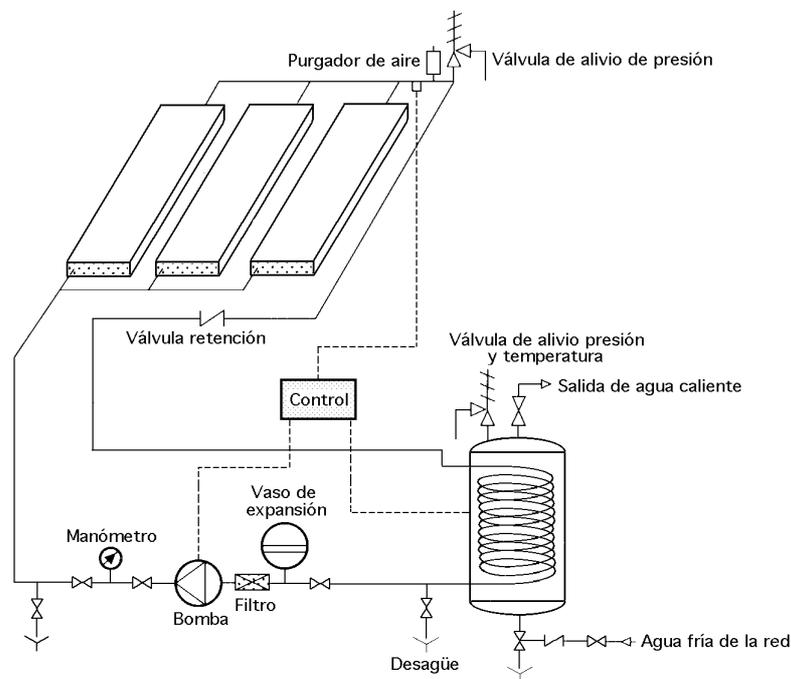
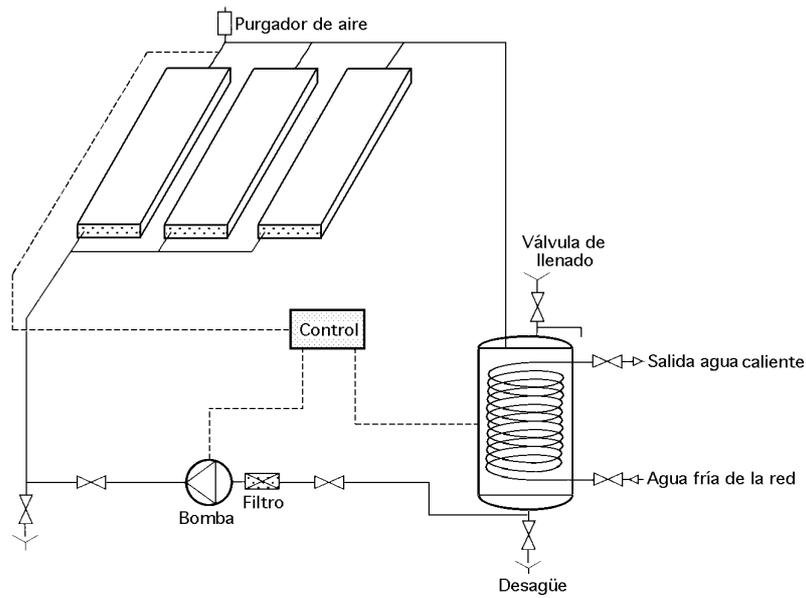


Fig VI.2.- Calentadores de agua con circulación forzada

Muchos calentadores son de diseño único, por lo que funcionan tanto en convección natural como forzada, mientras que los calentadores domésticos pequeños funcionan en régimen de circulación natural y los de mayor tamaño en régimen de circulación forzada.

VI.2.- COLECTORES Y DEPÓSITOS DE ALMACENAMIENTO

El tipo de colectores de placa más comúnmente utilizado se muestra esquemáticamente en la Fig VI.3, en la que se observa que los tubos captadores por cuyo interior circula el agua a calentar, están dispuestos paralelamente y tienen diámetros comprendidos entre 1,2 cm y 1,5 cm con una

separación entre 12 y 15 cm y van soldados o embutidos tanto a la placa colectora como a los tubos colectores distribuidores, que tienen un diámetro de 2,5 cm aproximadamente.

Las placas colectoras se construyen generalmente de cobre, aunque existen sistemas que utilizan placas colectoras de hierro galvanizado; las placas de absorción se montan en una caja de metal, o de cemento, con un aislamiento de 5 a 10 cm de espesor en la cara posterior de la placa y con una o dos cubiertas de cristal, de forma que para la cámara de aire se deje una separación entre las mismas del orden de 2,5 cm.

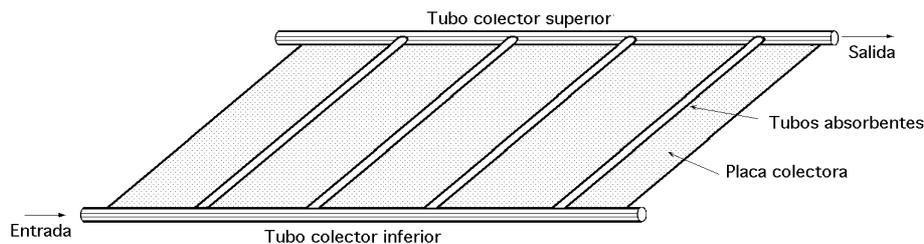


Fig VI.3.- Placa colectora y tubos en un colector convencional

Las dimensiones de un colector son normalmente de 1,2 x 1,2 m², pudiéndose utilizar en la instalación grupos de colectores montados en serie, en paralelo o en otras disposiciones.

Se pueden utilizar otros tipos de tubos para transferir la energía captada en la placa colectora al fluido que circula, como un tubo único en forma de serpentín en lugar de los tubos paralelos, con lo que se eliminan los colectores extremos, o un conjunto formado por una placa plana y otra ondulada unidas por soldadura eléctrica por resistencia, de tal forma que a través de las ondulaciones entre placas circula el agua, como se muestra en la Fig VI.4.

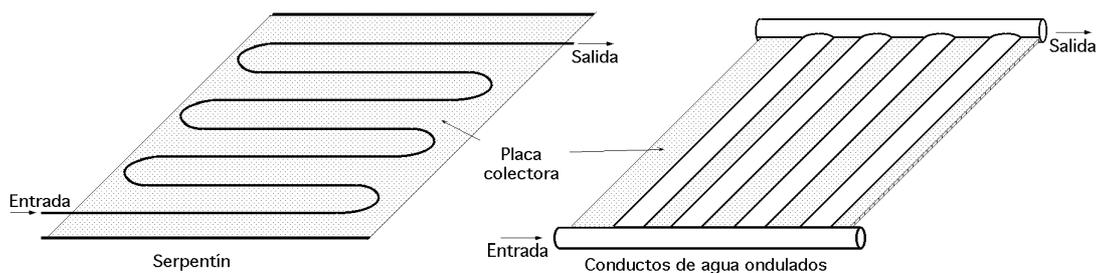


Fig VI.4.- Alternativas para calentadores de agua de placas, a) Tubo único; b) Tubo de placa ondulada.

