

TEMA 4: “Circuito frigorífico y bomba de calor: elementos y aplicaciones.”

Esquema:

TEMA 4: “Circuito frigorífico y bomba de calor: elementos y aplicaciones.”.....	1
1.- Introducción.....	1
2.- Máquina frigorífica.....	1
2.1.- Máquina frigorífica real.....	2
2.2.- Ciclo de Carnot Ideal.....	3
2.2.1.- Ciclo de Rankine, maquinas frigoríficas de compresión mecánica.....	4
3.- Bomba de calor.....	4
3.1.- Bomba de calor reversible.....	5
4.- Rendimientos	6

1.- Introducción

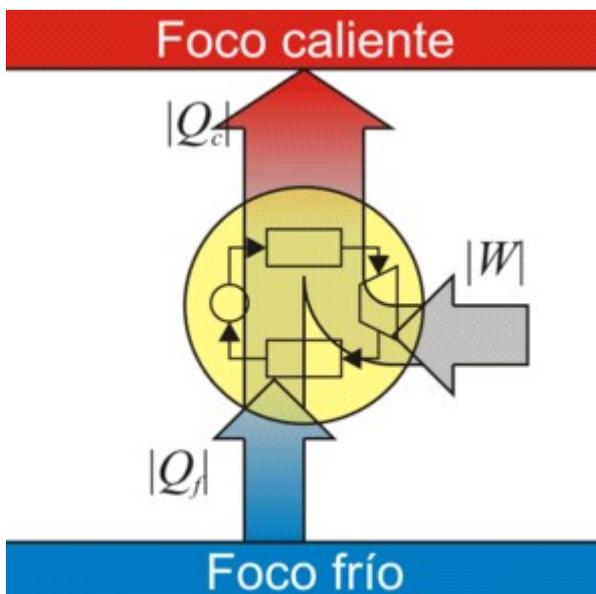
Si la máquina se utiliza para extraer calor de un recinto, se denomina **máquina frigorífica**. Si por el contrario, lo que interesa es aportar calor al recinto, la máquina se denomina **bomba de calor**. Y si se trata de una máquina capaz de extraer calor en una ocasiones y de ceder calor en otras, se denomina **bomba de calor reversible**.

Cuando hablamos de máquinas frigoríficas nos referimos a frigoríficos, congeladores, aparatos de aire acondicionado, máquinas que fabrican cubitos de hielo, máquinas que investigan con materiales superconductores, pistas de hielo, industria aeroespacial, máquinas de criogenia..

En cuanto a la bomba de calor, son esas máquinas que se utilizan para calentar la casa en invierno, funcionando de modo inverso al aire acondicionado. En la industria se utilizan bombas de calor en secaderos, en invernaderos, en granjas de aves, y en piscinas de agua caliente en invierno.

2.- Máquina frigorífica

Una máquina frigorífica es un tipo de máquina térmica generadora que transforma algún tipo de energía, habitualmente mecánica, en energía térmica para obtener y mantener en un recinto una temperatura menor que la temperatura exterior. La energía mecánica necesaria puede ser obtenida previamente a partir de otro tipo de energía, como la energía eléctrica mediante un motor eléctrico.



Una máquina frigorífica es un motor térmico funcionando a la inversa; en el motor térmico, el fluido termodinámico obtiene calor del foco caliente, realiza trabajo mecánico y cede calor al foco frío. En la máquina frigorífica, el fluido toma calor del foco frío y lo cede al foco caliente. Como se puede observar la transferencia de energía térmica se realiza en sentido contrario al que se produce de forma espontánea en la naturaleza y, según el segundo principio de la Termodinámica, esto sólo puede realizarse consumiendo trabajo. Por tanto, el

diagrama energético funcional de una máquina frigorífica es el que se muestra en la figura.

Esta transferencia se realiza mediante un fluido frigorígeno o refrigerante, que en distintas partes de la máquina sufre transformaciones de presión, temperatura y fase (líquida o gaseosa); y que es puesto en contacto térmico con los recintos para absorber calor de unas zonas y transferirlo a otras.

