

# Refrigeración Solar

Por Francesc Padrós Corominas

Apoderado de ABSORSISTEM, S.L.

*Dos preocupantes circunstancias de nuestro tiempo convergen en la necesidad de servirse de fuentes de energía alternativas a las normalmente utilizadas: la localización y agotamiento de las de origen fósil y la contaminación atmosférica como consecuencia de su uso. La primera de ellas fija en un horizonte no muy lejano el agotamiento de las reservas mundiales y a la vez, es la causa fundamental de los continuos conflictos bélicos encaminados a lograr su control. Paralelamente, la segunda es la principal responsable del recalentamiento del planeta, poniendo en grave riesgo su equilibrio vital.*



Planta de absorción Yazaki

Frente a esta problemática, la necesidad de utilizar fuentes energéticas renovables que a la vez no sean contaminantes, se ha convertido en una necesidad global que formalmente casi nadie contradice. Además, la gravedad de la situación está ejerciendo una importante presión social con el fin de lograr acuerdos políticos mundiales encaminados a establecer límites e invertir este proceso, acuerdos de difícil elaboración como ha puesto de

manifiesto la ausencia de compromisos logrados en la reciente cumbre de Copenhague.

Si trasladamos este escenario global al marco concreto de nuestro país, vemos que estamos todavía lejos de cumplir los modestos compromisos adquiridos para 2008 de no superar en más de un 15% las emisiones de dióxido de carbono de 1990, puesto que en realidad se superaron en

un 37%. Una parte sustancial de estas emisiones sigue siendo debidas al uso de carbón y combustibles de origen fósil en las centrales térmicas de producción eléctrica y ello a pesar del meritorio aumento del uso de energías no contaminantes, especialmente la eólica.

Según publican los Ministerios de Vivienda y de Industria españoles, la emisión específica media de CO<sub>2</sub> con el parque de generación eléctrica peninsular, es de 649 g por kW eléctrico generado, que con las pérdidas debidas a transformación y transporte, puede elevar esta cifra a unos 705 g por kW útil en el territorio peninsular, siendo todavía mayor en el insular.

Por otra parte, según ha publicado el IDAE, en España el consumo eléctrico en la refrigeración de los edificios supone el 11,1% del total. Por lo tanto, sabiendo que la demanda eléctrica española ha sido durante el año 2009 de 266.873 GWh, ello significa que casi 30.000 GWh han sido consumidos por los equipos de refrigeración de edificios, lo que representa la emisión de más de 20 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>.

En consecuencia, resulta evidente que uno de los sectores donde es convenien-

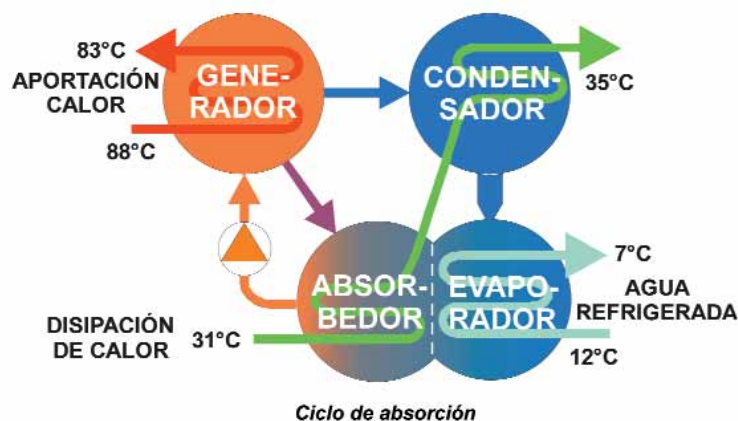
te actuar para limitar su avidez de consumo eléctrico, es el de la climatización, siendo la mejor opción el uso de energías alternativas, preferentemente renovables y gratuitas.

Esta es la opción que desde hace años está siendo satisfactoriamente cubierta por las plantas enfriadoras de agua por ciclo frigorífico de absorción, alimentadas por agua caliente procedente de captadores solares térmicos.

