

EL CICLO DE REFRIGERACIÓN

INTRODUCCIÓN

El proceso de enfriamiento o refrigeración tiene como fin extraer calor de una sustancia que llamaremos foco frío que se encuentra a baja temperatura siendo generalmente aire o agua, cediéndola posteriormente a otra sustancia que llamamos foco caliente con temperatura más alta que el foco frío, generalmente también aire o agua.

Existen dos formas básicas de producir frío, una es a través del ciclo de absorción (el cual no vamos a estudiar), y a través del **ciclo frigorífico de compresión de vapor**, que es el más utilizado y sobre el que vamos a trabajar.

PRINCIPIO DE REFRIGERACIÓN

Cuando hervimos agua en un recipiente absorbemos calor de una fuente de energía. ¿Por qué no utilizar este procedimiento para enfriar, por ejemplo, el aire de una habitación? Evidentemente no podríamos utilizar agua porque el agua hierve a 100 °C y el aire se encuentra a, supongamos, 25 °C. Si en vez de utilizar agua empleáramos otro líquido que pueda hervir a una temperatura igual o inferior a 25 °C, éste absorbería calor del aire y, por lo tanto, lo enfriaría.

Lo primero que debemos tener claro es que las máquinas frigoríficas, al contrario que una caldera o un calentador del tipo que sea, no son capaces de dar frío. Ya vimos en los primeros conceptos del curso que **el frío como tal no existe, sino que se trata de la ausencia de calor**. Por lo tanto, no existen equipos para producir frío, sino que se trata de elementos que consiguen restar calor a los ambientes donde los instalamos.

Siempre que hablemos de maquinaria frigorífica debemos tener muy claro que las máquinas frigoríficas no producen el frío, sino que lo que van a hacer es cambiar el calor de sitio, siendo el modo correcto de entender los equipos frigoríficos como cambiadores de calor. Solamente lo cambian de sitio y su mérito principal consiste en conseguir restar calor en una zona en la que hay poco calor (foco frío) y cederlo a otra en la que hay más calor (foco caliente).

Ejemplo: El circuito frigorífico al que más acostumbrados estamos es una simple nevera doméstica. En este caso es sencillo entender que el circuito frigorífico no hace otra cosa que extraer el calor de los alimentos que introduzcamos en su interior y expulsarlo a nuestra cocina, razón ésta de que en las cocinas siempre tengamos algo más de calor que en el resto de la casa.

Si queremos podemos hacer una prueba con nuestra nevera. Consiste en introducir un alimento caliente en el interior de la nevera. Ésta se pondrá en marcha y se mantendrá funcionando durante un largo periodo de tiempo. El circuito frigorífico tiene una capacidad de enfriamiento constante y le llevará un rato conseguir sacar del interior de la nevera todo el calor que hemos introducido con el alimento caliente, pero si nosotros introducimos el mismo alimento frío la nevera tardará muy poco en dejar de funcionar porque sólo debe bajar la temperatura del aire que entró en el interior de la nevera.

SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

Entendemos por refrigeración el proceso de reducir y mantener la temperatura de un espacio o material por debajo de la temperatura del entorno. A veces se habla indistintamente de refrigerar y climatizar, pero son conceptos diferentes.

Se entiende por **refrigeración** a aquel proceso mediante el cual se busca bajar o reducir la temperatura del ambiente, de un objeto o de un espacio cerrado a partir del enfriamiento de las partículas

Se entiende por **climatización** aquel proceso que crea o mantiene en un recinto determinadas condiciones de temperatura, humedad, aire, etc ... , necesarias para la vida o la comodidad de los seres vivos que lo ocupan.

La refrigeración puede utilizarse para tres fines, principalmente:

- Refrigeración para CONSERVACIÓN.
- Refrigeración para CONGELACIÓN.
- Refrigeración para CLIMATIZACIÓN.

Las dos primeras se aplican generalmente a alimentos, mientras que la última se refiere a la refrigeración de locales o vehículos para animales, personas o plantas.

