



INSTALACIONES FRIGORÍFICAS

Centro Nacional de Formación Marítima de Bamio

Bruno De Miranda Santos

Carlos Rodríguez

**Revisión 03
Octubre 2010**

ÍNDICE

TERMODINÁMICA APLICADA A LA REFRIGERACIÓN	4
Aplicaciones del frío.....	4
Termometría, equivalencias de temperatura.....	4
Definiciones de fuerza, trabajo, energía y potencia.....	6
Fuerza	6
Trabajo	6
Energía.....	6
Potencia.....	6
Unidades de medida de potencia	6
Calor: Sensible, específico y latente.....	7
Calor.....	7
Calor sensible	7
Calor latente	7
Unidades de medida del calor	7
Calor específico	8
Relación del calor con los cambios en la materia.....	9
Estados de los fluidos: vapor saturado y sobrecalentado.....	10
Mecanismos de transmisión de calor.....	10
Presión: absoluta, relativa y atmosférica	12
Presión de un fluido	12
Presión absoluta	12
Presión atmosférica	12
Presión relativa o manométrica	13
Unidades de medida de presión	14
El diagrama de Mollier.....	15
Introducción.....	15
Zonas del diagrama de Mollier	15
Escalas del diagrama.....	16
CICLOS DE COMPRESIÓN MECÁNICA.....	17
Ciclo de compresión mecánica en simple etapa, introducción.....	17
Ciclo de compresión mecánica en simple etapa, procesos.	19
Estudio de los procesos en el ciclo de compresión simple.	20
Ciclos de compresión múltiple.....	25
COMPRESIÓN EN DOS ETAPAS CON ENFRIAMIENTO INTERMEDIO POR INTERCAMBIADOR.....	26
COMPRESOR EN DOS ETAPAS CON ENFRIADOR SEPARADOR ABIERTO CON INYECCIÓN TOTAL (BOOSTER OPEN FLASH).	27
Ciclos de compresión en cascada	28
Sistemas directos e indirectos.....	31
Clasificación de los sistemas de refrigeración.....	33
ELEMENTOS DE LAS PLANTAS FRIGORÍFICAS.....	35

Compresores, clasificación y reseña de funcionamiento.....	35
Clasificación de los Compresores:.....	35
Compresores Alternativos.....	37
Compresores Rotativos.....	41
Compresores de rodillo o pistón rodante:.....	42
Compresores de paletas:.....	43
Compresores Scroll:.....	43
Compresores de Tornillo.....	45
Turbocompresores.....	47
Evaporadores, clasificación, desescarches.....	49
Clasificación de los Evaporadores.....	49
Desescarches.....	52
Condensadores, clasificación.....	54
Dispositivos de expansión, clasificación y funcionamiento.....	57
Tubo capilar.....	57
Válvula de expansión manual.....	61
Válvula de expansión Automática o Presostática.....	61
Válvula de expansión Termostática.....	62
Accesorios: Instrumentación de regulación y medida, filtros, válvulas y visores.....	64
Tubería frigorífica.....	68
FLUIDOS FRIGORÍFICOS Y ACEITES.....	69
Fluidos frigorígenos: Refrigerantes.....	69
Definición y propiedades.....	69
Identificación de los refrigerantes.....	70
Tipos de refrigerantes; Refrigerantes orgánicos puros.....	70
Mezcla de refrigerantes orgánicos; Mezclas zeotrópicas.....	71
Mezcla de refrigerantes orgánicos; Mezclas Azeotrópicas.....	72
Ventajas de los Azeótropos como Refrigerantes.....	72
Fluidos frigoríferos: Salmueras.....	74
Propiedades Deseables en las Salmueras.....	74
Tipos de salmueras.....	74
Los inconvenientes del uso de las salmueras son:.....	74
Aceites lubricantes.....	76
Usos de los aceites.....	76
GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE PLANTAS FRIGORÍFICAS.....	78
Detección de averías frecuentes.....	78
Tablas de averías comunes.....	78
Diagrama de flujo para diagnóstico de averías.....	80
Observación del régimen de trabajo de la instalación Frigorífica.....	84
BIBLIOGRAFIA.....	85

TERMODINÁMICA APLICADA A LA REFRIGERACIÓN

Aplicaciones del frío.

