

## Índice

Indice 1

Introducción 2

¿ Cómo funciona una bomba de calor? 3

Clasificación de las bombas de calor 5

Funcionamiento de las bombas de calor 6

Focos de la bomba de calor 9

Componentes de la bomba de calor 11

Refrigerantes 16

Coeficientes de prestación 17

Aplicaciones de la bomba de calor 20

Bomba de calor y medio ambiente 28

Proyectos de investigación y desarrollo tecnológico 34

Eficiencia o rendimiento de la bomba de calor 38

Definiciones de términos 40

Direcciones 41

Introducción

¿Qué es lo que entendemos por una bomba de calor?

Denominamos BOMBA DE CALOR a una máquina térmica capaz de transferir calor de una fuente fría a otra más caliente. Podríamos definirlo como un equipo de aire acondicionado, que en invierno toma calor del aire exterior, a baja temperatura y lo transporta al interior del local que se ha de calentar; todo este proceso se lleva a cabo mediante el accionamiento de un compresor.

Sus ventajas fundamentales son su consumo. El ahorro de energía, que es lo mismo que decir, ahorro de dinero. Sirva como ejemplo: por 1 KW de consumo de la red eléctrica, da 3KW de rendimiento en calor; lo cual equivale a decir que consumiendo la misma energía eléctrica, la Bomba de Calor suministra 3 veces más calor que un aparato de calefacción eléctrica.

Resumiendo, la Bomba de Calor tanto en invierno como en verano; actúa como un equipo acondicionador de aire para darnos nuestro hogar.

¿Cómo funciona una bomba de calor?

El calor fluye de forma natural desde las altas temperaturas a las bajas

temperaturas. Sin embargo, la Bomba de Calor es capaz de hacerlo en dirección contraria, utilizando una cantidad de trabajo relativamente pequeña. Las Bombas de Calor pueden transferir este calor desde las fuentes naturales del entorno a baja temperatura (foco frío), tales como aire, agua o la propia tierra, hacia las dependencias interiores que se pretenden calentar o bien para emplearlo en procesos que precisan calor. Es posible también aprovechar los calores residuales de procesos industriales como foco frío, lo que permite disponer de una fuente a temperatura conocida y constante que mejora el rendimiento del sistema.

Las Bombas de Calor también pueden ser utilizadas para refrigerar. En este caso la transferencia de calor se realiza en el sentido contrario, es decir desde la aplicación que requiere frío al entorno que se encuentra a temperatura superior.

En algunas ocasiones, el calor extraído en el enfriamiento es utilizado para cuando se necesita calentar algo.

Para transportar calor desde la fuente de calor al sumidero de calor, se requiere aportar un trabajo.

Teóricamente, el calor total aportado por la Bomba de Calor es el extraído de la fuente de calor más el trabajo externo aportado.

El principio de funcionamiento de las Bombas de Calor provienen del establecimiento por Carnot en 1824, de los conceptos de ciclo y reversibilidad, y por la concepción teórica posterior de Lord Kelvin. Un gas que evoluciona en ciclos, es comprimido y luego expansionado y del que se obtiene frío y calor.

El desarrollo de los equipos de refrigeración tuvo un rápido progreso, en

aplicaciones como la conservación de alimentos y el aire acondicionado. Sin embargo las posibilidades de utilizar la otra fuente térmica, el calor o el frío y calor simultáneamente no se aprovecharon.

Esto fue debido por una parte a las dificultades tecnológicas que presentaba la construcción de la Bomba de Calor y por otra al bajo precio de la energía, que hacía que ésta no fuera competitiva con los sistemas tradicionales de calefacción a base de carbón, fuel-oil o gas, que presentaban una clara ventaja en relación con sus costes. Pero la crisis del petróleo y la subida de los precios de los combustibles a partir de

1973, benefició el desarrollo de la Bomba de Calor.

En el momento actual la utilización de Bombas de Calor supone un ahorro energético y que se reduzcan las emisiones de CO<sub>2</sub>. Las Bombas de Calor consumen menos energía primaria que cualquier otro sistema pero hay que tener en cuenta como se genera la energía eléctrica que consumen las bombas de calor para saber si de verdad no contaminan.

Si la energía eléctrica proviene de fuentes como la hidroeléctrica ó eólica, entonces la contaminación es nula, pero si son de otras como las térmicas es evidente que existe esa contaminación, que de todas maneras es mucho menor que otros aparatos.

### Clasificación de las bombas de calor

Las bombas de calor se pueden clasificar de distintas maneras:

el Tipo de Proceso:

–Bombas de Calor, cuyo compresor está impulsado mecánicamente por un motor

eléctrico de gas, diesel, o de otro tipo.

–Bombas de Calor de accionamiento térmico (Bombas de Calor de absorción), en las que el ciclo se impulsa mediante calor a temperaturas elevadas.

–Bombas de Calor electrotérmicas, que funcionan según el efecto Peltier. el medio de origen y destino de la energía

Esta clasificación es la más utilizada. La Bomba de Calor se denomina mediante dos palabras. La primera corresponde al medio del que absorbe el calor (foco frío) y la segunda al medio receptor (foco caliente). Este cuadro en un principio puede parecer un poco complicado pero lo explico más abajo.

Medio del que Medio al que se

extrae la energía cede la energía

Según medio de origen y AIRE AIRE

de destino de la energía AIRE AGUA

AGUA AIRE

AGUA AGUA

TIERRA AIRE

TIERRA AGUA

– Las bombas de calor aire–aire: son las que más se usan, sobre todo en climatización. – Bombas de calor aire–agua: se utilizan para producir agua fría para refrigeración o agua caliente para calefacción y agua sanitaria.

– Bombas de calor agua–aire: Permiten aprovechar la energía contenida en el agua de los ríos, mares, aguas residuales, etc. Producen unos rendimientos energéticos mejores que las que utilizan aire exterior.

– Bombas de calor agua–agua: son bastante parecidas a las anteriores.

– Bombas de calor tierra–aire y tierra–agua: Aprovechan el calor contenido en el terreno. Son instalaciones muy raras, por su coste y la gran superficie de terreno requerido

construcción

– Compacta: Todos los elementos que constituyen la Bomba de Calor se encuentran alojados dentro de una misma carcasa.

–Split o partidas: Están constituidas por dos unidades separadas. Una exterior donde se aloja el compresor y la válvula de expansión y una unidad interior. De esta manera se evitan los ruidos en el interior local.

–Multi-split: Están constituidas por una unidad exterior y varias unidades interiores.

funcionamiento

–Reversibles: Pueden funcionar tanto en ciclo de calefacción como en ciclo de refrigeración invirtiendo el sentido de flujo del fluido.

–No reversibles: Únicamente funcionan en ciclo de calefacción.

–Termofrigobombas: Producen simultáneamente frío y calor.

### Funcionamiento de una bomba de calor

#### &Bomba de Calor de Compresión Mecánica

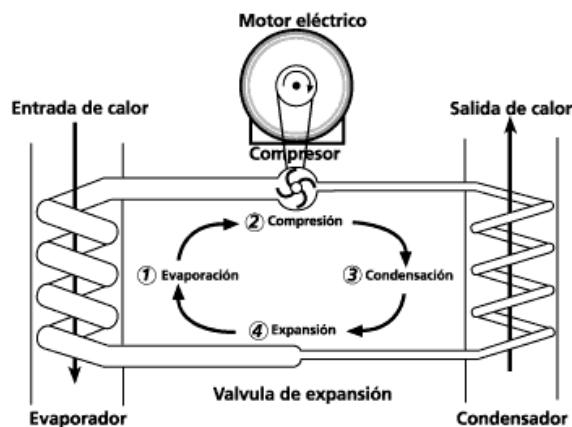
La mayor parte de las Bombas de Calor existentes trabajan con el ciclo de compresión de un fluido condensable.

Sus principales componentes son:

- Compresor
- Válvula de expansión
- Condensador
- Evaporador

Los componentes se conectan en un circuito cerrado por el que circula un fluido refrigerante.

### BOMBA DE CALOR DE COMPRESIÓN MECÁNICA ACCIONADA POR MOTOR ELÉCTRICO



bomba de calor de compresión mecánica  
accionada por motor eléctrico.

Etapas del ciclo

1. En el evaporador la temperatura del fluido refrigerante se mantiene por debajo de la temperatura de la fuente de calor (foco frío), de esta manera el calor fluye de la fuente al fluido refrigerante propiciando la evaporación de éste.
2. En el compresor el vapor que sale del evaporador es comprimido elevando su presión y temperatura.
3. El vapor caliente accede al condensador. En este cambiador, el fluido cede el calor de condensación al medio.
4. Finalmente, el líquido a alta presión obtenido a la salida del condensador se expande mediante la válvula de expansión hasta alcanzar la presión y temperatura del evaporador. En este punto el fluido comienza de nuevo el ciclo accediendo al evaporador.

El compresor puede ser accionado por un motor eléctrico o por un motor térmico.

- Bombas de calor eléctricas: En este tipo de bombas el compresor es accionado por un motor eléctrico. ( como la imagen del dibujo anterior)
- Bomba de calor con motor térmico: El compresor es accionado mediante un motor de combustión, alimentado con gas o con un combustible líquido. Las más extendidas son las Bombas de Calor con motor de gas. (como el dibujo siguiente)

### BOMBA DE CALOR CON MOTOR DE GAS

Ciertos tipos de Bombas de Calor (reversibles) son capaces de proporcionar calefacción y refrigeración. Las Bombas de Calor reversibles incorporan una válvula de 4 vías que permite la inversión de circulación del fluido frigorífico. De esta forma se consigue:

Que se bombee calor del exterior hacia el interior en el ciclo de calefacción.

Que se bombee calor del interior hacia el exterior en el ciclo de refrigeración.

En el siguiente dibujo se esquematizan los ciclos de calefacción y refrigeración.

El funcionamiento de una Bomba de Calor reversible es el siguiente:

### Ciclo de calefacción:

- El compresor eleva la presión y temperatura del fluido frigorífico. (1)
- En el intercambiador, situado en el interior del recinto a calentar, el fluido cede al aire del recinto el calor de su condensación. (2)
- El fluido en estado líquido y a alta presión y temperatura se expande en la válvula de expansión reduciendo su presión y temperatura, evaporándose en parte. (3)
- En el intercambiador situado en el exterior el fluido refrigerante completa su evaporación absorbiendo calor del aire exterior, retornando al compresor (1) a través de una válvula de cuatro vías. (5)

## CICLOS DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

### Ciclo de refrigeración:

- El compresor eleva la presión y temperatura del fluido frigorífico (1) siguiendo su camino a través de la válvula de 4 vías (5).
- En el intercambiador, situado en el exterior, el fluido se condensa cediendo su calor al medio exterior. (4)
- El fluido en estado líquido y alta presión se expande en la válvula de expansión reduciendo su presión y evaporándose en parte. (3)
- En el intercambiador (2), situado en el interior del recinto a refrigerar, el fluido frigorífico completa su evaporación absorbiendo calor del medio interior.

### &Bomba de Calor de Absorción

Las Bombas de Calor de absorción son accionadas térmicamente, esto quiere

decir que la energía aportada al ciclo es térmica en vez de mecánica como en el caso del ciclo de compresión. El sistema de absorción se basa en la capacidad de ciertas sales y líquidos de absorber fluido refrigerante. Las parejas de fluidos más utilizadas actualmente son: agua como fluido refrigerante en combinación con bromuro de litio como absorbente, o bien el amoníaco como refrigerante utilizando agua como absorbente.

