

1.1.- Introducción.

1.2.- Clasificación.

1.3.- Funcionamiento.

1.4.- Focos.

1.5.- Elementos Componentes.

1.6.- Refrigerantes.

1.7.- Coeficientes de prestación.

1.1.- INTRODUCCIÓN

El calor fluye de forma natural desde las altas temperaturas a las bajas temperaturas. Sin embargo, la Bomba de Calor es capaz de forzar el flujo de calor en la 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 calefactar, o bien para emplearlo en procesos que precisan calor en la edificación o la industria. Es posible, así mismo, 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 cubrir una demanda simultánea de calor.

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 no es reciente. Sus orígenes 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 evolucionaba cíclicamente, era comprimido y posteriormente expandido, obteniendo 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. Por ejemplo, en 1965, en Estados Unidos, sólo las Bombas de Calor con un COP superior a 5 conseguían acercarse a los costes del combustible más caro, que en esos años era el gas ciudad.

A finales de los años cincuenta se inició la expansión de la Bomba de Calor en Estados Unidos y su producción en serie, con la siguiente evolución en el número de ventas: 1954 (2.000 unidades), 1957 (10.000 unidades), 1963 (76.000 unidades).

En Europa no se inicia su comercialización hasta 1970. Así, en 1973 se vendieron en Francia 600 Bombas de Calor de tipo doméstico y 7.000 unidades en 1977. En España en 1980, del orden de 2.500 unidades. En 1968 se realizó la primera instalación con Bomba de Calor a gas en Europa, en una pista polideportiva holandesa.

La crisis del petróleo y el alza de los precios de los combustibles a partir de 1973, impulsó las investigaciones en nuevos equipos de alta eficiencia, además de cambiar el posicionamiento de los costes de calefacción, situación que benefició el desarrollo de la Bomba de Calor.

A lo largo de estos años además de los cambios coyunturales que han propiciado el aumento de las ventas, las Bombas de Calor han tenido una evolución positiva desde el punto de vista tecnológico.

En un principio, el desarrollo se centró en equipos reversibles aire-aire. El fin principal de estas bombas era la refrigeración, en consecuencia el diseño estaba orientado a las condiciones del ciclo para obtener frío en verano. Por esta razón existían una serie de defectos de la máquina al funcionar para dar calefacción, que hoy en día se encuentran superados gracias al desarrollo de los compresores y a la introducción de la electrónica para el control de desescarche.

Estos defectos eran:

- Fallos del compresor por golpes de líquido, falta de engrase o sobrecarga del motor de accionamiento
- Formación de hielo en el evaporador
- Potencia calorífica baja.
- Costes de explotación superiores a los previstos

En el momento actual la utilización de Bombas de Calor se justifica, además de por el ahorro energético que suponen, por su contribución a la reducción de las emisiones de CO₂. Las Bombas de Calor consumen menos energía primaria que los medios tradicionales de calefacción. Sin embargo a nadie se le escapa que el efecto sobre el medio ambiente de las Bombas de Calor depende mucho de cómo se genere la energía eléctrica.

Si la energía eléctrica proviene de fuentes como la hidroeléctrica ó eólica, es clara la reducción de las emisiones, pero incluso cuando la electricidad que alimenta las bombas es generada mediante centrales térmicas de combustibles fósiles, se demuestra que la reducción total de emisiones es importante.

1.2.- CLASIFICACIÓN

Las Bombas de Calor se pueden clasificar según diferentes criterios. A continuación se muestran algunos de los más utilizados.

Según 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.

En las Bombas de Calor de compresión, la elevación de presión y temperatura entre evaporador y condensador se logra mediante compresión mecánica del vapor. En el ciclo de absorción este efecto se logra mediante un circuito de absorción. Por otra parte la compresión mecánica se puede realizar mediante un compresor accionado por un motor eléctrico en las bombas con motor eléctrico, o bien por un compresor accionado por un motor de combustión de gas, en las Bombas de Calor de motor de gas.