Remontándonos a la utilización del frío a lo largo de la historia nos encontramos con que ya en el siglo XII los chinos utilizaban mezclas de salitre con el fin de enfriar agua, mas tarde, ya en los siglos XVI y XVII, investigadores y autores como *Boyle*, *Faraday* con sus experimentos sobre la vaporización del amoníaco, hacen los primeros intentos prácticos de producción de frío.

En 1834, *Perkins* desarrolla su patente de máquina frigorífica de compresión de éter y en 1835 *Thilorier* fabrica nieve carbónica por expansión; *Tellier* construyó la primera máquina de compresión con fines comerciales, *Pictet* desarrolla una máquina de compresión de anhídrido sulfuroso, *Linde* otra de amoníaco, *Linde* y *Windhausen* la de anhídrido carbónico, *Vincent* la de cloruro de metilo, etc. Un capítulo aparte merece *Carré*, propulsor de la máquina frigorífica de absorción y *Le Blanc-Cullen-Leslie* la de eyección.

Desde el punto de vista de sus aplicaciones, la técnica del frío reviste un gran interés dentro de la evolución industrial. La refrigeración tiene un amplio campo en lo que respecta a la conservación de alimentos (Barcos congeladores de pescado en alta mar, plantas refrigeradoras de carnes y verduras), productos farmacéuticos y materias para la industria (Plantas productoras de hielo, unidades de transporte de productos congelados, barcos, aviones, trenes, camiones, etc), en sistemas de acondicionamiento de aire y calefacción, etc.

En los barcos nos vamos a encontrar frecuentemente con los siguientes tipos de equipos de refrigeración:

- Equipos de climatización con aire acondicionado.
- Cámaras de conservación de productos frescos, refrigeración sin congelar.
- Cámaras de conservación de productos congelados.
- Túneles de congelación, para realizar la congelación rápida y después enviar los productos a las cámaras conservación de productos congelados.

Termometría, equivalencias de temperatura

La Temperatura es difícil de definir, ya que no es una variable tan tangible como lo es la presión, dado que en su caso, no podemos referirla a otras variables.

La temperatura es un estado relativo del ambiente, de un fluido o de un material referido a un valor patrón definido por el hombre, un valor comparativo de uno de los estados de la materia. Por otra parte, si, positivamente, podremos definir los efectos que los cambios de temperatura producen sobre la materia, tales como los aumentos o disminución de la velocidad de las moléculas de ella, con consecuencia palpable, tales

como el aumento o disminución del volumen de esa porción de materia o posibles cambios de estado.

Existen dos escalas de temperatura o dos formas de expresar el estado relativo de la materia, estas son:

- Temperaturas absolutas.
- Temperaturas relativas.

Las **escalas absolutas** expresan la temperatura de tal forma que su valor cero, es equivalente al estado ideal de las moléculas de esa porción de materia en estado estático o con energía cinética nula (Cero absoluto).

Las **escalas relativas**, son aquellas que se refieren a valores preestablecidos o patrones en base los cuales fue establecida una escala de uso común.

En Sistema Métrico Decimal, las escalas relativas y absolutas son:

- La Escala Celsius o de grados Centígrados (relativa).
- La Escala Kelvin (absoluta).

La equivalencia entre las dos escalas es:

Grados Kelvin = Grados Centígrados + 273.

En el Sistema de Medidas Inglesas, su equivalente será:

- La Escala Fahrenheit (Relativa).
- La Escala Rankine (Absoluta).

La equivalencia entre estas dos escalas es:

Grados Rankine = Grados Fahrenheit + 460.

Por otra parte, las escalas Celsius y Fahrenheit están referidas al mismo patrón, pero sus escalas son diferentes. El patrón de referencia usado para su definición fueron los cambios de estado del agua. Estos puntos son:

CAMBIO DE ESTADO	°CELSIUS	°FARENHEIT
SÓLIDO – LIQUIDO	0	32
LIQUIDO – GAS	100	212

Como se puede deducir de la tabla anterior, por cada grado Celsius de cambio térmico tendremos 1,8 grados Fahrenheit de cambio equivalente.

De todo esto, la equivalencia entre estas dos escalas será:

Grados Fahrenheit = Grados Celsius x 1,8 + 32.

Definiciones de fuerza, trabajo, energía y potencia

Fuerza

La Fuerza puede definirse como toda acción capaz de modificar el estado de movimiento o reposo de un cuerpo, imprimiendo una aceleración o bien deformándolo. La unidad de fuerza se mide en Newtons en el S.I.