Los depósitos de almacenamiento tienen que estar aislados térmicamente; por regla general se puede utilizar un aislamiento de lana mineral en los costados, en la parte superior, y en la inferior, de unos 20 cm de espesor; también hay que aislar térmicamente las tuberías que van desde el colector al depósito, por lo que se tienen que diseñar y calcular muy bien, para reducir al mínimo las pérdidas de carga y las caídas de presión; en unidades domésticas se utilizan tuberías de 2,5 cm de diámetro o más, con tramos de longitud tan corta como sea posible.

Es necesario que la estratificación se pueda mantener en los depósitos de almacenamiento dentro de unos límites, por lo que tanto su situación y posición, como el diseño de las conexiones de los depósitos es muy importante.

VI.3.- CARGAS Y DIMENSIONADO DE SISTEMAS

El dimensionado óptimo de un calentador solar de agua que cubra un determinado servicio de agua caliente, depende de una serie de factores, como,

- a) Las inversiones necesarias para el proyecto y construcción del sistema de energía solar
- b) Los costes de la energía auxiliar
- c) La latitud del lugar que influye en la orientación del colector, el clima, horas de sol, etc
- d) La temperatura del agua fría a suministrar

Para el caso de suministros domésticos de agua caliente se dispone de una gran número de experiencias a partir de las cuales se han desarrollado muchos diseños y proyectos, tendentes a producir agua a 65°C y un consumo medio de 45 Kg por persona y día; en estos casos, si se utilizan sistemas totalmente solares en regiones en las que el clima es muy soleado y los combustibles convencionales costosos, se sugieren capacidades de almacenamiento del orden de 2,5 veces la necesidad diaria, mientras que si se va a utilizar una fuente auxiliar de energía, el tamaño del depósito que se recomienda es de unas 1,5 veces la necesidad media diaria.

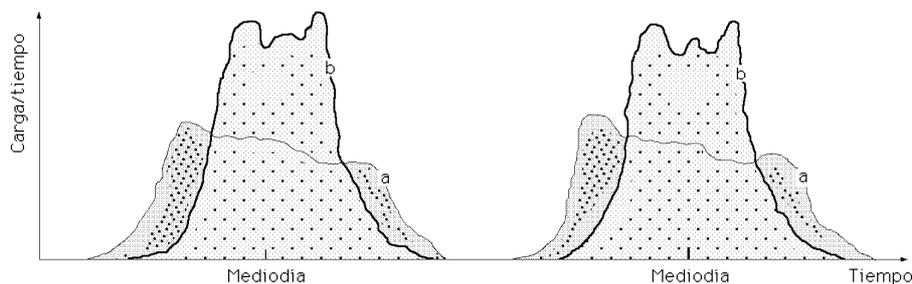


Fig VI.5.- Esquema de la dependencia en el tiempo de las cargas energéticas en un sistema de agua caliente, a) residencia; b) laboratorio u oficina.

Así para una familia de cuatro personas en un clima soleado, se sugiere una superficie del colector de unos 4 m² orientada al Sur, con una inclinación respecto a la vertical del orden de 0,9 para que la captación de energía solar anual sea lo más óptima posible.

La magnitud y la dependencia temporal de las cargas en edificios institucionales son más fáciles de predecir que en residencias particulares, quedando garantizado el diseño de los sistemas haciendo una mayor inversión en los mismos.

En la Fig VI.5 se muestra un esquema de las necesidades de agua caliente de dos edificios, en función del tiempo, como pueden ser una residencia (a) y un laboratorio o bloque de oficinas (b).

Los sistemas de circulación forzada se utilizan en grandes instalaciones, siendo los colectores en estos casos más grandes que los módulos individuales descritos anteriormente.

VI.4.- ENERGÍA AUXILIAR

En un proceso de calentamiento de agua por energía solar se puede obtener un grado de fiabilidad óptimo que cubra una carga determinada, teniendo en cuenta el tamaño correcto de las unidades de almacenamiento y el de una fuente de energía auxiliar.

En zonas de muy alta disponibilidad de energía solar, donde pocas veces haya nubes con una permanencia significativa, resulta práctico cubrir las cargas totales mediante sistemas de paneles termosolares; sin embargo, en climas de baja disponibilidad de radiación, (típico de los climas templados), es necesario disponer de un sistema auxiliar de alta fiabilidad para así evitar un sobredimensionamiento excesivo del sistema de paneles para la captación de energía solar, y evitar inversiones innecesarias.

La energía auxiliar se puede disponer de tres formas,

- a) Mediante el aporte de energía al depósito como se indica en la Fig VI.1*
- b) Aportando energía al agua a la salida del depósito, tal como se muestra en la Fig VI.2.*
- c) Suministrando energía directamente al agua de alimentación, a la entrada, realizando un by-pass en el depósito.*

Los dos primeros métodos son los de uso más corriente; teniendo en cuenta diferentes condiciones de temperatura ambiental, hora del día, y magnitud de las cargas, se ha calculado la fracción relativa de las cargas alimentadas y cubiertas por energía solar y por la energía auxiliar, y se ha encontrado que cuando los colectores funcionan en márgenes de temperaturas ligeramente por encima de las temperaturas ambientales, el método de aportación de energía auxiliar no resulta práctico mostrando el método *b* ligeras ventajas sobre los demás.

No obstante, si se eleva la temperatura mínima del agua en 20°C, el método *b* presenta ventajas significativas sobre el método *a* que, a su vez, es superior al método *c*. Las razones que originan los cambios en el COP cuando se modifica el método de aportación de energía auxiliar, conciernen directamente a la temperatura de funcionamiento del colector.

El suministro de energía auxiliar en la parte superior del depósito, método *a*, da como resultado una temperatura media mas alta, peor rendimiento del colector, y unas necesidades mas grandes de energía auxiliar.

El método *c*, que hace un by-pass en el depósito cuando su parte superior no está lo suficientemente caliente, desaprovecha parte de la energía solar captada en el colector.

El método *b*, con un calentador auxiliar modulado, maximiza la utilización del colector solar en cuanto al funcionamiento y minimiza las pérdidas del colector, funcionando éste a una temperatura media más baja que en cualquiera de los otros casos.