Según 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)

	Medio del que extrae la energía	Medio al que se cede energía
Según medio de origen y de destino de la energía	AIRE	AIRE
	AIRE	AGUA
	AGUA	AIRE
	AGUA	AGUA

	TIERRA	AIRE
	TIERRA	AGUA

- **Bombas de calor aire-aire:** Son las más utilizadas, principalmente 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, debido a la mayor uniformidad de la temperatura del agua a lo largo del año.
- **Bombas de calor agua-agua:** Similares a las anteriores, excepto que los emisores son radiadores a baja temperatura, fan-coils o suelo radiante.
- **Bombas de calor tierra-aire y tierra-agua:** Aprovechan el calor contenido en el terreno. Son instalaciones poco habituales, debido a su coste y a la necesidad de disponer de grandes superficies de terreno.

Según construcción

Por la forma de construir la máquina, ésta puede ser:

- **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.

Según funcionamiento

- **Reversibles:** Pueden funcionar tanto en ciclo de calefacción como en ciclo de refrigeración invirtiendo el sentido de flujo del fluido frigorífico gracias a una válvula de 4 vías.
- **No reversibles:** Únicamente funcionan en ciclo de calefacción.
- **Termofrigobombas:** Producen simultáneamente frío y calor.

1.3.- FUNCIONAMIENTO

1.3.1.- 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.

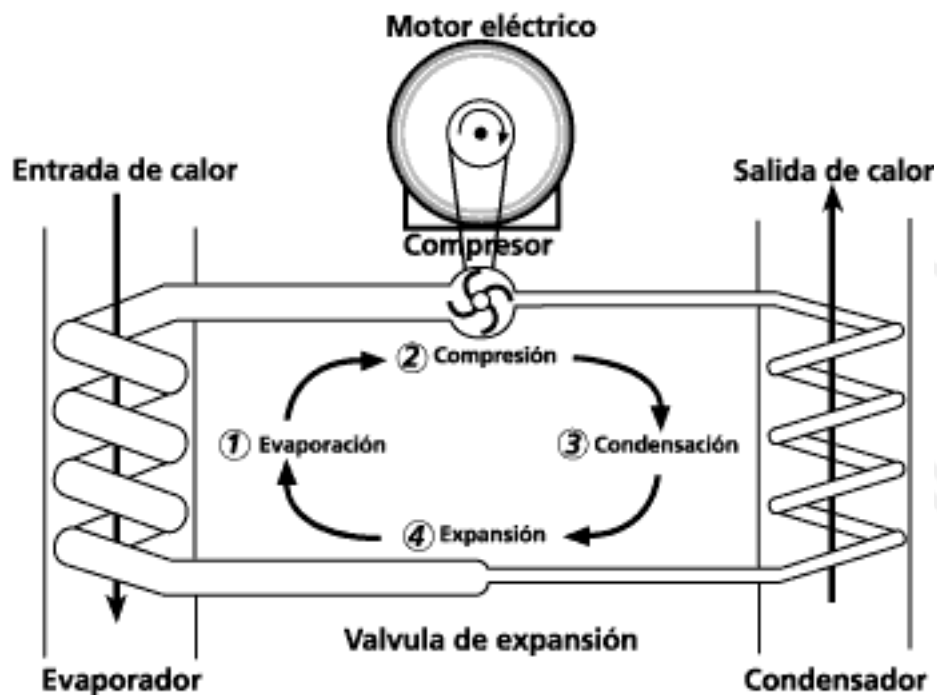


FIGURA 1.1 BOMBA DE CALOR DE COMPRESIÓN MECÁNICA ACCIONADA POR MOTOR ELÉCTRICO

El ciclo se desarrolla en las siguientes etapas:

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. (Fig.1.1)

- *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. (Fig.1.2)

