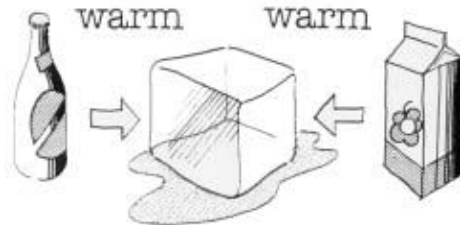


## Introducción

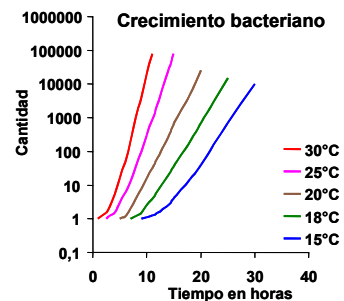
El trabajo de una planta de refrigeración es enfriar artículos o productos y mantenerlos a una temperatura más baja que la temperatura ambiente. La refrigeración se puede definir como un proceso que saca y transporta el calor.

Los más viejos y mejores refrigerantes conocidos son el hielo, el agua y el aire. Al principio, el único propósito de la refrigeración fue conservar alimentos. Los chinos fueron los primeros en descubrir que el hielo aumentaba la vida y mejoraba el gusto de las bebidas y durante los siglos los esquimales han conservado alimentos congelándolos.



A principios de este siglo fueron conocidos los términos tales como bacterias, fermentación, enmohecimiento, encimas... También se descubrió que el aumento de microorganismos es dependiente de la temperatura y que este crecimiento disminuye cuando la temperatura desciende y que el crecimiento empieza a ser muy bajo a temperaturas por debajo de +10°C.

Como consecuencia de este conocimiento fue entonces posible el use de la refrigeración para conservar productos alimenticios y el hielo se empezó a usar para este propósito. adquirió una seria



La electricidad empezó a jugar su papel al principio de este siglo y las plantas mecánicas de refrigeración empezaron a ser comunes en muchos campos: Por ejemplo, cervecerías, mataderos, pescaderías y fabricación de hielo.

La electricidad empezó a jugar su papel al principio de este siglo y las plantas mecánicas de refrigeración empezaron a ser comunes en muchos campos: Por ejemplo, cervecerías, mataderos, pescaderías y fabricación de hielo.



Después de la segunda Guerra Mundial el desarrollo de los pequeños compresores herméticos adquirió una seria reputación y los refrigeradores y congeladores empezaron a utilizarse en los hogares. Hoy día estas aplicaciones son estimadas como necesidades normales de un hogar.

Ahora hay numerosas aplicaciones para plantas de refrigeración: Como ejemplos tenemos:

- Conservación de productos alimenticios
- Procesos de refrigeración
- Plantas de aire acondicionado
- Plantas secadoras
- Instalación de enfriamiento de agua
- Contenedores refrigerados
- Bombas de calor
- Fábricas de hielo
- Liofilización



De hecho es difícil imaginar la vida sin refrigeración y congelación, este impacto en nuestra existencia es mucho más grande que lo que la gente se imagina.

## Conceptos Fundamentales

### El Sistema SI

Aunque en el ámbito internacional se ha conseguido utilizar el sistema SI (Sistema Internacional de unidades), dado que alguien todavía lo utiliza, indicamos sus equivalencias con el sistema métrico.

Designación	Sistema métrico	Sistema SI
Temperatura	°C	K °C
Fuerza	kilopondio	Newton
Presión	Atmosf/Atmosf. abs Atmosf manom. mm Hg.	Pascal bar
Trabajo	kpm, kcal	Julio
Potencia	hp, kcal/h	Watio
Entalpia	kcal/kg	Julio/kg

### Presión

Cuando una fuerza se aplica a una superficie el efecto producido depende del tamaño de ésta superficie. Como un ejemplo demostrativo, un hombre que tenga colocados unos esquís puede estar de pie sobre la nieve, sin ellos se hunde. Esto quiere decir que los esquís distribuyen el peso del hombre sobre su gran superficie de tal forma que su peso por unidad de la superficie de la nieve es menor.



La presión se define como la relación entre la fuerza ejercida y el tamaño del área. Esto se mide en diferentes unidades dependiendo del propósito de la medida. De estas unidades el Kg/cm<sup>2</sup> es en el sistema métrico la más común. Esta unidad es a menudo abreviada en "at" que define una atmósfera técnica.

Normalmente la presión de aire es de 1,033 Kg/cm<sup>2</sup> y se le llama atmósfera física, el término abreviado es "atm". Diferentes denominaciones de presión se obtendrán dependiendo del punto cero que se escoja.

Si se usa el cero absoluto entonces la denominación será "ata" de donde la "a" indica absoluta. Esta unidad es la que más frecuentemente se utiliza en refrigeración, sin embargo a menudo puede verse "ato" en los manómetros. "Ato" es válido para sobrepresiones referidas a la atmósfera física. Entonces el punto cero corresponde a 1 atm. y 1,033 ata.

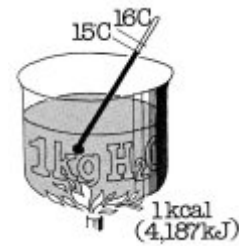
Otra unidad de medida de presión que frecuentemente podemos encontrar es la de mm. columna de mercurio. La presión de aire corresponde a 760 mm. Hg. a lo que corresponde también 1 atmósfera y 1,033 ata.

Finalmente en relación con las bombas de circulación de agua se encuentra la denominación "metro de agua". La abreviación es m.c.a y 10 m.c.a corresponden a 1 ata, 10,33 m. c. a a 1 atm

La unidad de presión en el sistema Si es el Newton/m<sup>2</sup>, también llamado Pascal (Pa). De aquí que ésta unidad represente un valor muy pequeño referido a presión, por ejemplo, en refrigeración, la unidad 1 bar = 10<sup>5</sup> Pa se usa en vez del Pascal. Afortunadamente, 1 at = 0,9807 bar ≈ 1 bar, esto hace que en la práctica es a menudo posible utilizar las mismas unidades de presión tanto en el sistema SI ó en el sistema métrico.

## Calor

La unidad de calor en el sistema métrico es la caloría (Cal) la cual se define como el aumento de calor necesario para aumentar la temperatura de 1 gramo de agua de 15°C a 16°C. En refrigeración es muy normal el uso de la kilocaloría (KCal) lo que es igual a 1.000 calorías.