Trabajo

El trabajo puede definirse como el producto de una fuerza por la distancia recorrida por su punto de aplicación. La unidad de trabajo se mide en julios en el S.I.

1 Julio= 1 Newton x 1 metro.

Energía

La definición física es la capacidad para realizar un trabajo. La unidad de energía se mide en julios en el S.I.

Potencia

La potencia es la energía transferida en la unidad de tiempo. En función del tipo de energía transferida podemos tener varios tipos de potencia:

Potencia	Definición	Ejemplo
Potencia eléctrica	$P = \frac{[\text{Trabajo eléctrico}]}{\text{tiempo}}$	Potencia eléctrica absorbida por el motor del compresor, también llamada potencia de arrastre.
Potencia mecánica	$P = \frac{[\text{Trabajo mecánico}]}{\text{tiempo}}$	Potencia mecánica requerida en el eje del compresor.
Potencia térmica	$P = \frac{\text{Calor}}{\text{tiempo}}$	Potencia frigorífica absorbida en el evaporador o potencia calorífica cedida en el condensador.

Tabla 1: Clases de Potencia.

Unidades de medida de potencia

Sistema Internacional: Vatios (w), kilovatios (kw).

Otros sistemas:

kilocaloria/hora (kcal/h).

Caballo de vapor (europeo) (CV).

Caballo de vapor (anglosajón) (HP).

Factores de conversión:

1 w = 0,86 kcal/h.

1 kw = 860 kcal/h.

1 CV = 736 w = 0,736 kw.

1 HP = 746 w = 0,746 kw.

Calor: Sensible, específico y latente

Calor

Forma de energía en tránsito que fluye desde el cuerpo o sustancia que posee mayor energía interna hacia el cuerpo o sustancia que posee menor energía interna. Cuando una sustancia absorbe calor, aumentando su nivel de energía, decimos que se calienta, cuando una sustancia cede calor, disminuyendo su nivel de energía, decimos que se enfría. Por tanto enfriar consiste en retirar calor.

Calor sensible

Es el calor que al ser absorbido o cedido por una sustancia, provoca el aumento o la disminución de su temperatura.

Calor latente

Es el calor que al ser absorbido o cedido por una sustancia, provoca cambio de estado. En el interior de las instalaciones frigoríficas tienen lugar dos cambios de estado:

Evaporación o vaporización	Transformación de líquido en vapor
Condensación	Transformación de vapor en líquido

Tabla 2: Cambio de estado liquido-vapor.

NOTA: Las sustancias puras (aquellas formadas por una sola clase de moléculas), cambian de estado sin cambio en su temperatura. Dicho de otro modo, los procesos (latentes) de cambio de estado de sustancias puras ocurren a temperatura constante.

Unidades de medida del calor

Kilocaloría; cantidad de calor necesaria para aumentar 1° C la temperatura de 1 Kg de un cuerpo con calor específico igual al agua pura a 15° C.

Sistema Internacional: kilojulio (kj).

Sistema Imperial Británico: BTU.

Factores de conversión:

1 kjul = 1,055 BTU.

1 kcal = 4,186 kjul.

1 BTU = 0,252 kcal.

1 Tonelada de refrigeración = 12.000 BTU.

Calor específico

Calor necesario para elevar la temperatura de un kilogramo de sustancia un grado centígrado.

Ejemplos de calores específicos:

Agua líquida: $C_e = 1 \text{ kcal / (kg} \cdot \text{°C)}$.

Pescado fresco: $C_e = 0,80 \text{ kcal / (kg} \cdot \text{°C)}$.

Pescado congelado: $C_e = 0,42 \text{ kcal / (kg} \cdot \text{°C)}$.

La figura siguiente muestra las características del calor sensible y calor latente del agua. Observe que la temperatura se indica en el margen izquierdo y el contenido de calor aparece en la parte inferior del gráfico. Podemos ver que a medida que se añade calor la temperatura se incrementa, excepto durante los procesos de cambio de estado (latentes), esto demuestra que existen situaciones en que puede añadirse calor sin que la temperatura aumente.

En el punto 1, donde da comienzo el ejemplo, el agua está en forma de hielo a una temperatura de -40°C .

El calor añadido entre los puntos 1 y 2 es calor sensible (medible), y existe un incremento detectable de la temperatura. Obsérvese que sólo se necesita 0,5 Kcal de calor para hacer que 1 Kg de hielo se incremente 1°C .