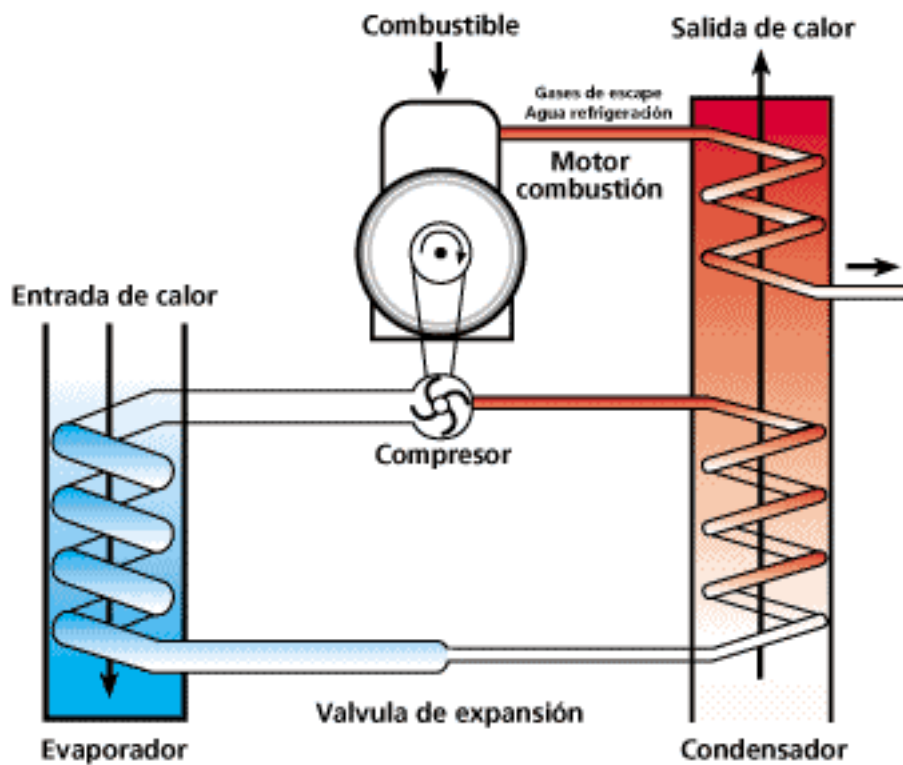


FIGURA 1.2 BOMBA DE CALOR CON MOTOR DE GAS

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 bombea calor del exterior hacia el interior en el ciclo de calefacción.
- Se bombea calor del interior hacia el exterior en el ciclo de refrigeración.

En la figura 1.3 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 calefactar, 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)