## BOMBA DE CALOR DE ABSORCIÓN

Los ciclos de absorción son análogos a los de compresión, únicamente se sustituye el compresor por un circuito de disoluciones que realiza la misma función que éste, es decir, eleva la presión y temperatura del fluido frigorífico en estado vapor. El circuito de disoluciones, denominado 2 en el dibujo, consiste en un absorbedor, una bomba que impulsa la disolución, un generador y una válvula de expansión.

Se obtiene energía térmica a media temperatura en el condensador y en el absorbedor. En el generador se consume energía térmica a alta temperatura, y en la bomba energía mecánica.

### Focos de la bomba de calor

La Bomba de Calor extrae energía de un medio. Mediante el trabajo externo aportado, esta energía es cedida a otro. El medio del que se extrae la energía se llama foco frío y el medio al que se cede se llama foco caliente.

En el esquema de la página siguiente se presentan algunos focos entre los que se puede

bombar calor

Fríos

Un foco frío ideal es aquel que tiene una temperatura elevada y estable a lo largo de la estación en que es necesario calentar, está disponible en abundancia, no es corrosivo o contaminante, tiene propiedades termodinámicas favorables, y no requiere costes elevados de inversión o mantenimiento.

Aire atmosférico.

Su utilización presenta problemas de formación de escarcha. Este problema se resuelve invirtiendo el ciclo durante pequeños períodos, lo que supone un gasto adicional de energía. Para temperaturas por encima de 5°C no es necesario el desescarche.

Aire de extracción.

Esta es una fuente de calor común en edificios residenciales y comerciales. La Bomba de Calor recupera el calor del aire de ventilación y proporciona calefacción. Existen sistemas diseñados para trabajar con una combinación de aire natural y de aire de extracción.

Aguas naturales

Se pueden utilizar como focos fríos las aguas de ríos, lagos, aguas subterráneas o del mar. La eficiencia obtenida con este foco es muy elevada y no presenta problemas de desescarche. La temperatura del agua del mar a cierta profundidad (25–50 m) es constante (5/8°C) e independiente de cambios climáticos en el exterior, además la congelación no tiene lugar hasta –1 ó –2°C. Cuando se utiliza agua del mar hay que prever problemas de corrosión y de proliferación de algas.

Energía solar

Consiste en la captación de energía solar mediante paneles solares, en combinación con la Bomba de Calor.

Energía geotérmica del suelo y subsuelo

Estas bombas se suelen utilizar en climas fríos donde las temperaturas extremas no permiten el funcionamiento de bombas que utilicen como foco frío el aire exterior. Para aprovechar la energía del suelo es necesario un sistema de tuberías. Estas instalaciones tienen un coste elevado, y requieren una gran superficie de terreno.

Energías residuales y procedentes de procesos

Como foco frío se pueden utilizar efluentes industriales, aguas utilizadas para enfriar procesos de la industria o de los condensadores de producción de energía eléctrica, aguas residuales, etc. Son fuentes con una temperatura constante a lo largo del año. Los principales problemas para su utilización son la corrosión y obstrucción del evaporador como consecuencia de las sustancias contenidas en las mismas.

calientes

Aire

El calor obtenido del foco frío se cede al aire que pasa directamente a la habitación o es forzado a través de un sistema de conductos.

### Agua

Apropiados para la producción de agua para calefacción o agua caliente sanitaria y procesos industriales. A través de un sistema de tuberías se distribuye a radiadores especialmente diseñados, a sistemas de suelo radiante o a fan-coils.

### ¿Cuáles son los componentes de la bomba de calor?

Eleva la presión del vapor refrigerante desde una presión de entrada a una presión de salida más alta. Se pueden clasificar en dos grandes grupos: compresores volumétricos o de desplazamiento positivo, que pueden ser alternativos o rotativos, y compresores centrífugos.

En cuanto al acoplamiento motor-compresor pueden ser:

- Abiertos: El motor y el compresor son independientes. Los ejes se acoplan en el montaje asegurándose la estanqueidad en el paso del eje.
- Semiherméticos: El compresor y el motor comparten el eje. Parte del calor generado en el motor se recupera en el fluido refrigerante, con lo que el rendimiento es superior al de los abiertos.
- Herméticos: El motor y el compresor, además de compartir el eje, se alojan en la misma envolvente, con lo que la recuperación del calor generada en el motor es mayor.

En las Bombas de Calor eléctricas se utilizan compresores herméticos para

potencias inferiores a 60–70 kW, para potencias superiores, (normalmente

Bombas de Calor aire-agua) se utilizan compresores semiherméticos.

Unicamente se utilizan compresores abiertos en aplicaciones aisladas y nunca en

equipos de serie.

En las Bombas de Calor accionadas mediante motor de gas el compresor es

abierto. El compresor lleva incorporado un embrague electromagnético que

permite la regulación de la potencia en función de la demanda térmica.

Las bombas de calor de gas suelen disponer de un motor de cuatro tiempos con un compresor alternativo abierto.

### Alternativos

Los alternativos húmedos están compuestos por un número variable de cilindros en el interior de los cuales se desplazan pistones que comprimen el fluido. Los cilindros se suelen disponer en posición radial. El fluido entra y sale de ellos por válvulas accionadas por la presión diferencial entre ellos. Disponen de un sistema de

lubricación mediante aceite a presión.

Este circuito de aceite actúa también como refrigerante. La refrigeración mediante aceite presenta problemas de ensuciamiento del fluido refrigerante con aceite que puede penetrar en el interior del cilindro.

Los alternativos secos consiguen presiones de salida más elevadas que en los anteriores, ya que la compresión tiene lugar en varias etapas. Se extrae el calor generado en la compresión mediante circuitos de agua en las etapas entre compresiones.

La estanqueidad entre cilindro y pistón se logra mediante segmentos muy resistentes que no requieren refrigeración, a base de materiales como el politetrafluoro etileno. Este tipo de compresores tiene un costo más elevado y desarrollan mayores potencias.

## COMPRESOR ALTERNATIVO

### Rotativos

El compresor de tornillo seco consiste en dos rodillos con un perfil helicoidal, uno macho y otro hembra que giran con sus ejes paralelos. Al girar, el espacio entre ellos primero aumenta, generando una depresión mediante la que se aspira el fluido, y posteriormente se reduce comprimiendo el fluido. Al no existir contacto entre los rótores no es preciso lubricar con aceite, sin embargo sí es necesaria una refrigeración auxiliar.

En el caso del compresor de tornillo húmedo se inyecta aceite a presión entre los rótores para conseguir lubricación y refrigeración. Los compresores de tornillo se utilizan en generación de potencias térmicas muy elevadas a partir de 500 kW y suelen ser semiherméticos.

## COMPRESOR ROTATIVO

### Espiral o scroll

Los compresores de espiral o scroll se utilizan para potencias térmicas de hasta 30 kW. El refrigerante se comprime por la variación del volumen causada por la espiral giratoria. Son herméticos y permiten la aspiración y descarga simultánea del refrigerante sin necesidad de una válvula. La reducción de partes móviles mejora el desgaste y en consecuencia la duración de estos equipos.

## COMPRESOR DE ESPIRAL O SCROLL

### Swing

Los compresores swing se utilizan en equipos de baja potencia térmica (hasta 6 kW). Son rotativos herméticos y consiguen la variación del volumen mediante un pistón rodante.

### Centrífugos

Suelen tener varias etapas de manera que consiguen grandes saltos de presión y se destinan a equipos de gran potencia.

/u>

Se pueden clasificar en:

-Condensadores que ceden el calor del fluido refrigerante al aire

Estos condensadores suelen ser de tubos de cobre con aletas de aluminio que incrementan la transmisión de calor. Adicionalmente estas baterías disponen de ventiladores que inducen la circulación del aire a calentar entre las aletas del condensador.

#### Condensadores que ceden el calor del fluido refrigerante al agua

Pueden ser:

–Cambiadores de doble tubo en contracorriente:

El fluido refrigerante circula por el espacio entre tubos donde se condensa, mientras que el agua a calentar circula por el tubo interior. El material empleado para la fabricación de los tubos es el cobre, y se suele emplear en equipos de potencia térmica de 100 kW. Presenta problemas de mantenimiento por la dificultad de la limpieza.

–Multitubulares horizontales: El fluido refrigerante se condensa en el interior de los tubos de cobre que se encuentran arrollados dentro de una carcasa por donde circula el agua. La carcasa suele ser de acero con tapas de fundición. Debido a las características del agua puede ser necesario que los tubos del condensador sean de acero inoxidable o de aleación de níquel.

/u>

–Según el estado del vapor de refrigerante a la salida del evaporador estos se

clasifican en:

#### De expansión seca:

El vapor que se introduce en el compresor está ligeramente sobreelentado y hay ausencia total de líquido. Estos evaporadores se emplean con compresores centrífugos donde dada la elevada velocidad, la presencia de gotas de líquido dañaría los álabes.

#### Inundados:

El vapor que entra en el compresor se encuentra saturado y puede incluso contener gotas de líquido.

–Según el fluido del que extraiga el calor, los evaporadores pueden ser:

#### Evaporadores de aire:

Las baterías evaporadoras son similares a las condensadoras. Disponen de una serie de tubos por los que circula el fluido refrigerante y una carcasa donde se alojan estos tubos y donde se fuerza la corriente de aire desde el exterior con la ayuda de unos ventiladores. Estos ventiladores pueden ser axiales o centrífugos. Los centrífugos son capaces de

impulsar mayores caudales de aire y presentan menores niveles sonoros. Cuando la temperatura en la superficie de los tubos del evaporador disminuye por debajo del punto de rocío del aire se produce el fenómeno de la condensación y si se reduce aún más la temperatura el escarchado. El escarchado incide negativamente en los rendimientos por dos motivos: pérdida en la superficie de intercambio, y pérdida de carga en el flujo de aire a través del conjunto de tubos. Por esta razón las Bombas de Calor disponen de dispositivos de desescarche incorporando resistencias en el evaporador o invirtiendo el ciclo durante períodos reducidos de tiempo.

## VENTILADOR AXIAL Y VENTILADOR CENTRIFUGO

### Evaporadores de agua:

Pueden ser coaxiales en contracorriente o bien multitubulares.

os de expansión

Son los dispositivos mediante los que se realiza la reducción de presión isoentálpica (es decir con variación de entalpía igual a 0) desde la presión de condensación hasta la de evaporación.

Los elementos utilizados son:

–Tubo capilar para máquinas de potencia reducida y constante.

–Válvula de expansión: Las válvulas de expansión tienen una sección variable. Esta sección puede ser variada automáticamente de forma que el sobrecalentamiento tras la evaporación se mantenga constante y no accedan gotas de líquido al compresor. En este caso la válvula recibe el nombre de termostática.

## VÁLVULA EXPANSIÓN

vos de seguridad y control

Los dispositivos de seguridad y control paran el compresor en aquellos casos en que se esté trabajando fuera de las condiciones permitidas. Estos elementos de control son:

–Presostato de alta presión: Detiene el compresor cuando se alcanza una presión de condensación elevada.

–Presostato de baja presión. Detiene el funcionamiento del compresor cuando la presión de aspiración es demasiado baja.

–Presostato de aceite. Detiene el compresor cuando baja la presión del aceite del circuito de refrigeración y lubricación de aceite.

–Termostato de descarga. Desactiva el compresor cuando la temperatura dedescarga es demasiado elevada.

ivos auxiliares

### Válvulas de 4 vías:

Invierten el ciclo. Son utilizadas en Bombas de Calor reversibles, y en funcionamiento para desescarche.