REFRIGERACIÓN MEDIANTE AGUA ENFRIADA

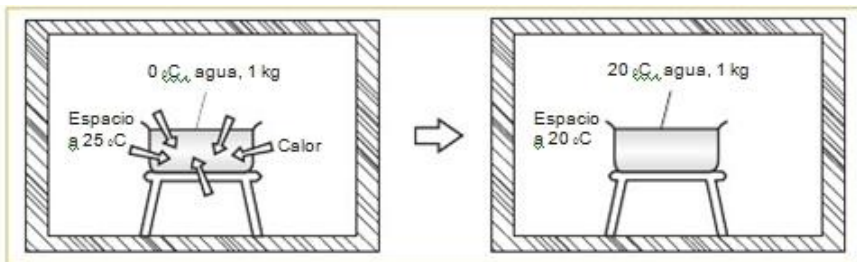
Supongamos que hay 1 kilogramo de agua a 0°C en un recipiente abierto dentro de un espacio aislado con una temperatura inicial de 25°C. Durante cierto tiempo, el calor fluirá desde el espacio cerrado a 25°C al agua a 0°C, por lo que disminuirá la temperatura del entorno y aumentará la del agua, hasta que se equilibren, finalizando entonces el proceso de transferencia de calor.

Este método de refrigeración presenta dos inconvenientes importantes:

1.- La temperatura mínima es la del agua enfriada. Este hecho sólo podría darse de forma teórica, ya que la cantidad de agua necesaria sería muy grande.

Ejemplo: *Calcula el agua a 0°C necesaria para enfriar el aire seco de 30°C a 21°C de una habitación de 8 m³; C_e aire=0,24 kcal/kg°C; Densidad del aire=1,2 kg/m³*

2.- La refrigeración no es continua, ya que habría que introducir más agua fría si queremos refrigerar más o queremos mantener la temperatura debido a las pérdidas de calor del interior.



REFRIGERACIÓN MEDIANTE HIELO

Supongamos ahora que en el recinto a 25 °C tenemos 1 kilogramo de hielo a 0 °C. Esta vez la temperatura del hielo no cambia al ir absorbiendo el calor del espacio que le rodea, sino que pasa de estado sólido a líquido, permaneciendo constante la temperatura, ya que el bloque de hielo absorbe calor latente correspondiente al cambio de estado. El proceso de refrigeración continúa hasta que todo el hielo se funde.

Si el agua continuase en la habitación, entonces el proceso de refrigeración continuaría hasta que se igualasen las temperaturas. Ahora el agua absorbería calor sensible, ya que estaría aumentando su temperatura.

Ejemplo: *Calcula la temperatura final del aire en la estancia del ejemplo anterior con un kilogramo de hielo; C_e del hielo=0,5 kcal/kg°C*

Este método, a pesar de enfriar más tiene los inconvenientes de:

- 1.- No se pueden obtener bajas temperaturas.
- 2.- Es necesario reabastecer el hielo.

SISTEMA DE REFRIGERACIÓN MECÁNICO

Estos métodos tradicionales vistos anteriormente no satisfacen nuestras necesidades. Por eso surgieron otros mecanismos más modernos como el sistema de refrigeración mecánico. Veremos a continuación cómo funciona y cuáles son sus elementos.

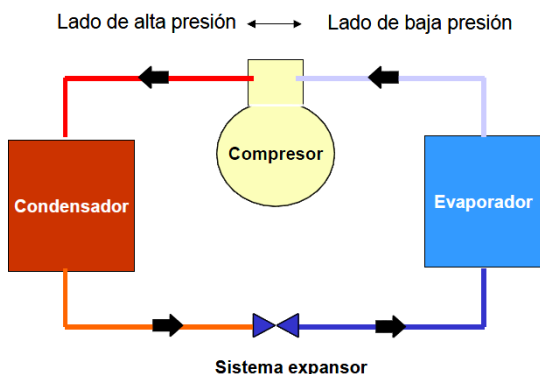
Un espacio aislado se puede refrigerar adecuadamente permitiendo que se evapore un refrigerante en un recipiente con salida al exterior, solucionando así el problema de la continuidad del elemento enfriador.

Continuando con el ejemplo anterior, y tomando como refrigerante el R-22, podríamos tener un sistema en el que hay un recipiente que contiene R-22 (un refrigerante) en estado líquido, y que se encuentra en un espacio cerrado cuya temperatura es de 25°C. Este refrigerante presenta la propiedad de que la temperatura de evaporación es de -40,8 °C a la presión atmosférica. Esto quiere decir que, a 25°C, este líquido se va a transformar en vapor, absorbiendo calor del espacio que se quiere enfriar en el proceso. Como la temperatura del líquido sigue constante durante el proceso de evaporación, la refrigeración continúa hasta que se evapora todo el líquido. En principio, si no almacenamos este vapor, se cede a la atmósfera.