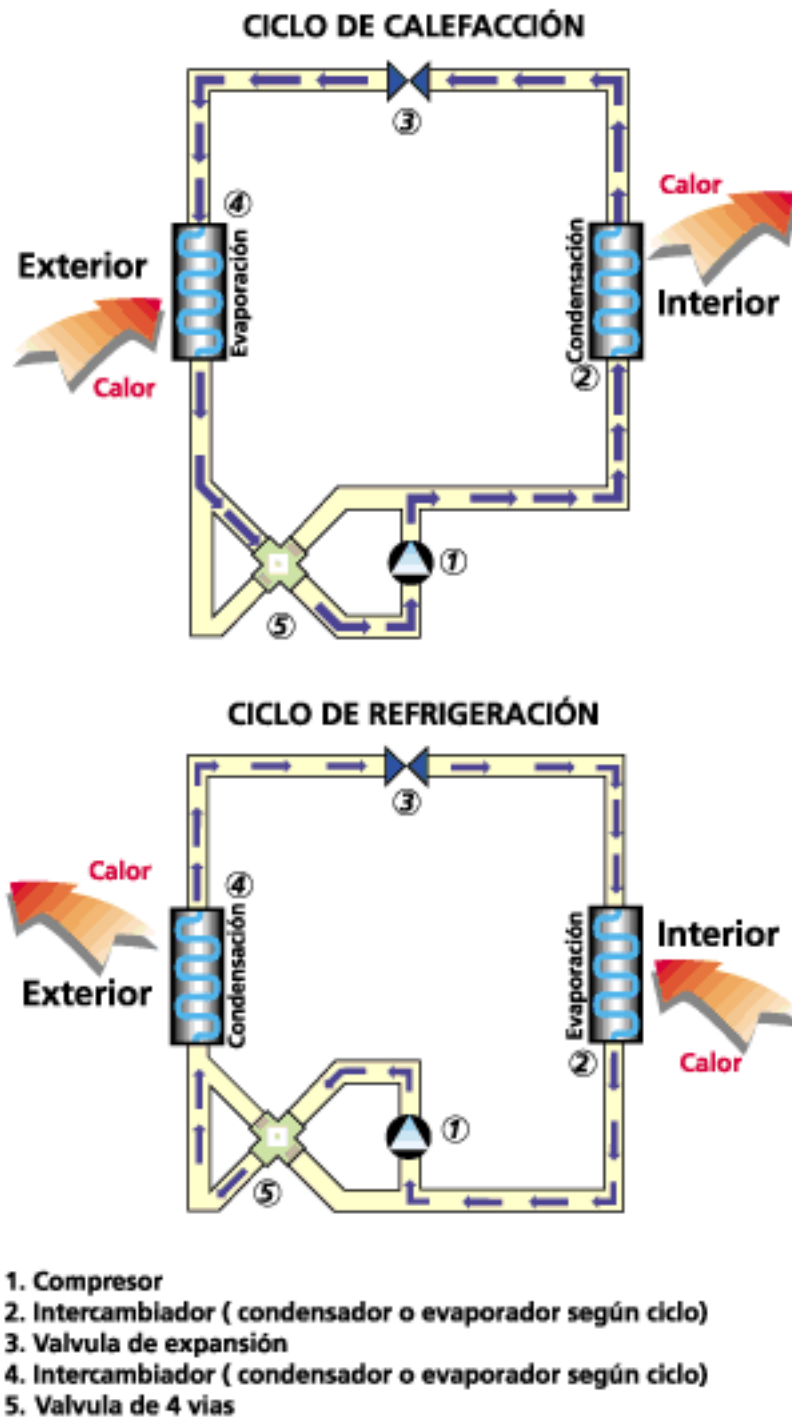


FIGURA 1.3 CICLOS DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

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.

1.3.2.- 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.

