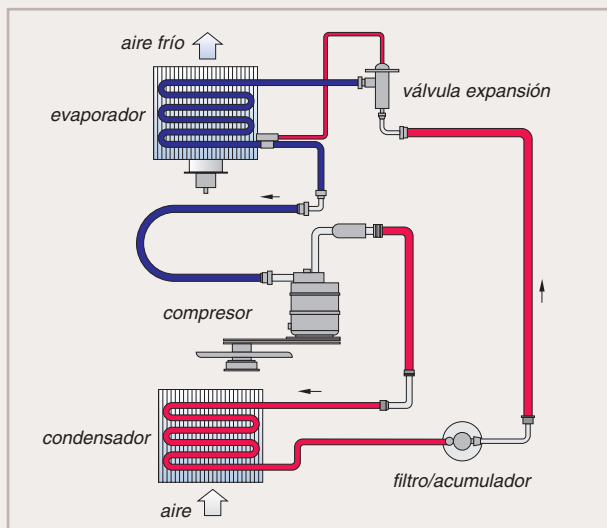


9 MÁQUINA FRIGORÍFICA Y BOMBA DE CALOR

OBJETIVOS DIDÁCTICOS

- Identificar máquina frigorífica como máquina térmica.
- Establecer los flujos energéticos en una máquina frigorífica.
- Interpretar el Ciclo de Carnot en sentido inverso.
- Conocer la eficiencia ideal de la máquina frigorífica y de la bomba de calor.
- Comprender los conceptos físicos básicos en los que se basa la máquina frigorífica.
- Identificar y comprender la función de los elementos en un circuito frigorífico.
- Conocer el funcionamiento básico de la máquina frigorífica.
- Identificar los procesos en los que se divide el funcionamiento con el ciclo termodinámico correspondiente.
- Reconocer la bomba de calor como una aplicación de la máquina frigorífica.
- Identificar tipos de bombas de calor según las fuentes empleadas y las posibles aplicaciones.
- Comprender el funcionamiento de la bomba de calor reversible.
- Conocer los refrigerantes más empleados y sus características principales.
- Aprender el efecto que sobre el medio ambiente tienen los refrigerantes y la necesidad de utilizar otros nuevos no dañinos de la capa de ozono.



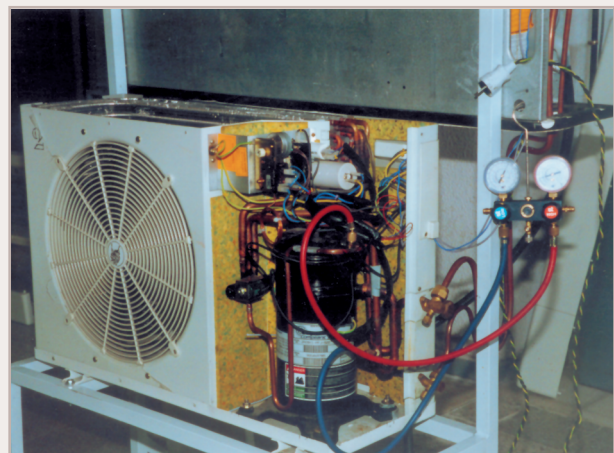
Circuito esquemático de una máquina frigorífica

CONOCIMIENTOS PREVIOS

- Conocer los principios de la termodinámica.
- Conocer las transformaciones termodinámicas básicas.
- Interpretar correctamente el Ciclo de Carnot
- Conocer las leyes básicas de cambio de estado en líquidos y gases.
- Conocer las magnitudes básicas utilizadas en el estudio de máquinas.
- Tener conciencia de la problemática de la disminución de la capa de ozono.

CONTENIDOS DE LA UNIDAD DIDÁCTICA

- Introducción.
- Principio de funcionamiento.
 - Máquina frigorífica ideal.
- Máquina frigorífica real.
 - Conceptos básicos.
 - Componentes de una instalación frigorífica.
 - Funcionamiento de la máquina frigorífica.
 - Ciclo termodinámico teórico de la máquina real.
 - Eficiencia teórica de la máquina real.
- Bomba de calor.
 - Eficiencia teórica de una bomba de calor.
 - Tipos de bombas de calor.
 - Bomba de calor reversible.
- Refrigerantes utilizados en las máquinas frigoríficas.
 - Características genéricas de los refrigerantes.
 - Propiedades físicas de los refrigerantes.
 - Ventajas e inconvenientes de algunos refrigerantes.



Máquina frigorífica didáctica





1. INTRODUCCIÓN

En la U.D. anterior se han estudiado las máquinas térmicas que consumen energía térmica y producen energía mecánica: los motores térmicos. En esta U.D. se estudian las máquinas térmicas que realizan un ciclo inverso al de los motores térmicos. Estas máquinas consumen energía mecánica y extraen o ceden calor. Como veremos, la máquina realmente es siempre la misma, pero el objetivo es distinto. 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 unas ocasiones y de ceder calor en otras, se denomina bomba de calor reversible.

Cuando hablamos de máquina frigorífica no sólo nos referimos a los frigoríficos y congeladores que tenemos en casa, también se trata del aparato de aire acondicionado que nos alivia en verano, de las máquinas que fabrican los cubitos de hielo, de las que permiten realizar investigaciones con materiales como los superconductores, de las que permiten que podamos disfrutar de pistas de hielo permanentes, de las instalaciones donde se licuan gases como el gas natural para facilitar su transporte, o del oxígeno para la industria aeroespacial y también de las máquinas que se utilizan en 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. También una bomba de calor nos permite disfrutar de piscina de agua caliente en invierno.

Al igual que se hizo en la U.D. anterior, en ésta se ve en primer lugar los conceptos en los que se basa el funcionamiento de la máquina frigorífica, los elementos que conforman la máquina, los ciclos termodinámicos en los que fundamenta su funcionamiento y los parámetros más importantes de estas máquinas como consumo, potencia y rendimiento.

2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

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 puedes observar, la transferencia de energía térmica se realiza en el 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 muestra la figura 1.

Donde Q_f representa la energía térmica absorbida por el fluido desde el foco frío que se encuentra a una temperatura T_f . Q_c representa el calor cedido por el fluido al foco caliente,

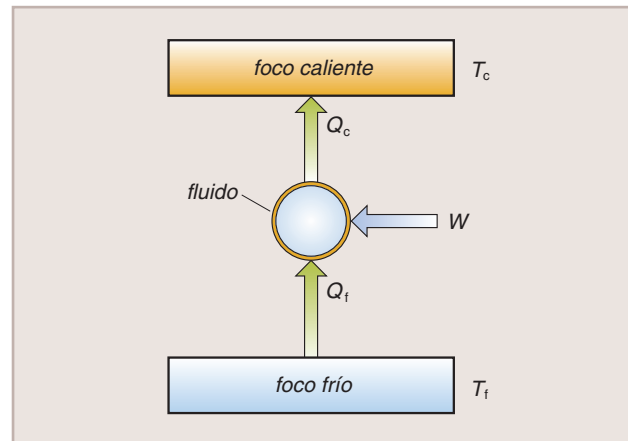


Fig. 1. Diagrama energético de la máquina frigorífica.

cuya temperatura es T_c . Y W es el trabajo que se debe aportar al fluido para conseguir que la transferencia térmica se realice desde el foco frío hacia el foco caliente.

En las máquinas frigoríficas, el fluido empleado realiza un ciclo termodinámico, por lo que en el diagrama anterior, y según el primer principio de la termodinámica, se cumplirá:

$$Q_c = W + Q_f$$

2.1. Máquina frigorífica ideal

Una máquina frigorífica ideal sería aquella en la cual el fluido termodinámico realizaría el Ciclo de Carnot en sentido inverso, es decir, en sentido antihorario, como se muestra en la figura 2.

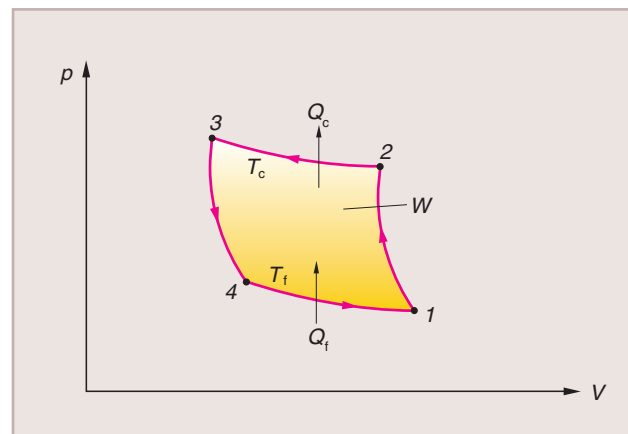


Fig. 2. Ciclo de Carnot para la máquina frigorífica ideal.