Desde el punto de vista industrial no es posible dejar que el refrigerante se escape a la atmósfera. Por eso, los circuitos de refrigeración son cerrados, precisamente para impedir que el vapor escape a la atmósfera y se pierda.

En un circuito de refrigeración, el recipiente en el que se evapora el refrigerante, se llama evaporador.

La temperatura a la que se evapora el refrigerante líquido en el interior del evaporador puede controlarse actuando sobre la presión en la que se produce el cambio de estado. A menor presión, menor será la temperatura de evaporación.



No es práctico ni barato, además de estar prohibido, dejar escapar el refrigerante a la atmósfera, por eso hemos de reutilizarlo de nuevo. Para volver a utilizar el refrigerante en el evaporador es necesario que entre en estado líquido, y puesto que dicho equipo libera el refrigerante en forma de vapor, obviamente debemos convertirlo en líquido antes de entrar.

El proceso de conversión de vapor a líquido se denomina condensación, como ya sabemos. Durante este proceso, necesitamos un medio de enfriamiento sobre el que ceder calor, y para ello es necesario que el refrigerante en estado de vapor se encuentre a una temperatura superior a la del medio de enfriamiento. Recordemos que el calor se transmite desde el cuerpo más caliente al cuerpo más frío.

Para conseguir realizar este proceso debemos aumentar previamente la presión del refrigerante en estado de vapor hasta un valor tal que la temperatura de condensación sea superior a la del medio de enfriamiento (por ejemplo, en un condensador de aire suele utilizarse una diferencia de unos 15 K, es decir, que para una temperatura ambiente de 20 °C, la temperatura de condensación será de 35 °C).

El proceso que aumenta la presión y la temperatura del refrigerante, aportándole calor, se denomina compresión, y tiene lugar en el compresor.

Una vez que hemos conseguido llevar el refrigerante en estado de vapor a una temperatura superior a la del medio de enfriamiento, tiene lugar el proceso de condensación, durante el cual el refrigerante cede calor al medio de enfriamiento.

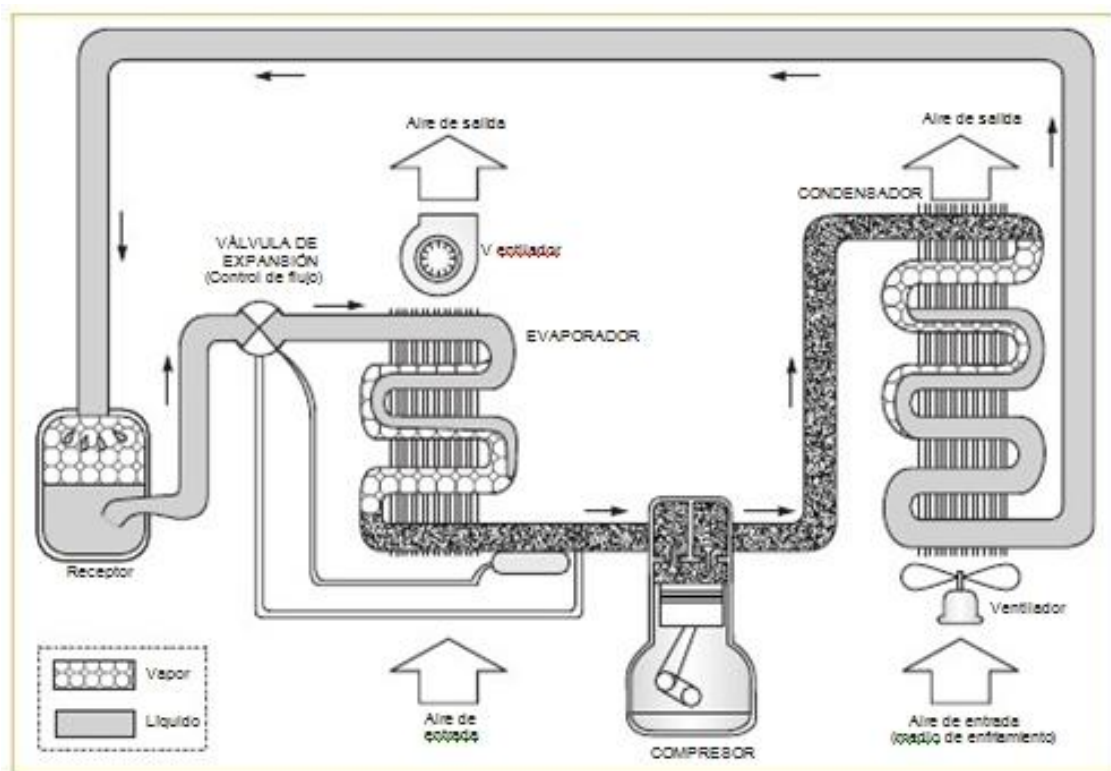
El equipo donde tiene lugar el proceso de condensación del refrigerante se denomina condensador.