Se cumple el primer principio de la termodinámica: $Q_c = W + Q_f$

2.1.- Máquina frigorífica real

Una máquina frigorífica real utiliza un fluido para realizar un ciclo termodinámico que se basa en la evaporación y licuefacción de este fluido. El fluido que se utiliza se denomina genéricamente **refrigerante o fluido frigorígeno**.

Calor sensible: Cuando se aplica calor a una sustancia y ésta aumenta su temperatura, se está aplicando calor sensible.

Calor latente: Cuando se aplica calor a una sustancia y ésta no varía su temperatura sino que cambia de estado, se está aplicando calor latente que, según sea el cambio de estado se denominará calor latente de vaporización (de líquido a vapor) o de licuefacción (de vapor a líquido).

El calor latente tiene un valor muy superior al calor específico, por lo que podemos establecer que resulta más rentable absorber calor desde el entorno mediante un cambio de estado de un fluido que con el simple calentamiento del mismo.

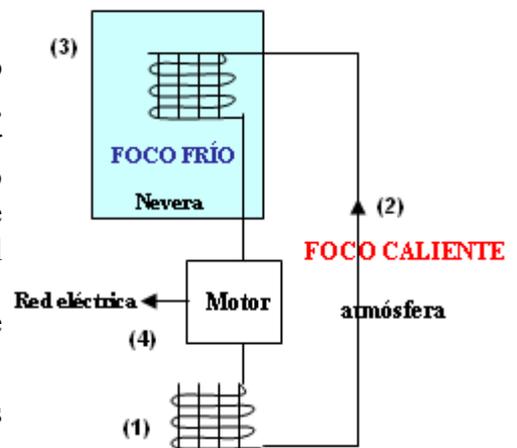
Temperatura y presión de saturación: Es aquella a la que una determinada sustancia realiza el paso de líquido a vapor, o viceversa.

Todo gas puede ser licuado depende de la temperatura y la presión, así por ejemplo, para licuar amoniaco a temperatura ambiente basta con aumentar su presión a 10 atms.

Una máquina frigorífica funciona, con un fluido refrigerante en un circuito cerrado que, en el lugar adecuado, disminuyendo la presión, pasará del líquido a vapor absorbiendo calor del medio exterior y, por tanto refrigerando el medio que lo rodea. Este fluido, ahora vapor, se comprime para aumentar su presión, obligándole, en otro punto del circuito, a pasar de vapor a líquido, cediendo calor al exterior. Sólo falta permitir que baje nuevamente la presión para que se repita el proceso realizando un ciclo termodinámico.

Una máquina frigorífica debe contener como mínimo los cuatro siguientes **elementos**:

- **Compresor:** Es el elemento que suministra energía al sistema. El refrigerante llega en estado gaseoso al compresor y aumenta su presión. Así la temperatura es superior a la del ambiente exterior de forma que sea posible el cambio de estado de vapor a líquido con cesión de calor. Funciona accionado por un motor. (4)
- **Condensador:** El condensador es un intercambiador de calor, en el que se disipa el calor absorbido en el evaporador (más adelante) y la energía del compresor. En el condensador el refrigerante cambia de fase pasando de gas a líquido. (1)
- **Sistema de expansión** : El refrigerante líquido entra en el dispositivo de expansión donde



reduce su presión. Al reducirse su presión se reduce bruscamente su temperatura. Así, se pasa de líquido a vapor con la absorción de calor (2)

- **Evaporador:** El refrigerante a baja temperatura y presión pasa por el evaporador, que al igual que el condensador es un intercambiador de calor, y absorbe el calor del recinto donde está situado. El refrigerante líquido que entra al evaporador se transforma en gas al absorber el calor del recinto. (3)

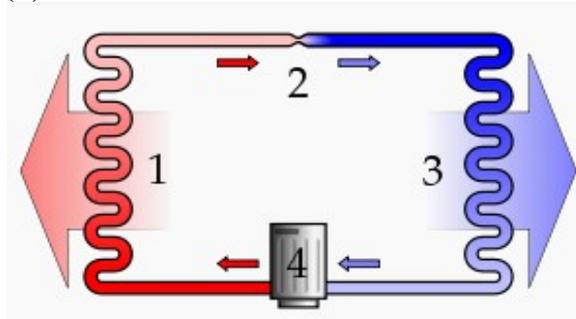


Diagrama del ciclo de una máquina frigorífica por compresión simple: 1)condensador, 2)válvula de expansión, 3)evaporador, 4)compresor.