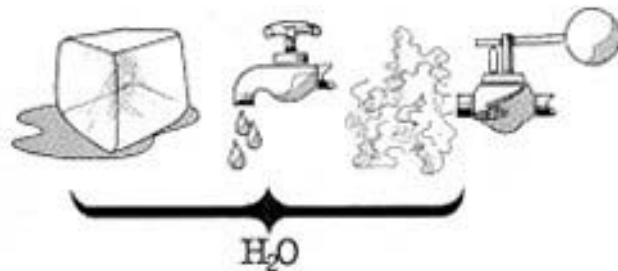
En el sistema SI la unidad para todas las formas de trabajo, incluyendo el calor es el julio (J). La conversión del sistema métrico al sistema SI:

- 1 cal = 4,187 J
- 1 kcal = 4,187 kJ

Hay una gran diferencia en la cantidad de calor que se necesita para aumentar la temperatura de distintas sustancias en 1°C.; 1 Kg de hierro necesita 0,114 KCal, por otra parte 1 Kg de aire necesita 0,24 KCal. El calor específico de una sustancia es el aumento de calor que requiere 1 Kg de este cuerpo para incrementar en 1° C su temperatura. El calor específico de diferentes cuerpos se pueden encontrar en tablas y viene dado en KCal/Kg°C (KJ/KG°C).

## Cambios de estado

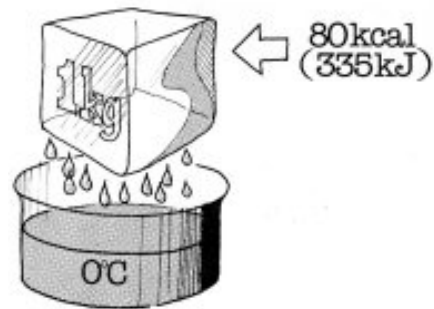
Cada sustancia puede existir en tres formas diferentes: Sólida, líquida y gaseosa. El agua es el ejemplo más natural. El estado líquido es el agua que nos rodea por todas partes y en forma de gas es el vapor de agua. Y en estado sólido es el hielo. Lo común a estas tres condiciones es que las moléculas permanecen sin cambios. Por esto el hielo, el agua y el vapor tienen la misma fórmula química H<sub>2</sub>O.



La temperatura y la presión a que está expuesta una sustancia, determinan si está en forma sólida, líquida o gaseosa. La temperatura a la cual una sustancia sólida se convierte en líquida se llama punto de fusión. Durante la fusión la temperatura de la sustancia no cambia, todo el calor aplicado se emplea en cambiar la sustancia de sólida a líquida. Solo cuando la sustancia se ha fusionado si se aplica un calor adicional su temperatura ulteriormente se elevará. Sustancias diferentes tienen distintos puntos de fusión, el chocolate se funde a 26°C.



Aquí una nevera puede darse como ejemplo. Se coloca hielo y se dice si el hielo está a  $-10^{\circ}\text{C}$  rápidamente empieza a calentarse hasta llegar a  $0^{\circ}\text{C}$  porque el hielo toma calor de las paredes que le rodean y de los alimentos que hay dentro de la nevera etc. entonces el hielo comenzará a fundirse y durante este tiempo la temperatura permanecerá constante a  $0^{\circ}\text{C}$ . Si no se añade de nuevo hielo, la fusión se irá gradualmente completando y el agua procedente del hielo se recogerá en una bandeja que hay en la parte baja de la nevera. La temperatura de la nevera se elevará hasta alcanzar la temperatura exterior.



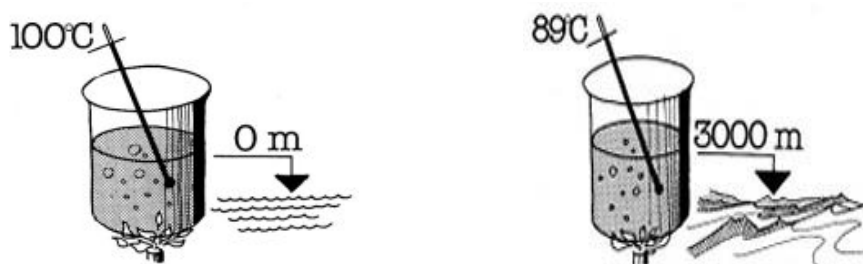
La cantidad de calor que necesariamente se aplica mientras que el proceso de fusión se lleva a cabo, es conocida como calor de fusión.

El conocimiento del proceso que se lleva a cabo durante el cambio de estado de una sustancia es importante en la refrigeración a causa de que:

- El cambio de estado se realiza a temperatura constante.
- El cambio del estado implica un aumento grande de calor por Kg de sustancia.

### Calor de evaporación

Dado que las características del agua son fáciles de observar y dado que el agua es el mejor refrigerante, esto ha determinado utilizarlo como ejemplo, en esta sección.



Cuando el agua se calienta, su temperatura se eleva proporcionalmente hasta que empieza a hervir, su punto de ebullición depende de la presión que se ejerza sobre el agua. En un recipiente abierto y la presión atmosférica normal y al nivel del mar 760 mm. de columna de mercurio el agua hierve a  $100^{\circ}\text{C}$ .

Si la presión desciende por debajo de la presión atmosférica, el punto de ebullición será más bajo que  $100^{\circ}\text{C}$ .

Por ejemplo a una presión de 531 mm. HG (equivalente a 3000 m. por encima del nivel del mar) el punto de ebullición del agua es de  $89^{\circ}\text{C}$ .

En un recipiente cerrado, el punto de ebullición es determinado por la presión del vapor. Si la presión es superior a 760 mm. HG el punto de ebullición será mayor de  $100^{\circ}\text{C}$ . Por ejemplo, el punto de ebullición del agua es de  $120^{\circ}\text{C}$ , cuando la presión es 1. atm y  $183^{\circ}$  cuando la presión es de 10 atmósferas. Este principio se usa en las ollas a presión.