### Válvulas solenoides:

Cuando el compresor se detiene, impiden el paso del fluido al evaporador evitando que se inunde.

### Depósito

A la salida del condensador y antes de la válvula de expansión se sitúa un depósito (acumulador) donde queda el excedente de fluido refrigerante. Antes del acumulador se dispone un filtro con el que se limpia el refrigerante de impurezas de tal manera que no dañe el compresor.

### Refrigerantes de la bomba de calor.

Los fluidos refrigerantes deben tener ciertas propiedades termodinámicas de tal manera que condensen y evaporen a las temperaturas adecuadas, para lograr su objetivo. Un fluido puede evaporar a mayor temperatura cuando se eleva su presión, pero los compresores no pueden alcanzar cualquier presión y los evaporadores y condensadores no deben trabajar a sobrepresiones ni depresiones elevadas respectivamente.

Por otra parte, los fluidos refrigerantes no deben ser tóxicos, ni inflamables, ni reaccionar con los materiales que constituyen la máquina.

Los fluidos halogenados presentan las mejores propiedades ya que trabajan en las temperaturas y presiones adecuadas para esta aplicación y no son tóxicos ni inflamables. No obstante, pueden contribuir a la destrucción de la capa de ozono. Si al final de su vida útil se liberan en el ambiente, la incidencia de rayos ultravioleta sobre estas sustancias hace que se fotodisocien quedando libres radicales de cloro, que acaban siendo transportados a la estratosfera donde reaccionan con el ozono destruyéndolo. Por estas razones, la utilización de estos refrigerantes está restringida por ley.

Actualmente el fluido con el que funcionan la práctica totalidad de las Bombas de Calor en España es el R-22, (HCFC-22) cuya fórmula química es CHClF<sub>2</sub>. El R-22 únicamente tiene un átomo de cloro y por tanto resulta menos perjudicial para la capa de ozono que los CFC's.

No obstante, y en virtud del reglamento de la Unión Europea 3093/94, se ha establecido un programa de reducción progresiva de utilización de los HCFC's, de forma que la producción de R-22 finalizará en el año 2014.

En cuanto a las temperaturas y presiones de funcionamiento en la aplicación de Bomba de Calor del R-22 estas suelen ser:

Temperaturas		Presiones (Kg/cm <sup>2</sup> abs)	
Evaporador	Condensador	Evaporador	Condensador
+25°C	+70°C	10,5	30,5

### Coeficientes de prestación de la bomba de calor.

Se define el coeficiente de prestación de una Bomba de Calor COP (Coefficient of performance) como el cociente entre la energía térmica cedida por el sistema y la energía de tipo convencional absorbida.

teórico

En un ciclo ideal de Carnot:

Siendo

- T<sub>1</sub>: Temperatura absoluta del foco caliente
- T<sub>2</sub>: Temperatura absoluta del foco frío

práctico

- Alpha es un coeficiente de rendimiento que tiene en cuenta que el ciclo real no se desarrolla en condiciones perfectas de isoentropicidad, (los procesos son irreversibles y no perfectamente adiabáticos). Este coeficiente oscila entre 0,3, en máquinas pequeñas, hasta 0,65 en las de gran potencia.

–  $T_f2$  y  $T_f1$  son respectivamente las temperaturas absolutas de evaporación y condensación del fluido refrigerante.

Para que la transmisión de calor entre el fluido refrigerante y un foco frío tenga lugar, es necesario que  $T_f2$  sea inferior a  $T_2$ . De la misma manera, para que el fluido refrigerante ceda calor al foco caliente,  $T_f1$  debe ser superior a la temperatura del foco caliente  $T_1$

El COP práctico depende del coeficiente de rendimiento a y de las temperaturas del foco frío y caliente. En la figura siguiente se representa esta dependencia.

Se le denomina REP (Rendimiento de Energía Primaria) o PER (Primary Energy Ratio) en terminología anglosajona.

Este coeficiente, justifica la utilización de la Bomba de Calor frente a otras alternativas tradicionales.

#### COP PRÁCTICO DE UNA BOMBA DE CALOR.

Bomba de calor eléctrica	Bomba de calor con motor de combustión	Bomba de calor de absorción de simple efecto	Bomba de calor de absorción de doble efecto
COP	0,8-2	1-1,7	1,8-2,4
PER	0,9-1,4	0,8-2	1,8-2,4

El PER se define como la relación entre la energía térmica y la energía primaria consumida en el proceso.

En la tabla siguiente se muestran los valores habituales del COP y PER de distintas Bombas de Calor trabajando entre 0º y 50º C.

medio estacional

Las condiciones del foco caliente y del frío van variando a lo largo del año, y en consecuencia las temperaturas a las que debe trabajar el fluido también deben variar. Por esta razón es posible que haya que aportar al sistema energías adicionales a la del compresor en los momentos más desfavorables. A la hora de estudiar la viabilidad e interés de una Bomba de Calor en una determinada aplicación es necesario determinar el valor de este coeficiente.

Siendo:

Q<sub>1</sub> : Calor total cedido para la calefacción en el periodo considerado en valor absoluto.

W : Trabajo realizado por el compresor sobre el fluido en el periodo considerado en valor absoluto.

W' : Resto de energías consumidas en el periodo considerado: pérdidas en el motor eléctrico, aportaciones externas de calor, etc..

Al coeficiente de prestación estacional también se le denomina SPF (Seasonal Performance Factor) en terminología anglosajona. Es con este factor con el que se deben de comparar los gastos de funcionamiento de las diferentes alternativas de calefacción.

Aplicaciones de la bomba de calor en diversos sectores.

residencial:

– Climatización de viviendas.

Las Bombas de Calor utilizadas en estas aplicaciones son:

–Bombas de calor aire–aire:

Es la aplicación más habitual. Se suelen utilizar

unidades de baja potencia, que se destinan a la calefacción y refrigeración de viviendas. El equipo está en contacto con el exterior del edificio, de donde extrae el calor y también con el aire interior de la vivienda, a la que cede el calor. Este será distribuido mediante un red de conductos por todas las habitaciones.

Si la unidad es compacta, el equipo integra todos los componentes en una sola unidad. La batería exterior irá en contacto con el ambiente exterior y la unidad interior estará conectada a la red de conductos, que distribuyen el aire por el interior de la vivienda.

Si se utiliza un equipo partido, ambas unidades, la interior y la exterior irán conectadas mediante tuberías aisladas, por las que circulará el refrigerante. La unidad exterior irá colocada en el exterior de la vivienda, por ejemplo en la terraza, jardín, etc. La unidad o unidades interiores pueden ser vistas o bien ir situadas en el falso techo.

– Bombas de calor aire–agua: En este caso, la Bomba de Calor extrae el calor del aire exterior y lo transfiere a los locales a través de un circuito de agua a baja temperatura.

– Bombas de calor agua–agua: Utilizan como fuente de calor el agua superficial de ríos, lagos, etc. o agua subterránea. La temperatura de estas fuentes es prácticamente constante durante toda la estación de calefacción, lo que permite mantener un COP constante y elevado durante toda la temporada. Como en el caso anterior la distribución se hace mediante sistemas a baja temperatura.

– **Bombas de calor agua–aire:** Requieren también la disponibilidad de una fuente de calor, agua subterránea, superficial, etc. La distribución se calor se realiza mediante una red de conductos a todas las dependencias de la vivienda.

– **Bombas de calor tierra–agua:** Aprovechan la energía solar acumulada en el terreno como fuente de calor. Este calor es extraído por la Bomba de Calor a través de un circuito de agua con glicol, enterrado. La complejidad de la instalación y la necesidad de disponer de una superficie de terreno grande, hacen que la inversión sea elevada, por lo que esta aplicación es más propia de zonas con temperaturas exteriores rigurosas, donde los equipos condensados por aire no son adecuados.

La utilización de la Bomba de Calor para proporcionar calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria en viviendas, es una aplicación ampliamente difundida en España. La casi totalidad de los equipos existentes en el mercado son reversibles, pudiendo trabajar en dos ciclos: de invierno, proporcionando calefacción y de verano proporcionando refrigeración. Por esta razón las Bombas de Calor están especialmente indicadas para situaciones en las que se prevea demanda de calefacción y refrigeración, ya que con un incremento en el precio del equipo, se pueden cubrir ambas necesidades con el mismo equipo. La gama de potencias comercializada es lo suficientemente amplia como para cubrir las necesidades de cualquier vivienda. En la figura se representa el funcionamiento de ambos ciclos en una Bomba de Calor aire–aire.

#### CICLOS DE FRÍO Y CALOR DE UNA BOMBA DE CALOR AIRE–AIRE

En función del tipo de explotación se pueden clasificar en monovalentes y bivalentes. Se denominan monovalentes cuando la Bomba de Calor cubre por ella misma la demanda de calefacción y refrigeración. En la explotación bivalente, la Bomba de Calor por encima de cierta temperatura exterior suministra ella sola

las necesidades de calor. Por debajo de esa temperatura, la calefacción es suministrada, bien por una caldera exclusivamente, o bien por la Bomba de Calor y la caldera simultáneamente.

– Agua Caliente Sanitaria.

La Bomba de Calor también puede utilizarse para la producción de agua caliente sanitaria. Aquí el agua es el foco caliente o sumidero de calor. En primer lugar el COP estacional en este caso es superior al de la aplicación para climatización, ya que su utilización tiene lugar durante todo el año. En segundo lugar el COP práctico en verano es muy elevado, como consecuencia de las altas temperaturas del aire exterior. Por último dado que el pico de demanda de agua caliente sanitaria tiene lugar a primeras horas de la mañana resulta económica la producción y acumulación de agua caliente sanitaria mediante Bomba de Calor durante la noche acogiéndonos a la tarifa nocturna.

Terciario

–Climatización.

La climatización de pequeños locales de oficinas, comercios, restaurantes etc., es una aplicación muy habitual en este sector.

Los grandes edificios de oficinas se caracterizan por sus elevadas cargas internas de calor, originadas por la iluminación, equipos ofimáticos y grado de ocupación. Por otra parte sus fachadas suelen tener orientaciones diferentes. Así se presentan simultáneamente zonas en que debido a la insolación y las cargas internas necesitan ser refrigeradas, mientras que otras zonas del edificio demandan calefacción. Algunos tipos de Bombas de Calor pueden producir simultáneamente frío y calor resolviendo esta situación, tanto de una forma centralizada como descentralizada.

Otra solución la ofrece la utilización de Bombas de Calor para transferencia del calor sobrante de unas zonas del edificio a otras con necesidades de calefacción. Es el caso de edificios muy compartimentados. Las Bombas de Calor del tipo agua–aire, están repartidas por los diferentes locales y conectadas entre si mediante un circuito de agua. Las Bombas de Calor situadas en locales con necesidades de calefacción, toman el calor del circuito de agua y lo ceden al aire. En los locales con necesidades de refrigeración las Bombas de Calor evacúan al circuito de agua el calor excedentario. El bucle de agua conserva globalmente una temperatura constante, generalmente entre 20° C y 30° C. Cuando una de las necesidades bien de calor o bien de frío, llegue a ser preponderante, el excedente de la otra producción provoca un calentamiento o un enfriamiento del bucle de agua. Por esta razón se incorpora un dispositivo compensador como por ejemplo una caldera o un dispositivo de enfriamiento, haciendo intervenir uno u otro según la necesidad. El circuito puede ser cerrado o abierto.

Circuito cerrado de agua: Si existe un excedente de calor, este es evacuado mediante una torre de

refrigeración, mientras que si el edificio es deficitario en calor, la energía calorífica complementaria la aportará una caldera.