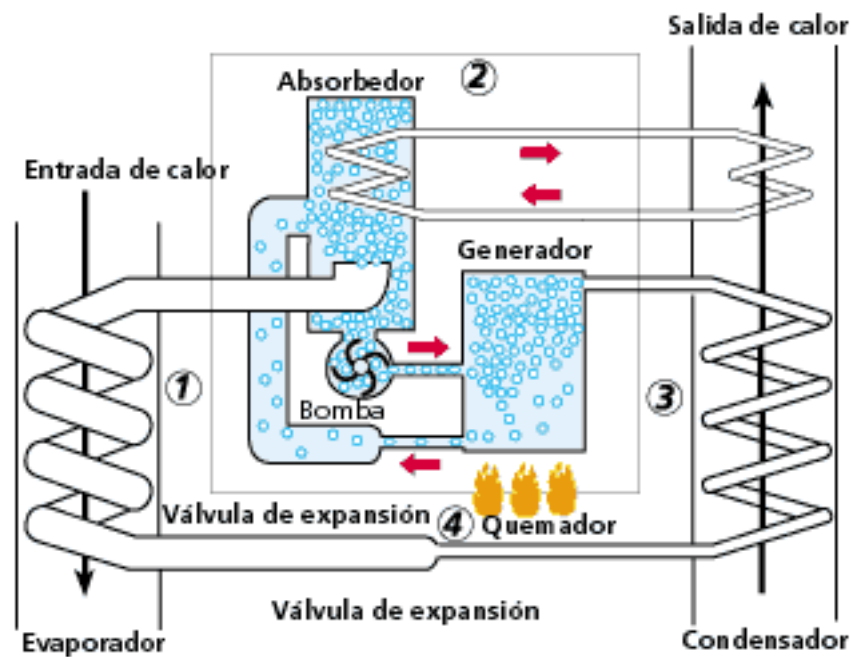


FIGURA 1.4 BOMBA DE CALOR DE ABSORCIÓN

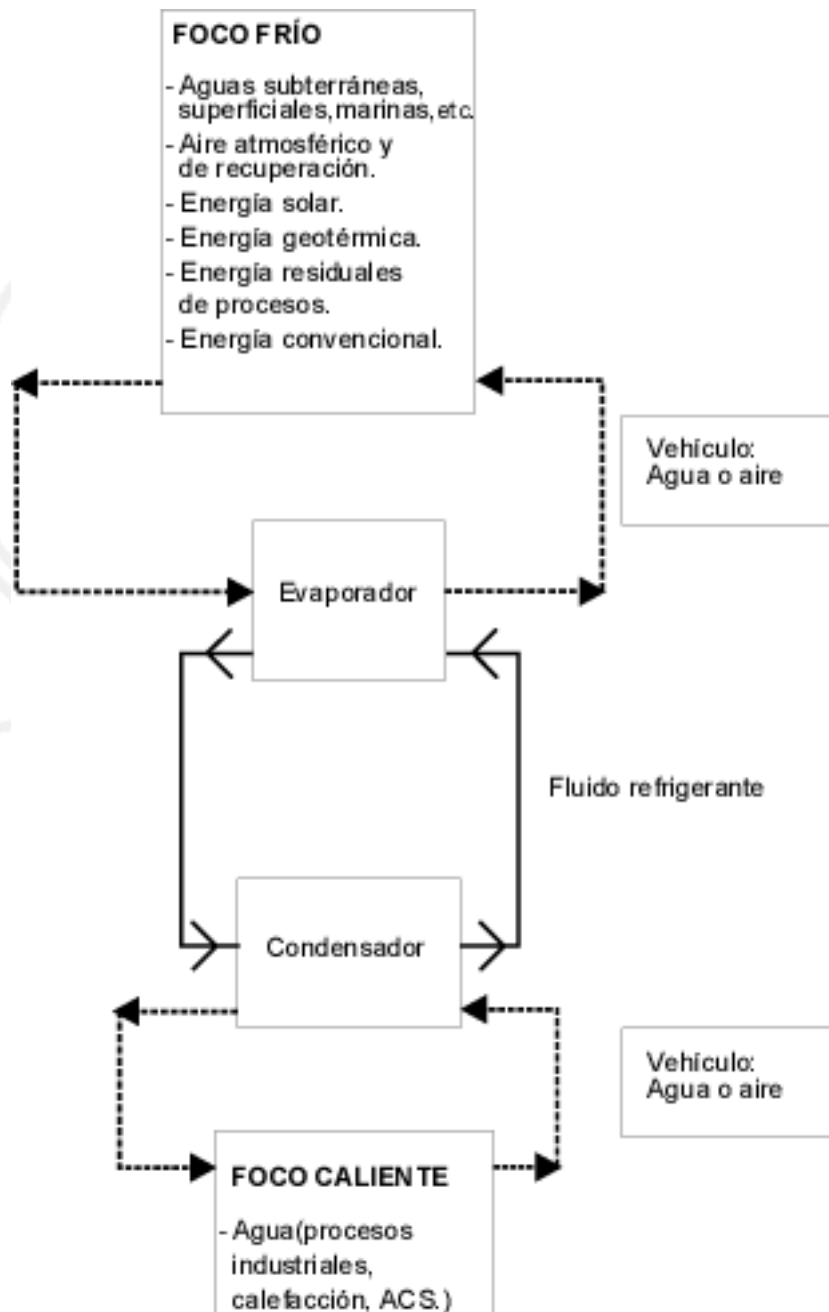
Los ciclos de absorción son análogos a los de compresión, únicamente se sustituye el compresor por un circuito de disoluciones que realiza la misma función que éste, es decir, eleva la presión y temperatura del fluido frigorífico en estado vapor. El circuito de disoluciones, denominado 2 en la figura 1.4, consiste en un absorbedor, una bomba que impulsa la disolución, un generador y una válvula de expansión. El vapor a baja presión procedente del evaporador es absorbido por el fluido absorbente en el absorbedor. El proceso de absorción genera calor. La disolución es bombeada a mayor presión accediendo al generador, donde el fluido refrigerante entra en ebullición gracias a un calor que se aporta desde el exterior. El refrigerante es entonces condensado, separándose del absorbedor. El refrigerante pasa a través del condensador mientras que el absorbente es conducido al absorbedor.

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.

1.4.- FOCOS

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. A continuación se analizan algunos medios susceptibles de ser utilizados como focos fríos o calientes para Bombas de Calor.

En el siguiente esquema se presentan algunos focos entre los que se puede bombear calor



industriales,
calefacción, ACS.)

- Aire (calefacción,
secado..)