Según este ciclo, el fluido realiza dos transformaciones isotérmicas y otras dos adiabáticas:

- **Transformación 1-2: compresión adiabática:** se produce una disminución de volumen a expensas de un consumo de trabajo exterior provocando un aumento de temperatura desde la temperatura inferior T_f a la temperatura superior T_c . Esta transformación se realiza sin intercambio de calor con el exterior, adiabáticamente.



- **Transformación 2-3: compresión isoterma:** el fluido cede calor al foco caliente a temperatura constante, lo que equivale a un trabajo negativo con disminución de volumen.
- **Transformación 3-4: expansión adiabática:** el fluido disminuye su temperatura desde T_c hasta T_f , sin intercambio de calor con el exterior, por lo que realiza un cierto trabajo con aumento de volumen. Idealmente este trabajo se podría utilizar para realizar la transformación 1-2, en la que se necesita consumir trabajo.
- **Transformación 4-1: expansión isotérmica:** se completa el ciclo con una transformación a temperatura constante y con aumento de volumen. Esto requiere la realización de un trabajo positivo a partir del calor absorbido del exterior, el foco frío.

El rendimiento ideal obtenido en este ciclo sería el máximo posible según vimos en la U.D. 7. Este 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. Este rendimiento resulta ser mayor que la unidad, por lo que contradice la propia definición de rendimiento. Es por esta razón que para indicar el rendimiento de las máquinas frigoríficas se utiliza la expresión **eficiencia**, o más técnicamente, **coeficiente de operación, COP** (del inglés *Coefficient Of Performance*).

Para el supuesto de una máquina frigorífica cuyo objetivo es extraer calor del foco frío, la eficiencia ideal es:

$$COP_f = \frac{Q_f}{W} = \frac{Q_f}{Q_c - Q_f} = \frac{T_f}{T_c - T_f}$$

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**) sea 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.

Ejemplo

Una máquina frigorífica trabaja entre un foco frío a -5°C y un foco caliente a 30°C . Determina:

- Eficiencia ideal de la máquina.
- Para conseguir una eficiencia igual a 9, ¿qué temperatura debe tener el foco caliente?
- Si se ajusta el circuito para conseguir una temperatura de -10°C , ¿cuál será la nueva eficiencia?

Solución:

a) La eficiencia ideal se obtiene a partir de las temperaturas de los focos, entre los que se trabaja:

$$COP_f = \frac{T_f}{T_c - T_f} = \frac{273 - 5}{(273 + 30) - (273 - 5)} = 7,657$$

b) La eficiencia aumentará si disminuye la temperatura exterior:

$$COP_f = \frac{T_f}{T_c - T_f} \Rightarrow T_c = \frac{T_f}{COP_f} + T_f = \frac{268}{9} + 268 = 267,77\text{K} = 24,77^\circ\text{C}$$

Es decir, la eficiencia de nuestro frigorífico es mayor en invierno que en verano.

c) Al exigirle menor temperatura, la eficiencia disminuirá:

$$COP_f = \frac{T_f}{T_c - T_f} = \frac{273 - 10}{(273 + 30) - (273 - 10)} = 6,575$$

También resulta palpable en nuestro frigorífico que, cuando se requieren temperaturas más bajas, aumenta el tiempo de funcionamiento del motor y, por tanto, el consumo.

Si, por el contrario, lo que buscamos con esta máquina es un aporte de calor para calentar un recinto, es decir, si se trata de una bomba de calor, la eficiencia será:

$$COP_{bc} = \frac{Q_c}{W} = \frac{Q_c}{Q_c - Q_f} = \frac{T_c}{T_c - T_f}$$

En este caso, la eficiencia aumenta cuando la temperatura que se desea alcanzar en el foco caliente es alta y cuando el salto térmico es pequeño.

A partir de las expresiones anteriores podemos relacionar fácilmente las eficiencias de la máquina trabajando como máquina frigorífica y como bomba de calor.

Recordando el primer principio de la Termodinámica aplicado a la máquina frigorífica:

$$Q_c = W + Q_f$$

Si dividimos por W ambos lados de la igualdad:

$$\frac{Q_c}{W} = \frac{W + Q_f}{W} \Rightarrow \frac{Q_c}{W} = 1 + \frac{Q_f}{W}$$

Es decir:

$$COP_{bc} = 1 + COP_f$$

Ejemplo

Una máquina funciona según el ciclo reversible de Carnot entre dos focos a -3°C y 27°C y recibe desde el exterior una energía de 7.200 kJ . Calcula:

- Eficiencia de la máquina funcionando como máquina frigorífica.
- Eficiencia de la máquina funcionando como bomba de calor.
- Energía térmica entregada al foco caliente.
- Energía térmica absorbida desde el foco frío.



Solución:

a) Como funciona según el ciclo ideal de Carnot, la eficiencia depende de las temperaturas de los focos:

$$COP_f = \frac{T_f}{T_c - T_f} = \frac{273 - 3}{(273 + 27) - (273 - 7)} = 9$$

b)

$$COP_{bc} = \frac{T_c}{T_c - T_f} = \frac{273 + 27}{(273 + 27) - (273 - 7)} = 10$$

Vemos que:

$$COP_{bc} = 1 + COP_f$$

c)

$$COP_{bc} = \frac{Q_c}{W} \Rightarrow Q_c = 10 \cdot 7.200 = 72.000 \text{ kJ}$$

d)

$$Q_c = W + Q_f \Rightarrow Q_f = 72.000 - 7.200 = 64.800 \text{ kJ}$$

3. 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**.

Antes de ver cómo se consigue en una máquina real la transferencia térmica desde el foco frío hacia el foco caliente, recordemos algunos conceptos que nos ayudarán a entender mejor el proceso.

3.1. Conceptos básicos

Calor sensible y calor latente. Cuando se aplica calor a una sustancia y ésta aumenta su temperatura, se está aplicando calor sensible. Tomando el agua como referencia, sabemos que para que un gramo de agua aumente su temperatura en un grado, es necesario aplicarle una caloría. Sin embargo, 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). Para el agua, el calor latente de vaporización es 537 kcal/kg, es decir, que para que un gramo de agua líquida pase a vapor debe absorber 537 calorías. La **tabla 1** muestra los valores de calor latente de varias sustancias.

Refrigerante	R-11	R-12	R-13	R-22	R-113	R-114
Calor latente (cal/g)	43,51	39,47	35,4	55,92	35,07	32,78

Tabla 1. Valores de calor latente a 1 atm para algunos fluidos frigoríficos.

Al igual que para el agua, 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 el cambio de estado de un fluido que con el simple calentamiento del mismo. Veamos un ejemplo: si se desea mantener un determinado recinto a -20°C , haciendo circular a través de una tubería un fluido refrigerante a -30°C , se tendrá que hacer circular por dicha tubería un gran caudal de fluido para conseguir nuestro objetivo. Sin embargo, si en el interior de la tubería se obliga al fluido a pasar de líquido a vapor, el calor que absorbe será mucho mayor y, por tanto, el caudal necesario será mucho menor.

Ejemplo

Determina el calor que un bloque de hielo de 1 kg de masa a -10°C debe tomar de su entorno para conseguir 1 kg de vapor de agua a 120°C , suponiendo que todo el proceso se realiza a presión atmosférica.