**Círculo abierto:** Si se dispone de una fuente suplementaria de agua, superficial o subterránea, ésta puede ser utilizada en circuito abierto para aportar o evacuar el calor.

En los sistemas centralizados el frío o calor se producen en un punto del edificio y luego ha de ser transportado a las diferentes dependencias. Para realizar este transporte se utilizan tres sistema conductos de aire, tuberías de agua y tuberías de fluído refrigerante.

## SISTEMA CON CONDUCTOS DE AIRE

En los sistemas que utilizan tuberías de agua los elementos terminales más usuales son los fan-coils. Estos sistemas pueden ser clasificados en:

- **Sistemas a dos tubos:** Por uno de ellos circula el agua caliente o fría, según la Bomba de Calor funciona en ciclo de calefacción ó de refrigeración. Por el otro circula el agua de retorno procedente de la unidad terminal.
- **Sistemas a cuatro tubos:** En este caso hay dos tuberías de impulsión, una de agua fría y otra de agua caliente, y otras dos tuberías de retorno.

Por último se puede transportar el frío o calor generado a las distintas zonas, mediante tuberías de fluido refrigerante. Uno de los sistemas utilizados es el sistema de caudal de refrigerante variable (VRV). En estos equipos se varía el caudal de refrigerante impulsado a las unidades interiores en función de las necesidades de cada una de las zonas o dependencias. De esta forma son capaces de incorporar hasta 16 unidades interiores y consiguen la máxima eficiencia energética, ya que únicamente proporcionan la energía requerida en cada momento. El rendimiento energético de este sistema disminuye cuando existe una gran diferencia de altura entre la unidad exterior y las interiores.

## SISTEMA DE CAUDAL DE REFRIGERANTE VARIABLE.

### – Climatización de piscinas.

En las piscinas climatizadas cubiertas, es necesario recurrir en invierno a un elevado número de renovaciones de aire para evitar un excesivo contenido de humedad en el ambiente, debido a la evaporación del agua del vaso de la piscina, que daría lugar a que se formen condensaciones en los cerramientos. La Bomba de Calor permite reducir el caudal de ventilación necesario, obteniendo un importante ahorro de energía. El aire húmedo de la piscina es enfriado en el evaporador de la Bomba de Calor. El enfriamiento produce condensación del exceso de humedad acumulada en el aire. El aire frío y seco es calentado en el condensador de la bomba y pasa de nuevo al recinto de la piscina. El excedente de calor en la Bomba de Calor se utiliza para calentar el agua de la piscina. También se utiliza para la calefacción de los locales anexos como vestuarios, duchas, etc.

industrial

Una parte importante del consumo energético en la industria se destina a procesos térmicos. Esta demanda térmica se encuentra cubierta mayoritariamente por sistemas convencionales.

Hay procesos que requieren la aportación de calor mientras que otros son excedentarios. Lo habitual en estos casos es que el calor sobrante sea evacuado a la atmósfera mediante torres de refrigeración, con la consiguiente pérdida de energía, mientras que por otro lado siguen existiendo necesidades de calor que se cubren, por ejemplo, con la utilización de calderas.

En estas situaciones las Bombas de Calor proporcionan una gran oportunidad para ahorrar energía, y son una alternativa interesante debido a su doble efecto, de enfriamiento en el evaporador y de calentamiento en el condensador.

La Bomba de Calor permite revalorizar energías térmicas degradadas. Parte de efluentes térmicos no utilizables, y eleva el nivel de la energía térmica contenida en los mismos, en sustitución de calentamientos por sistemas tradicionales.

Para aplicar la Bomba de Calor a la industria se deben analizar los procesos, con el fin de caracterizar los flujos de calor e identificar las oportunidades de recuperación, evaluando su viabilidad tanto desde el punto de vista energético como económico.

Las líneas de fluidos con calor residual más comunes en la industria son las procedentes de aguas de refrigeración, efluentes o condensados. El problema que presentan estas fuentes es que su caudal fluctúa. Por esta razón y para aprovechar este calor residual son necesarios acumuladores de gran capacidad para conseguir una operación estable de la Bomba de Calor.

#### –Tipos de Bomba de Calor

Los principales tipos de Bombas de Calor para aplicaciones industriales son:

#### Bombas de calor en ciclo de compresión cerrado:

La temperatura máxima obtenida por los fluidos refrigerantes actuales está en torno a los 120° C. Este es el tipo de bombas más extendido en la industria.

#### Sistemas de recompresión mecánica del vapor (MVR):

En estas bombas el fluido que evoluciona es el propio fluido de proceso en un ciclo abierto. Se clasifican en sistemas abiertos y semiabiertos.

En un sistema abierto, el vapor de un proceso industrial es comprimido. Al elevar su presión se eleva su temperatura, y condensado en el mismo proceso cede su calor.

En los sistemas semi-abiertos, el calor del vapor recomprimido es cedido al proceso mediante un cambiador de calor. Se eliminan uno (semiabierto) o dos (abierto) cambiadores de calor (evaporador y/o condensador) y el salto de temperaturas conseguido con la bomba es pequeño por esta razón. La eficacia de utilización es elevada y se obtienen COP's de 10 a 30.

Los sistemas actuales MVR trabajan con temperaturas de foco frío de 70 a 80° C y ceden el calor a temperaturas entre 110 y 150° C. En algunos casos pueden llegar a los 200° C. El agua es el fluido de trabajo más usual, aunque también se pueden utilizar otros vapores de procesos.

#### Bombas de calor de absorción de simple efecto:

En Suecia y Dinamarca se han utilizado para recuperar calor de incineradoras de residuos. Los sistemas actuales con agua/bromuro de litio alcanzan una temperatura de salida de 100°C y un salto térmico de hasta 65° C, con un COP que oscila entre 1,2 y 1,4. La nueva generación de Bombas de Calor de absorción avanzadas alcanzarán temperaturas de salida de 260° C y saltos térmicos superiores a los mencionados.

#### Bombas de calor de absorción de doble efecto:

También se las denomina transformadores de calor. Se aplican a fluidos que tienen un calor residual y una temperatura intermedia por encima de la del ambiente, pero por debajo de la utilizable. Mediante el evaporador y el generador el fluido alcanza una temperatura adecuada para su utilización. En el absorbedor se cede el calor al proceso. Todos los sistemas de este tipo en la actualidad, utilizan bromuro de litio y agua como fluidos refrigerantes. Estos transformadores pueden alcanzar temperaturas de hasta 150° C, con un salto de temperatura de 50° C. Los COP's en estas condiciones están comprendidos entre 0,45 y 0,48.

### Ciclo de Bryton reverso:

Con este ciclo se recuperan las sustancias disueltas en gases en varios procesos. El aire saturado se comprime y expande. El aire se enfriá en la expansión, y las sustancias disueltas se condensan y son recuperadas. La expansión tiene lugar en una turbina que acciona un compresor.

Aplicaciones.

La principal justificación de la utilización de la Bomba de Calor en la industria es la recuperación de calor. La Bomba de Calor hace utilizables flujos de calor, que de otro modo serían disipados sin aprovechamiento. El calor obtenido en el condensador de la Bomba de Calor puede ser utilizado entre otras aplicaciones para:

–Calefacción, climatización y agua caliente sanitaria: Estas aplicaciones son similares a las estudiadas en los sectores residencial y terciario. Suministran agua por ejemplo a fan-coils, para la calefacción de locales y naves.

–Calentamiento de agua: En la industria se presentan en muchas ocasiones, necesidades simultáneas de agua fría y caliente, en el rango de temperaturas de 40° C a 90° C, para lavandería, limpieza y desinfección. Esta demanda puede ser cubierta por Bombas de Calor. Las bombas instaladas en este campo son principalmente de compresión con motor eléctrico.

–Secado de productos: Las Bombas de Calor se usan extensivamente en la deshumidificación industrial y secado a temperaturas bajas y moderadas. Esta es una aplicación muy desarrollada en España.

Para secar un producto se utiliza la propiedad que tiene el aire para cargarse de humedad. La cantidad de humedad absorbida por el aire es mayor, cuanto más alta sea la temperatura. El proceso consiste en impulsar al local aire caliente y seco, que robará humedad al producto a secar. Posteriormente este aire húmedo pasa por el evaporador de la Bomba de Calor, en el que se enfriá y deshumidifica. La Bomba de Calor está especialmente indicada para aquellos procesos que requieren un secado lento y sensible a altas temperaturas.

Algunos ejemplos son:

a) Secado y curado de embutidos: en el caso del secado y curado de embutidos el proceso se realiza en dos fases:

- Estufaje: Con una duración de entre 30 y 75 horas. Primero se busca una desecación inicial rápida con aire seco a unos 28°C. Después se baja la temperatura a 22–24°C y se incrementa la humedad relativa.
- Curado: Con una duración en torno a 20 días se mantienen temperaturas bajas de 12 a 15° C con humedades relativas en torno al 75 %.

b) Secado de tabaco: En la figura se observa el esquema del proceso de secado de tabaco.

1. Compresor / 2. Ventilador de circulación de aire en el interior del equipo / 3. Evaporador, enfriá el

aire caliente y húmedo condensándose el agua / 4. Condensador, donde se calienta aire frío y seco / 5. Válvula de expansión / 6. Ventilador para la circulación del aire en secadero / 7. Salida del agua extraída

## PROCESO DE SECADO DE TABACO

c) Secado de lodos de plantas depuradoras de aguas residuales: También se utilizan en el secado de lodos provenientes de las depuradoras de aguas residuales, como se observa en la figura, que corresponde a un esquema de principio de un túnel de deshidratación de lodos mediante Bomba de Calor.

Otros ejemplos de aplicaciones de secado, con su rango de temperaturas, son:

secado de cuero y pieles, secado de ladrillos, secado de maderas, secado de la malta de cerveza, secado de lana y fibras textiles

Destilación y obtención de concentrados: Aún a pesar de que la evaporación y la destilación son procesos intensivos de energía, la Bomba de Calor se utiliza con este fin en la industria química y alimentaria. En la destilación se está produciendo una evaporación que requiere calor y una condensación donde sobra calor. La Bomba de Calor puede funcionar cediendo calor en su condensador y absorbiéndolo en el evaporador.

En los procesos de concentración se aplican sistemas MVR abiertos o semiabiertos, aunque también se utilizan bombas de ciclo de compresión. La utilización es muy efectiva con COP's entre 6 y 30, cuando son necesarios pequeños saltos de temperatura.

Una aplicación es la concentración en la industria alimentaria (lácteos, zumos...).

Calefacción de invernaderos: En los invernaderos las plantas absorben humedad y nutrientes por sus raíces, devolviendo parte de la humedad al aire ambiente a través de las hojas, aumentando los niveles de humedad dentro del invernadero. La Bomba de Calor permite reducir el nivel de humedad dentro del invernadero, sin desperdiciar el calor.

Calentamiento y enfriamiento de agua en Piscifactorías: En las piscifactorías es necesaria la producción de agua caliente y fría de forma simultánea, pues las condiciones de temperatura requeridas para la cría y engorde son distintas a las necesidades para la fecundación de huevos y el crecimiento de los alevines. El principal inconveniente es que normalmente la demanda de frío y calor no coincide. En la figura se muestra un esquema de esta aplicación.