VI.5.- DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO EN LOS COLECTORES

Un diseño standard y los cálculos de rendimiento de colectores se basan en el supuesto de una distribución uniforme del flujo ascendente de agua para cualquier tipo de colector; si éste flujo no es uniforme, las partes del colector que se corresponden con las subidas y que tienen un flujo de agua bajo, pueden llegar a alcanzar temperaturas significativamente más elevadas que aquellas otras que tengan velocidades de flujo más altas, por lo que el diseño de la disposición de los tubos colectores, tanto en los sistemas de colectores individuales como en los sistemas de colectores múltiples con circulación forzada es muy importante, ya que de ello depende la obtención de un buen rendimiento del colector. Los colectores con circulación natural tienden a corregir el flujo ellos mismos y en estos casos el problema es menor.

Los experimentos realizados en diversos bancos de colectores solares, han proporcionado en los tubos colectores superior e inferior una distribución de presiones, tal como se indica en la Fig VI.6, en la que se observa que las implicaciones de estas distribuciones de presión son evidentes; las caídas de presión de abajo hacia arriba resultan mayores en los extremos que en la parte central, dando lugar a flujos altos en las subidas extremas y flujos bajos en las subidas centrales.

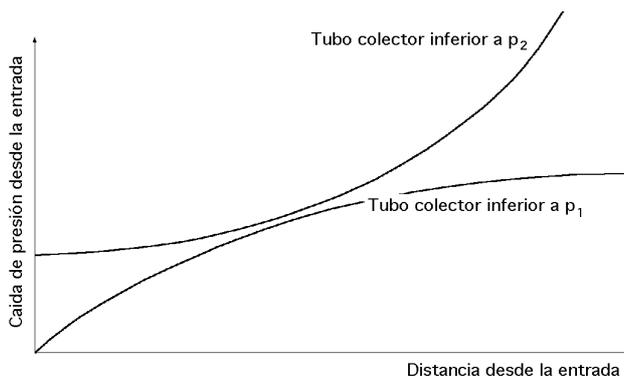


Fig VI.6.- Distribución de presión en los tubos colectores de un banco isotérmico de absorbedores

Por lo que respecta a las temperaturas en las placas absorbentes, los datos obtenidos en diversas experiencias muestran, del centro a los extremos, diferencias de temperaturas entre 10°C y 20°C, lo que constituye una falta de uniformidad bastante significativa; sin embargo, éste problema se puede paliar,

- a) Conectando en serie unidades de baterías en paralelo
- b) Conectando en paralelo múltiple baterías en serie

tal como se muestra en la Fig VI.7, obteniendo como resultado una distribución del flujo y de las temperaturas más uniforme.

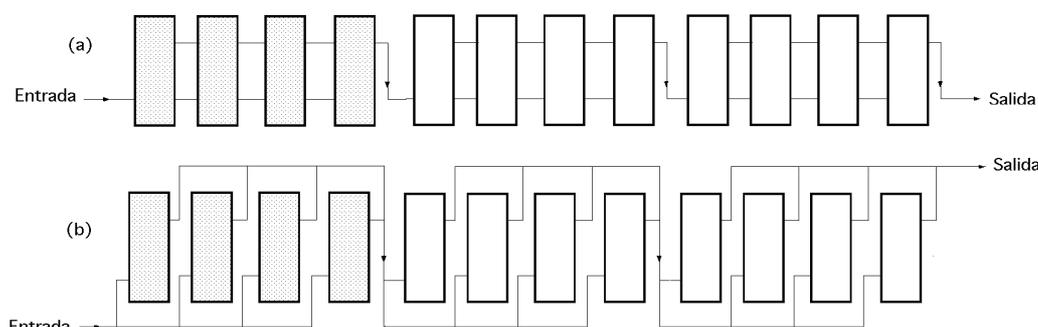


Fig VI.7.- Métodos de conectar bancos de colectores, a) Conexión de baterías en paralelo en serie
b) Conexión de baterías en serie en paralelo múltiple

Se recomienda que los colectores se diseñen con tubos lo suficientemente grandes, de forma que la caída principal de presión se origine en las subidas. Los bancos de hasta 24 subidas son interesantes tanto para la circulación natural como para la forzada; los bancos de circulación forzada de más de 24 subidas no se deben conectar en paralelo con más de 16 subidas; para series de bancos mayores se pueden usar conexiones en paralelo de baterías en serie.

VI.6.- TEMPERATURAS AMBIENTALES BAJO CERO

La temperatura del medio ambiente por debajo de 0°C impone problemas especiales en los sistemas de calentamiento de agua, ya que los colectores pueden estar expuestos a condiciones ambientales sin que haya radiación solar, durante largos períodos de tiempo; en estas circunstancias se pueden considerar tres tipos de soluciones posibles,

- Los colectores se pueden diseñar de forma que se vacíen durante los períodos en que no estén funcionando, o cuando exista la posibilidad de congelación.*
- En los colectores y en el intercambiador se pueden utilizar soluciones anticongelantes.*
- Los colectores se pueden diseñar para resistir ocasionalmente pequeñas congelaciones utilizando técnicas especiales, como tubos colectores superiores de goma butilica.*

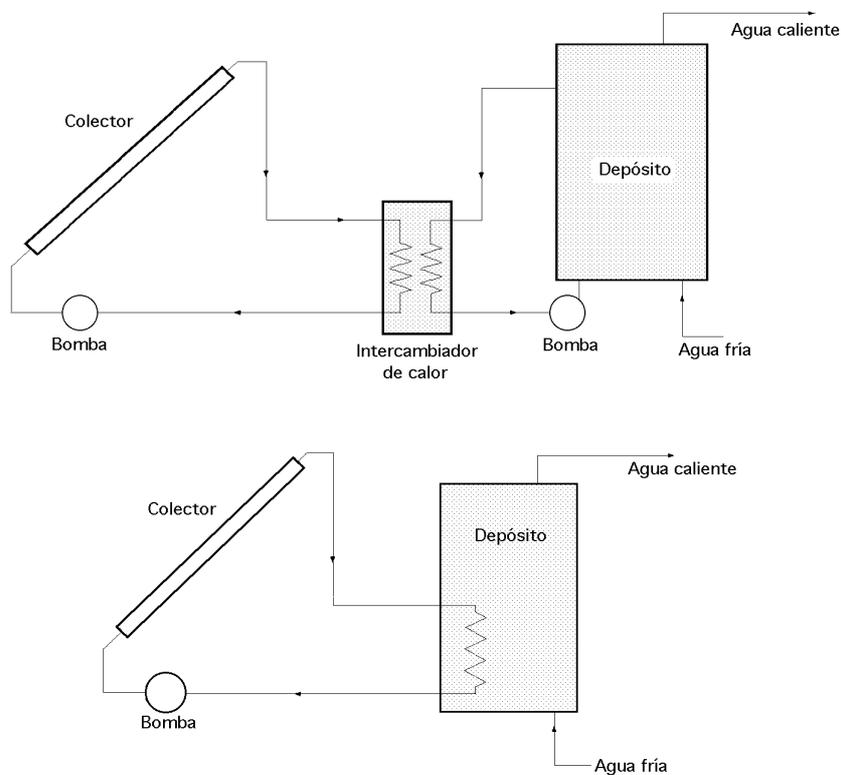


Fig VI.8.a.b.- Métodos para la utilización de líquidos anticongelantes en colectores solares para calentamiento de agua

La mayoría de las aplicaciones de calentadores de agua se hacen en condiciones en las que la congelación no constituya ningún problema; el uso de un líquido anticongelante impone el uso de un intercambiador adicional entre el colector y el depósito de almacenamiento, con disposiciones tales como las que se indican en las Fig VI.8.