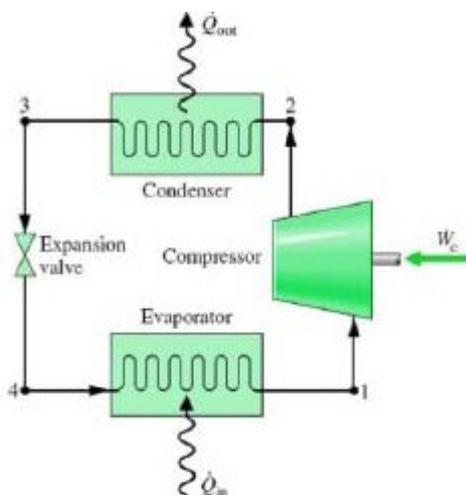
Tanto en evaporador como en el condensador la transferencia energética se realiza principalmente en forma de calor latente.

Resumiendo, el **evaporador** absorbe el calor del recinto que queremos enfriar, el **compresor** aumenta la presión del refrigerante para facilitar la **condensación** posterior y posibilitar la circulación del fluido. La **válvula de expansión** reduce la presión provocando el enfriamiento del refrigerante.

Económicamente hablando, el mejor ciclo de refrigeración es aquel que extrae la mayor cantidad de calor (Q_2) del foco frío (T_2) con el menor trabajo (W). Por ello, se define la **eficiencia o COP** (que no rendimiento) de una máquina frigorífica como el cociente Q_2/W

- Q_2 Representa el calor extraído de la máquina frigorífica por los serpentines refrigerantes situados en su interior (congelador).
- W Es el trabajo realizado por el motor que acciona el compresor.
- Q_1 Es el calor cedido a los serpentines (o radiador) refrigerantes exteriores (en la parte posterior del aparato y que se elimina al ambiente por una circulación de aire (natural o forzada con auxilio de un ventilador, caso de los aparatos de aire refrigerado).

2.2.- Ciclo de Carnot Ideal



En el se producen los siguientes estados:

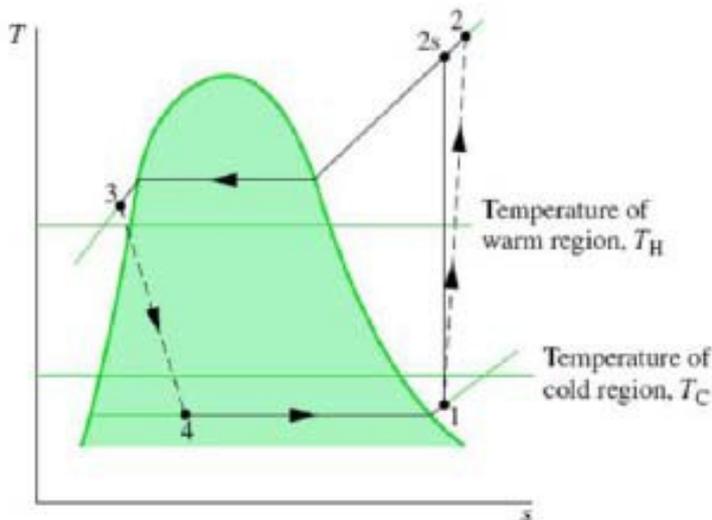
- **Compresión adiabática ideal (1-2)** mediante un compresor en el que solo entra fluido gaseoso y se consume trabajo.
- **Condensación en el foco caliente (2-3) compresión isoterma** en este caso en el condensador, de donde se extrae el calor que porta el fluido refrigerante y se cede calor al foco caliente a temp. constante.
- **Estrangulamiento, expansión adiabática**, hasta una

presión menor (3-4) que se produce en la válvula de expansión de nuestro sistema, se disminuye la temperatura desde T_c a T_f , se consume trabajo y disminuye el volumen.