Fermentación del pan: En este proceso los azúcares contenidos en la masa se transforman en alcohol y anhídrido carbónico. Este proceso debe desarrollarse a una temperatura en el entorno de los 22/30°C. Las especiales condiciones de la mayor parte de los obradores de panadería obligan a calentar en invierno y refrigerar en verano si no queremos tener desviaciones importantes con respecto a las temperaturas citadas. Las bombas utilizadas en esta aplicación son de compresión mecánica aire–aire reversibles. En la figura se presenta un esquema de utilización de la Bomba de Calor en este proceso.

Otras sectores industriales donde la Bomba de Calor es de aplicación son:

- *Sector vinícola*: Enfriamiento del vino y producción de agua caliente para el lavado de botellas.
- *Industria textil*: Calefacción de los baños de tinte.
- *Industrias del papel y de la pulpa de madera*: proceso de evaporación, calefacción y secado.

- *Industrias plásticas*: Diversos procesos como refrigeración de las cabezas de extrusión e inyección, con recuperación del calor para la calefacción de locales.
- *Industria del caucho*: Calefacción de las soluciones de separación.
- *Sector Lácteo*: Pasteurización de los productos lácteos, evaporación, concentración y esterilización, y procesos de limpieza.
- *Industria alimentaria*: Procesos de cocción en el sector de conservas, charcuterías, azucareras, etc.
- *Industrias siderometalúrgicas*: Desengrasar, lavado, galvanizado, preparación de pinturas y secado.
- *Industria cerámica*: Secado.

## **Bombas de calor y medio ambiente**

Ventajas medioambientales: reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

### &Introducción.

La radiación solar que alcanza la superficie terrestre es parcialmente absorbida por ella, parcialmente reflejada y parcialmente rerradiada. Es decir emitida de nuevo por la propia superficie, pero con longitudes de onda mayores que las de las radiaciones incidentes.

La superficie de la Tierra se convierte, en un emisor de radiaciones que deben atravesar la atmósfera en sentido contrario al de las radiaciones incidentes. En su camino hacia el espacio atraviesan primero la troposfera, donde se encuentran con una serie de gases que absorben gran cantidad de ellas, y después la estratosfera donde el ozono absorbe otra parte de la radiación infrarroja emitida.

La radiación proveniente del sol que alcanza la superficie terrestre eleva la temperatura de ésta, mientras que la radiación rerradiada que escapa de la atmósfera enfriá la Tierra. La temperatura media de la superficie terrestre es el resultado de un equilibrio entre las ganancias y las pérdidas de energía en forma de radiación. Cuanta más radiación rerradiada sea retenida por la atmósfera, más elevada será la temperatura superficial de la Tierra. Es el mismo efecto de captación que tiene lugar en un invernadero de plantas.

Los gases que provocan el efecto invernadero, al absorber la radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre son el CO<sub>2</sub>, el vapor de agua, el ozono, los óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos y los derivados halogenados de los hidrocarburos saturados. Así el CO<sub>2</sub> es el principal responsable del efecto invernadero intensificado. Su producción se debe esencialmente a los procesos de combustión, a la respiración de los seres vivos y a la putrefacción de los tejidos orgánicos muertos. Hay que distinguir entre efecto invernadero natural y efecto invernadero intensificado, causado por el hombre.

Durante siglos la actividad humana no tuvo ningún efecto medible sobre la composición media de la atmósfera A partir de la segunda guerra mundial, la combustión de ingentes cantidades de petróleo, y la desforestación incontrolada han dado lugar a la elevación de la concentración media del CO<sub>2</sub>.

En los años 80 los científicos que modelan el cambio climático alertaron de las consecuencias del aumento de temperaturas en la Tierra, de no haber un esfuerzo por reducir las emisiones de gases de invernadero, consecuencia de las actividades humanas.

Dado que una gran cantidad de las emisiones de CO<sub>2</sub>, se puede atribuir a la producción y utilización de la energía eléctrica, el uso de tecnologías eficientes como la Bomba de Calor contribuirá a su disminución.

### comparativo

Las Bombas de Calor ofrecen una clara ventaja en relación con el medio ambiente, si las comparamos con otros equipos de calefacción convencional de la Energía (AIE), analizando el impacto

medioambiental de las cinco opciones siguientes:

- caldera convencional de gasóleo
- caldera convencional de gas
- Bomba de Calor eléctrica, con electricidad obtenida en plantas de generación eléctrica convencional
- Bomba de Calor a gas
- Bomba de Calor eléctrica, con electricidad obtenida a partir de energías renovables

Las emisiones de CO<sub>2</sub> originadas por las calderas y Bombas de Calor a gas, dependen de la eficiencia energética de estos equipos y del tipo de combustible empleado. En las Bombas de Calor eléctricas, la electricidad empleada para accionarlas, lleva implícita la emisión de CO<sub>2</sub> en origen, es decir en las centrales de generación eléctrica, además de las pérdidas de transporte y distribución de la energía eléctrica.

En la figura se observa, que tanto la Bomba de Calor eléctrica como la de gas, emiten considerablemente menos CO<sub>2</sub> que las calderas. Una Bomba de Calor eléctrica que funcione con electricidad procedente de fuentes de energías renovables no desprende CO<sub>2</sub>.

## EMISIÓN RELATIVA DE CO<sub>2</sub> DE DIFERENTES SISTEMAS DE CALEFACCIÓN

En conclusión, las Bombas de Calor ofrecen una evidente ventaja sobre los equipos de calefacción convencionales, en cuanto a reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

de CO<sub>2</sub> evitadas.

En el estudio antes citado, las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas en 1997, por el parque mundial de Bombas de Calor, han sido estimadas en un 0,5 % de las totales del globo, repartidas así:

- 64 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en el sector residencial
- 54 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en el sector comercial e industrial

Sin embargo, el potencial actual que tienen las Bombas de Calor para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> del globo es muy superior a este 0,5%. Se estima en un 6%, lo que equivaldría a una reducción de 1.200 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> al año, repartidas así:

- 1.000 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en el sector residencial y comercial.
- 200 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en el sector industrial.

Este potencial de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> es uno de los mayores que puede ofrecer una única tecnología, con la ventaja de que se trata de una tecnología que ya está disponible en el mercado.

as futuras

El actual potencial de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> por Bomba de Calor, estimado en un 6%, podría llegar en un futuro próximo hasta el 16%, según la Agencia Internacional de la Energía. Se haría realidad, gracias a los desarrollos de la tecnología, que permitirían que las Bombas de Calor y las centrales de producción de energía eléctrica obtuvieran un rendimiento superior, y también por el incremento de la energía eléctrica obtenida a partir de energías renovables.

## POTENCIAL DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EVITADAS POR BOMBA DE CALOR

Hoy día los COP medios de las Bombas de Calor están entre el 2,5 y el 4. Para la próxima década se prevén

nuevas mejoras que los incrementen. En consecuencia, las Bombas de Calor resultarán más atractivas y ocuparán una cuota mayor del mercado.

española

Las emisiones de CO<sub>2</sub>, como consecuencia de los procesos de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria en los sectores residencial y servicios, ascienden anualmente en nuestro país a 28 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. Esto representa un 12 % de las emisiones nacionales de CO<sub>2</sub>.

Si aceptamos, de acuerdo con los apartados anteriores, que el potencial de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> por Bomba de Calor puede llegar a ser del 6%, su realización en España supondría evitar 1,68 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, lo que representaría una reducción del 0,7 % sobre el total de nuestras emisiones.

## EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EN ESPAÑA

Decíamos anteriormente que en las Bombas de Calor eléctricas, mayoritarias en nuestro país, la electricidad consumida para accionarlas, ya lleva implícita la emisión de CO<sub>2</sub> en origen. Es decir la producida por las centrales de generación eléctrica y como consecuencia de las pérdidas de transporte y distribución. Pero su efecto sobre el medio ambiente dependerá de cómo se genere esta energía eléctrica. Si es mediante energía hidroeléctrica, nuclear o eólica, es clara la reducción de emisiones.

En la tabla siguiente se muestran las cuotas de producción de energía primaria para producción eléctrica y el rendimiento medio de las centrales de generación para los diferentes combustibles.

Producción de energía eléctrica en España	Cuota (%)	Rendimiento medio de la central de generación (%)
FUEL-OIL	0,1	36
FUEL-OIL	3,7	36,5
CARBÓN (TURBA)	28,2	35,7
CARBÓN (LIGNITO)	6,1	32
BIOMASA	0,4	30
NUCLEAR	30,8	32
HIDROELÉCTRICA	18,4	
RENOVABLES	2,4	
AUTOPRODUCCIÓN	9,9	

Se observa que de la cuota total un porcentaje del 51,6 % no entraña emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que representa una situación favorable para la Bomba de Calor. A esto hay que añadir que las energías renovables están teniendo cada vez mayor importancia dentro del panorama energético español, lo que beneficia la utilización de la Bomba de Calor, en relación con este aspecto.

Problemática asociada a los refrigerantes.

En el año 1974, se publicó en Nature, el trabajo "Stratospheric sink for chlorofluoromethanes; chlorine atom catalysed destruction of ozone" de Sherwood Rowland y Mario Molina. En él, los autores, relacionaron la

disminución del espesor de la capa de ozono atmosférico con la acción catalítica de las moléculas de determinados compuestos halogenados derivados de hidrocarburos saturados.

La tierra recibe energía del sol en forma de radiaciones de distintas longitudes de onda. Antes de alcanzar la superficie del planeta, estas radiaciones deben atravesar la atmósfera. La capa de ozono sirve como filtro natural de los rayos ultravioleta del sol, actuando como un escudo protector. Cuando estos compuestos alcanzan la estratosfera, zona más exterior de la atmósfera, quedan sometidos a las radiaciones solares ultravioletas, descomponiéndose y liberando átomos de cloro. Tras una serie de reacciones químicas complejas, el cloro destruye las moléculas de ozono. Por esta razón una mayor cantidad de radiación ultravioleta corta alcanza la superficie de la tierra.

Uno de los compuestos halogenados derivados de hidrocarburos saturados causante de este efecto son los CFC's conocidos como clorofluorocarbonos. Los CFC's fueron desarrollados en 1930 como fluidos de trabajo para sistemas frigoríficos de compresión mecánica, obtenidos sintéticamente por halogenación de hidrocarburos saturados. Aunque comenzaron como refrigerantes luego se emplearon en otros usos como sprays, aislamientos, industria química etc., por lo que su uso en aire acondicionado representa sólo una parte de sus aplicaciones.

Además de los CFC's existen otros fluidos de trabajo derivados de los hidrocarburos saturados que se utilizan en instalaciones de aire acondicionado. Son los obtenidos por sustitución de algunos átomos de hidrógeno por otros de flúor y cloro, llamados hidroclorofluorocarbonos o HCFC's. El HCFC's más conocido es el R-22. En España la práctica totalidad de las Bombas de Calor que se comercializan lo utilizan. Se les denomina abreviadamente CFC's y HCF's iniciales de sus componentes (cloro–flúor–carbonos) e (hidro–cloro–flúor–carbonos).

El factor de destrucción de la capa de ozono depende directamente del contenido de cloro del refrigerante. Para evaluar la capacidad de destrucción de ozono en términos cuantitativos se recurre a un índice adimensional. Se llama ODP (Ozone Depleting Potencial) ó Potencial de Destrucción de Ozono. Expresa el grado máximo en que un gas dado puede provocar la disminución de la capa de ozono. Por convención se da el valor 1 a la capacidad del R-11 para destruir ozono.

En el cuadro siguiente se hace una comparación entre diferentes refrigerantes en relación con el contenido de cloro, ODP y vida media estimada.