Datos:

- Calor específico del hielo: $c_h = 0,5 \text{ kcal/kg} \cdot \text{K}$
- Calor latente de fusión del hielo: $c_{lf} = 80 \text{ kcal/kg}$
- Calor específico del agua: $c_a = 1 \text{ kcal/kg} \cdot \text{K}$
- Calor latente de vaporiz. del agua: $c_{lv} = 537 \text{ kcal/kg}$
- Calor específico del vapor: $c_v = 0,46 \text{ kcal/kg} \cdot \text{K}$

Solución:

El calor total necesario será la suma de las distintas energías térmicas, que son necesarias para los sucesivos incrementos térmicos y los distintos cambios de estado:

$$Q_{tot} = Q_{sensiblehielo} + Q_{latfusión} + Q_{sensibleagua} + Q_{latevaporiz} + Q_{sensiblevapor}$$

$$Q_{sensiblehielo} = mc_h \Delta T = 1 \cdot 0,5 [0 - (-10)] = 5 \text{ kcal}$$

$$Q_{latfusión} = mc_{lf} = 1 \cdot 80 = 80 \text{ kcal}$$

$$Q_{sensibleagua} = mc_a \Delta T = 1 \cdot 1 (100 - 0) = 100 \text{ kcal}$$

$$Q_{latevaporiz} = mc_{lv} \Delta T = 1 \cdot 537 = 537 \text{ kcal}$$

$$Q_{sensiblevapor} = mc_v \Delta T = 1 \cdot 0,46 (120 - 100) = 9,2 \text{ kcal}$$

$$Q_{total} = 731,2 \text{ kcal}$$

En este ejemplo podemos observar que la mayor parte del calor absorbido en el proceso ha sido en el cambio de estado de líquido a vapor.

Temperatura y presión de saturación. La temperatura de saturación es aquella temperatura a la que una determinada sustancia realiza el paso de líquido a vapor, o viceversa. La presión de saturación es aquella presión a la que una determinada sustancia realiza el paso de líquido a vapor o viceversa. La temperatura y la presión de saturación están íntimamente relacionadas, de tal forma que el valor de una depende del valor de la otra. Es decir, en el cambio de estado, mientras coexisten las fases líquido y vapor, con saber el valor de la temperatura existente queda perfectamente definida la presión o, al contrario, si se sabe la presión, automáticamente queda determinada la temperatura. La



figura 3 muestra esta interrelación para tres fluidos refrigerantes muy utilizados en las máquinas frigoríficas.

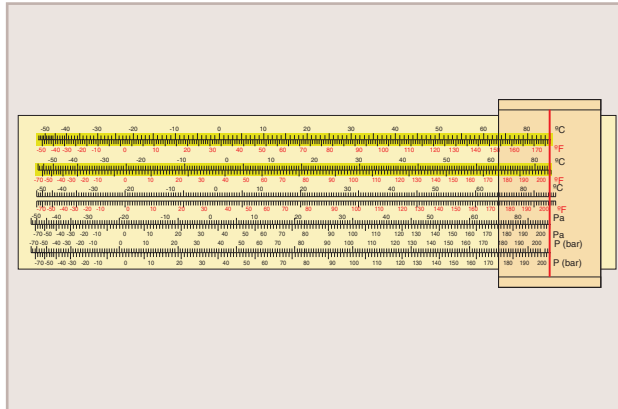


Fig. 3. Presión de vapor en función de la temperatura para varios refrigerantes.

Este gráfico muestra, por ejemplo, que el amoníaco a presión atmosférica evapora a los $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que si se desea que el cambio de estado se realice a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, es necesario someterlo a una presión de 2 atmósferas.

Todo vapor puede ser licuado. Esta afirmación es una consecuencia de lo anteriormente expuesto; aunque estemos habituados a ver algunas sustancias en estado gaseoso, si se llevan a las condiciones necesarias, podrán pasar a estado líquido. Esto ocurre con el butano que, en el interior de las botellas está líquido, o con el gas natural, que se licua para transportarlo mediante los barcos denominados metaneros, y también con el oxígeno que se licua para utilizarlo como comburente en las naves espaciales.

El gráfico de la figura 3 muestra que para licuar el amoníaco a una temperatura ambiente de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, se debe alcanzar una presión de 10 atmósferas.

Estos conceptos vistos hasta ahora permiten intuir cómo funciona una máquina frigorífica:

- Se dispone de un fluido refrigerante en un circuito cerrado que, en el lugar adecuado, disminuyendo la presión, pasará de líquido a vapor absorbiendo calor del medio exterior y, por tanto, refrigerando el medio que lo rodea (con el amoníaco esto pasaría a presión atmosférica a $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- 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 (con el amoníaco esto pasaría a temperatura ambiente con una presión de 10 atmósferas). Sólo falta permitir que baje nuevamente la presión para que se repita el proceso realizando un ciclo termodinámico.

3.2. Componentes de una instalación frigorífica

Para realizar los distintos procesos indicados anteriormente, se disponen de los elementos necesarios en cada caso; estos elementos son los indicados en la figura 4.

- **Compresor.** Toma el fluido refrigerante en estado vapor y a baja presión y eleva su presión hasta un valor que su temperatura de saturación sea superior a la temperatura ambiente que existe en el exterior de la máquina, de forma que sea posible el cambio de estado del fluido de vapor a líquido con cesión de calor. El compresor funciona accionado por un motor térmico o eléctrico.
- **Condensador.** Se trata de un conducto en forma de serpentín para conseguir una gran superficie de contacto que facilite el rápido intercambio de calor entre el fluido del interior y el medio exterior. Este conducto se va llenando del vapor que proviene del compresor y va aumentando su presión hasta alcanzar la presión de vapor, momento en que se licua, cediendo calor al exterior. En un frigorífico convencional es la rejilla situada en la parte trasera del frigorífico (Q_c).
- **Válvula de expansión.** Es el dispositivo que se utiliza para regular la entrada en el evaporador del fluido refrigerante en estado líquido procedente del condensador. Mediante esta válvula se consigue que el evaporador se alimente de una forma continua. Así, se dispone en el evaporador del refrigerante necesario para conseguir que se mantenga la presión de vapor que se necesita, según la temperatura deseada, para que se produzca el paso de líquido a vapor con la correspondiente absorción de calor.
- **Evaporador.** Es un intercambiador de calor similar al condensador. En este caso, el evaporador va recibiendo fluido en estado líquido a baja presión, procedente de la válvula de expansión. Las propiedades termodinámicas del fluido refrigerante

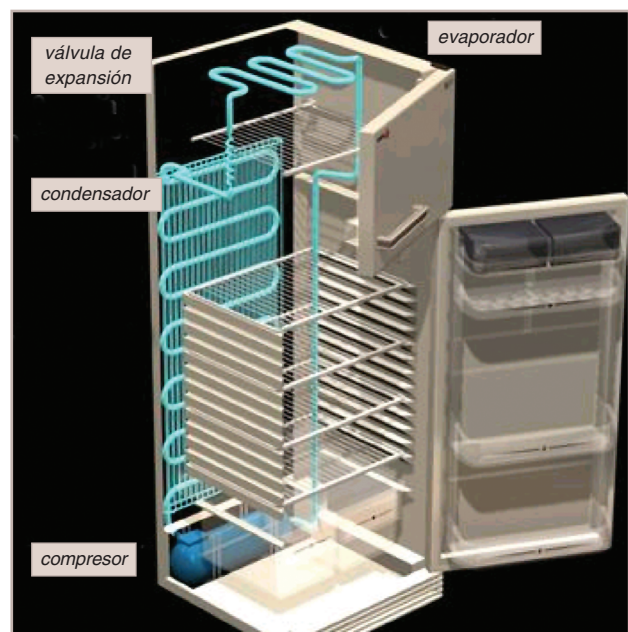


Fig. 4. Elementos de la máquina frigorífica y su localización en un frigorífico convencional.

permiten que, para la presión existente en el evaporador, la temperatura de vapor a la que se produce el cambio de líquido a vapor sea inferior a la temperatura del local que se desea refrigerar. De esta forma, el fluido toma el calor que necesita para el cambio de estado del medio exterior y lo refrigera. En un frigorífico convencional es el conducto en forma de serpentín situado en la parte interior de la pared trasera (Q_f).