1.4.1.- Focos Fríos

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

En la siguiente tabla se presentan las temperaturas de las fuentes de calor normalmente utilizadas:

Fuente de calor o foco frío	Rango de temperaturas (°C)
Aire ambiente	-10 / 15
Aire de extracción	15 / 25
Agua subterránea	4 / 10
Agua de lagos o ríos	0 / 10
Agua de mar	3 / 8
Suelos	0 / 5
Subsuelo	0 / 10
Aguas residuales y de procesos	>10

Aire Atmosférico

Su utilización presenta problemas de formación de escarcha. Este problema se resuelve invirtiendo el ciclo durante pequeños periodos, lo que supone un gasto adicional de energía. La temperatura debe ser superior a -5°C para que el COP resulte interesante. 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 en función de las necesidades.

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 en la superficie del intercambiador.

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 distancia al usuario, la variabilidad del caudal y en el caso de aguas residuales la corrosión y obstrucción del evaporador como consecuencia de las sustancias contenidas en las mismas.

1.4.2.- Focos calientes

Aire

El calor obtenido del foco frío se cede al aire que pasa directamente a la habitación por la unidad interior 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, que funcionan a temperaturas de 45-55°C.

En la siguiente tabla se presentan las temperaturas de distribución de agua y aire para las diferentes aplicaciones de calefacción:

Aplicación	Temperatura de distribución (°C)
Distribución de aire para calefacción	30-50
Distribución de agua para calefacción:	
- Calefacción a través del suelo	30-45
- Fan-coils	45-55
- Radiadores convencionales	60-90
Calefacción de distrito:	70-100
- Agua caliente	100-180
- Agua caliente-vapor	

1.5.- ELEMENTOS COMPONENTES

Para que el fluido refrigerante evolucione según los ciclos anteriormente expuestos son necesarios los elementos que a continuación se explican

1.5.1.- Compresor

Su misión es elevar la presión del vapor refrigerante desde una presión de aspiración a una presión de descarga 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.

Únicamente 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 con motor de gas disponibles actualmente en el mercado suelen disponer de un motor de 4 tiempos que acciona 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.

La presión máxima de aspiración está limitada en estas máquinas a 7 kg/cm² y consigue presiones a la salida del compresor de 20 kg/cm² como máximo. Los compresores alternativos se emplean para potencias térmicas generadas entre 0,1 kW y 100 kW.

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.

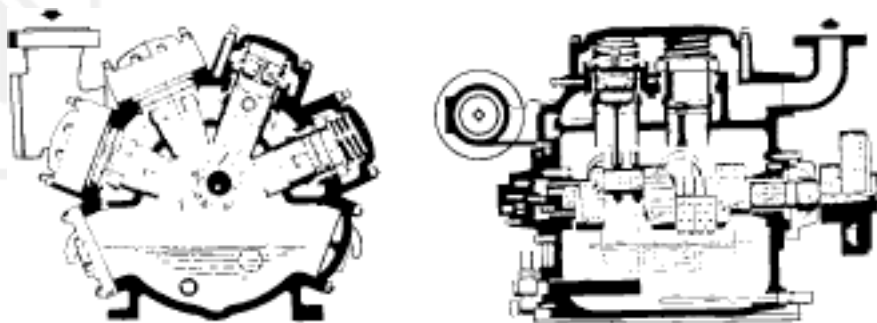


FIGURA 1.5 COMPRESOR ALTERNATIVO

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 elevadas a partir de 500 kW.

Los compresores de tornillo se utilizan para grandes potencias, de 100 a 200 kW, y suelen ser semiherméticos.