El agua en su punto de ebullición se le llama también líquido saturado y consecuentemente, el punto de ebullición es también conocido como temperatura de saturación. A cualquier presión dada, le corresponde un punto de ebullición o una temperatura de saturación y los valores para el agua se contienen en la tabla que se da a continuación:

Presión ata	Temperatura °C	Presión bar	Temperatura °C
0,2	60	2,0	120
0,4	75	4,0	143
0,6	86	6,0	158
0,8	93	8,0	170
1,0	99	10,0	179

La cantidad de energía suministrada para llevar a un líquido a su punto de ebullición y que se evapore, se llama calor de evaporación la presión atmosférica (760 mm. de Hg), la cantidad de energía requerida para evaporar 1 Kg de agua a 100°C y convertirlo en vapor a 100°C de temperatura es de 539 KCal. (2.260 KJ). En el caso del agua, se forma un Kg de vapor saturado seco. Si solo se aplica una pequeña cantidad de calor solo parte del líquido se evapora y el resultado será una mezcla consistente en líquido saturado y vapor saturado.

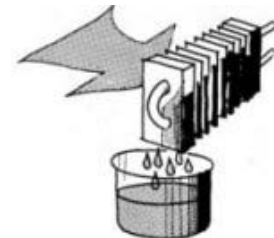
El calor de evaporación se llama también calor latente, puesto que es el calor que hay que aplicar a un cuerpo para que cambie de estado sin que cambie su temperatura. Por otra parte, el calor sensible es el aplicado o tomado de un cuerpo, el cual está a una temperatura situada por encima o por debajo del punto de ebullición o del punto de fusión.

**Recalentamiento**

Si se aplica calor a un vapor saturado, el resultado será vapor recalentado, el calor aplicado se llama calor de recalentamiento. De aquí cuando se realiza un cambio de estado, el calor sensible entra en juego y él es la causa que el vapor incremente de temperatura. El calor específico de un cuerpo cambia cuando pasa del estado líquido al estado gaseoso, por ejemplo solo se necesita 0,45 KCal. (1,9 KJ) para calentar 1 Kg de vapor un grado centígrado, para obtener el mismo incremento de temperatura en el agua se necesita 1 KCal. (4.187 KJ).

**El proceso de condensación**

El contrario de un cambio de estado de líquido a vapor. Es un proceso llamado de condensación (Precipitación). En vez de aplicar una cierta cantidad de calor es necesario sacar del cuerpo la misma cantidad para convertir el vapor en líquido. De nuevo la presión determina la temperatura a la cual la condensación se realiza.



**Diagrama Temperatura/Entalpia**

Las características de un cuerpo se pueden ver en un diagrama temperatura/entalpia. Las entalpias se representan en la abscisa y las temperaturas en las ordenadas. La entalpia frecuentemente se define como el calor total contenido en un cuerpo y es la suma de la energía aplicada a este cuerpo. Para clarificar conceptos se ha tomado como ejemplo agua a la presión atmosférica.

El diagrama comienza con agua a 0°C de aquí que la entalpia del agua sea también 0 KCal/Kg. La aplicación de calor sensible produce un cambio de A a B (Temperatura de evaporación del agua). La diferencia entre A y B es que la temperatura alcanza 100°C. Como anteriormente se dijo, cada 1°C de aumento de temperatura requiere 1 KCal (4,187 KJ) de aquí que el calor total que necesariamente se ha aplicado, aquí es de 100 KCal, por tanto, el contenido de calor o calor total que es igual a la entalpia es de 100 KCal./Kg. de agua(418,7 J/Kg.). La línea B-C corresponde al calor latente (calor de evaporación que es el calor que se necesita para



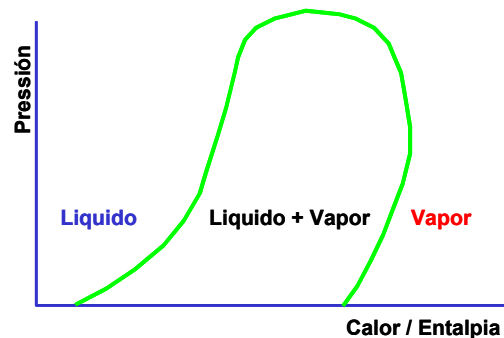
transformar 1 Kg de agua (punto B) en vapor saturado seco (punto C). El calor de evaporación del agua a la presión atmosférica, como anteriormente se dijo es de 539 KCal./Kg. de agua y como la entalpia o calor total es la suma del calor aplicado, será  $100+539 = 639$  KCal./Kg. de agua. Es importante resaltar que no se produce incremento de temperatura entre los puntos B y C.

La línea C-D muestra el efecto de aplicación de calor sensible al vapor, es decir el recalentamiento. El calor específico del vapor de agua, se dijo anteriormente que era de 0,45 KCal./Kg. (1,88 KJ/Kg.) En el ejemplo se muestra una elevación de temperatura en el vapor de  $20^{\circ}\text{C}$  y por tanto, el calor aplicado es de  $20 \times 0,45 = 9$  KCal./Kg. La entalpia o calor total como es la suma de los calores aplicados será en el punto D. Igual a  $639+9 = 648$  KCal./Kg.

### Diagrama Presión/Entalpia

Como anteriormente se explicó la relación temperatura/entalpia, es dependiente de la presión y en el punto 2.8. se explicó un diagrama en el cual se utilizaba el agua como ejemplo, sin embargo para poder mostrar las características temperatura/entalpia de cualquier medio que se utilice, hay que construir diagramas para todas las presiones posibles. Esto como se comprende es muy poco práctico, y, por tanto, se utiliza un diagrama presión/entalpia, en vez de temperatura/entalpia. Este diagrama

presión/entalpia, se muestra en la figura siguiente. La presión se encuentra en la ordenada, y es como una regla graduada de acuerdo a una escala logarítmica. En refrigeración es necesario trabajar con diferentes presiones y temperaturas y este diagrama ofrece un camino práctico de determinar gráficamente los cambios de energía de una planta de refrigeración.



## Circuito Refrigerante

Los términos físicos del proceso de refrigeración han sido tratados con anterioridad, sin embargo por razones prácticas el agua no se usa como refrigerante.