REFRIGERANTE	CONTENIDO EN CLORO	CACTOR DESTRUCCIÓN OZONO (ODP)	VIDA MEDIA ESTIMADA (AÑOS)
R-11 (CFC)	77.4%	1	60
R-12 (CFC)	58.6%	0.95	130
R-22 (HCFC)	41%	0.05	15
R-134-a (HFC)	0	0	16

Los CFC's tienen una vida media atmosférica muy larga lo que les permite conservar su estructura molecular intacta hasta que alcanzan la estratosfera al cabo de 3 a 5 años después de su emisión. Los HCFC's tienen una vida media atmosférica más corta que los CFC's, por lo que su capacidad de destrucción es menor. Sólo una pequeña parte de las moléculas de HCFC's descargadas a la atmósfera alcanzan la estratosfera y contribuyen a la destrucción del ozono de la misma manera que lo hacen los CFC's. Los HCFC's tienen una incidencia 20 veces menor que el R-11.

Al detectarse las implicaciones de estos productos como modificadores del medio ambiente, se decidió a nivel mundial eliminarlos y sustituirlos por otros de tipo HFC's (hidro–fluor–carbonos, sin cloro) semejantes en

seguridad y prestaciones pero inocuos para la capa de ozono.

En el año 1980 el UNEP (United Nations Environmental Programme) Programa de las Naciones Unidas de Medio Ambiente inició los trabajos de preparación de un convenio internacional para establecer las líneas generales para una acción internacional con vistas a la protección de la capa de ozono atmosférico.

En el año 1985 se aprobó el Convenio de Viena, para la protección de la Capa de Ozono. En él se establecieron una serie de mecanismos de investigación y de cooperación, así como la adopción de medidas legislativas, todo ello tendente a proteger la salud humana y el medio ambiente de los efectos adversos resultantes de las modificaciones de la capa de ozono atmosférico.

Poco después de la firma del Convenio de Viena se iniciaron los trabajos de preparación de un protocolo que regulase las sustancias que, aparentemente podían influir sobre la capa de ozono. En 1987 se aprueba el texto llamado "Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias que agotan la Capa de Ozono". El texto deja abierta la posibilidad de ser enmendado en función de sucesivas evidencias científicas que se fuesen obteniendo en relación con el agotamiento del ozono.

Como consecuencia de los resultados de las investigaciones científicas fomentadas por el Protocolo de Montreal que han contribuido a aumentar el conocimiento del mecanismo de deterioro de la capa de ozono, el número de sustancias reguladas y sus correspondientes calendarios de supresión, se han ido endureciendo en las sucesivas enmiendas del Protocolo de Montreal, Helsinki (1989), Londres (1990). Copenhague (1992) y Bangkok (1993).

La Comunidad Europea ha pretendido impulsar medidas más restrictivas que las del Protocolo de Montreal en lo relativo al control de las sustancias que agotan la capa de ozono. El Consejo de la Unión Europea, ha aprobado entre otros, el Reglamento 3093/94, relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono, que fija el calendario aplicable a estas sustancias.

española.

Del estudio del mercado español, realizado sobre un total de 2.707 modelos diferentes de Bombas de Calor, se obtiene como conclusión principal que prácticamente en su totalidad utilizan R-22. Sólo en 1 caso se ha detectado una Bomba de Calor que utiliza el R-134-a.

El parque actual de Bombas de Calor en los sectores residencial, comercio, servicio e industria concentra en sus equipos una cantidad de refrigerante que se estima en 5.500 toneladas de R-22. Su reparto por sectores es el siguiente:

SECTOR	DISTRIBUCIÓN POR SECTORES, DEL REFRIGERANTE R-22 EN BOMBAS DE CALOR INSTALADAS EN ESPAÑA (Toneladas)
Residencial	
Comercial/Institucional	1000
Industrial	4000

500  
Proyectos de investigación y desarrollo más recientes.

A continuación se expone un pequeño resumen de los proyectos más recientes y estado de la tecnología cuanto a refrigerantes, ciclos, componentes de las máquinas y proyectos de Investigación y Desarrollo.

La evolución de la Bomba de Calor en los próximos años dependerá en gran medida de la evolución de los fluidos refrigerantes. Los refrigerantes organoclorados, alrededor de los cuales se habían desarrollado todos los componentes de las Bombas de Calor, están condenados a desaparecer debido a su efecto destructor sobre la capa de ozono y el efecto invernadero. Para que la Bomba de Calor continúe siendo una alternativa atractiva desde el punto de vista del ahorro energético, la sustitución de los refrigerantes por otros debe mantener o superar las eficiencias de los ciclos.

Algunas alternativas para la sustitución planteando ventajas e inconvenientes.

– HCFC's

El primer paso para evitar la destrucción de la capa de ozono fue la sustitución de los fluoro carbonados con dos átomos de cloro (CFC) por fluorocarbonados con un átomo de cloro y otro de hidrógeno (HCFC). Estos refrigerantes contribuyen en menor medida a la destrucción de la capa de ozono por su mayor estabilidad, pero influyen en el calentamiento global en mayor medida que estos. Sin embargo hace poco también fueron incluidos en la lista de sustancias controladas, y se decidió su parada de fabricación en el año 2020 con la completa desaparición en el año 2030.

– HCF'S

Los HFC's son fluidos refrigerantes sin cloro, y por tanto sin efecto sobre la reducción de la capa de ozono, pero algunos de ellos tienen un efecto importante sobre el efecto invernadero. Con la sustitución de refrigerante se pierde eficacia pero el COP no se reduce significativamente. Además debe ser utilizado con lubricantes de poliol–ester debido a que es muy higroscópico. Además cuando se utilice para llenar circuitos existentes se deben extremar las precauciones en la limpieza de los mismos.

– Mezclas

Las mezclas constituyen una importante posibilidad para la sustitución de los CFC's, tanto para su utilización en Bombas de Calor nuevas como en las ya existentes. Una mezcla está constituida por dos o más fluidos refrigerantes y puede ser:

- Zeotrópica
- Azeotrópica
- Cuasi–zeotrópica

Las mezclas azeotrópicas evaporan y condensan a temperatura constante, mientras que las otras lo hacen en un rango de temperatura (deslizamiento). El deslizamiento puede ser utilizado para mejorar la eficiencia pero requiere la modificación del equipo. La ventaja de las mezclas es que pueden variar sus propiedades en función de las necesidades de cada aplicación variando la proporción entre los componentes. Las mezclas no azeotrópicas presentan problemas por diferente volatilidad de sus componentes. En caso de fugas no se puede saber qué cantidad de cada uno de los refrigerantes que componen la mezcla se ha perdido por lo que es necesario llenar el circuito de nuevo con la carga total de

– Fluidos de trabajo naturales

Los fluidos de trabajo naturales son sustancias que existen en la biosfera de una forma natural. Generalmente tienen muy pocos inconvenientes en relación al medio ambiente (los potenciales de destrucción de la capa de ozono y de calentamiento global son cero o aproximados a cero). Son, por lo tanto, alternativas a largo plazo a los CFCs. Ejemplos de fluidos de trabajo naturales son el amoniaco ( $\text{NH}_3$ ), hidrocarburos (ej. propano), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), aire y agua. Algunos de los fluidos de trabajo naturales son inflamables o tóxicos. Las implicaciones de seguridad del uso de dichos fluidos pueden requerir el diseño de un sistema específico y

unas rutinas de operación y mantenimiento adecuadas.

– El amoniaco (NH<sub>3</sub>) es en muchos países el fluido de trabajo principal en refrigeración media y alta y en plantas de almacenamiento en frío. Han sido desarrollados códigos, regulaciones y leyes principalmente para tratar con las características tóxicas, y de alguna manera con las características inflamables del amoniaco.

El amoniaco podría ser también considerado en sistemas pequeños, mayoritarios en el mercado de las Bombas de Calor. En sistemas pequeños, los aspectos de seguridad pueden ser tratados usando equipos con baja carga de fluido de trabajo y medidas tales como sistemas de distribución indirecta (con salmuera), alojamientos o revestimientos a prueba de gas, y ventilación a prueba de fallos. El cobre no es compatible con el amoniaco, con lo que todos los componentes deben ser de acero.

El amoniaco no se usa todavía en Bombas de Calor industriales de alta temperatura, pues normalmente no hay compresores adecuados de alta presión disponibles (40 bares máximo). Si se desarrollan compresores eficientes de alta presión, el amoniaco será un excelente fluido de trabajo a alta temperatura.

– Los hidrocarburos (HC's) son fluidos de trabajo inflamables, con propiedades termodinámicas conocidas y compatibilidad de material. Están formados por propano, butano y sus mezclas. Son utilizados en gran medida en la industria del petróleo, esporádicamente aplicados en la refrigeración del transporte, refrigeradores/congeladores domésticos, y Bombas de Calor recientes (Alemania).

Debido a su alta inflamabilidad, los hidrocarburos únicamente deberían ser utilizados para llenado de circuitos existentes o aplicados en sistemas con baja carga de fluido de trabajo. Para garantizar la seguridad necesaria durante la operación y el servicio, deberían tomarse precauciones como sistemas de ventilación a prueba de fallos, adición de gas odorizante al fluido de trabajo, uso de detectores de gas etc.

– El agua es un excelente fluido de trabajo para las Bombas de Calor industriales de alta temperatura debido a sus propiedades termodinámicas favorables y al hecho de que no es ni inflamable ni tóxico. El agua ha sido usada principalmente como fluido de trabajo en sistemas MVR abiertos y semi-abiertos, pero también existen algunas Bombas de Calor de ciclo de compresión cerrado que usan agua como fluido de trabajo.

La mayor desventaja del agua como fluido de trabajo es su baja capacidad de calor volumétrico. Esto hace que se requieran compresores grandes y caros, especialmente a bajas temperaturas.

p>

Los desarrollos recientes en los ciclos de compresión tradicional se encuentran relacionados con el uso de nuevos refrigerantes. Los ciclos y sistemas son optimizados termodinámicamente y termofísicamente para adaptarse a su comportamiento.

La utilización de códigos de simulación de comportamiento de refrigerantes es una herramienta muy útil para la optimización de los mismos.

Los sistemas de mezclas zeotrópicas requieren una atención especial ya que, ofrecen la posibilidad de mejoras en la eficiencia, pero pueden plantear muchos problemas; con un diseño inadecuado, se pueden presentar cambios en la composición de la mezcla si el sistema tiene componentes con volúmenes inactivos donde el refrigerante líquido se puede acumular.

Una de las pérdidas tradicionales en el ciclo real tiene lugar en la expansión. Para reducir esta pérdida se están realizando investigaciones sustituyendo las válvulas de expansión tradicionales por dispositivos de expansión de Lysholm de tornillo. Para aplicaciones en las que el fluido refrigerante presenta un gran intervalo de deslizamiento en el sumidero de calor es posible diseñar sistemas con una gran eficiencia ajustando el ciclo a este cambio de temperatura.

Para superar los problemas planteados por los refrigerantes organoclorados se están realizando esfuerzos importantes en la investigación de ciclos distintos de los tradicionales.