Estos intercambiadores aumentan la temperatura de funcionamiento del colector en una cantidad que se corresponde con la caída de temperatura a través del cambiador; como regla empírica aproximada, cada $^{\circ}\text{C}$ de caída de temperatura en el cambiador implica un colector correspondientemente mayor.

VI.7.- CALEFACCIÓN SOLAR

El calor necesario para el acondicionamiento de edificios se puede suministrar mediante técnicas de energía solar con sistemas que, conceptualmente, no son más que versiones mayores de los utilizados en el calentamiento de agua.

Los fluidos utilizados más corrientemente para la transferencia de calor son, el agua y el aire. En los climas templados, se tiene que disponer de una fuente energética auxiliar convencional y el problema de diseño se reduce a decidir la combinación óptima entre la energía solar y la energía auxiliar.

Las llamadas *casassolares* que se han construido son edificios con grandes ventanas orientadas hacia el Ecuador, concebidas para admitir la radiación solar cuando el Sol esté bajo, durante el invierno.

Las ganancias térmicas que se pueden lograr con ventanas debidamente orientadas son significativas, aunque en los climas fríos es muy importante controlar las pérdidas térmicas durante los períodos de baja radiación solar, sobre todo durante la noche y tiempo nublado, para así poder conseguir ganancias adecuadas.

SISTEMAS DE CALEFACCIÓN SOLAR.- Los componentes principales de los sistemas solares de calefacción son:

- a) *El colector*
- b) *El sistema de almacenamiento*
- c) *La fuente de energía auxiliar convencional*

Para estos sistemas resulta útil considerar cuatro modos operativos básicos de funcionamiento, según sean las condiciones existentes en un momento determinado:

- a) *Si hay energía solar disponible y no hace falta calor en el edificio, la ganancia energética procedente del colector se añade al sistema de almacenamiento.*
- b) *Si hay energía solar disponible y hace calor en el edificio, la ganancia energética se utiliza para cubrir otras necesidades del edificio.*
- c) *Si no hay energía solar disponible, y hace falta aplicar calor en el edificio y la unidad de almacenamiento tiene cierta cantidad de energía almacenada, se utiliza dicha energía almacenada para cubrir las necesidades del edificio.*
- d) *Si no hay energía solar disponible, y hace falta calor en el edificio, y la unidad de almacenamiento se ha agotado, entonces hay que utilizar la energía auxiliar convencional para cubrir las necesidades del edificio.*

Hay que tener en cuenta una quinta situación según que la unidad de almacenamiento pueda estar totalmente calentada, sin cargas que cubrir, y con el colector en situación de ganar energía; en estas circunstancias no hay forma de utilizar ni almacenar la energía recogida y ésta no se puede aprovechar, por lo que tiene que desperdiciarse.

SISTEMA DE CALEFACCIÓN DE AIRE.- La Fig VI.9 muestra el esquema de un sistema básico de calentamiento de aire con una unidad de almacenamiento en lecho de guijarros y un sistema de

energía auxiliar; el medio de almacenamiento (guijarros) está contenido en la unidad de almacenamiento, mientras que el aire es el fluido utilizado para trasvasar la energía desde el colector al almacenamiento del edificio.

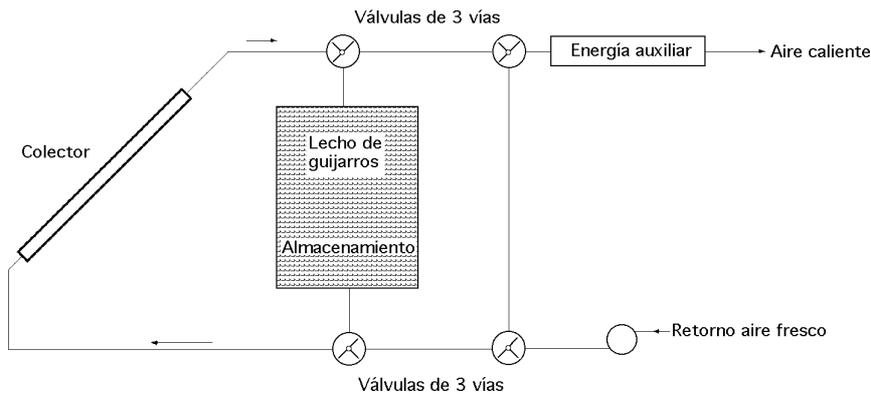


Fig VI.9.- Esquema del sistema básico de aire caliente

Los modos de funcionamiento se pueden conseguir mediante una adecuada disposición de las válvulas de distribución; con este sistema no es posible aportar y extraer energía al mismo tiempo; la utilización del sistema auxiliar se puede cambiar con el de suministro de energía al edificio desde el colector, o desde el almacenamiento, si dicho suministro es inadecuado para cubrir las cargas.

El ventilador-compresor está en el lado de la corriente ascendente al colector, lo que permite que los colectores funcionen a presiones ligeramente superiores a la atmosférica; también se puede situar el ventilador de forma que la presión en los colectores sea inferior a la presión atmosférica, lo que puede resultar ventajoso para controlar los escapes.

Los sistemas que se basan en este procedimiento, cuando se les compara con los que utilizan agua como medio de transferencia de calor, tienen varias **ventajas** como,

- a) No existen problemas de congelación en los colectores
- b) Los problemas en el diseño se reducen al mínimo para los casos de sobrecalentamiento durante los periodos en los que no se extraiga energía,
- c) Los sistemas de calefacción de aire son de uso corriente
- d) Los problemas de corrosión se reducen al mínimo
- e) En estos sistemas se utilizan equipos de control convencionales

Los **inconvenientes** son,

- a) Los costes relativamente altos de bombeo del fluido, sobre todo si no se diseña con cuidado la unidad de almacenamiento
- b) Unos volúmenes relativamente grandes de almacenamiento
- c) La dificultad de añadir acondicionadores de aire a los sistemas por absorción convencionales

Para calcular el COP **de un edificio por energía solar**, equipado con sistemas para calentamiento de agua doméstica, calefacción de espacios y acondicionamiento de aire, se pueden utilizar modelos de uno o varios componentes cuyo estudio permite determinar el rendimiento térmico y cómo estas predicciones del rendimiento se pueden utilizar para llegar a sistemas con un mínimo coste total.