Un circuito simple de refrigeración se construye como muestran los dibujos que siguen. En cada uno de ellos se describen los componentes individuales para aclarar el conjunto final:

### Evaporador

Un refrigerante en forma líquida absorberá calor cuando se evapore, y este cambio de estado produce un enfriamiento en un proceso de refrigeración. Si a un refrigerante a la misma temperatura que la del ambiente se le permite expandirse a través de una boquilla con una salida a la atmósfera, el calor lo tomará del aire que lo rodea y la evaporación se llevará a cabo a una temperatura que corresponderá a la presión atmosférica.

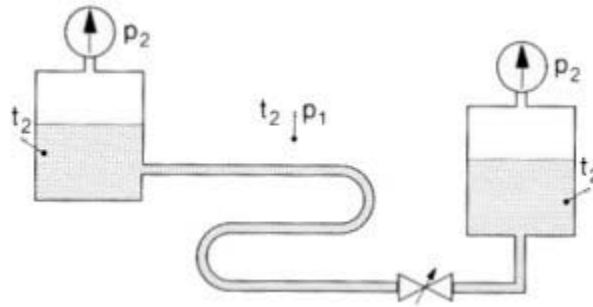
Si por cualquier circunstancia, se cambia la presión de la salida (presión atmosférica) se obtendrá una temperatura diferente de evaporación.

El elemento donde esto se lleva a cabo es el evaporador cuyo trabajo es sacar calor de sus alrededores y así producir una refrigeración.

### Compresor

El proceso de refrigeración implica un circuito cerrado. Al refrigerante no se le deja expandirse al aire libre.

Cuando el refrigerante va hacia el evaporador este es alimentado por un tanque. La presión en el tanque será alta, hasta que su presión se iguale a la del evaporador. Por esto la circulación del refrigerante cesará y la temperatura tanto en el tanque como en el evaporador se elevará gradualmente hasta alcanzar la temperatura ambiente.



Para mantener una presión menor y con esto una temperatura más baja, es necesario sacar el vapor del evaporador. Esto lo realiza el compresor el cual aspira vapor del evaporador. En términos sencillos, el compresor se puede comparar a una bomba que transporta vapor en el circuito del refrigerante.

En un circuito cerrado a la larga prevalece una condición de equilibrio. Para ampliar más este concepto tenemos que ver si el compresor aspira vapor más rápidamente, que el que se puede formar en el evaporador, la presión descenderá y con esto la temperatura en el evaporador. Por el contrario, si la carga en el evaporador se eleva el refrigerante se evaporará más rápidamente lo que producirá una mayor presión y por esto una mayor temperatura en el evaporador.

### El compresor, forma de trabajo

El refrigerante sale del evaporador, o bien como vapor saturado o ligeramente recalentado y entra en el compresor donde es comprimido. La compresión se realiza igual que en un motor de explosión, esto es por el movimiento de un pistón.

El compresor necesita una energía y produce un trabajo. Este trabajo es transferido al vapor refrigerante y se le llama trabajo de compresión.

A causa de este trabajo de compresión, el vapor sale del compresor a una presión distinta y la energía extra aplicada produce un fuerte recalentamiento del vapor.

El trabajo de compresión depende de la presión y temperatura de la planta. Más trabajo, por supuesto requiere comprimir 1 Kg de gas a 10 At (~bar) que comprimir la misma cantidad a 5 At. (~bar).

### Condensador

El refrigerante deja su calor en el condensador y el calor es transferido a un medio que se encuentra a más baja temperatura. La cantidad de calor que suelta el refrigerante es el absorbido en el evaporador más el calor recibido por el trabajo de compresión.

El calor se transfiere a un medio que puede ser aire ó agua, el único requisito es que su temperatura sea más baja que la correspondiente a la presión de condensación del refrigerante. El proceso en el condensador de otra manera se puede comparar con el proceso en el evaporador, excepto que tiene el "signo" opuesto, es por consiguiente el cambio de estado de vapor a líquido.

### Proceso de expansión

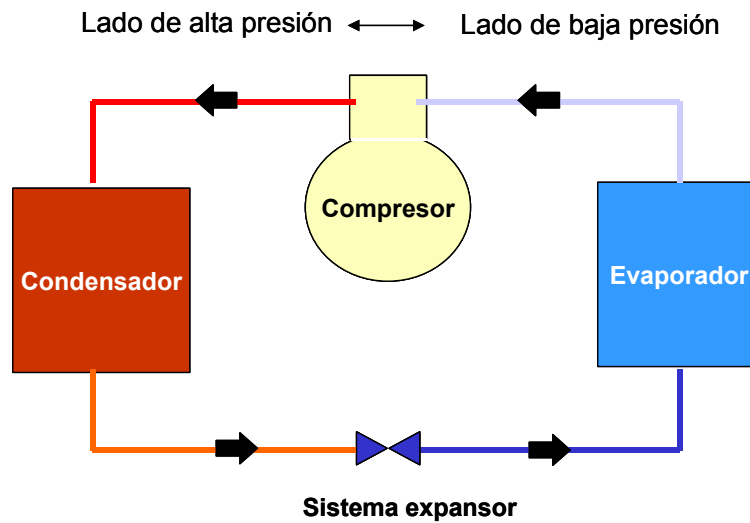
El líquido procedente del condensador penetra en un tanque colector, el recipiente. Este tanque se puede comparar al mencionado en el punto 3.1. al hablar del evaporador.

La presión en el recipiente es más alta que la presión en el evaporador a causa de la compresión (incremento de presión) que se lleva a cabo en el compresor. Para disminuir la presión, al mismo nivel del evaporador hay que colocar un dispositivo que lleve a cabo este proceso el cual se llama de estrangulación o expansión, por lo que este dispositivo es conocido por dispositivo de estrangulación o dispositivo de expansión. Normalmente se utiliza una válvula llamada por tanto válvula de estrangulación o válvula de expansión.

Delante de la válvula de expansión el fluido estará a una temperatura por encima del punto de ebullición. Al reducirle rápidamente su presión se producirá un cambio de estado, el líquido empezará a hervir y a evaporarse. La cooperación se lleva a cabo en el evaporador y así se completa el circuito.