- Ciclos de aire: Se utilizan en la actualidad en aplicaciones especiales como el acondicionamiento de aviones.
- Ciclos de absorción: Son objetivo de numerosas investigaciones en sus dos – Ciclos de absorción: Son objetivo de numerosas investigaciones en sus dos modalidades, simple efecto y doble efecto. Como consecuencia de estos esfuerzos investigadores los coeficientes de prestación se han incrementado considerablemente.
- Ciclos de cascada: Con combinación de varios ciclos se consiguen mayores temperaturas en el condensador.
- Ciclo de stirling: Utilizado para grandes saltos de temperatura. Existen algunas realizaciones experimentales para aplicaciones convencionales

#### – Compresores

En el compresor de tornillo y en el scroll, así como en otros diseños de compresores rotativos existen posibilidades de integrar a media presión una entrada de tal manera que se mejora la eficiencia del ciclo reduciendo pérdidas. La investigación en el campo de los compresores está orientada al incremento de la eficiencia buscando isoentropicidad, reducción de ruido y vibraciones y mejora del engrase. La fiabilidad es otro objetivo en estos desarrollos.

#### – Intercambiadores de calor

Los intercambiadores de calor son componentes importantes en la eficiencia de las Bombas de Calor. Pequeñas diferencias de temperatura son decisivas para la eficiencia energética de un sistema.

Existen interesantes desarrollos de cambiadores en los últimos tiempos. Estos desarrollos están relacionados con el incremento de transferencia de calor en evaporador y condensador utilizando superficies de microestructura. Sin embargo las microestructuras plantean problemas de ensuciamiento por aceite.

Otro desarrollo es el intercambiador de aletas soldadas, que permite una disminución considerable de la carga de refrigerante. Este tipo de cambiadores ha hecho también posible la utilización de refrigerantes que requieren altas presiones en el condensador.

Las investigaciones en cambiadores están también orientadas a mejorar el intercambio que se ve afectado por los lubricantes que requieren los nuevos refrigerantes.

#### – Controles

El control de la Bomba de Calor está influenciado por el desarrollo de la electrónica.

El control de operación de las Bombas de Calor se realiza cada vez en mayor medida mediante programación gracias a la introducción de los microprocesadores en los esquemas de control. Esto permite que la Bomba de Calor opere satisfactoriamente en diversos modos:

- Refrigeración
- Calefacción
- Calefacción con fuente de calor de apoyo
- Con acumulación de calor en agua
- Desescarchando

Los microprocesadores hacen posible la autoadaptación de las máquinas a las distintas condiciones.

Con el control por microprocesador es también posible controlar el ciclo, reemplazando la tradicional válvula termostática o variando la velocidad del compresor mediante los denominados "inverters". También se puede actuar mediante la variación de la velocidad de los ventiladores.

El control mediante microprocesador puede tener también efectos sobre el mantenimiento. Es posible mediante la incorporación de una tarjeta inteligente que registra las condiciones de funcionamiento, el ajuste de los parámetros a las nuevas condiciones o incluso el mantenimiento a distancia.

de investigación y desarrollo.

Varias entidades españolas participan en proyectos de investigación de carácter internacional. A continuación he extraído un proyecto realizado por miembros del ENEBC (Equipo Nacional Español de la Bomba de Calor).

### **Proyecto ROTEX**

El ROTEX es un sistema innovador de aire acondicionado, calefacción y agua caliente sanitaria que funciona con un ciclo de absorción de doble efecto en el que se utiliza gas natural como combustible.

El origen del nombre Rotex viene del carácter rotativo del sistema, característica que permite intensificar el proceso de absorción debido al campo gravitatorio de alta intensidad generado por la fuerza centrífuga.

El refrigerante principal es agua, por lo que no se utiliza ninguno de los organoclorados que serán restringidos en futuro próximo, y sobre todo, su rendimiento en función de la energía primaria consumida es superior a los aparatos eléctricos de aire acondicionado que se comercializan en la actualidad.

El núcleo equivalente al compresor es un conjunto compacto que integra el generador, condensador, evaporador y el absorbédo que ha sido diseñado y desarrollado durante los últimos años en Inglaterra dentro de un programa Eureka, en el que han participado: British Gas, Caradon, Gas Natural, Lennox Industries, Fagor e Ikerlan.

Se están construyendo 9 prototipos que serán probados en diferentes localidades europeas. Se prevé su orientación tanto al sector residencial como al comercial.

### **PROYECTO ROTEX**

#### **Eficiencia o rendimiento de una bomba de calor.**

La ventaja fundamental de la bomba de calor consiste en que es capaz de suministrar más energía de la que consume. Esta aparente contradicción con uno de los principios más sólidos de la termodinámica, se explica por el hecho de que el equipo recupera energía "gratuita" del ambiente exterior.

Por ejemplo, una bomba de calor puede proporcionar a un local 2,5 kWh absorbiendo de la red tan solo 1 kWh. Los restantes 1,5 kWh se obtienen gratuitamente del aire exterior.

La figura representa un diagrama de bloques que ilustra la eficiencia, o en otras palabras el rendimiento, de una bomba de calor. Las cifras indicadas en la figura son:

- Energía total entregada por el condensador al local (2,5 kWh)

- Energía "no gratuita" tomada de la red eléctrica por el compresor (1 kWh)
- Energía "gratuita" tomada del aire exterior por el evaporador (1,5 kWh)

### Eficiencia de una bomba de calor

La eficiencia de esta bomba de calor vendría expresada por el cociente entre la energía entregada al local (efecto útil) y la energía absorbida de la red eléctrica, es decir:

**Eficiencia = 2,5**

En consecuencia, la bomba de calor es potencialmente de gran interés para el usuario, dado que éste paga por una cantidad de energía menor que la aportada por el equipo para calentar el local.

Puede deducirse la conveniencia de utilizar equipos acondicionadores con bomba de calor, para su funcionamiento tanto en verano como en invierno. Además, un equipo con bomba de calor sólo supone, aproximadamente, un 20% de incremento, frente a la inversión necesaria para un acondicionador convencional exclusivamente para el verano.

### Algunas definiciones de términos importantes

– A.C.S.:

Agua caliente sanitaria.

– Aparato acondicionador de aire:

Unidad que permite la refrigeración y eventualmente la calefacción de un espacio mediante su simple conexión a la red de energía eléctrica, sin requerir otras instalaciones adicionales o complementarias para su correcto funcionamiento.

– Bomba de calor:

máquina térmica que permite transferir calor de una fuente fría a otra más caliente.

– Climatización:

Proceso de tratamiento de aire que se efectúa a lo largo de todo el año, controlando, en los espacios interiores, su temperatura, humedad, pureza y movimiento.

– Coeficiente de eficiencia energética de un aparato (CEE):

Cociente entre la potencia térmica total útil y la potencia total absorbida para unas condiciones de funcionamiento determinadas.

– Coeficiente de prestación de un sistema (COP):

Relación entre la energía térmica cedida por el sistema y la energía de tipo convencional absorbida.

– Energía convencional:

Aquella energía tradicional, normalmente comercializada, que entra en el cómputo del producto interior bruto.

– Energía residual:

Energía que se puede obtener como subproducto de un proceso principal.

– Expansión directa:

Proceso de tratamiento de aire efectuado por evaporaciones del fluido frigorífeno en el circuito primario de una batería.

– Instalación unitaria:

Son aquellas en las que cada elemento es un generador de frío o calor independiente.

– Instalaciones individuales:

Son aquellas instalaciones no unitarias, en las que la producción de frío o calor es independiente para cada usuario.

– Instalaciones colectivas:

Son aquellas instalaciones centralizadas en las que la producción de frío o calor sirve a un conjunto de usuarios dentro de un mismo edificio.

– Instalaciones semicentralizadas:

Son aquellas instalaciones individuales realizadas con equipos autónomos dotados de una red de conductos de distribución de aire.

– Potencia calorífica útil de una Bomba de Calor:

Producto del caudal mísico del fluido portador por el salto de entalpía a través del condensador, en las condiciones de funcionamiento que se especifiquen.

– Refrigeración:

Proceso de tratamiento de aire que controla, al menos, la temperatura máxima de un local.

– Sistemas agua–aire:

Técnica de acondicionamiento en la que la distribución de la energía térmica a diversos locales se realiza mediante circuitos de agua y aire.

– Sistema centralizado:

Instalación en la que la producción de frío o calor se realiza centralmente distribuyéndose a diversos subsistemas o equipos terminales que actúan sobre las condiciones ambientales de locales o zonas diferentes.

– Sistema todo agua:

Técnica de acondicionamiento en la que la distribución de la energía térmica se realiza exclusivamente mediante agua.

– Sistema todo aire:

Técnica de acondicionamiento en la que la distribución de la energía térmica a diversos locales se realiza exclusivamente mediante aire.

– Unidad compacta:

Equipo autónomo totalmente montado en fábrica.

Direcciones de Internet relacionadas con la bomba de calor.

[www.enebc.org/bomba](http://www.enebc.org/bomba)

<http://bdd.unizar.es/pag3/PAG6-2/5.htm>

[www.hictesa.com](http://www.hictesa.com)

[www.acson.es](http://www.acson.es)

[www.fecsa.es](http://www.fecsa.es)

[www.enher.es](http://www.enher.es)

[www.ribernet.es/installaciones/instala.htm](http://www.ribernet.es/installaciones/instala.htm)

[http://imartinez.etsin.upm.es/lab1/p5/Bomba de calor.html](http://imartinez.etsin.upm.es/lab1/p5/Bomba%20de%20calor.html)

<http://www.imst.upv.es/bombaCalor.htm>

<http://www.bluprint.es/sanitaristas/hidro.html>

<http://www.ciberia.es/~egl/definibomba.htm>

<http://www.ediho.es/contenidos/f265.html>

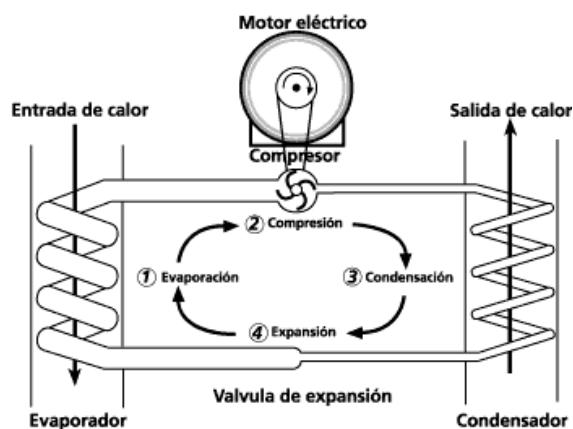
<http://cipres.cec.uchile.cl/~mabello/taller2/1.html>

<http://www.martiter.com/>

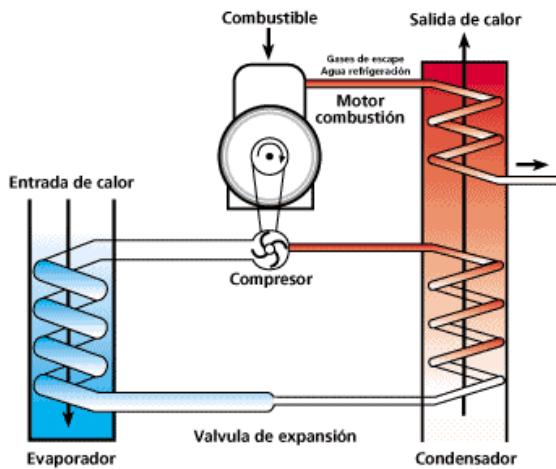
1

4

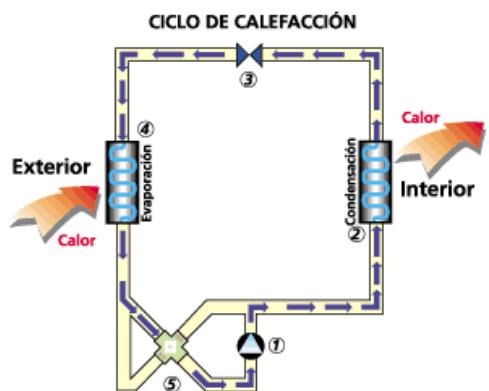
La bomba de calor



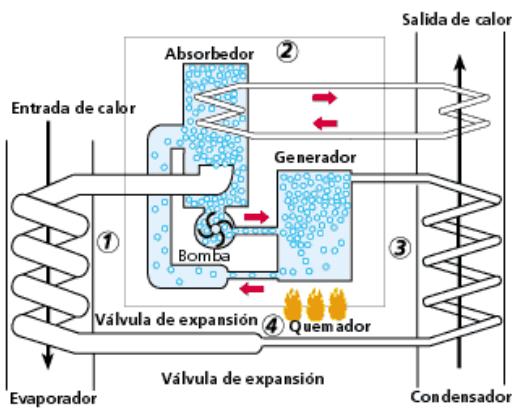
bomba de calor de compresión mecánica  
accionada por motor eléctrico.