En la Fig VI.10 se muestra esquemáticamente un sistema de calefacción sin aire acondicionado; la mayoría de los parámetros de diseño como son el área del colector y su superficie óptima, se seleccionan de acuerdo con la climatología del lugar.

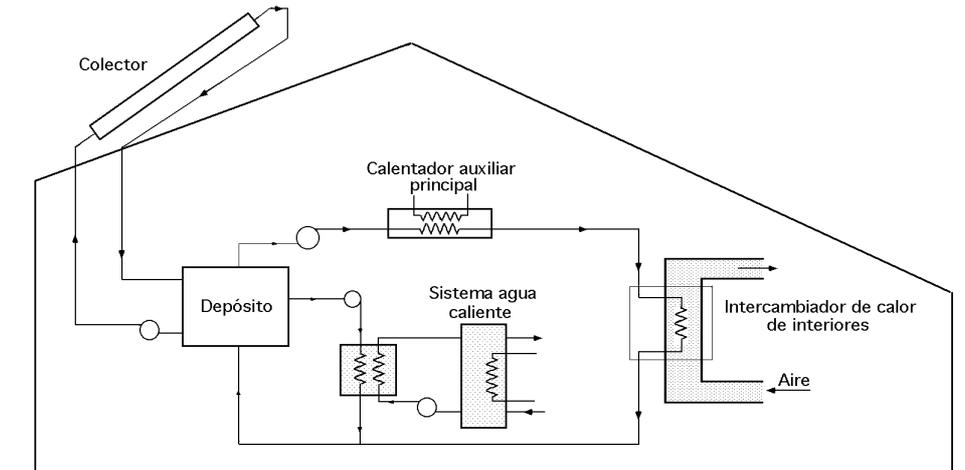


Fig VI.10.- Esquema de calefacción solar

Los componentes principales del sistema, y la forma en que se pueden modelizar, se resumen como sigue:

a) El colector solar es un calentador de agua de placa plana con unas características determinadas, en el que se puede despreciar su capacidad calorífica. Se puede suponer que tanto el colector, como el resto del sistema, funcionan a una presión máxima del orden de dos atmósferas absolutas; la temperatura máxima del colector se puede limitar a 110°C ; el exceso de energía se elimina mediante un sistema que permite mantener las condiciones de salida del fluido del colector por debajo de los límites de temperatura supuestos.

b) El depósito de almacenamiento puede ser un depósito de agua y su tamaño viene fijado por la superficie del colector. Se puede diseñar como un depósito de tres secciones, parcialmente estratificado, o como un depósito uniforme; las pérdidas térmicas del depósito van al interior del edificio.

c) El servicio de agua caliente sanitaria se puede suponer compuesto de varios elementos, basados en la idea de que se podría utilizar un calentador convencional de gas o de electricidad, con aportación de energía solar como medio de suministro de energía; la energía solar se podría suministrar entre el depósito principal de almacenamiento y el depósito de agua caliente doméstica a través de un intercambiador de calor.

Si el depósito no está estratificado, se puede considerar que el agua se encuentra a una temperatura uniforme; cuando su temperatura no se pueda mantener a la temperatura mínima de control, se puede hacer un aporte de energía auxiliar al depósito, transfiriéndole energía mediante un intercambiador de calor.

d) Un intercambiador de agua-aire constituye un medio por el cual se transfiere energía desde el depósito al edificio; se puede modelizar teniendo en cuenta su NTU.

e) El sistema de suministro principal de la energía auxiliar es un calentador de dos etapas, en serie con el depósito de almacenamiento y con el intercambiador de agua-aire; teniendo en cuenta las condiciones de diseño, esta disposición proporciona, en algunas circunstancias, resultados en los que el aporte de energía por el calen-

tador auxiliar es mayor que la carga sobre el intercambiador, añadiendo así energía auxiliar al depósito de almacenamiento, lo que hace al colector menos eficaz que si fuese de otra forma.

f) Se puede suponer que las paredes del edificio son de construcción standard, con buen aislamiento y con un 15% de su superficie destinada a ventanas. El colector se puede instalar de forma que no afecte al balance energético de la casa. El cálculo de las ganancias y pérdidas térmicas, así como los efectos de la capacidad calorífica de la estructura, se determinan mediante una red térmica instalada en el edificio; la estructura interior y el mobiliario influyen en la temperatura sobre la que se basa el control, función también de los efectos de filtración de humedades y de la generación de energía dentro del edificio.

Tabla VI.1.- Esquema de un tipo de control y modos de funcionamiento de un sistema de calefacción

Temperatura de calefacción	Auxiliar alto	Auxiliar bajo	Calentador de espacios
Temperatura baja	Apagado	Apagado	Se apaga
T(caliente),0	Apagado	Se apaga	Encendido
T(caliente),0	Apagado	Apagado	Se enciende
T(caliente),1	Se apaga	Encendido	Encendido
T(caliente),1	Apagado	Se enciende	Encendido
T(caliente),2	Se enciende	Encendido	Encendido

indica que la temperatura de la habitación está por encima de la temperatura de control

indica que la temperatura de la habitación está por debajo de la temperatura de control

g) El control del colector se basa en dos temperaturas, En la existente dentro del depósito de almacenamiento cuando éste sea uniforme o en la del fondo del depósito en caso de almacenamiento estratificado y en la temperatura calculada a la salida del colector. Siempre que ésta última temperatura sea mayor, es decir, cuando se puede ganar energía útil, el colector entra en funcionamiento poniéndose en marcha la bomba que hace circular el agua; este control es idéntico al de un sistema basado en la medida de las temperaturas del tubo colector superior y del depósito de almacenamiento.

h) El control del sistema de calefacción se basa en la temperatura existente en el interior del edificio; el control de la calefacción se puede hacer mediante un sistema de cuatro temperaturas de control, tal como se indica el funcionamiento en la Tabla VI.1.

VI.8.- SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA

La Fig VI.11 muestra el esquema de un sistema básico de calentamiento de agua sanitaria, con almacenamiento en depósito de agua y una fuente de energía auxiliar; este sistema permite un control independiente de la sección de colector solar, almacenamiento del sistema por una parte, y de la sección de {almacenamiento-fuente auxiliar-carga del sistema} por otra, puesto que se puede añadir al almacenamiento agua calentada por energía solar, al mismo tiempo que se está bombeando agua caliente del almacenamiento para cubrir las carga en el edificio. En el sistema representado se ha dispuesto un *by-pass* de la unidad de almacenamiento para evitar calentar el depósito con energía auxiliar.