### Lados de alta y baja presión en una planta de refrigeración

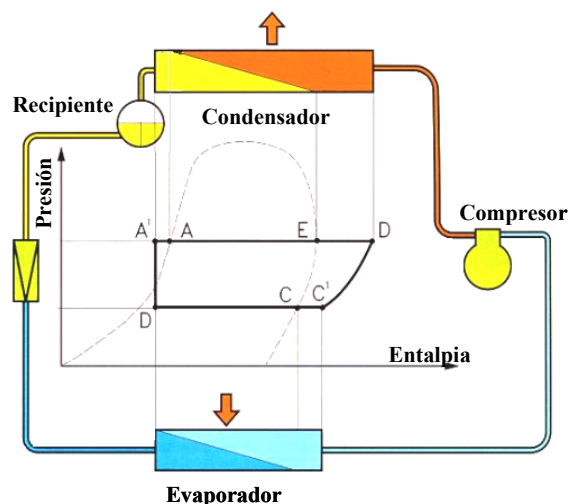
Hay muchas temperaturas diferentes implicadas en el funcionamiento de una planta de refrigeración. De aquí que hay diferentes cosas como líquido subenfriado, líquido saturado, vapor saturado y vapor recalentado. En principio, sin embargo solo hay dos presiones: presión de evaporación y presión de condensación. Las plantas entonces se pueden dividir en lado de alta presión y lado de baja presión.



## Proceso de Refrigeración. Diagrama presión/entalpia

El refrigerante condensado que se encuentra en el recipiente, está en condición A que está situada sobre la línea del punto de ebullición del líquido. El líquido tiene de este modo una temperatura  $t_k$  (temperatura de condensación), y una presión  $p_k$  (presión de condensación) y una entalpia  $h_o$ .

Cuando el líquido pasa a través de la válvula de expansión su estado cambia de A a B. Este cambio de estado se efectúa por la ebullición del líquido a causa de la caída de presión hasta  $p_o$ . Al mismo tiempo, se produce un punto más bajo de ebullición del líquido  $t_o$  como consecuencia de la caída de presión.



En la válvula, el calor ni se aplica ni se disipa, por eso la entalpia es  $h_o$ .

A la entrada del evaporador hay una mezcla de vapor y líquido mientras que en la salida del evaporador punto C, el vapor es saturado. La presión y la temperatura son las mismas que las del punto B pero como el evaporador ha absorbido el calor de sus alrededores, la entalpia ha cambiado a  $h_1$ .



Cuando el vapor pasa a través del compresor sus condiciones cambian de C a D. La presión se eleva a la presión de condensación  $p_k$ .

La temperatura se eleva a  $t_{ov}$  que es más alta que la temperatura de condensación  $t_k$ , como consecuencia de que el vapor ha sido fuertemente recalentado. Más energía en forma de calor le ha sido también introducido y por consiguiente la entalpia cambia a  $h_2$ .

A la entrada del condensador punto D, la condición por tanto, es de la de un vapor recalentado a la presión  $p_k$ , el calor es evacuado por el condensador a sus alrededores y por ésta razón la entalpia de nuevo cambia a la del punto A. Lo primero que sucede en el condensador es un cambio de un vapor fuertemente recalentado a un vapor saturado (punto E) y luego una condensación de éste vapor. Del punto E al punto A, la temperatura (temperatura de condensación) permanece la misma puesto que la condensación y la evaporación se efectúan a temperatura constante.

En la práctica el proceso de refrigeración aparecerá ligeramente diferente al diagrama presión entalpia. A causa de un pequeño recalentamiento del vapor que procede del evaporador y la temperatura del líquido antes de la válvula de expansión se subenfria débilmente a causa del intercambio de calor que se produce a su alrededor.

## Refrigerantes

### Necesidades generales

A lo largo del examen del proceso de refrigeración, la cuestión de los refrigerantes no se ha tratado a causa de que no es necesario hacerlo en conexión con los principios físicos básicos del cambio de estado de los cuerpos.

Es bien conocido sin embargo que en la práctica son usados diferentes refrigerantes de acuerdo con sus aplicaciones y necesidades. Los factores más importantes son los siguientes:

- El refrigerante no debe ser venenoso. Cuando esto es imposible, el refrigerante necesariamente ha de tener un olor característico o forzosamente ha de poseer un colorante de tal forma que cualquier fuga pueda observarse rápidamente.
- El refrigerante no debe ser inflamable o explosivo. Cuando ésta condición no se cumpla han de observarse las mismas precauciones que se indican en el punto primero.
- El refrigerante debe tener una presión razonable, preferentemente un poco más alta que la presión atmosférica a la temperatura requerida que debe mantenerse en el evaporador.
- Para evitar un pesado diseño de la planta de refrigeración la presión a la que corresponda una condensación normal no debe ser demasiado alta.
- Se requiere en el refrigerante un calor de evaporación relativamente alto para que la transmisión de calor se lleve a cabo con el mínimo posible de refrigerante en circulación.
- El vapor no debe tener un volumen específico demasiado alto puesto que esto es determinante de la carrera del compresor a una determinada producción de frío.
- El refrigerante necesariamente ha de ser estable a las temperaturas y presiones normales en una planta de refrigeración.
- El refrigerante no debe ser corrosivo y necesariamente tanto en forma líquida o vapor no atacará a los materiales normales de diseño en una planta frigorífica.
- El refrigerante necesariamente no debe destruir al aceite de lubricación. El refrigerante necesariamente ha de ser fácil de adquirir y manipular.
- El refrigerante no ha de costar demasiado.

### Refrigerantes fluorados

Los refrigerantes fluorados siempre llevan la designación "R" seguido de un número, por ejemplo: R134a, R404A, R510 etc. Muy a menudo también se emplean sus nombres comerciales.

Los refrigerantes fluorados todos tienen las siguientes características:

- Vapor sin olor y no es irritante.

- No son venenosos, excepto en presencia del fuego pueden dar ácido y fosgeno que son venenosos.
- No son corrosivos.
- No son inflamables ni explosivos.

Los refrigerantes fluorados más comunes son:

**R407C y R410**, Es el que más se usa en instalaciones de Aire Acondicionado y bombas de calor.

**R 134a** normalmente se usa en pequeñas plantas de refrigeración a causa de entre otras cosas, que calor de evaporación de la cantidad de refrigerante en circulación es relativamente pequeño.

**R 404A**, Es el refrigerante que se usa en plantas de congelación donde se necesitan más bajas temperaturas.

Además de estos refrigerantes fluorados, hay una larga serie de otros que no se ven a menudo hoy: R23, R417, R508A, etc..