3.3. Funcionamiento de la máquina frigorífica

El siguiente diagrama de bloques **figura 5** muestra los elementos que componen la máquina, la circulación del fluido refrigerante y las transformaciones que sufre a su paso por los distintos bloques:

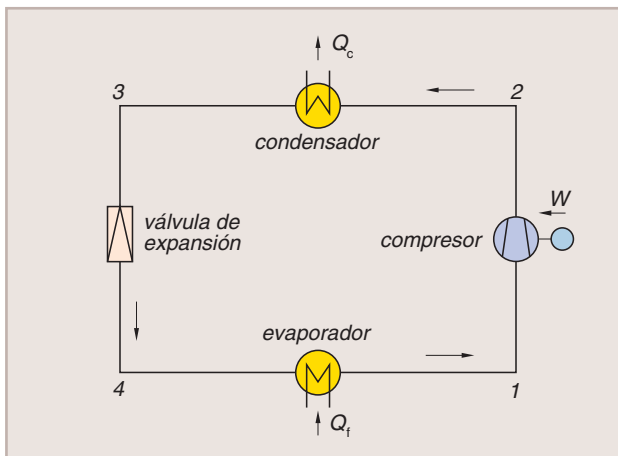


Fig. 5. Diagrama de bloques de funcionamiento de una máquina frigorífica.

- Proceso 1-2:** el compresor toma el refrigerante en estado de vapor a baja presión (P_f) y baja temperatura (T_f) y lo comprime, pasando a alta presión (P_c) y alta temperatura (T_c). En este proceso se consume un trabajo W (suministrado por el motor térmico o eléctrico).
- Proceso 2-3:** el fluido en las condiciones anteriores entra en el condensador, donde cambia de estado, cediendo un calor Q_c al exterior.
- Proceso 3-4:** a través de la válvula se permite la expansión del fluido, por lo que disminuye su presión y temperatura.
- Proceso 4-1:** el líquido refrigerante entra en el evaporador, donde cambia de estado líquido a vapor, consumiendo un calor Q_f que toma del interior de la cámara frigorífica, refrigerándola.

3.4. Ciclo termodinámico teórico de la máquina real

El proceso descrito en el apartado anterior corresponde con el ciclo termodinámico teórico que se muestra en la **figura 6**.

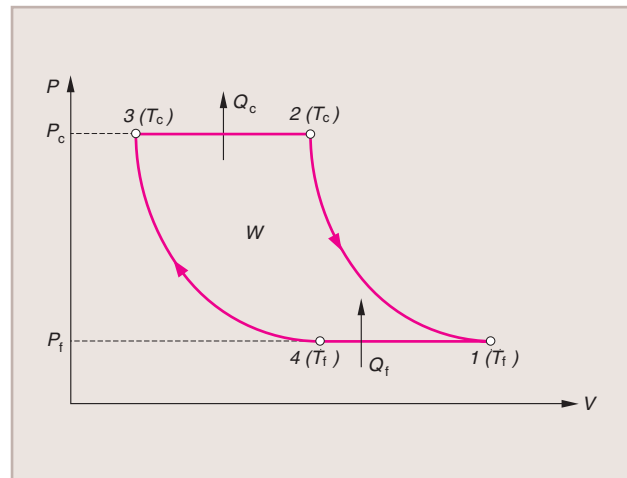


Fig. 6. Ciclo termodinámico real teórico de la máquina frigorífica.

Las transformaciones termodinámicas realizadas por el fluido son:

- Transformación 1-2: compresión adiabática:** el fluido, a temperatura T_f y presión P_f recibe trabajo (W), aumentando su presión y temperatura hasta P_c y T_c , pero sin intercambio de calor con el exterior.
- Transformación 2-3: condensación:** el fluido realiza un cambio de estado, pasando de vapor a líquido. Este cambio de estado conlleva una liberación de calor (Q_c) por parte del fluido termodinámico hacia el foco caliente. Teóricamente, esta transformación se realiza a presión y temperatura constante.
- Transformación 3-4: expansión adiabática:** se permite la expansión del líquido, por lo que disminuye su presión y temperatura hasta los valores P_f y T_f . En esta transformación, el líquido realiza un cierto trabajo, pero es tan pequeño que, en la práctica, no puede ser aprovechado. Teóricamente, esta expansión se realiza sin intercambio de calor.
- Transformación 4-1: evaporación:** para cerrar el ciclo, el fluido cambia nuevamente de estado, ahora de líquido a vapor, absorbiendo calor (Q_f) desde el foco frío. En este ciclo teórico, se supone que este cambio se realiza a temperatura y presión constante.

3.5. Eficiencia teórica de la máquina real

Según el ciclo termodinámico expuesto, la eficiencia de la máquina frigorífica se puede obtener como el cociente entre el calor que se absorbe desde el foco frío (el fin que se persigue con la máquina, Q_f) y lo que nos cuesta conseguir este objetivo; el trabajo que se debe suministrar a la máquina (W):

$$COP_f = \frac{Q_f}{W}$$

Y, considerando según el diagrama genérico, que:

$$Q_c = Q_f + W$$

podemos escribir:

$$COP_f = \frac{Q_f}{W} = \frac{Q_f}{Q_c - Q_f}$$

De esta expresión resulta normalmente un valor superior a la unidad, que suele estar comprendido entre 2 y 5.

De todas formas, como se ha indicado, éste es el funcionamiento de la máquina según el ciclo teórico. El ciclo real no será el descrito por los siguientes motivos:

- El fluido que se supone en unas partes del circuito, como todo vapor, y en otras como todo líquido, en realidad se trata de una mezcla liquido-vapor con distintas proporciones en cada punto del circuito. Por tanto, los cambios de estado no afectan a la totalidad de la masa del fluido refrigerante, y la eficiencia disminuye.
- La compresión y la expansión que se consideran adiabáticas en realidad se realizan con intercambios de calor con el exterior, lo que supone pérdidas energéticas.
- Los intercambios de calor en el condensador y en el evaporador se supone que se realizan de forma ideal, es decir, considerando una superficie de contacto tan grande como se precise (idealmente infinita), y una circulación de fluido exterior tan grande como sea necesaria. Esta situación no es viable en la práctica, por lo que el intercambio de calor no es perfecto, quedando parte del fluido sin cambiar de estado o intercambiando el calor con otra fuente para realizar el cambio de estado. Para solventar en parte este problema se fuerza la circulación de aire exterior mediante ventiladores.

4. BOMBA DE CALOR

Se denomina bomba de calor a una máquina frigorífica cuyo objetivo no consiste en enfriar un determinado recinto sino en calentarlo. Es decir, una bomba de calor consiste en la misma máquina que hasta ahora hemos estudiado, con la denominación de máquina frigorífica, con la única diferencia de que antes nos interesaba el calor intercambiado en el evaporador Q_f y ahora nos interesa el calor expulsado en el condensador Q_c .

Por tanto, los elementos que conforman la máquina y el funcionamiento son los descritos en los apartados anteriores.

4.1. Eficiencia teórica de una bomba de calor

En cuanto a la eficiencia de la bomba de calor, será el cociente entre lo que se desea conseguir, Q_c , y lo que se debe aportar para conseguirlo, W :

$$COP_{bc} = \frac{Q_c}{W} = \frac{Q_c}{Q_c - Q_f}$$

4.2. Tipos de bombas de calor

Las bombas de calor se suelen clasificar en función de la naturaleza de las fuentes frías y calientes que utilizan para su funcionamiento.

- La fuente fría puede ser aire o agua.
- La fuente caliente puede ser también aire o agua.

Con la combinación de estas posibles fuentes se obtienen los siguientes tipos de bombas de calor, en cuya denominación se indica en primer lugar la naturaleza de la fuente fría y, a continuación, la fuente caliente:

- **Aire-aire:** es el caso de una bomba de calor utilizada como calefacción en una vivienda.
- **Aire-agua:** como ejemplo de estas fuentes puede tomarse una piscina de agua caliente o una piscifactoría.
- **Agua-agua:** un ejemplo llamativo de este tipo de bomba sería la que se utilizara para obtener simultáneamente una pista de hielo permanente y una piscina de agua caliente.
- **Agua-aire:** tenemos el caso de un sistema de calefacción de una vivienda que toma como foco frío el agua de un río cercano.

Tomar el agua como fuente fría tiene la ventaja de que la eficiencia de la bomba se mantiene prácticamente constante durante todo el año, ya que la temperatura del agua de un río, de un pozo o de un lago varía muy poco de una estación a otra.

4.3. Bomba de calor reversible

Hemos visto que los elementos y el funcionamiento de la bomba de calor son los mismos que los de la máquina frigorífica. Por tanto, según se mire, una máquina determinada puede emplearse para refrigerar un recinto o bien para calentar otro. Esto es lo que hace el frigorífico: enfría su interior y calienta el exterior. Y es lo que hace un aparato de aire acondicionado: enfría el interior de la vivienda y calienta el aire de la calle (**Figura 7**).