Las **ventajas** del calentamiento de agua incluyen:

a) La utilización de un medio de almacenamiento y de transferencia de calor común, evitándose así las caí-

das de temperatura al transferir energía dentro y fuera del almacenamiento

b) Un volumen de almacenamiento más pequeño

c) Una adaptación del suministro de energía a los acondicionadores de aire por absorción relativamente fácil

d) El bombeo del fluido que transfiere calor precisa de un aporte energético relativamente bajo

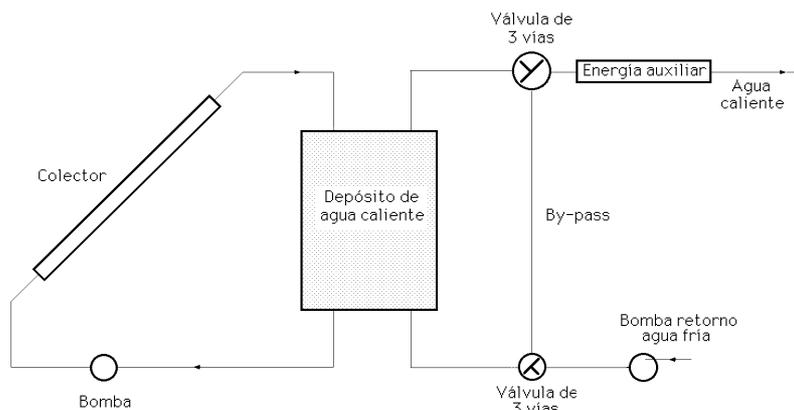


Fig VI.11.- Esquema de un sistema básico de agua caliente

El uso de agua implica los siguientes inconvenientes:

a) Los sistemas solares de calentamiento de agua funcionan a temperaturas inferiores a las de los sistemas de agua convencionales, por lo que precisan de una superficie de transferencia de calor adicional

b) Puede darse el caso de que los calentadores de agua funcionen a temperaturas excesivamente altas, sobre todo en la primavera y en el otoño, por lo que estos sistemas tienen que disponer de un medio de eliminación de energía y evitar así la ebullición del agua y el exceso de presión

c) También hay que tener en cuenta la eliminación de los problemas de corrosión.

VI.9.- REFRIGERACIÓN SOLAR POR ABSORCIÓN

Para el funcionamiento de enfriadores de absorción, por energía solar, se pueden utilizar técnicas como las que se proponen a continuación,

a) Utilizar enfriadores continuos, similares en su construcción y funcionamiento a las unidades convencionales de gas o de fluidos condensables; la energía se suministra al generador desde el sistema {colector solar-almacenamiento auxiliar}, siempre que las condiciones dentro del edificio indiquen la necesidad de refrigeración.

b) Utilizar enfriadores intermitentes, similares a los empleados en la refrigeración de alimentos, comercializados desde hace años en zonas rurales, antes de que se extendiese la refrigeración por compresión y la electrificación. No se utilizan enfriadores intermitentes para acondicionamiento de aire, ni tampoco se han hecho grandes estudios que aconsejen su posible aplicación al acondicionamiento de aire por energía solar.

Es posible adaptar colectores de placa plana para funcionar con ciclos frigoríficos de absorción, Fig VI.12; la influencia de los límites de temperaturas sobre el funcionamiento de los colectores de placa plana, hace que sólo se puedan considerar máquinas comerciales con sistemas de **bromuro de**

litio-agua, Li-Br-H₂O, que requieren agua de refrigeración para enfriar el absorbedor y el condensador, por lo que su empleo puede llegar a requerir el uso de una torre de refrigeración.

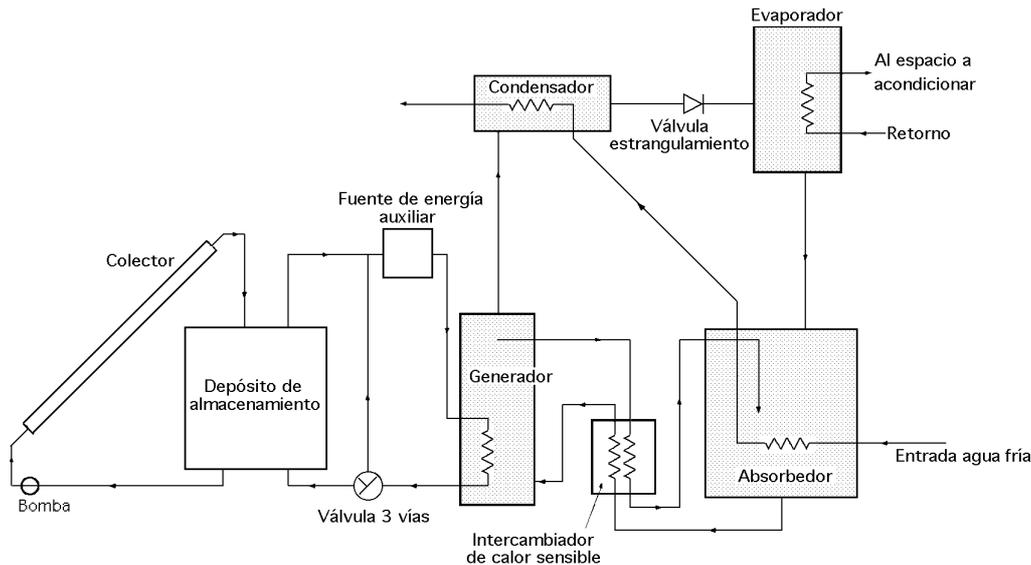


Fig VI.12.- Esquema de un sistema de acondicionamiento de aire por absorción, funcionando con energía solar

La utilización de enfriadores *amoniaco-agua* en la forma en que actualmente están comercializados, resulta difícil debido a las altas temperaturas que necesita el generador, que precisaría de colectores cilíndrico parabólicos. El utilizar enfriadores diseñados para funcionar con energía solar implica generadores con temperaturas de funcionamiento inferiores, lo que supone mejores niveles de entrada de energía al generador desde el colector y mejor funcionamiento dentro de un determinado rango de temperaturas.

Si las exigencias de la refrigeración, más que las cargas de calefacción, fijan el tamaño de la superficie colectora, resulta ventajoso diseñar enfriadores con un COP más alto de lo acostumbrado; por ejemplo, para disminuir las exigencias de entrada de energía se pueden utilizar evaporadores de doble efecto, lo que implica que tanto las condiciones como las restricciones para el funcionamiento con energía solar, pueden dar lugar a diseños de refrigerantes distintos a los utilizados para funcionar con combustibles en sistemas convencionales. Un cálculo de costes indica que el funcionamiento de estos sistemas resulta competitivo con el clásico de compresión que funciona eléctricamente.