bomba de calor con motor de gas

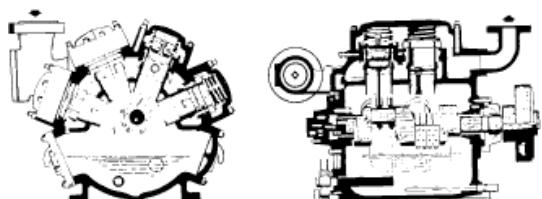
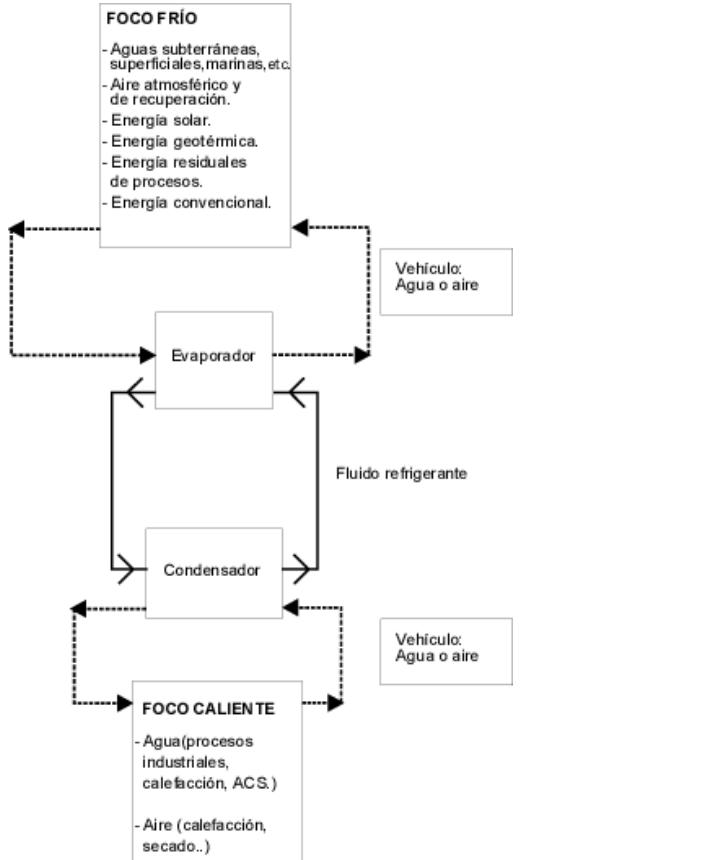


1. Compresor
2. Intercambiador (condensador o evaporador según ciclo)
3. Valvula de expansión
4. Intercambiador (condensador o evaporador según ciclo)
5. Valvula de 4 vías

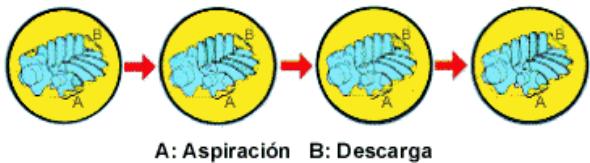
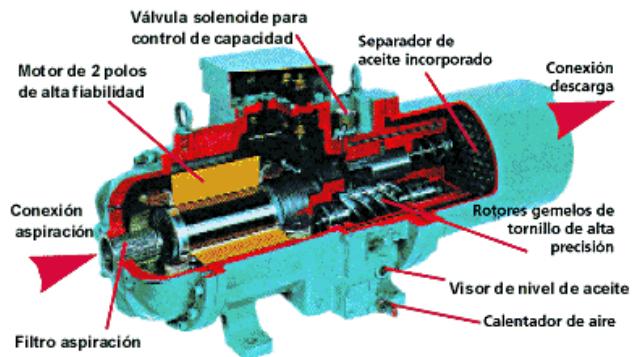


#### FOCO FRÍO

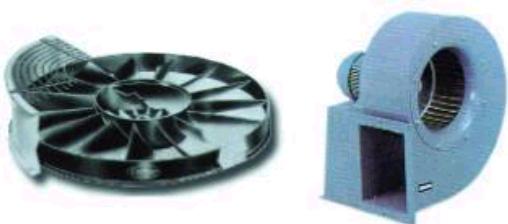
- Aguas subterráneas, superficiales, marinas, etc.
- Aire atmosférico y de recuperación.
- Energía solar.
- Energía geotérmica.
- Energía residuales de procesos.
- Energía convencional.



compresor alternativo



compresor espiral o scroll



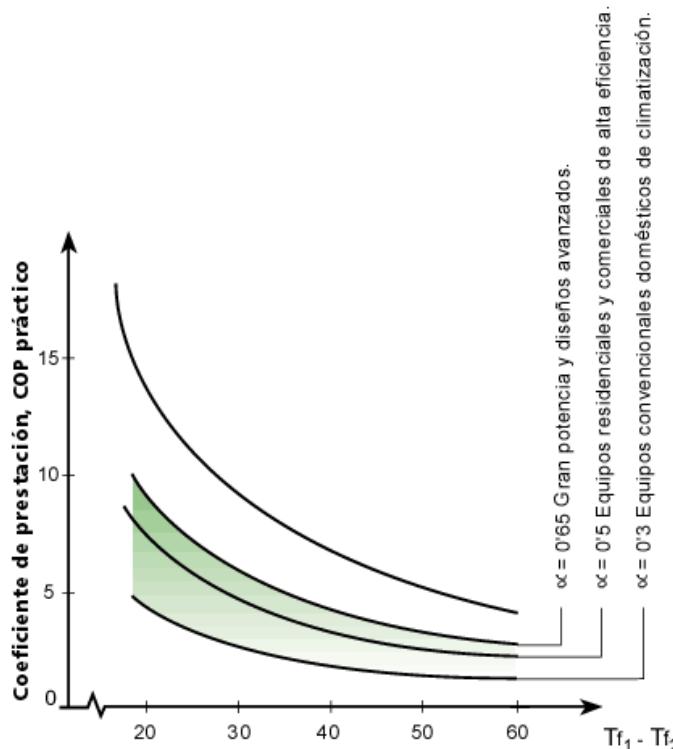
ventilador axial y ventilador centrifugo



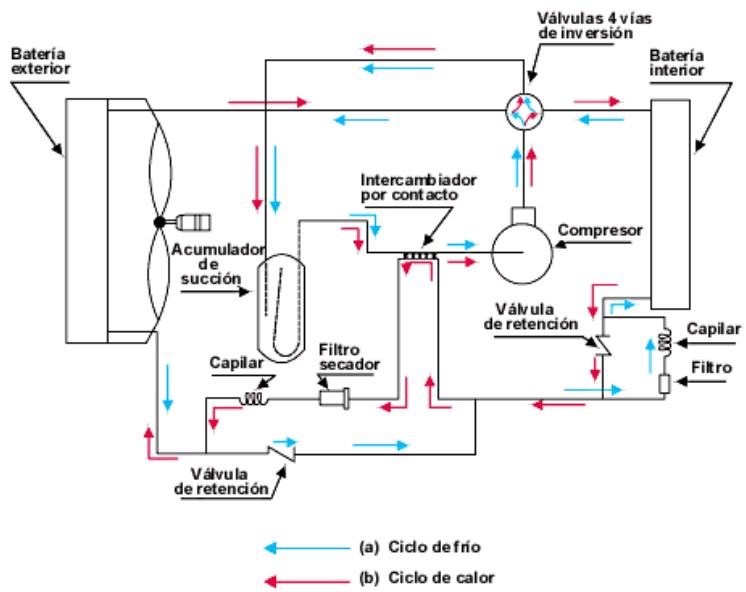
valvula expansion

$$COP_{teórico} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

$$COP_{práctico} = \alpha \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$



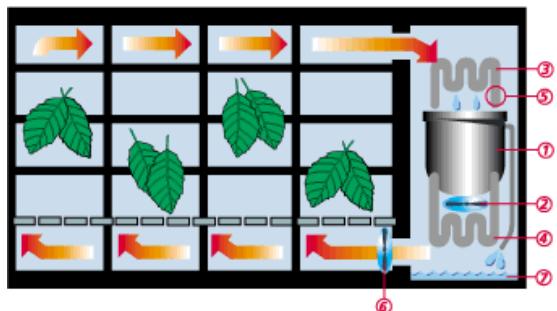
$$COP_{medioestacional} = \frac{Q_I}{W + W'}$$



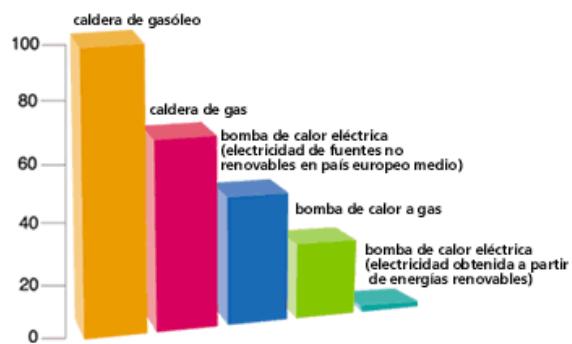
ciclos de frío y de calor de una bomba de calor aire-aire



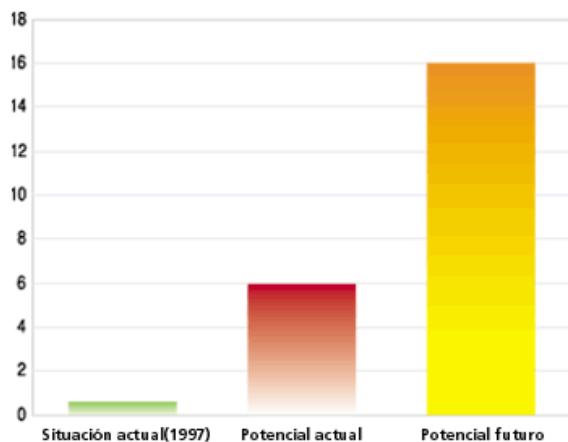
sistema de caudal de refrigerante variable.



1. compresor, 2. ventilador de circulación de aire en el interior del equipo, 3. evaporador, enfria el aire caliente y húmedo condensándose el agua y seco, 4. condensador, donde se calienta el aire frío y seco, 5. válvula de expansión, 6. ventilador para la circulación de aire en el secadero, 7. salida del agua extraída.

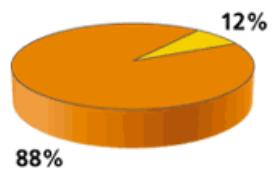


emisión relativa de CO<sub>2</sub> de diferentes sistemas de calefacción.



potencial de emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas por bomba de calor

Emissions por calefacción  
climatización y ACS



emisiones de co2 en españa