El refrigerante que fluye del condensador está listo para volver al evaporador, previo paso por un tramo en el que se baja su presión y temperatura, que se realiza en la válvula de expansión. Así hemos completado del ciclo de refrigeración.

El equipo donde tiene lugar el proceso de expansión del refrigerante se denomina expansor (por capilar o válvula de expansión).

LA MÁQUINA FRIGORÍFICA DE COMPRESIÓN

La figura siguiente muestra un esquema de una máquina frigorífica donde se puede ver el funcionamiento de un circuito completo de refrigeración mecánica.



En el esquema puede verse cómo el refrigerante líquido se dirige hacia el evaporador en cuyo interior se transforma en vapor a expensas de absorber calor del aire exterior. De este modo se consigue enfriar el recinto, que es lo que se pretende. El caudal de refrigerante a dicho evaporador se controla en la válvula de expansión en función de la temperatura de salida del aparato.

El vapor pasa seguidamente por el compresor donde se eleva su presión hasta el punto en que la temperatura de condensación sea tal que permita ceder calor al medio de refrigeración (en este caso aire), cediendo calor a éste y condensándose así durante su paso por el condensador.

Una máquina frigorífica con los cuatro elementos mencionados anteriormente podría funcionar, pero en la práctica incorporan otros dispositivos con el fin de mejorar su funcionamiento. Los veremos posteriormente.

Las tuberías que conectan estos dispositivos son:

- **Línea de líquido:** transporta el refrigerante líquido desde el condensador a la válvula de expansión.
- **Línea de aspiración:** conduce el vapor de baja presión desde el evaporador hasta la entrada de aspiración del compresor.
- **Línea de descarga:** proporciona vapor de alta presión y temperatura desde la descarga del compresor al condensador.

Estas tres líneas pueden verse en la figura siguiente. Aunque en la figura podría dar la impresión de que existe otra línea que une la válvula de expansión con el evaporador, en la realidad no existe tal y como aparece en el dibujo, ya que la válvula de expansión debe situarse tan cerca como sea posible de la entrada del evaporador.



El color en el que se han dibujado las tuberías no se ha elegido al azar. La línea de descarga suele dibujarse en color rojo para indicar que es en dicha tubería donde se alcanzan las temperaturas más altas del circuito. Ahí, el refrigerante puede alcanzar temperaturas superiores a 60 °C.

La línea de aspiración se dibuja en color azul por ser la zona más fría del circuito, junto con el evaporador. Las temperaturas del refrigerante en esa zona dependen de la aplicación, pero pueden ser, por ejemplo, de -30 °C para una máquina de congelados a -18 °C.

La línea de líquido suele dibujarse en un color próximo al rojo, ya que la tubería se encontrará caliente, pero no tanto como en la línea de descarga. Para un condensador refrigerado por aire se puede aceptar como valor indicativo para esa tubería unos 35 - 40 °C.

LADO DE ALTA Y BAJA PRESIÓN

Un sistema de refrigeración se puede dividir en dos zonas según la presión ejercida por el refrigerante. Estas zonas quedan divididas por la válvula de expansión y el compresor:

- Lado de **baja presión:** consta del evaporador y de la línea de aspiración. La presión que ejerce el refrigerante en éstas partes es la baja presión a la que se vaporiza en el evaporador, y que se denomina presión de aspiración o presión de evaporación.
- Lado de **alta presión:** consta de la línea de descarga, el condensador y la línea de líquido. La presión ejercida por el refrigerante en esta parte del sistema es la alta presión a la que se condensa el refrigerante en el condensador, también llamada alta presión, presión de condensación o presión de descarga.