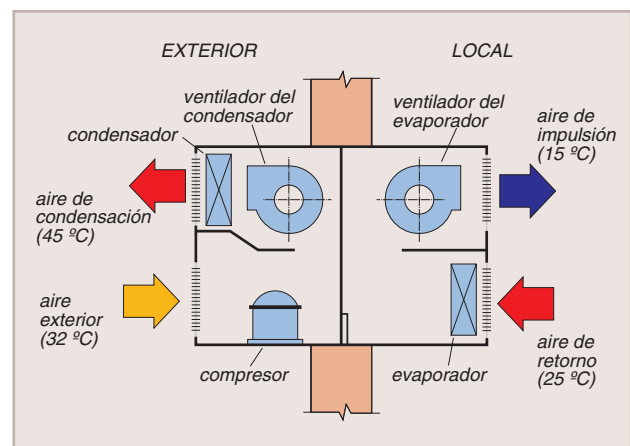


Fig. 7. Disposición de un equipo de aire acondicionado.



De esta forma, si pudiéramos dar la vuelta al aparato de aire acondicionado en invierno, tendríamos un equipo de calefacción. Esto es lo que se consigue con la bomba de calor reversible, pero sin la necesidad de invertir físicamente la disposición del equipo (Figura 8).

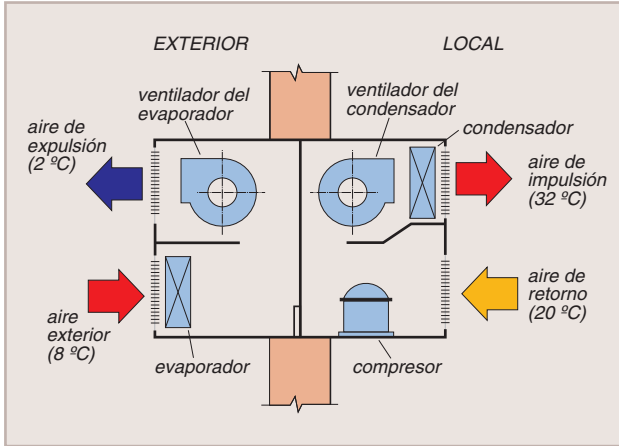


Fig. 8. Equipo de aire acondicionado funcionando como sistema de calefacción, una vez dado la vuelta.

La bomba de calor reversible consiste en una máquina que según se desee funciona como máquina frigorífica o como bomba de calor. Es decir, cuando se desee, el fluido se condensa en el intercambiador situado en el exterior de la casa, cediendo calor al exterior y se evapora en el intercambiador del interior de la vivienda extrayendo calor y refrigerando el local. En caso contrario, el fluido se evapora en el intercambiador situado en el exterior de la vivienda, absorbiendo calor del aire de la calle, y se condensa en el intercambiador situado en el interior de la casa, cediendo calor y calentando la sala.

Para poder disponer de este doble funcionamiento en una misma máquina (y sin tener que cambiarla de posición), es necesario disponer de un único camino para el fluido, pero con la posibilidad de hacerlo circular en un sentido o, en el contrario, de forma que se pueda lograr un funcionamiento, o el contrario.

El dispositivo que permite esta inversión de giro es una **válvula de cuatro vías**, dos de entrada y dos de salida, y dos posiciones. La figura 9 muestra el funcionamiento de la válvula en sus dos posiciones:

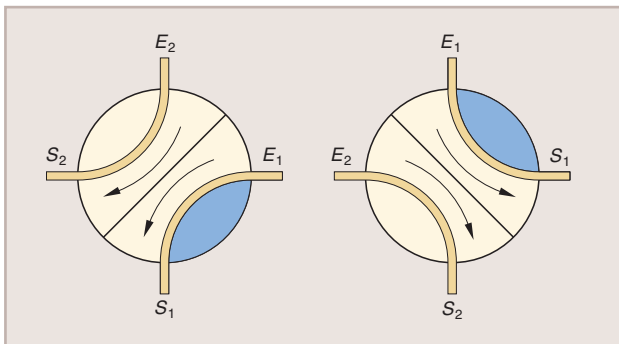


Fig. 9. Descripción funcional de una válvula de 4 vías.

Las figuras 10 y 11 muestran una bomba de calor reversible en sus dos modos de funcionamiento.

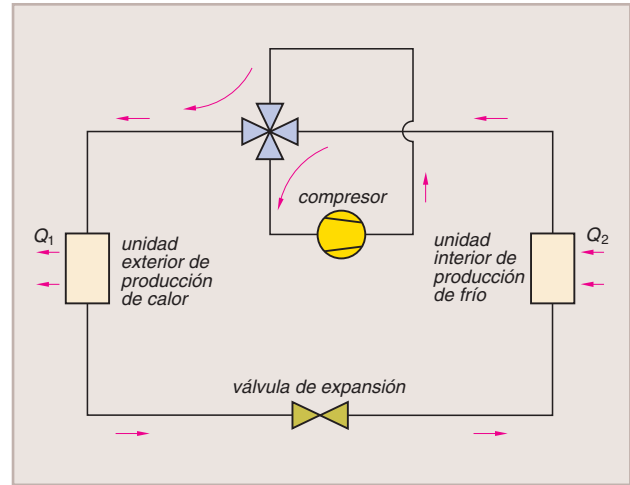


Fig. 10. Bomba de calor funcionando como refrigerador.

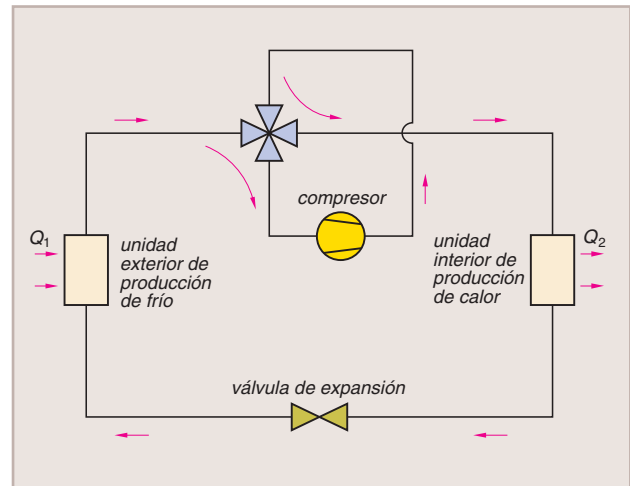


Fig. 11. Bomba de calor funcionando como calefactor.

En estas figuras suponemos que el intercambiador de la izquierda está en el exterior de la vivienda, mientras que el de la derecha se encuentra en el interior. Según esto:

- En la figura 10, el intercambiador del exterior funciona como condensador, recibiendo el fluido desde el compresor, mientras que en la figura 11, este mismo intercambiador funciona como evaporador ya que recibe el fluido desde la válvula de expansión.
- Por el contrario, en la figura 10, el intercambiador del interior funciona como evaporador puesto que recibe el fluido de la válvula de expansión, mientras que en la figura 11 funciona como condensador, pues recibe el fluido del compresor.
- Nótese que la circulación a través del compresor se realiza, evidentemente, siempre en la misma dirección y que, aunque el fluido circule una vez en un sentido, y otra, en sentido contrario, a lo largo del circuito, el ciclo termodinámico que realiza es siempre el mismo.



5. REFRIGERANTES UTILIZADOS EN LAS MÁQUINAS FRIGORÍFICAS

Existen un gran número de refrigerantes, cada uno de los cuales se empleará en función de sus características para distintas aplicaciones. Con la preocupación creciente hacia el mantenimiento del medio ambiente, algunos fluidos refrigerantes han sido prohibidos y otros tienen un plazo determinado para dejar de ser utilizados. Todos ellos tienen o tendrán un sustituto de prestaciones similares.

A la hora de elegir un refrigerante no sólo se debe pensar en su capacidad de realizar con alta eficiencia el ciclo termodinámico correspondiente, sino que hay que tener en cuenta las consecuencias que para el medio ambiente pueda tener. En otras ocasiones resulta fundamental prever las consecuencias que pueda tener el poner en contacto el refrigerante con el producto que se refrigera.