### EL CICLO DE ABSORCIÓN TRANSFORMA EL CALOR EN REFRIGERACIÓN.

Las plantas enfriadoras de agua por ciclo frigorífico de absorción permiten utilizar energía térmica para bombear calor desde un medio a enfriar hasta un sumidero de calor. Este criterio que define toda bomba de calor, es igualmente válido para el ciclo de compresión como para el de absorción, si bien este último fue el primero a ser puesto a punto y comercializado desde mediados del siglo XIX.

En las máquinas por ciclo de absorción, el efecto frigorífico se obtiene, al igual que con el de compresión, mediante la evaporación de un fluido que toma de su entorno el calor latente necesario para su



evaporación. No obstante, mientras que en el ciclo por compresión se realiza una compresión mecánica del vapor refrigerante aspirado del evaporador, en el de absorción el vapor es previamente absorbido por un líquido conteniendo un producto absorbente del vapor refrigerante para ser a continuación sometido, en fase líquida, a una compresión de origen térmico.

El principio de funcionamiento de los sistemas de absorción se basa en la afinidad fisicoquímica que tienen entre ellas ciertas sustancias, por lo que se favorece el proceso de absorción química. Una de las sustancias (la más volátil) actúa como refrigerante y la otra como absorbente. Las parejas de compuestos comúnmente usados por los fabricantes de estos equipos son el agua y el amoníaco, o el bromuro de litio y el agua.

La representación esquemática del funcionamiento del ciclo de absorción, se ilustra en la figura anexa. El refrigerante, al entrar en el evaporador que se encuentra a una presión sensiblemente inferior a la del recipiente condensador del que procede en estado líquido, hierve tomando el calor para el cambio de estado del líquido que circula por el interior del haz tubular de este intercambiador. El refrigerante en estado vapor es absorbido por el producto absorbente en la cámara contigua llamada absorbedor, con la que comparte espacio y presión. La absorción es un proceso de disolución endotérmico que requiere un medio externo de enfriamiento para mantener la temperatura de la solución y evitar que aumente la presión en este espacio común. A continuación, la masa de absorbente que ya contiene el refrigerante absorbido, se transporta, mediante bombeo que hace también aumentar la presión, hasta otro intercambiador de calor cuya función es volver a separar el refrigerante del absorbente, por destilación del primero. Este

intercambiador de calor se denomina generador y es el que recibe en su lado primario el calor que aporta la energía necesaria para lograr el funcionamiento del ciclo, mientras que por el secundario circula la solución de refrigerante y absorbente. Este calor puede lograrse por combustión o bien recibirlo de un fluido caliente como agua o vapor de agua de cualquier procedencia, pero preferentemente residual o gratuito.

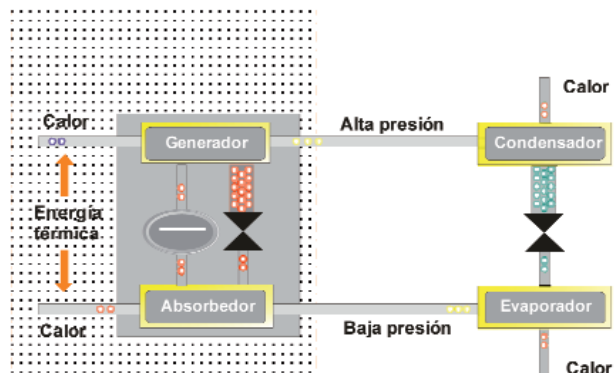
En el generador, el calor aportado hace hervir el fluido refrigerante separándolo de la solución absorbente, la cual y debido a ello, aumenta su concentración si se trata de una solución salina o su pureza si se trata de agua, de forma que crece también su capacidad de absorber refrigerante cuando de nuevo se encuentre con él en el absorbedor, que es el destino de ésta cuando sale del generador.

Mientras, el flujo de vapor refrigerante destilado en el generador, pasa por diferencia de presión a otro intercambiador de calor denominado condensador en el cual es enfriado por medios externos hasta su punto de rocío para lograr su condensación.