### Amoniaco $\text{NH}_3$

El amoniaco  $\text{NH}_3$  es usado normalmente en grandes plantas de refrigeración. Su punto de ebullición es de  $-33^\circ\text{C}$ .

El amoniaco tiene un olor característico incluso en pequeñas concentraciones con el aire. No arde, pero es explosivo cuando se mezcla con el aire en un porcentaje en volumen de 13-28.

Es corrosivo el cobre y aleaciones de cobre no se pueden emplear en plantar de amoniaco.

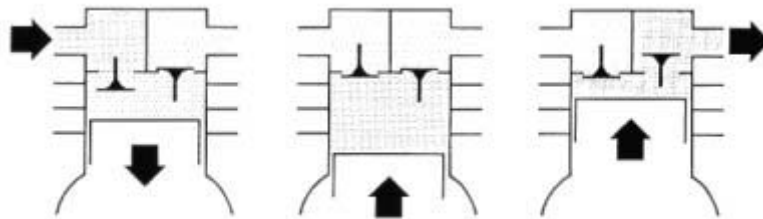
### Refrigerantes secundarios

Los refrigerantes mencionados más arriba se designan a menudo como "Refrigerantes primarios". Como medio de la transmisión del calor del evaporador a su alrededor se emplean los llamados "refrigerantes secundarios". Se puede usar por ejemplo: agua, salmuera y aire.

## Componentes principales de la planta de refrigeración

### Compresor

El trabajo del compresor es aspirar el vapor del evaporador y forzarlo a entrar en el condensador. El tipo más común es el compresor de pistón, pero otros tipos también se emplean por ejemplo compresores centrífugos y compresores de tornillo.

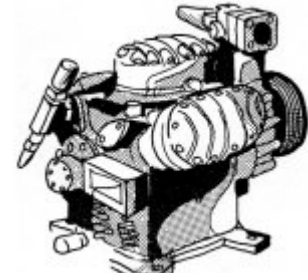


El compresor de pistón cubre una gran gama de capacidades desde los compresores monocilíndricos de los refrigeradores domésticos hasta modelos de 8 y 10 cilindros con un gran volumen de aspiración para aplicaciones industriales.

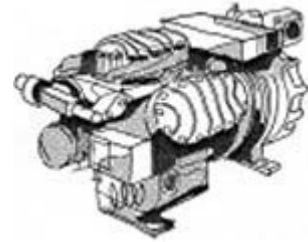
Para pequeñas aplicaciones se usa el compresor hermético. En estos aparatos, el compresor y motor se montan juntos en una completa unidad hermética.



Para grandes plantas, el compresor más común, es el compresor semi-hermético. Su ventaja es que se elimina el prensa que en compresores que antes lo tenían había dificultad en eliminar las fugas cuando estas aparecían en los prensa. Sin embargo, este modelo semi-hermético no se puede utilizar en plantas de amoníaco a causa de que este refrigerante ataca el devanado de los motores.



Los compresores para muy grandes plantas de freon y amoníaco se les denomina compresores abiertos, es decir con el motor fuera del compresor. La transmisión del motor al compresor puede hacerse directamente a través del eje del cigüeñal o por correas trapecoidales.

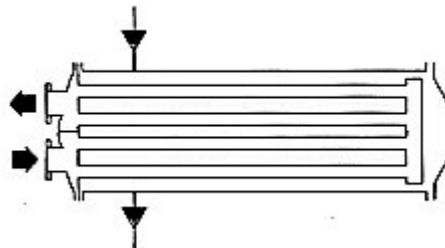


Para aplicaciones muy especiales hay compresores sin aceite de lubricación. Pero normalmente es necesario la lubricación de los cojinetes de bolas y las paredes de los cilindros. En los grandes compresores de refrigeración, el aceite de lubricación es puesto en circulación por una bomba.

### Condensador

El propósito del condensador es sacar del gas el calor, que es igual a la suma del calor absorbido en el evaporador más el calor producido por la compresión. Hay muchas clases diferentes de condensadores.

*Condensador multitubular* (Shell and tube condenser). Este tipo de condensador se utiliza en plantas donde se dispone de suficiente agua. Consiste en un cilindro horizontal con dos placas de tubo soldadas en sus extremos, las cuales soportan los tubos de enfriamiento. Los extremos se cubren por dos tapas normalmente atornilladas.



El refrigerante a condensar circula a través del cilindro y el agua de enfriamiento por dentro de los tubos. Las tapas de los extremos están divididas en secciones por medio de unos diafragmas. Estas secciones forman cámaras de tal manera que el agua circula varias veces a través del condensador. Como regla se dice que el agua ha de calentarse entre 5-10°C, cuando a pasado a través del condensador.

Si se desea o es necesario reducir el consumo de agua hay que utilizar como sustitución al anterior un condensador evaporativo. Este tipo de condensador consiste en un envolvente en el que hay una batería de condensación, tubos de distribución de agua, placas deflectoras y ventiladores.

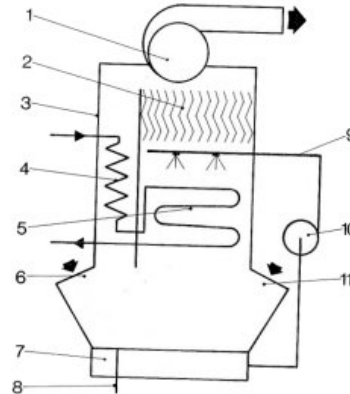
El vapor refrigerante caliente llega a la parte alta de la batería de condensación. Poco a poco se va condensando a medida que circula por la batería y en el fondo de ésta está en forma de líquido.

Los tubos de distribución de agua con sus toberas se montan sobre la batería de condensación de tal manera que el agua pulverizada caiga de arriba a abajo de la batería.

Los ventiladores dan una fuerte circulación de aire a través de la batería de condensación.