5.1. Características genéricas de los refrigerantes

En líneas generales, para que un fluido pueda ser utilizado como refrigerante en una máquina frigorífica, debe adaptarse a los siguientes condicionantes:

1. No atacar la capa de ozono.
2. No contribuir directamente o indirectamente al efecto invernadero.
3. No debe ser inflamable ni tóxico.
4. Las presiones de trabajo deben estar por encima de la presión atmosférica para evitar las filtraciones de aire y de vapor de agua.
5. Debe ser fácilmente detectable en caso de fugas en el sistema.
6. Debe ser compatible con los lubricantes que se utilicen en la instalación.
7. No debe corroer los metales usualmente usados en el sistema de refrigeración y debe ser químicamente estable.
8. Debe ser de fácil manejo y de bajo costo (económico).

5.2. Propiedades físicas de los refrigerantes

Debido a la amplia gama de condiciones de funcionamiento no existe el refrigerante que cumpla todas las exigencias y su idoneidad dependerá del grado en que sus propiedades se acerquen a las exigencias concretas de utilización.

Las propiedades físicas más importantes que se deben tener en cuenta a la hora de elegir un refrigerante para una determinada instalación son las siguientes:

1. **Tensión de vapor.** La curva de tensión de vapor refleja el equilibrio entre el fluido frigorígeno en estado líquido y estado gaseoso. De esta curva se obtendrán las presiones y las temperaturas de evaporación y de condensación a las que tendrá que trabajar el fluido. La siguiente gráfica muestra la curva de tensión de vapor para algunos refrigerantes.

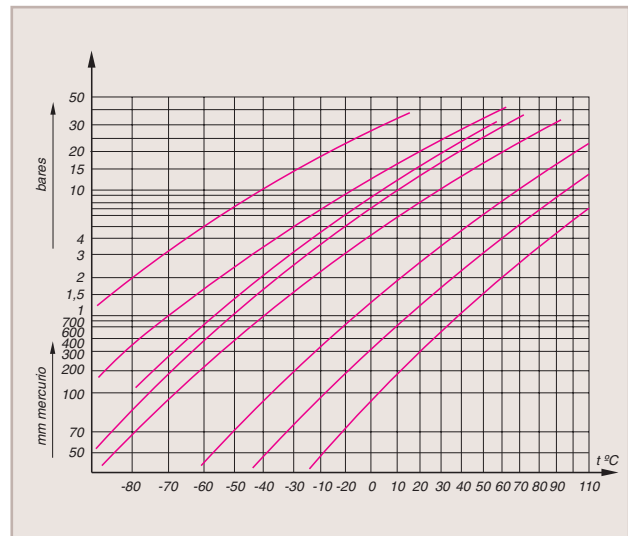


Fig. 12. Curva de vapor para algunos refrigerantes.

A modo de ejemplo, supongamos que disponemos del refrigerante R13 a -20°C y 20 bares. Según la gráfica anterior, este fluido está en estado líquido. Si disminuye la presión, el cambio de estado se producirá a -20°C cuando se alcancen los 15 bares.

O bien, si disponemos del refrigerante R114 a 2 bares y 40°C , estará en estado gaseoso. Si ahora disminuye la temperatura, el cambio de estado se producirá a los 20°C , pero si se desea que el cambio de estado se realice a 40°C , habrá que aumentar la presión hasta los 3,8 bares.

2. **Relación de compresión.** Indica la relación entre la presión de salida y la de entrada de un compresor. Muestra la capacidad de compresión que debe tener el compresor para suministrar el fluido en las condiciones necesarias. Debe ser pequeña, pues la eficacia volumétrica varía inversamente con la relación de compresión. La siguiente tabla muestra la relación de compresión de algunos refrigerantes trabajando con un foco frío a -5°C y un foco caliente a 35°C .

Relación de compresión (-5°C - $+35^{\circ}\text{C}$)	
R-717	3,80
R-12	3,24
R-22	3,21
R-502	3,04

Tabla 2. Relación de compresión necesaria para funcionar entre -5 y 35°C con distintos refrigerantes.

A modo de ejemplo, tomemos el refrigerante R-12, cuya relación de compresión para trabajar entre -5 y 35°C debe ser 3,24. Si miramos en la gráfica de la figura 12, podremos observar que, para que el R-12 realice su cambio de estado a -5°C , debe estar aproximadamente a 3 bares, mientras que el cambio de estado a 35°C se realizará a 9,7 bares. Es decir, en



el circuito frigorífico que utilice el R-12 como refrigerante y que trabaje entre -5 y 35 °C, el compresor debe tomar el gas a una presión de 3 bares y comprimirlo hasta los 9,7; su relación de compresión debe ser:

$$\frac{9,7}{3} = 3,23$$

3. **Calor latente de vaporización.** Es recomendable un alto valor de calor latente, pues será mayor la cantidad de calor absorbida por unidad de masa, es decir, será mayor la producción frigorífica específica. Será menor el caudal másico de fluido en circulación necesario y permitirá utilizar equipos más pequeños y compactos, reduciendo la potencia consumida. En la **tabla 1** se muestra el valor del calor latente para algunos refrigerantes.

5.3. Ventajas e inconvenientes de algunos refrigerantes

A lo largo de la U.D. se han visto datos en tablas y gráficos de distintos fluidos refrigerantes; veamos cuáles son los motivos que los hacen unas veces convenientes y otras veces no, para usarlos en las máquinas frigoríficas.

- **Agua (R-718).** Presenta como ventajas su bajo costo, no inflamable, no tóxico y elevado calor latente. Su principal inconveniente consiste en que requiere de presiones muy bajas para evaporar a bajas temperaturas.
- **Amoníaco (R-717).** Es un fluido de alto calor latente, de bajo coste y de alta presión de vapor. Por otra parte, es tóxico, inflamable y corrosivo.

- **CO₂ (R-744).** Es un gas inerte, no tóxico y no inflamable. Su principal inconveniente consiste en que necesita presiones muy elevadas para realizar el ciclo.
- **Compuestos halogenados del carbono.** Los refrigerantes pertenecientes a este grupo son los más utilizados. Son fluidos no tóxicos, no inflamables, no corrosivos en ausencia de agua y no afectan al olor ni al sabor ni al color de los productos refrigerados. Dentro de este grupo están:
 - Los CFC (Cloro-Fluoro-Carbonados). Pertenecen a este tipo los refrigerantes R-11, R-12, R-13 y R-502. Su principal inconveniente es que destruyen la capa de ozono, por lo que su utilización está restringida según el protocolo de Montreal.
 - Los HCFC (Hidro-Cloro-Fluoro-Carbonados). Pertenecen a este tipo los refrigerantes R-22, R-123 y R-124. Son menos estables que los CFC, por lo que destruyen en menor medida la capa de ozono. Están siendo utilizados para sustituir los anteriores hasta la aplicación de refrigerantes que no afecten a la capa de ozono.
 - Los HFC (Hidro-Fluoro-Carbonados). Son los refrigerantes del futuro, el R-134a, R-125, R-404a, R-152a y R-23. Su principal ventaja deriva del hecho de no contener cloro, por lo que no destruyen la capa de ozono. Las nuevas instalaciones deben llevar este tipo de refrigerantes.

La **tabla 3** muestra las propiedades más significativas de algunos de estos refrigerantes.

Características	Unidades	R-11	R-12	R-13	R-22	R-113	R-114
Fórmula molecular		CCl ₃ F	CCl ₂ F ₂	CClF ₃	CHClF ₂	CCl ₂ F-CCl ₂ F	CClF ₂ -CClF ₂
Peso molecular	g/mol	137,38	120,93	104,47	86,48	170,39	170,92
Temperatura ebullición a 1 atm	°C	23,8	-29,8	-81,4	-40,8	47,57	3,55
Temperatura congelación	°C	-111	-158	-181	-160	-35	-94
Temperatura crítica	°C	198	112	29,1	96	214,4	145,7
Presión crítica	atm kg/cm ² abs	43,5 44,96	40,6 42,0	38,6 39,8	49,2 50,9	33,7 34,8	32,2 33,3
Volumen crítico	cc/mol	247	217	181	164	325	293
Densidad crítica	g/cc	0,554	0,558	0,581	0,525	0,576	0,582
C _p de líquido a 30 °C	cal/g°C	0,208	0,236	0,247 (-30 °C)	0,335	0,218	0,238
C _p del vapor a 1 atm	cal/g°C	0,137	0,148	0,138 (-30 °C)	0,152	0,161 (60 °C)	0,160
C _p / C _v a 1 atm y 30 °C	---	1,136	1,136	1,172 (-30 °C)	1,184	1,080 (60 °C)	1,088
Densidad vapor sat. a 1 atm	g/l	5,85	6,33	7,8	4,69	7,38	7,82
Calor latente de vaporiz. a 1 atm	cal/g	43,51	39,47	35,4	55,92	35,07	32,78

Tabla 3. Características más significativas de algunos fluidos frigorígenos.