Los puntos de división entre los lados de alta y baja presión son la válvula de expansión y las válvulas de aspiración y descarga del compresor.



PROCESOS EN EL CICLO FRIGORÍFICO

Expansión: El proceso de expansión ocurre entre el condensador y el evaporador. El refrigerante líquido sale del condensador a alta presión y a alta temperatura, y se dirige al evaporador a través de la válvula de expansión. Al cruzar esta válvula, la presión del líquido se reduce a la presión de evaporación, para que la temperatura de saturación del refrigerante que entra en el evaporador sea inferior a la temperatura del espacio refrigerado. Una parte del líquido se evapora al atravesar la válvula de expansión con el objetivo de bajar la temperatura del resto de refrigerante líquido hasta la temperatura de evaporación.

Evaporación: En el evaporador, el líquido se evapora a presión y temperatura constantes gracias al calor latente suministrado por el medio de enfriamiento que atraviesa el evaporador. Todo el refrigerante se evapora completamente aquí, pudiendo recalentarse al final del mismo.

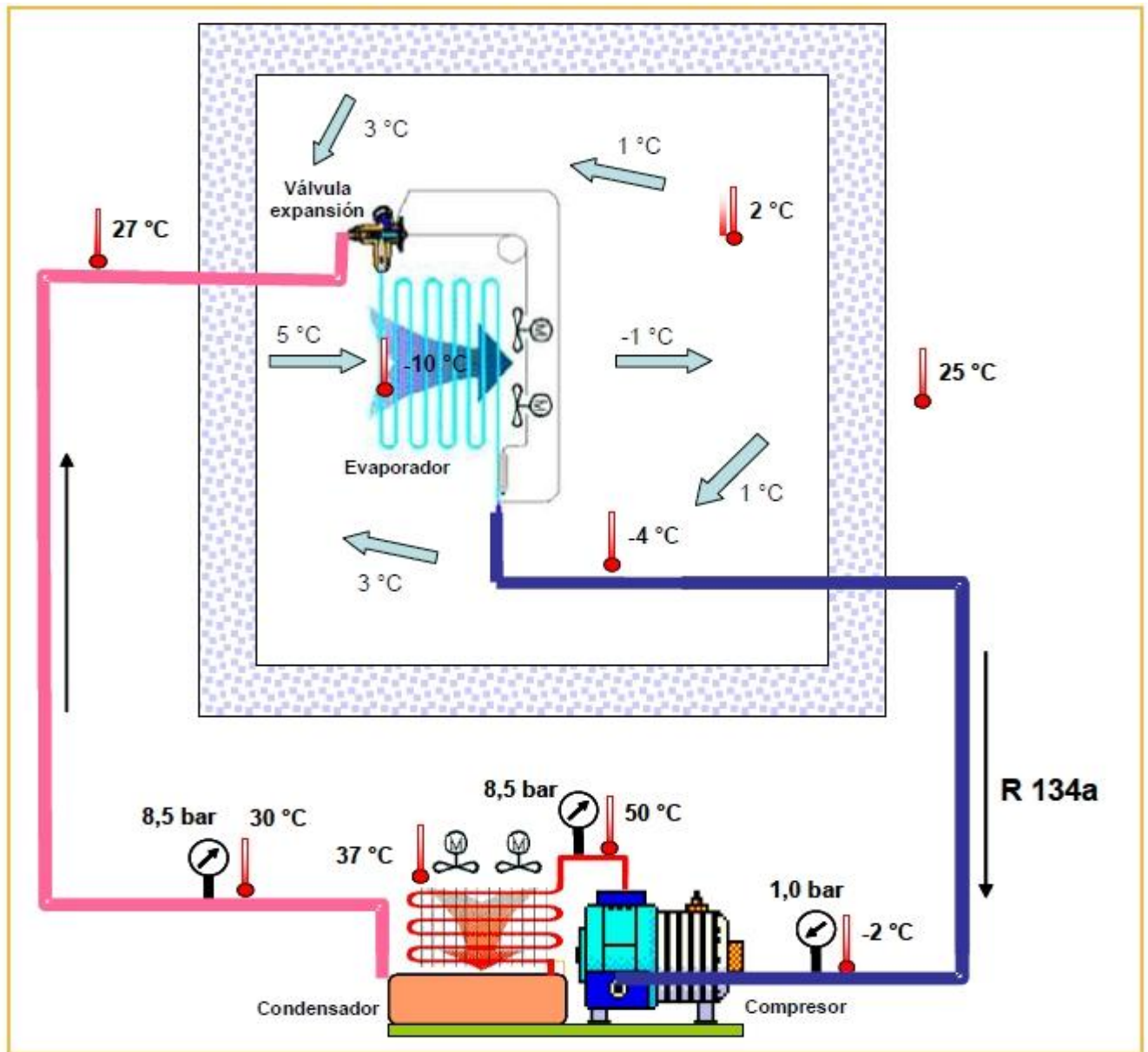
Compresión: Por la acción del compresor, el vapor resultante de la evaporación se extrae por la línea de aspiración desde el evaporador hasta la entrada del compresor, en cuyo interior aumentan considerablemente la presión y la temperatura del vapor. El vapor a alta temperatura y a alta presión se envía al condensador por la línea de descarga.