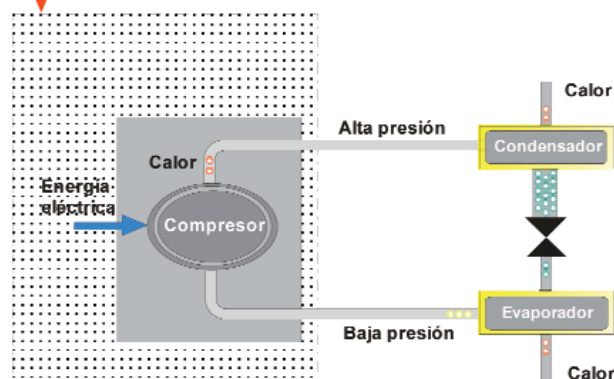
Este líquido refrigerante situado en el condensador y sometido todavía a alta presión, pasa al evaporador por diferencia de presión donde se evapora parcialmente, llevando la temperatura de la masa del líquido a la temperatura de saturación que corresponde a la presión a la que se encuentra la cámara del evaporador. De esta forma, el líquido refrigerante está en condiciones de tomar calor del fluido que circula por el interior del circuito secundario del evaporador, hasta evaporarse totalmente, cerrando así el ciclo.

Al igual que en el ciclo de compresión mecánica, nos referimos a la sección que comprende desde la bomba de solución

### CICLO DE ABSORCIÓN



### CICLO DE COMPRESIÓN



hasta la salida del condensador como la zona de alta presión y desde el evaporador hasta la aspiración de la bomba como la de baja presión, lo que significa que las similitudes entre los dos ciclos desde el punto de vista termodinámico son muchas. Ver comparación entre los dos ciclos en la figura anexa.

Cabe decir además, que en la práctica se añaden intercambiadores de calor entre el flujo de solución concentrada en su camino del generador al absorbedor y el de la solución diluida que fluye del absorbedor al generador, de manera a aumentar la eficiencia del sistema.

Los equipos de absorción utilizados para aprovechar la energía contenida en el agua calentada por la radiación solar, emplean una solución de bromuro de litio (LiBr) y agua en la cual el agua es el refrigerante y el LiBr al absorbente.

Para lograr que el agua actúe como refrigerante al evaporarse, es necesario mantener en el evaporador una presión absoluta de 0,76 kPa a la cual el agua hierve a 3°C. El LiBr por su parte, es una sal similar a la sal común que posee una alta afinidad con el agua en la cual se disuelve fácilmente. Esta característica hace que en el absorbedor, el vapor resultante de la evaporación de agua en el evaporador, sea absorbido por el LiBr presente en la solución concentrada que procede del generador, diluyéndola para acceder de nuevo al generador.

En estas plantas enfriadoras se obtiene agua refrigerada a baja temperatura (hasta 5°C) lo que permite utilizarla en instalaciones convencionales de aire acondicionado con climatizadores o fan-coils para asegurar también el proceso de deshumectación del aire, como parte importante del confort. Evaporando a temperaturas más elevadas, como es lógico aumenta también su capacidad frigorífica.

Si bien se consigue la capacidad frigorífica nominal entrando el agua caliente de generación a 88°C, la realidad es que incluso con temperatura de 68°C se sigue transformando la energía térmica en refrigeración, aunque su capacidad frigorífica resulta proporcionalmente disminuida.

### CAPACIDAD FRIGORÍFICA DE LA SUPERFICIE SOLAR

Es evidente que la relación entre la superficie del campo de captadores solares y la potencia frigorífica que puede obtenerse de él, depende de distintas

variables que deberán tenerse en cuenta al realizar el proyecto. No obstante, a título meramente orientativo y con el fin de poder efectuar una primera aproximación a esta relación, podemos considerar que con captadores de eficiencia razonable, orientados al sur y con la inclinación adecuada, se puede obtener de las 10:00 h a las 14:00 h una captación media neta de  $606 \text{ Wh/m}^2$  con captadores planos y unos  $704 \text{ Wh/m}^2$  con captadores de tubos de vacío. Sabiendo que la eficiencia de las máquinas de absorción de simple efecto con agua caliente es del 70%, se deduce que para obtener 1 kW de refrigeración hace falta aproximadamente  $2,4 \text{ m}^2$  de captadores solares planos o poco más de  $2 \text{ m}^2$  si son captadores de tubos de vacío.