- **Evaporación en el foco frío (4-1), expansión isoterma**, en donde el fluido pasa de estado eminentemente líquido a totalmente gaseoso mediante la extracción del calor en el evaporador, a temp. Constante y con aumento de volumen, absorbiendo calor desde el exterior del foco frío.

La adición de energía se produce en la fase 1-2, donde el compresor consumirá trabajo para recircular el fluido y aumentar la presión y temperatura de este. El calor puesto en juego, como se ha indicado antes se produce en las fases, 2-3 y 4-1.

2.2.1.- Ciclo de Rankine, maquinas frigoríficas de compresión mecánica



Al comienzo del tema se trató el concepto de reversibilidad e irreversibilidad de los ciclos termodinámicos. Como podemos recordar, se indicó que los ciclos reales tienen un cierto grado de irreversibilidad, debido fundamentalmente a limitaciones de los materiales, constructivas y físicas. Estudiaremos ahora en el diagrama T-S las irreversibilidades que aparecen en este ciclo y que podemos observar en cualquier instalación real.

Podemos observar primero la irreversibilidad que aparece en el compresor, donde se alcanza la

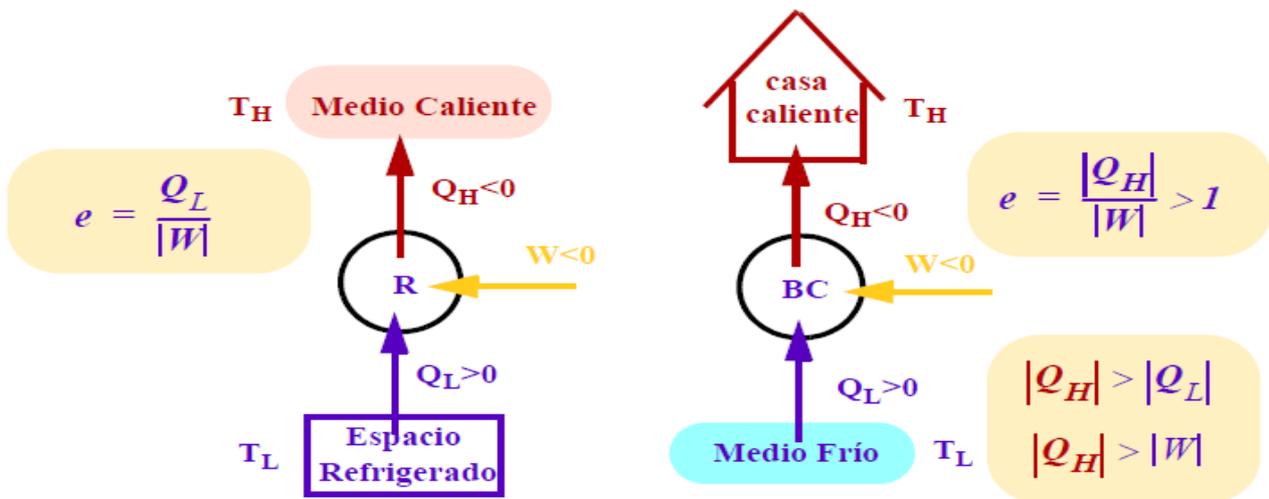
temperatura 2 en vez de la 2s debido fundamentalmente al calentamiento originado por la fricción mecánica. Esta irreversibilidad implica que la línea 2-1 no es totalmente isentrópica, siendo algo mayor la temperatura 2 que la 2s para alcanzar la misma presión.

También se puede observar que el punto 3, que indica la entrada en la válvula de expansión está fuera de la campana de cambio de fase del fluido, estado éste algo subenfriado, con lo que garantizamos que el fluido entra en la válvula totalmente frío.