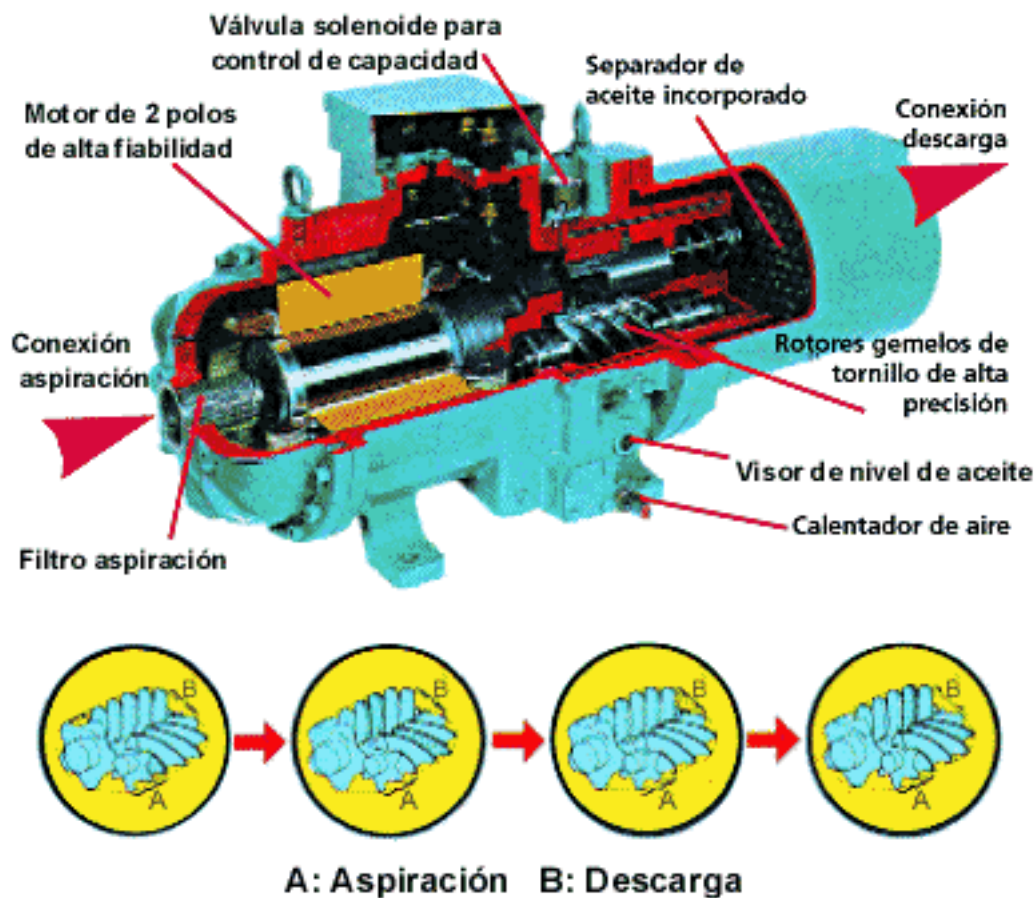


FIGURA 1.6 COMPRESOR ROTATIVO

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 una 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.



FIGURA 1.7 COMPRESOR DE ESPIRAL O SCROLL

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.

1.5.2.- Condensador

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.

1.5.3.- Evaporador

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 sobrecalentado 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 periodos reducidos de tiempo.



FIGURA 1.8 VENTILADOR AXIAL Y VENTILADOR CENTRIFUGO

Evaporadores de agua: Pueden ser coaxiales en contracorriente o bien multitubulares.

1.5.4.- Dispositivos de expansión

Son los dispositivos mediante los que se realiza la reducción de presión isoentálpica 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.



FIGURA 1.9 VÁLVULA EXPANSIÓN

1.5.5.- Dispositivos 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 de descarga es demasiado elevada.

1.5.6.- Dispositivos 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.

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.

1.6.- REFRIGERANTES

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.

El desarrollo de la tecnología frigorífica y de la Bomba de Calor ha estado siempre ligada a la investigación en el campo de los refrigerantes. En el capítulo 3 se expone la problemática asociada a la utilización de nuevos refrigerantes y las tendencias en este campo.

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_2 . 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 ² abs)	
Evaporador	Condensador	Evaporador	Condensador
+25°C	+70°C	10,5	30,5

1.7.- COEFICIENTES DE PRESTACIÓN

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.

COP teórico

En un ciclo ideal de Carnot:

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

Siendo

T_1 : Temperatura absoluta del foco caliente

T_2 : Temperatura absoluta del foco frío

COP práctico

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

α 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 η y de las temperaturas del foco frío y caliente. En la figura 1.10 se representa esta dependencia.

PER

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.