ACTIVIDADES DE ANÁLISIS - AMPLIACIÓN - INVESTIGACIÓN

VOCABULARIO

A lo largo del texto de la unidad aparecen los vocablos de la lista siguiente. En grupos, tratar de buscar su significado y trasladarlos al *diccionario tecnológico*.

Máquina frigorífica.	Evaporador.
Bomba de calor.	Bomba de calor aire-aire.
Bomba de calor reversible.	Bomba de calor agua-agua.
Eficiencia.	Válvula de cuatro vías.
COP.	Refrigerante.
Calor sensible.	Frigorigeno.
Calor latente.	Relación de compresión.
Temperatura de saturación.	CFC.
Presión de saturación.	HCFC.
Compresor.	HFC.
Condensador.	Válvula de expansión.

ANALIZA Y REFLEXIONA

1. (P.A.U. Zaragoza. Septiembre 2000). Una nevera funciona según un Ciclo de Carnot, enfriando a una velocidad de 7.000 kJ/hora. La temperatura del interior es de -10°C . En el exterior hay una temperatura de 28°C . Se pide:

- ¿Qué potencia del motor debe tener la nevera para conseguir esa temperatura?
- Si el rendimiento de la nevera fuera del 60% del rendimiento ideal de Carnot, ¿cuál debería ser entonces la potencia del motor?

Solución:

a) Tratándose de un Ciclo de Carnot, el rendimiento (eficiencia) de la máquina queda determinado por las temperaturas entre las que trabaja. En este caso:

$$COP_f = \frac{T_f}{T_c - T_f} = \frac{273 - 10}{(273 + 28) - (273 - 10)} = 6,92$$

Como, además, sabemos que en una hora la máquina absorbe 7.000 kJ, el trabajo que debe recibir en una hora será:

$$COP_f = \frac{Q_f}{W} \Rightarrow W = \frac{Q_f}{COP_f} = \frac{7.000 \text{ kJ}}{6,92} = 1.011,56 \text{ kJ}$$

Lo que equivale a una potencia de:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{1.011,56 \text{ kJ}}{3.600 \text{ s}} = 0,28 \text{ kW} = 280 \text{ W}$$

b) Ahora la eficiencia es el 60% de la anterior, es decir, la nueva eficiencia es $0,6 \cdot 6,92 = 4,152$. Por tanto, el trabajo que se necesita ahora será:

$$W = \frac{Q_f}{COP_f} = \frac{7.000 \text{ kJ}}{4,152} = 1.685,93 \text{ kJ}$$

Y la potencia requerida ahora es:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{1.685,93 \text{ kJ}}{3.600 \text{ s}} = 0,468 \text{ kW} = 468 \text{ W}$$

2. (P.A.U. Canarias. Junio 1998). Un frigorífico trabaja entre -5°C y 35°C y tiene un rendimiento del 25% del ciclo ideal. Si la energía absorbida de la fuente fría es de 1.500 J, determina:

- El rendimiento del frigorífico.
- La energía cedida a la fuente caliente.
- El trabajo ejercido por el compresor sobre el sistema.

Solución:

a) La eficiencia ideal del frigorífico es:

$$COP_f = \frac{T_f}{T_c - T_f} = \frac{273 - 5}{(273 + 35) - (273 - 5)} = 6,7$$

La eficiencia real es el 25% de la ideal, es decir:

$$COP_{f(\text{real})} = 0,25 \cdot 6,7 = 1,675$$

b) Para determinar la energía cedida a la fuente caliente, podemos utilizar otra expresión del COP:

$$COP_f = \frac{Q_f}{Q_c - Q_f} \Rightarrow Q_c = \frac{Q_f}{COP_f} + Q_f = \frac{1.500 \text{ J}}{1,675} + 1.500 \text{ J} = 2.395,5 \text{ J}$$

c) Por último, el trabajo se puede deducir de otra expresión del COP:

$$COP_f = \frac{Q_f}{W} \Rightarrow W = \frac{Q_f}{COP_f} = \frac{1.500 \text{ J}}{1,675} = 895,5 \text{ J}$$

O bien, a partir del primer principio:

$$Q_c = W + Q_f \Rightarrow W = Q_c - Q_f = 2.395,5 - 1.500 = 895,5 \text{ J}$$

3. (P.A.U. Canarias. Septiembre 2000). Una máquina frigorífica trabaja entre dos focos de calor que están a -10°C y 25°C de temperatura. El rendimiento de la máquina es la cuarta parte del rendimiento del ciclo ideal de funcionamiento. Si la máquina cede a la fuente caliente 2.600 J. Calcula:

- El rendimiento del frigorífico.
- Cuánta energía extrae del foco frío.
- El trabajo ejercido por el compresor sobre el sistema.

Solución:

a) La eficiencia ideal del frigorífico será:

$$COP_f = \frac{T_f}{T_c - T_f} = \frac{273 - 10}{(273 + 25) - (273 - 10)} = 7,51$$

La eficiencia real es el 25% de la ideal, es decir:

$$COP_{f(\text{real})} = 0,25 \cdot 7,51 = 1,878$$

b) Para determinar la energía cedida a la fuente caliente podemos utilizar otra expresión del COP:



$$COP_f = \frac{Q_f}{Q_c - Q_f} \Rightarrow Q_f = \frac{Q_c \cdot COP_f}{COP_f + 1} = \frac{2.600 J \cdot 1,878}{2,878} = 1.696,6 J$$

c) Por último, el trabajo se puede deducir de otra expresión del COP:

$$COP_f = \frac{Q_f}{W} \Rightarrow W = \frac{Q_f}{COP_f} = \frac{1.696,6 J}{1,878} = 903,4 J$$

O bien, a partir del primer principio:

$$Q_c = W + Q_f \Rightarrow W = Q_c - Q_f = 2.600 - 1.696,6 = 903,4 J$$

AMPLÍA Y PROFUNDIZA

- Una máquina frigorífica funciona, según el Ciclo de Carnot, entre dos fuentes de calor, una a -13°C y la otra a 27°C . Sabiendo que el compresor es de 200 W, calcula:
 - Eficiencia de la máquina trabajando como frigorífico.
 - Eficiencia de la máquina trabajando como bomba de calor.
 - Suponiendo que funciona como frigorífico con una eficiencia $e = 3$:
 - Calor que recibe el fluido refrigerante en 1 hora
 - Calor que cede el fluido refrigerante en 1 hora.
- Una cámara de ultracongelados requiere una extracción de calor de 75.000 kJ/h para mantener una temperatura de -25°C . Para ello se utiliza una máquina frigorífica ideal que expulsa calor al ambiente, que se encuentra a 32°C . El compresor recibe energía de un motor térmico que consume como media 3 l de gasoil a la hora y tiene un rendimiento térmico del 60% del ideal. (Dato: $P_c(\text{gasoil}) = 10.000 \text{ kcal/l}$). Se pide:
 - Eficiencia de la máquina frigorífica.
 - Rendimiento teórico y real del motor térmico.
 - Temperaturas de los focos térmicos entre los que trabaja el motor y la máquina frigorífica.
 - Calor cedido por el conjunto motor + frigorífico al medio ambiente.
- Se desea fundir un bloque de hielo de 20.000 kg, inicialmente a -30°C . Para ello se utiliza una bomba de calor ideal alimentada mediante un motor eléctrico de 30 CV con un rendimiento del 80%. El evaporador de la bomba se introduce en el agua marina, que se encuentra a 2°C , siendo la temperatura ambiente de 10°C . Estima el tiempo que se empleará en fundir el bloque de hielo.
- Busca el manual técnico del frigorífico, equipo de aire acondicionado y/o bomba de calor que tienes en casa, y localiza datos acerca del refrigerante que utiliza.
- Comprueba los datos ofrecidos de temperatura de ebullición a 1 atm en la [tabla 3](#) de la U.D. con la gráfica de la [figura 12](#).