Por último destacar que la temperatura en el condensador es superior que la del entorno (foco caliente) y la del evaporador inferior a la de la zona a climatizar o enfriar (foco frío).

3.- Bomba de calor

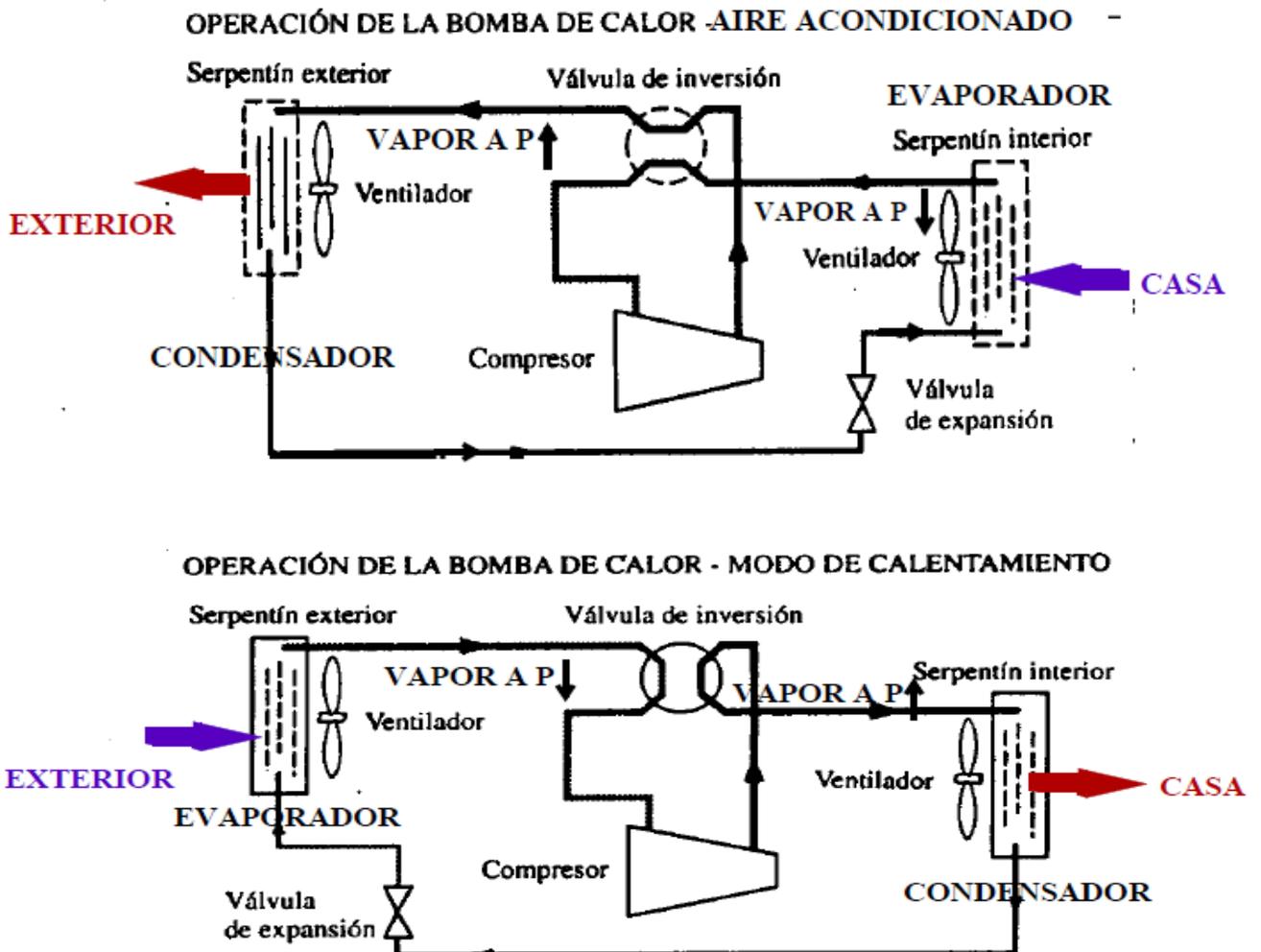
En el sistemas de bomba de calor se realiza el mismo proceso, como se indicó en el apartado del ciclo de Carnot, solo es necesario intercambiar de sitio evaporador y condensador (normalmente mediante una válvula, denominada de 4 vías, que se encarga de cambiar de sentido el fluido refrigerante).