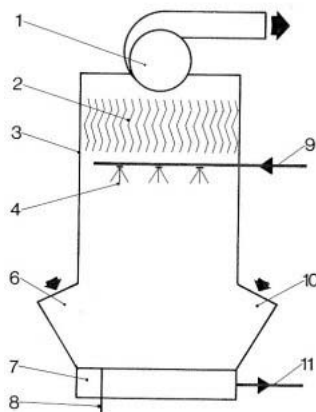
Cuando las gotas de agua que caen encuentran el aire que circula en contra, parte de este agua se evaporará. Esta cooperación absorbe el calor de vaporización del vapor refrigerante y causa que este se condense:

1. Ventilador
2. Placa deflectora
3. Envoltorio exterior
4. Eliminador del recalentamiento
5. Tubo del condensador
6. Entrada de aire
7. Bandeja colectora
8. Tubo de sobradero
9. Tubería de distribución de agua
10. Bomba de circulación de agua
11. Entrada de aire



El principio de cooperación del agua también se utiliza en las torres de enfriamiento. Estas se instalan cuando por razones prácticas es conveniente instalar un condensador multitubular cerca del compresor. El agua circula por un circuito formado por el condensador y la torre de enfriamiento.

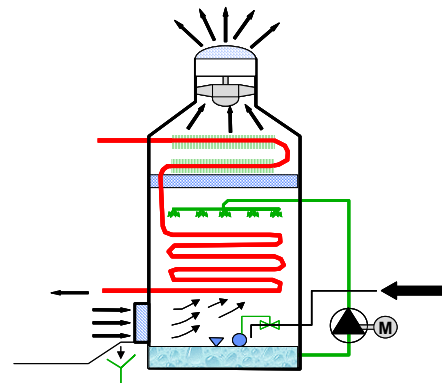
En principio la torre de enfriamiento se construye igual que un condensador evaporativo pero en vez de una batería de condensación lleva en su interior placas deflectoras. El aire es calentado en su camino a través de la torre por contacto directo con el agua en forma de gotas que circulan hacia abajo, de la cual absorbe el calor y de como parte de la evaporación hay un incremento de la humedad del aire de salida. Por este procedimiento el agua de enfriamiento pierde calor, las pérdidas de agua se compensan con una aportación de agua exterior:



1. Ventilador
2. Placa deflectora
3. Envoltorio exterior
4. Tobera
6. Entrada de aire
7. Bandeja de recogida
8. Tubo de sobrante
9. Agua de enfriamiento procedente del condensador
10. Entrada de aire
11. Agua de enfriamiento hacia el condensador

Es posible ahorrar entre un 90-95% el consumo de agua utilizando condensadores evaporativos o torres de enfriamiento comparándolo con el consumo de agua de un condensador multitubular.

Si por una u otra razón no se puede usar agua en el proceso de condensación se utiliza en estos casos un condensador enfriado por aire. Debido a que el aire tiene unas malas características de transmisión de calor comparadas con el agua son necesarias grandes superficies externas de los tubos de condensación.



Esto se consigue colocando en los tubos salientes o aletas y asegurando mecánicamente una gran circulación de aire.

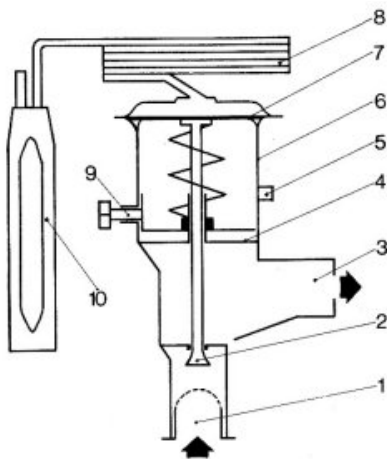
### Válvula de expansión

El propósito principal de una válvula de expansión, es asegurar una presión diferencial suficiente entre los lados de alta y baja de la planta de refrigeración.

El camino más sencillo de hacer esto es colocar un tubo capilar entre el condensador y el evaporador.

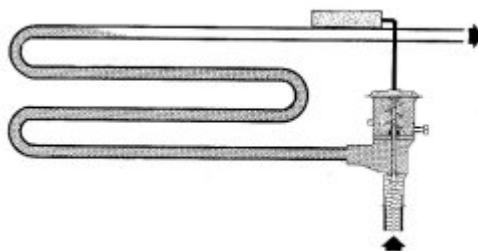
El tubo capilar sin embargo, solo se usa pequeñas plantas y en simples aplicaciones tales como refrigeradores por causa de que no es capaz de regular la cantidad que se inyecta al evaporador.

Para este proceso necesariamente hay que utilizar una válvula de regulación la más corriente es una válvula de expansión termostática que consta de un cuerpo de válvula con tubo capilar y un bulbo, el cuerpo de la válvula se monta en la línea de líquido y el bulbo se coloca en la salida del evaporador.



1. Entrada con filtro
2. Cono
3. Salida
4. Orificio
5. Conexión para igualizador de presión
6. Envoltorio del muelle
7. Diafragma
8. Tubo capilar
9. Eje para ajuste de tensión del muelle (recalentamiento de apertura)
10. Bulbo

La figura siguiente muestra a un evaporador alimentado por una válvula termostática de expansión. Una pequeña cantidad de líquido permanece en el bulbo. El resto del bulbo, el tubo capilar y el espacio por encima de la membrana en el cuerpo de válvula está lleno de vapor saturado a la presión correspondiente a la temperatura del bulbo. El espacio por debajo de la membrana está en conexión con el evaporador, y la presión es por consiguiente igual a la presión de evaporación.



El grado de apertura de la válvula es determinado por:

- La presión producida por la temperatura del bulbo que actúa por la cara superior del diafragma.
- La presión por debajo del diafragma que es igual a la presión de evaporación.
- La presión del muelle que actúa por la parte baja del diafragma.

En trabajo normal, la evaporación cesará a cierta distancia en la parte alta del evaporador, entonces aparece el gas saturado, el cual empieza a recalentarse en su camino de su salida,

en el último tramo del evaporador. Entonces el bulbo tendrá la temperatura de evaporación más el recalentamiento. . Por ejemplo a una temperatura de evaporación de  $-10^{\circ}\text{C}$ , la temperatura del bulbo podría ser de  $0^{\circ}\text{C}$ .

Si el evaporador recibe poco refrigerante, el vapor se recalentará más y la temperatura a la salida del evaporador será mas alta. La temperatura del bulbo también se elevará y también la presión de vapor en el bulbo, como consecuencia de que la carga se evaporará. Como consecuencia del aumento de presión por la parte superior del diafragma éste se cambiará hacia abajo, la válvula se abrirá y se suministrará más líquido al evaporador. Por el contrario la válvula cerrará mas si la temperatura del bulbo empieza a ser más baja.