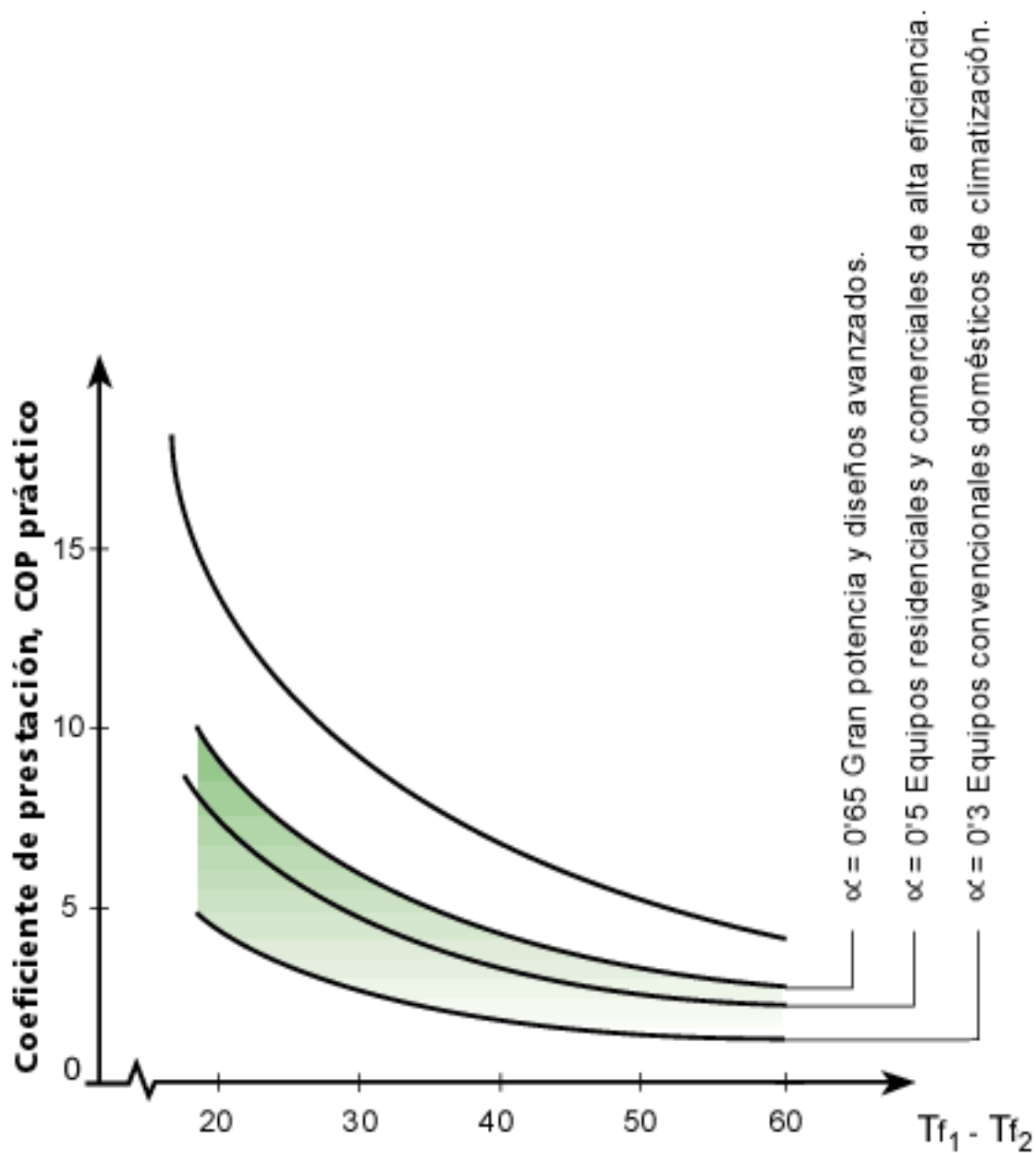


FIGURA 1.10 COP PRÁCTICO DE UNA BOMBA DE CALOR.

	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	2,5-4	0,8-2	1-1,7	1,8-2,4
PER	0,9-1,4	0,8-2	1-1,7	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 0° y 50° C.

COP 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.

$$COP_{medioestacional} = \frac{Q_1}{W + W'}$$

Siendo:

Q_1 : 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.