3.1.- Bomba de calor reversible

La válvula de inversión invierte el sentido de la circulación el condensador pasa a ser el evaporador de verano.

Son útiles en lugares en los que la temperatura exterior en invierno no sean excesivamente bajas.



Hay que denotar que la máquina frigorífica se puede utilizar como calentador, como bien se expone en el Ciclo de Carnot. Para ello, basta con hacer que el foco caliente sea la habitación, T_1 , y el frío el exterior. Es el principio de funcionamiento de la bomba de calor, que es más ventajosa de utilizar que un caldeo por resistencia eléctrica, ya que esta última solamente puede suministrar un calor calculado por equivalente del trabajo que realiza la corriente eléctrica ($0.24 \cdot I^2 \cdot R \cdot T$), es decir, W , mientras que la bomba de calor proporcionará $W+Q_2$.

4.- Rendimientos

El rendimiento se calcula como el cociente entre aquello que obtenemos, según el objetivo para el que se utiliza la máquina, y lo que nos cuesta conseguirlo.

Con ello, prescindiendo de las mejoras que se pudieran introducir basándose en el proyecto puramente mecánico, así como de las mejoras constructivas, Carnot obtuvo la expresión del rendimiento máximo de un motor térmico (aunque sirve para cualquier máquina térmica) que opera entre dos temperaturas. Si la máquina térmica sigue el ciclo de Carnot, máquina ideal, se pueden substituir los valores de Q_1 y Q_2 por los valores de T_1 y T_2 (temperaturas absolutas del foco caliente y del foco frío) en las fórmulas del rendimiento y de la eficiencia.

Según la expresión, el motor térmico tendrá mejor rendimiento cuando el tubo que representa el trabajo obtenido (Q_1-Q_2) sea lo más ancho posible, y el tubo que representa el calor que sale por el escape (Q_2) sea lo más estrecho posible.

Máquina frigorífica: Eficiencia o $COP_f = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{T_2}{T_c} = \frac{T_f}{W}$, de donde se deduce que **para aumentar la eficiencia de una máquina frigorífica** interesa disponer de una elevada temperatura fría y que la diferencia térmica entre los dos focos (salto térmico) se lo menor posible. Esto quiere decir que la eficiencia disminuye cuando deseamos obtener temperaturas muy bajas o cuando hacemos trabajar la máquina en ambientes muy cálidos. También cuando requerimos temperaturas más bajas, aumentamos el tiempo de funcionamiento del motor y por tanto el consumo.

Bomba de calor: Eficiencia o $COP_{bc} = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} = \frac{Q_1}{W} = \frac{T_c}{T_c - T_f}$, si lo que buscamos es un aporte de calor para un recinto, **la eficacia se aumenta** cuando la temperatura que se desea alcanzar en el foco caliente es alta y cuando el salto térmico es pequeño.

Lo que indica que en un motor térmico cuanto mayor sea la temperatura del foco caliente mayor será su rendimiento, y que, en una máquina frigorífica o en una bomba de calor cuanto más próximas sean las temperaturas del foco caliente y del frío mayor será su eficiencia.

Recordando el primer principio de la termodinámica: $Q_c = W + Q_f$ o $Q_1 = W + Q_2$, dividiendo por el trabajo toda la igualdad: $\frac{Q_c}{W} = \frac{W + Q_f}{W} \Rightarrow \frac{Q_c}{W} = 1 + \frac{Q_f}{W} \Rightarrow COP_{bc} = 1 + COP_f$