Cuando se alcanza el punto 2, decimos que el hielo está saturado de calor. Esto quiere decir que si se añade más calor, dicho calor será latente y fundirá el hielo sin incrementar la temperatura. La adición de 80 Kcal de calor transforma 1 Kg de hielo en 1 Kg de agua.

Cuando se alcanza el punto 3, la sustancia es ahora agua y decimos que se trata de un líquido saturado. El añadir más calor origina un aumento de la temperatura (calor sensible), y si se extrae calor parte del agua volverá a transformarse en hielo.

El calor añadido entre los puntos 3 y 4 es calor medible; cuando se alcanza el punto 4, se habrán añadido 100 Kcal de calor: $1 \text{ Kcal/Kg} \cdot \text{°C}$ de cambio de temperatura.

El punto 4 representa otro punto de saturación. El agua está saturada de calor. El calor añadido es calor latente, que hace que el agua ebulle y comience a transformarse en vapor. El añadir 540 Kcal hace que 1 Kg de líquido entre en ebullición hasta alcanzar el punto 5 y transformarse totalmente en vapor.

El punto 5 representa un nuevo punto de saturación. El agua está ahora en estado vapor. El calor extraído sería calor latente, que haría que parte del vapor volviera a transformarse en líquido. Todo calor añadido en el punto 5 será calor sensible, dando lugar a un aumento de la temperatura del vapor (vapor sobrecalentado). Observar que solo se necesitan 0,5 Kcal de calor para hacer que 1 Kg de vapor se incremente 1°C su temperatura.

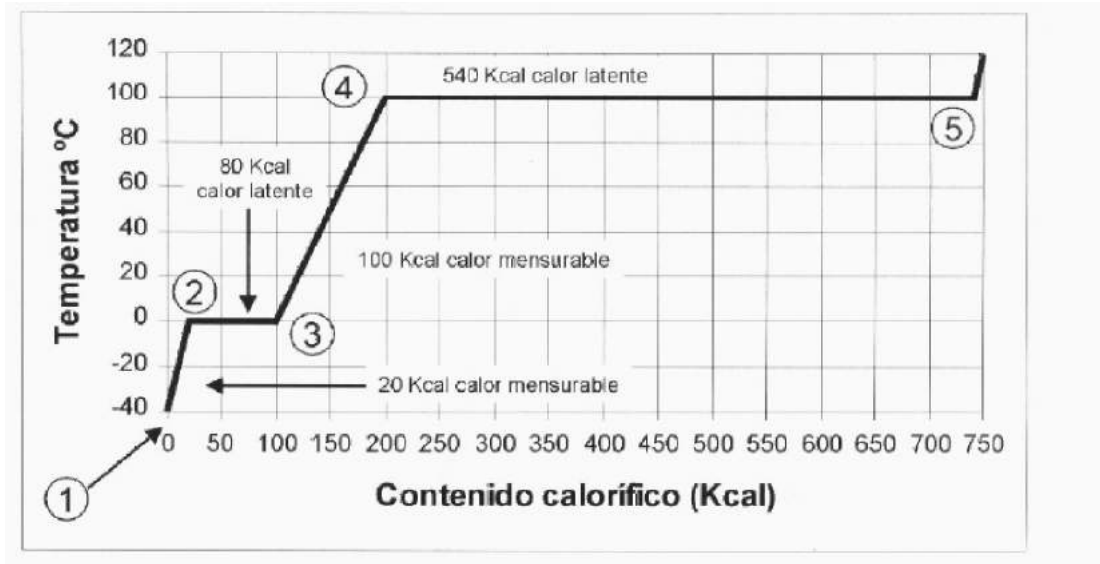


Figura 1: Gráfico calor – Temperatura para el agua.

Relación del calor con los cambios en la materia

Se denomina **cambio de estado** a la evolución de la materia entre varios estado de agregación sin que ocurra un cambio en su composición. Los tres estados más estudiados y comunes en la tierra son el sólido, el líquido y el gaseoso; no obstante, el estado de agregación más común en nuestro universo es el plasma, material del que están compuestas las estrellas.

- La **fusión** es el cambio de estado de sólido a líquido.
- La **solidificación** o **congelación** es el cambio *inverso*, de líquido a sólido.
- La **vaporización** es el cambio de estado de líquido a gas.
- La **licuación** o **condensación** es el cambio inverso, de gas a líquido.
- La **sublimación** es el cambio de estado de sólido a gas.
- El cambio inverso recibe el nombre de **sublimación regresiva** o **cristalización**.
- La **ionización** es el cambio de estado de un gas a plasma.
- En caso contrario, se le llama **desionización**.