Las válvulas de expansión termostática se fabrican en distintas versiones y de diferentes tipos.

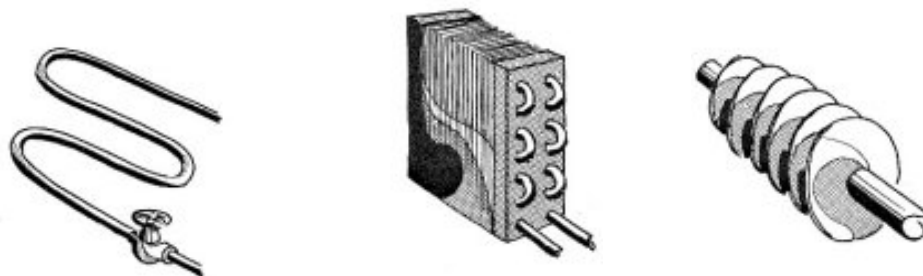
### Sistemas de evaporación

Dependiendo de la aplicación, varios requisitos se imponen en el evaporador Los evaporadores, sin embargo se fabrican en serie en distintas versiones

Los evaporadores para circulación natural de aire cada vez se utilizan menos debido a la pobre transferencia de calor del aire a los tubos de enfriamiento. En los primeros modelos se montaron con tubo liso pero ahora es muy común el uso de tubos con aletas, planas o helicoidales.

La capacidad del evaporador se aumenta significativamente si se usa evaporadores para circulación forzada de aire. Con un aumento de la velocidad del aire, el calor transferido del aire al tubo se aumenta de tal manera que para una capacidad dada se puede utilizar una superficie de evaporador mucho más pequeña que la que se necesitaría para la circulación natural.

El nombre lo dice, enfriador de líquido el método más sencillo es sumergir un serpentín de tubo en un tanque abierto. Los sistemas cerrados también se empiezan a utilizar cada vez más. En estos sistemas los tubos enfriadores se disponen de una manera muy parecida a los condensadores multitubulares.



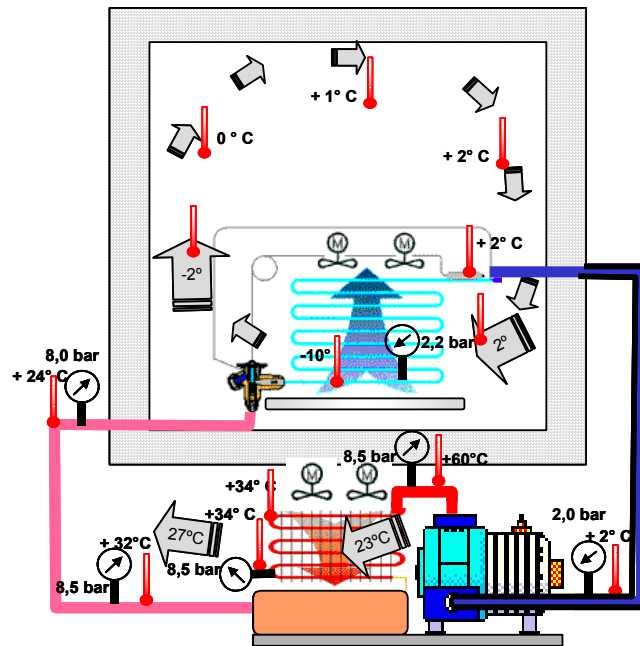
### Forma práctica de montar una planta de Refrigeración

La figura muestra el montaje de una planta de refrigeración para un solo espacio enfriado. De estas instalaciones se ven muchas en carnicerías y supermercados.

El compresor puede instalarse por ejemplo en un cuarto adyacente con salida al aire exterior. Como la unidad está compuesta por un compresor accionado por un motor eléctrico por medio de correas trapezoidales. En la bancada también se coloca un condensador enfriado por aire y un recipiente. En el eje del motor eléctrico se monta un ventilador para que fuerce al aire a pasar a través del condensador y, asegure el necesario grado de enfriamiento. La línea que se monta entre el compresor y el condensador se le conoce como la línea de descarga.

Desde el recipiente sale una línea sin aislar y entra en el espacio enfriado donde se conecta a la válvula de expansión que hay a la entrada del evaporador. El evaporador está provisto de aletas soldadas a los tubos, y también tiene un ventilador para forzar la circulación de aire, también tiene una bandeja de goteo. En la salida del evaporador hay una línea, la línea de aspiración que va hacia el compresor. El diámetro de la línea de aspiración es un poco mayor

que el de la línea de líquido debido a que por ella circula el vapor. Por ésta razón, la línea de aspiración como norma se aísla.



El dibujo da detalles de temperatura momentáneas de la misma instalación. A la salida del condensador, la presión es de 8,5 ata (~bar) y la temperatura 60°C a causa de la presencia del vapor recalentado, la temperatura en la parte superior del condensador desciende rápidamente a la temperatura de saturación, la cual a la presión indicada será de 34°C, por esto el recalentamiento desaparece y comienza la condensación.

La presión a la salida del recipiente permanecerá más o menos la misma aunque el subenfriamiento del líquido cause que la temperatura descienda 2°C a 32°C. En el evaporador hay como se indica una presión de 2,2 ata (~bar) y una temperatura de evaporación de -10°C. En el último tramo del evaporador, el vapor comienza a recalentarse de tal manera que la temperatura en el bulbo de la válvula termostática llega a +2, que corresponde al recalentamiento ajustado en la válvula.

Como se muestra en el dibujo la temperatura del aire variará y tomará el calor en su camino alrededor de los productos almacenados, paredes, techo etc. La temperatura del aire que se impulsa a través del condensador también variará con la estación del año. Una planta de refrigeración, debe de dimensionarse de acuerdo con la máxima carga a que puede someterse. Para poderla acomodar a cargas menores, deben de existir en la planta algo que facilite la alteración de su rendimiento. El proceso de producir estas alteraciones es lo que se llama regulación y precisamente esta regulación la proporciona los controles automáticos Danfoss. Pero esto es un asunto el cual escapa del alcance de estos apuntes.