SABÍAS QUE...

¿Rendimiento superior al 100%? Sin duda te habrás planteado cómo es posible que la máquina frigorífica (que cualquier máquina) obtenga un rendimiento superior al 100%. Realmente esto no es cierto. Este rendimiento se obtiene porque en el cálculo sólo se tiene en cuenta la energía que nos supone un gasto: el trabajo mecánico del compresor. Sin embargo, la máquina también recibe un aporte energético desde el foco frío que, al ser una energía que tomamos gratuitamente del ambiente, no se tiene en cuenta para determinar el rendimiento, pero que, desde luego, es utilizada por la máquina para conseguir la energía final.

Válvula de expansión en forma de tubo capilar. Como hemos visto, la válvula de expansión es el elemento que separa las zonas de alta y baja presión en una máquina frigorífica. En los frigoríficos domésticos, esta válvula no existe como tal, sino que se trata de un tubo de pequeño diámetro y gran longitud, denominado tubo capilar. Su funcionamiento consiste en que, al pasar el líquido refrigerante a través de este tubo, pierde presión a causa de la fricción con las paredes interiores. A nivel industrial, las válvulas de expansión son válvulas automáticas cuya apertura y cierre se realiza cuando la instalación lo requiere y, además, son regulables por el usuario de acuerdo con las condiciones de trabajo de la máquina, mejorándose notablemente el rendimiento.

Destrucción de la capa de ozono. Cuando los compuestos que contienen átomos de cloro alcanzan la estratosfera son atacados por los rayos ultravioletas del sol, reaccionando químicamente y liberando los átomos de cloro. El cloro ataca las moléculas de ozono, rompiéndolas en una molécula de oxígeno y una de monóxido de cloro. Más tarde, una molécula de oxígeno rompe la molécula de monóxido de cloro, liberando el átomo de cloro que repite nuevamente el proceso de destrucción del ozono. Se supone que cada átomo de cloro destruye una media de 100.000 moléculas de ozono antes de ser neutralizado al mezclarse con algún compuesto químico. Para identificar la capacidad de destrucción de la capa de ozono por parte de los fluidos refrigerantes, se aporta como características de estos su Potencial de Destrucción de Ozono, conocido por sus iniciales, en inglés, ODP. Los refrigerantes definitivos son los HFC pues su ODP = 0.

Protocolo de Montreal. Desde que en 1974 los científicos Sherwood Rowland y Mario Molina descubrieran que los CFC destruyen la capa de ozono, se han sucedido los pactos internacionales para llegar a un acuerdo de protección de la capa de ozono. El último y, parece que definitivo, fue el protocolo de Montreal, suscrito en 1987 y ratificado en 1990. Según este acuerdo alcanzado por 90 países, se decidió reducir en 1998 a la mitad el consumo y la producción de los CFC, a partir de los valores de 1986.

Denominación de los refrigerantes. La denominación simbólica numérica de los fluidos refrigerantes se establece



a partir de su fórmula química. Para identificar a los refrigerantes se utiliza la letra *R* seguida de dos o tres dígitos cuyo valor se obtiene según la siguiente expresión:

$$C_m H_n Cl_y F_x \rightarrow R - (m - 1) (n + 1) x$$

Es decir, el dígito de las unidades indica el número de átomos de flúor. El dígito de las decenas, el número de átomos de hidrógeno más uno. Y el dígito de las centenas, el número de átomos de carbono menos uno. Si este dígito es cero, se suprime.

Los compuestos inorgánicos se designan añadiendo a “700” el peso molecular del compuesto.

Criogenia. Es la ciencia y la técnica de producir temperaturas por debajo de los 120 K. Para producir estas temperaturas se utilizan gases licuados con puntos de ebullición muy bajos, como el nitrógeno, el hidrógeno y el helio, como refrigerantes en una máquina frigorífica denominada criorefrigerador.

Criocirugía. Es la parte de la cirugía que recurre a técnicas de congelación local durante las operaciones. Se utiliza sobre todo en oftalmología para la reparación de retinas dañadas y en operaciones de cataratas. También se utiliza en el tratamiento del mal de Parkinson, destruyendo quirúrgicamente la parte del tálamo cerebral que controla los impulsos que provocan los temblores incontrolables de brazos y piernas características de esta enfermedad.



AUTOEVALUACIÓN

Contesta al siguiente cuestionario de autoevaluación. Ten presente que pueden existir más de una respuesta válida. Marca la/s respuesta/s válida/s con una cruz delante de la letra correspondiente.

- Una máquina frigorífica:
 - Extrae calor de la fuente fría y cede calor a la fuente caliente.
 - Funciona de modo inverso a un motor térmico, es decir, extrae calor de la fuente fría y cede calor a la máquina.
 - Funciona de modo inverso al motor térmico, es decir, consume trabajo y genera calor.
 - Requiere para su funcionamiento dos focos térmicos alejados, pero a igual temperatura.
- El rendimiento ideal de una máquina frigorífica:
 - Depende del calor que se pierde en el compresor.
 - Aumenta al disminuir el consumo del compresor.
 - Depende únicamente de las temperaturas de los focos entre los que trabaja.
 - Es igual tanto en invierno como en verano.
- El rendimiento ideal de una máquina frigorífica:
 - Suele estar comprendido entre el 80 y el 90%.
 - Será siempre superior al 100%, por lo que se denomina eficiencia.
 - Es el mismo tanto si trabaja como refrigerador o trabajando como calefactor.
 - Trabajando como refrigerador es superior al que se consigue trabajando como calefactor.
- El calor latente:
 - Suele ser muy pequeño, inferior al calor sensible.
 - Se diferencia del calor sensible en que no es perceptible.
 - Es el calor que necesita el hielo para pasar de sólido a vapor.
 - Es el calor que debe tomar o ceder una sustancia cuando está realizando un cambio de estado.
- La temperatura de saturación:
 - Es aquella a la que el fluido no puede contener más energía interna. No se puede superar.
 - Es la temperatura a la que se produce el cambio de estado a presión atmosférica.
 - Es la temperatura a la que se produce el cambio de estado de una disolución saturada.
 - Su valor depende de la presión de saturación.
- Los elementos que constituyen un circuito frigorífico son:
 - Motor, compresor, evaporador y condensador.
 - Compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador.
 - Compartimento superior, compartimento inferior, aislante y rejilla trasera.
 - Foco frío, fluido refrigerante, foco caliente y compresor.
- El valor del COP de una máquina frigorífica real trabajando como refrigerador:
 - Es siempre mayor que 1.
 - Se calcula a partir de las temperaturas de los focos frío y caliente.
 - Es igual al cociente entre los calores extraídos y cedidos por la máquina.
 - Es igual al cociente entre el calor extraído del foco frío y el trabajo consumido por el compresor.
- El valor del COP de una bomba de calor real:
 - Es siempre mayor que 1.
 - Se calcula a partir de las temperaturas de los focos frío y caliente.
 - Es igual al cociente entre los calores extraídos y cedidos por la máquina.
 - Es igual al cociente entre el calor extraído del foco frío y el trabajo consumido por el compresor.
- Sobre la bomba de calor reversible...
 - Según desee el usuario, el fluido toma calor del foco frío y lo cede al caliente, o bien, toma calor del foco caliente y lo cede al foco frío.
 - Mediante una válvula de cuatro vías, el fluido circula desde el compresor hacia la válvula de expansión, o bien desde la válvula de expansión hacia el compresor.
 - Funcione como refrigerador o como bomba de calor, el sentido del fluido a través del compresor se realiza siempre en el mismo sentido.
 - Mediante la válvula de cuatro vías se puede invertir el sentido de circulación del fluido, por lo que el ciclo termodinámico se realiza unas veces en el sentido de las agujas del reloj y otras veces en sentido inverso.
- En cuanto a los fluidos refrigerantes:
 - Todos los que se utilizan actualmente son perjudiciales para la capa de ozono.
 - Aquellos que contienen cloro serán eliminados en un futuro por ser perjudiciales para la capa de ozono.
 - Su denominación consta de un R seguida del número atómico de los átomos que lo forman.
 - Se trata de sustancias que, a temperatura ambiente y presión atmosférica, son gaseosas.