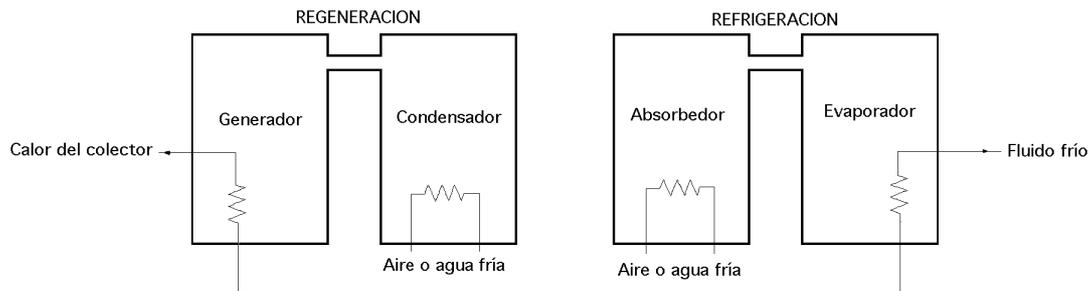
Estudios realizados con energía solar en una serie de enfriadores de *amoniaco-agua*, que utilizan colectores de placa plana, sin almacenamiento, han demostrado que el rango de temperaturas para el suministro del agua al generador tiene que estar comprendido entre 60°C y 90°C, no especificándose la temperatura del agua del condensador. Las concentraciones del amoniaco en el absorbedor y en el generador están comprendidas entre el 58% y el 39% según el suministro de energía.

El enfriamiento por absorción intermitente constituye una alternativa a los sistemas continuos; los trabajos realizados sobre estos ciclos se han dirigido principalmente a la refrigeración para la conservación de alimentos, más que a los sistemas de climatización.

En los ciclos de acondicionamiento de aire, la destilación del refrigerante del absorbente se rea-

liza durante la etapa de regeneración, condensándose y almacenando el refrigerante; durante la etapa de enfriamiento del ciclo, el refrigerante se evapora y queda reabsorbido.

El almacenamiento en forma de absorbente y refrigerante separado se muestra en el esquema de la Fig VI.13; variantes de este ciclo utilizan pares de evaporadores y condensadores, así como otros dispositivos, lo que proporciona una capacidad de enfriamiento esencialmente continua y un COP mejorado.



A la izquierda, el ciclo de regeneración. A la derecha, el ciclo de refrigeración.
El generador-absorbedor es un único recipiente que realiza ambas funciones

Fig VI.13.- Esquema de un ciclo de enfriamiento intermitente por absorción.

Los sistemas *refrigerante-absorbente* utilizados en ciclos intermitentes son mezclas $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ y $\text{NH}_3\text{-NaSCN}$; en este último, el absorbente es una solución de (NaSCN) en NH_3 , actuando el NH_3 como refrigerante, sistema que presenta buenas propiedades termodinámicas para ciclos destinados a la fabricación de hielo, mediante un enfriador intermitente de $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$, utilizando para la regeneración un colector de concentración cilíndrico parabólico.

También se han desarrollado experiencias de máquinas intermitentes funcionando con $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ en las que el aporte energético se realiza mediante colectores de placa plana, y en las que el absorbedor y el generador están separados. El generador forma parte del colector de placa plana; el fluido que circula por los tubos es una solución del *refrigerante-absorbente* mediante una combinación de termosifón y bomba de burbujas.

VI.10.- SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE CALOR EN MUROS

Una característica interesante del almacenamiento de energía solar que se utiliza en edificios, es la combinación *colector-almacenamiento*, en una única parte estructural del mismo, como puede ser un muro orientado al sur. Los muros son verticales, mientras que el ángulo de incidencia θ_s de la radiación solar sobre ellos, resulta alto en invierno y bajo en verano, por lo que son sistemas adecuados para funcionar en invierno.

Una estructura experimental de este tipo consiste en una serie de pequeños cubículos a lo largo de la fachada orientada al Sur, compuesta por un cristal doble y una pared detrás de los cristales hecha de un material idóneo para el almacenamiento de calor. Para el aislamiento se pueden usar sombrillas y para la circulación del aire ventiladores que controlen las pérdidas y aumenten la velocidad de transferencia de calor desde el muro de almacenamiento hasta la habitación.

En la Fig VI.14 se muestra una sección transversal de un muro orientado al Sur que tiene una

cubierta con dos cristales; a una distancia de 10 a 20 cm de la cubierta hay un muro de hormigón de unos 20 cm de grosor, pintado de negro, que sirve tanto como absorbedor de radiación, como de medio de almacenamiento de calor. En la parte alta y baja del muro de hormigón hay unas aberturas o rejillas, de forma que el aire circula por convección natural, a través del espacio comprendido entre el cristal y el muro de hormigón, no precisando de ningún elemento exterior.

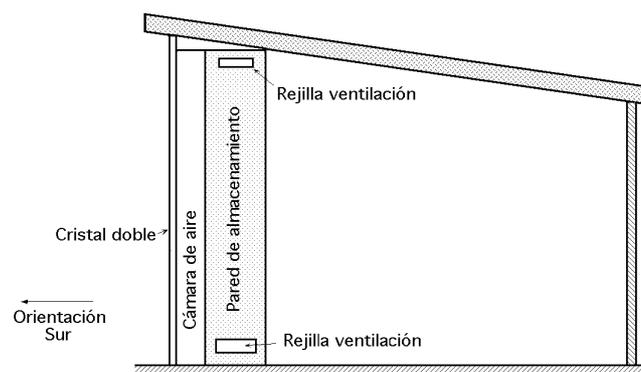


Fig VI.14.- Esquema de una casa con calentamiento del muro Sur por energía solar

VI.11.- SISTEMAS DE COLECTOR RADIADOR Y ALMACENAMIENTO

En zonas áridas, en las que los tejados son planos y horizontales, se pueden combinar un colector-radiador y un medio de almacenamiento, en forma de capa de agua de unos 25 cm de profundidad, en bolsas de plástico negro, apoyadas en la estructura del tejado, sobre las que se dispone un aislamiento móvil que, al retirarse a un lado, permite que el agua y el plástico puedan absorber la radiación durante el día en la temporada de calefacción, o radiarla al cielo nocturno durante la temporada de refrigeración. Para evitar pérdidas de energía nocturnas o absorción durante el día, en las temporadas de calefacción y refrigeración se puede situar el aislamiento sobre el tejado, o por debajo del mismo, de forma que controle las transferencias de calor por radiación y convección, entre el medio de almacenamiento y el hábitat interior.

VI.12.- SISTEMAS CON BOMBA DE CALOR Y RADIADOR COLECTOR

Para suministrar calefacción o refrigeración a edificios existen sistemas que utilizan colectores sin cubiertas, como colectores diurnos y radiadores nocturnos, depósitos de almacenamiento de agua fría y caliente, y bombas de calor, que aseguran unas adecuadas diferencias de temperatura entre ellos.