Condensación: El vapor fluye por la línea de descarga hacia el condensador donde libera el calor hacia el medio de enfriamiento (aire o agua). En la liberación de calor, el refrigerante se condensa y, seguidamente, disminuye su temperatura. El líquido enfriado llega a la válvula de expansión y, una vez allí, está listo para comenzar un nuevo ciclo.

Componente	Fenómeno simple que en él se desarrolla	Función principal desarrollada
Evaporador	-Ebullición -Transformación del vapor saturado húmedo en seco	-Hace absorber al fluido refrigerante el calor del medio a refrigerar
Compresor	-Compresión del gas	-Sube la temperatura y la presión del gas
Condensador	-Condensar el gas	-Quita calor al gas, evacuando éste a un fluido frío (agua o aire)
Válvula de expansión	-Laminación del líquido, dejando pasar la cantidad exacta que será capaz de aspirar el compresor	-Disminuye la presión y la temperatura del líquido

FUNCIONAMIENTO DE LA CÁMARA FRIGORÍFICA

Los cuatro procesos del ciclo frigorífico se pueden representar en el diagrama de Mollier como veremos en el próximo capítulo. Todos ellos los podemos resumir en la figura siguiente, en donde intentamos explicar de forma intuitiva el funcionamiento de la máquina frigorífica.



El refrigerante (en este caso R-134a) entra en el evaporador a una temperatura de -10 °C, que es inferior a la del espacio que queremos enfriar. Los ventiladores situados en el evaporador hacen pasar a través de éste el aire de la cámara, que se encuentra a una temperatura superior a la de evaporación, cediendo calor al refrigerante y enfriándose. El aire frío sale del evaporador (-1 °C) mezclándose con el aire caliente del interior de la cámara. El aire caliente entra de nuevo al evaporador continuando el proceso hasta que se alcance la temperatura deseada. El refrigerante, al circular por el evaporador, absorbe calor latente evaporándose. La temperatura del refrigerante puede aumentar, como en este caso, hasta -2 °C al final de la línea de aspiración. Ahora tendremos vapor recalentado y el refrigerante habrá absorbido calor sensible.

El compresor comprime el refrigerante aportándole calor hasta alcanzar la presión de alta (8,5 bar) que, como puedes ver, es muy elevada.

El refrigerante pasa ahora por el condensador donde cede calor al medio de enfriamiento, en este caso aire. Observa que el aire procedente del exterior se encuentra a 25 °C y, por tanto, aumenta su temperatura al pasar por el condensador. El refrigerante se condensa a una temperatura superior a la temperatura ambiente, que depende de la presión de alta. En el ejemplo, la condensación se produce a 37 °C. Hasta la entrada en la válvula de expansión, el refrigerante continúa cediendo calor, pero ahora ya en estado líquido, por lo que disminuye su temperatura. La válvula de expansión hace bajar la temperatura y la presión del refrigerante desde 27 °C hasta -10 °C y de 8,5 a 1 bar, repitiendo nuevamente el ciclo.