Por otra parte, la curva de demanda de refrigeración no siempre coincide con la evolución de la radiación solar a lo largo del día, por lo que es necesario disponer de un campo de captación que durante las horas altas tenga un excedente a guardar en depósitos acumuladores de agua caliente para ser utilizada cuando la radiación solar sea insuficiente. Sin duda el cálculo de la acumulación necesaria es uno de los aspectos más delicados y variará de manera significativa según las características de cada instalación. Por todo ello, puede considerarse que la superficie solar necesaria para producir 1 kW de agua refrigerada a  $7^\circ\text{C}$  es del orden de  $2,5 \text{ m}^2$  a  $3 \text{ m}^2$ .

### CRITERIOS DE DISEÑO

Sea cual sea el criterio adoptado para el diseño de la instalación, es evidente que debe lograrse prioridad absoluta para el uso de la energía solar de manera que ésta desplace la mayor cantidad posible de energía convencional, eléctrica o térmica, utilizada por enfriadoras clásicas o por la caldera de apoyo.

Si la unidad se incorpora a un circuito existente o de nueva planta, pero concebido para cubrir las necesidades totales de refrigeración con energía convencional, pretendiéndose solo aprovechar los captadores solares, probablemente compartidos para otros usos (ACS o calefacción) para optimizar los costes de explotación mediante ahorro de energía convencional, se aconseja conectar la unidad en paralelo con el retorno de la instalación. De esta forma el agua de retorno es pre-enfriada en la máquina de absorción de manera que la planta enfriadora convencional solo debe eventualmente acabar de reducir la temperatura. Ello permite también mantener el caudal necesario en la máquina de absorción e igualmente en el circuito general de distribución, probablemente mayor que el primero. En instalaciones de gran consumo como hoteles, hospitales o clínicas, al cubrir con la refrigeración una fracción relativamente pequeña de las necesidades globales, estas máquinas pueden trabajar muchas horas al año ya que para ellas siempre hay demanda suficiente, lo que permite una mejor amortización por el ahorro que producen. Además, aprovechan el calor excedente captado en verano en vez de tener que gastar en sistemas de disipación.

Si por el contrario se ha previsto que la planta de absorción por agua caliente cubra la totalidad de la demanda, sin intervención de ninguna otra unidad de refrigeración, pero disponiendo de una caldera para cubrir el déficit de agua caliente cuando sea necesario, se dispondrá la caldera en paralelo sobre el circuito general de forma que solo intervenga cuando sea realmente imprescindible. Se aconseja la utilización de calderas de biomasa para seguir haciendo una instalación sostenible y para evitar el elevado coste de los combustibles convencionales.

## VENTAJAS Y BENEFICIOS DEL USO DE REFRIGERACIÓN CON AGUA CALIENTE PROCEDENTE DE CAPTADORES SOLARES TÉRMICOS.

A modo de resumen, deben mencionarse las siguientes ventajas y beneficios:

1. Ahorro del coste equivalente a la energía convencional que se habría consumido para lograr la refrigeración obtenida con la energía solar. Se aconseja colocar contadores de energía para poder calcular el ahorro real.
2. Reducción de la potencia eléctrica a contratar si el apoyo se hace con biomasa o combustible líquido o gaseoso.
3. Reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> correspondientes al consumo eléctrico evitado, que puede estimarse en unos 111 kg de CO<sub>2</sub> por temporada de refrigeración por cada m<sup>2</sup> de captador solar.
4. Disminución de la importación de combustibles fósiles para alimentar las centrales eléctricas de tipo térmico, en la misma medida que la energía eléctrica evitada.
5. Disipar el calor de los captadores solares térmicos utilizados en la producción de agua caliente sanitaria y calefacción, que en verano tienen importantes excedentes que deben ser retornados a la atmósfera mediante aerodisipadores que conllevan consumo eléctrico para hacer funcionar los ventiladores.

Digamos por acabar que la tecnología de absorción no solo se conoce desde hace más de un siglo y medio sino que está ampliamente probada con más de 500 equipos Yazaki funcionando satisfactoriamente en nuestro país. ■