Para edificios de una sola planta con tejados orientados al Sur, en lugares en los que la radiación solar es alta, con poca lluvia, veranos cálidos, inviernos suaves, y pequeñas velocidades del viento, se pueden cubrir éstos con planchas de cobre con tubos embutidos, pintados de un color oscuro, que funcionan como colectores de energía solar para calentar agua, y como radiadores para radiar calor al cielo nocturno. Un depósito de agua vertical, dividido en su punto medio por un deflector térmico, proporciona el almacenamiento tanto de agua caliente en la sección superior, como de agua fría en la sección inferior; además se puede disponer de una bomba de calor para la transferencia de calor desde la sección fría del depósito a la caliente; el serpentín del condensador

tiene que estar en la sección superior. En la Fig VI.15 se muestra un diagrama esquemático del sistema de funcionamiento, que puede ser de:

- Sólo calefacción
- Sólo refrigeración
- Calefacción y refrigeración

a) Para el funcionamiento de sólo calefacción, la energía solar se colecta cuando sea posible, y se hace circular el agua que se ha calentado a la parte inferior del depósito; cuando el termostato de la habitación pida calor, el agua caliente almacenada en la parte superior del depósito se conduce al panel de radiación de calor. La bomba de calor funciona en el sentido de bombear calor desde la parte inferior hasta la parte superior del depósito, con el fin de elevar la temperatura, en la parte superior del mismo, a niveles en los que se puedan satisfacer las necesidades de calor del edificio.

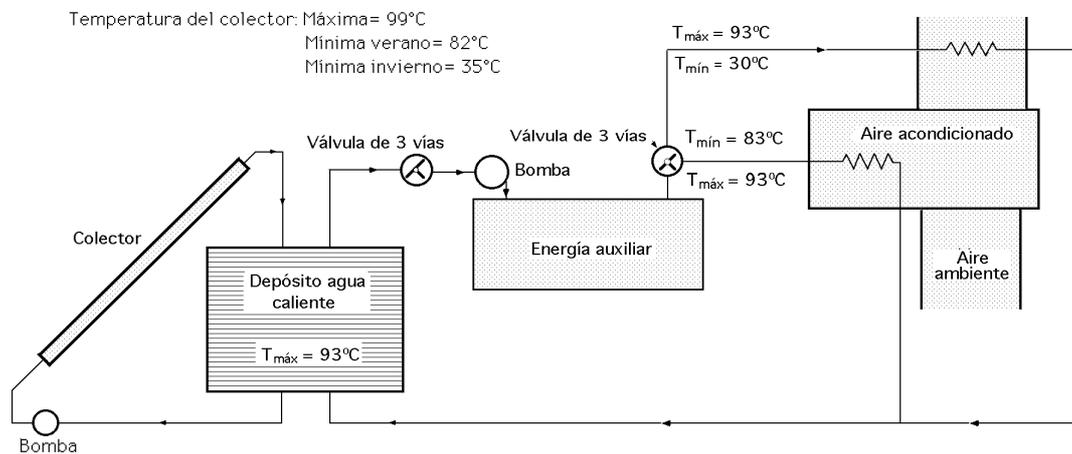


Fig VI.15.- Sistema de calefacción-refrigeración

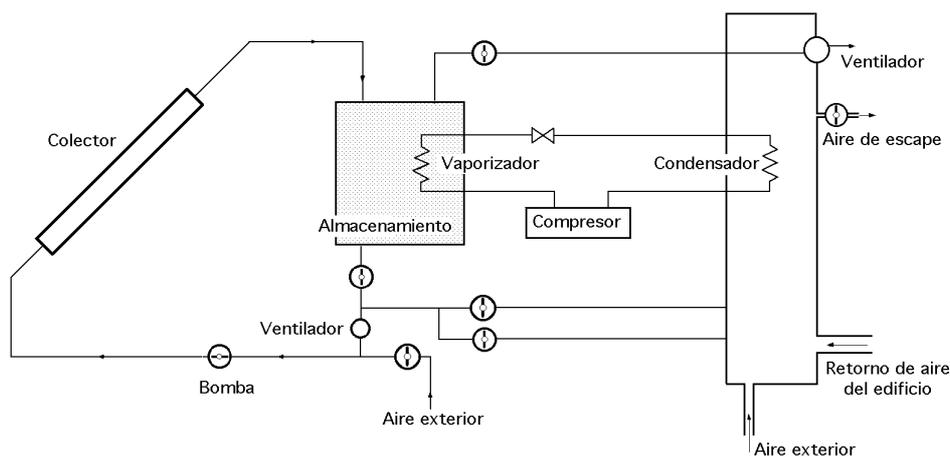


Fig VI.16.- Esquema de bomba de calor por energía solar para calefacción y refrigeración

b) Para el funcionamiento de sólo refrigeración, el agua del depósito superior se enfría con la radiación nocturna del colector-radiador; se retira el agua de refrigeración de la parte inferior del depósito para enfriar el edificio, y cuando las necesidades del mismo lo exijan, la bomba de calor hace descender la temperatura del agua en la sección inferior.

c) Para el funcionamiento como calefacción y refrigeración, en primavera y otoño, el agua calentada por energía solar se almacena en la parte superior del depósito, y el agua enfriada por la radiación en la parte inferior del mismo; tanto la calefacción como la refrigeración del edificio se obtienen a partir de la sección del depósito correspondiente, superior o inferior.

La bomba de calor funciona en el sentido de elevar la temperatura en la sección superior, o de descender la temperatura en la sección inferior, de acuerdo con las necesidades del edificio. Con los sistemas utilizados en la refrigeración del edificio por medio de paneles radiantes, no es posible conseguir una buena deshumidificación, ya que estos sistemas extraen el calor del aire de la habitación, a temperaturas muy por encima de las temperaturas a que se encuentran los evaporadores de los acondicionadores de aire normales, por lo que su uso queda restringido a ser utilizados sólo en climas secos, si es que no se les dispone de los correspondientes deshumidificadores.

El COP de los colectores solares es más alto a temperaturas bajas, siendo el COP de las bombas de calor más alto cuando la temperatura del evaporador es más alta, por lo que se ha considerado la utilización de los colectores solares como fuentes térmicas para las bombas de calor.

Un esquema de un sistema de este tipo se presenta en la Fig VI.16, mostrándose el almacenamiento en el lado del evaporador de la bomba de calor de una sola fase. También se puede disponer el almacenamiento de calor en el lado del condensador; en este caso, hay que adaptar la capacidad de la bomba de calor a la máxima energía disponible en el colector, en lugar de a las máximas cargas de calefacción de la casa, siendo posibles otras variantes.

El COP y el coste del colector y de la bomba de calor se mejoran cuando los dos elementos funcionan unidos en vez de por separado; a la hora de comprar los dos componentes hay que tener en cuenta que ésto puede representar una mayor inversión, así como la desventaja de tener que utilizar energía eléctrica, que podría ocasionar una distribución desfavorable de cargas en las plantas generadoras.