Como **sólido**, la materia tiene un volumen y forma determinada y, generalmente, no puede fluir. Cuando el estado sólido es calentado, su temperatura aumenta hasta llegar a una temperatura en que se convierte en líquido, esto se denomina fusión. Como líquido, una sustancia tiene un volumen determinado, pero su forma mantiene la forma del envase que lo contiene.

Cuando el estado **líquido** de la materia es calentado, su temperatura aumenta hasta llegar a una temperatura en que se convierte en gas, esto se llama evaporación. Como gas, una sustancia no tiene un volumen o forma determinada. El gas se expande para llenar la forma y el volumen del envase que lo contiene.

Hay que diferenciar entre evaporación y ebullición, la **evaporación** es un proceso por el cual una sustancia en estado líquido pasa al estado gaseoso, tras haber adquirido energía suficiente para vencer la tensión superficial. A diferencia de la **ebullición**, este proceso se produce a cualquier temperatura, siendo más rápido cuanto más elevada es aquélla. Y no es necesario que toda la masa alcance el punto de ebullición.

El **punto de ebullición** es aquella temperatura en la cual la materia cambia de estado líquido a gaseoso. Expresado de otra manera, en un líquido, el punto de ebullición es la temperatura a la cual la presión de vapor del líquido es igual a la presión del medio que rodea al líquido. En esas condiciones se puede formar vapor en cualquier punto del líquido.

La **sublimación** o volatilización es el proceso que consiste en el cambio de estado de la materia sólida al estado gaseoso sin pasar por el estado líquido. Se puede llamar de la misma forma al proceso inverso; es decir, el paso directo del estado gaseoso al estado sólido, pero es más apropiado referirse a esa transición como sublimación inversa o cristalización; ocurre en las geoditas. Un ejemplo clásico de sustancia capaz de sublimarse es el hielo seco.

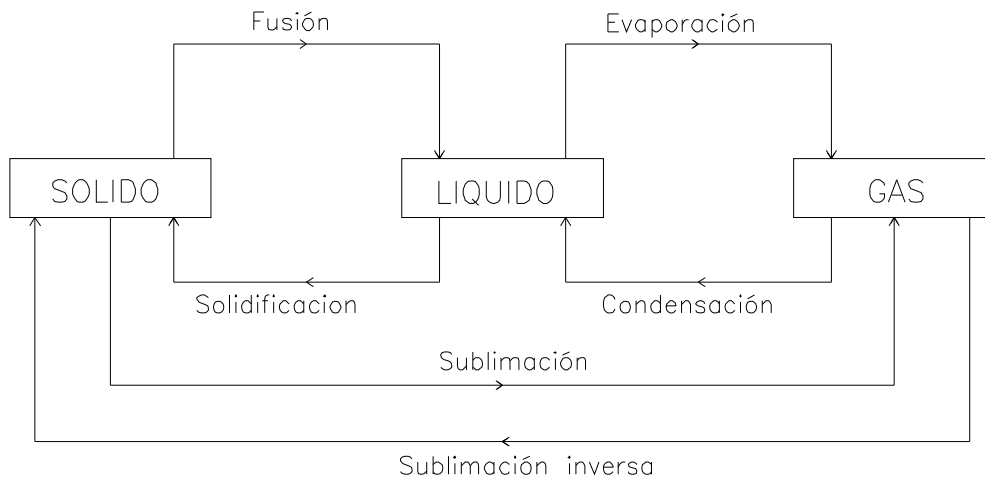


Figura 2: Esquema de cambio de estado físico.

Estados de los fluidos: vapor saturado y sobrecalentado

Vapor saturado: Vapor a la temperatura de cambio de estado líquido-vapor.

Vapor recalentado: Vapor a una temperatura mayor a la del cambio de estado líquido-vapor.

Líquido saturado: Líquido a la temperatura del cambio de estado líquido-vapor.

Líquido subenfriado: Líquido a una temperatura inferior a la de cambio de estado líquido vapor.

Mecanismos de transmisión de calor

Por Conducción; es la transferencia de energía de una molécula a otra, a medida que una molécula se mueve más rápido hace que otras hagan lo mismo. La transmisión de calor se produce siempre que exista una diferencia de temperatura dentro de un mismo cuerpo, o de un cuerpo a otro que estén en contacto.

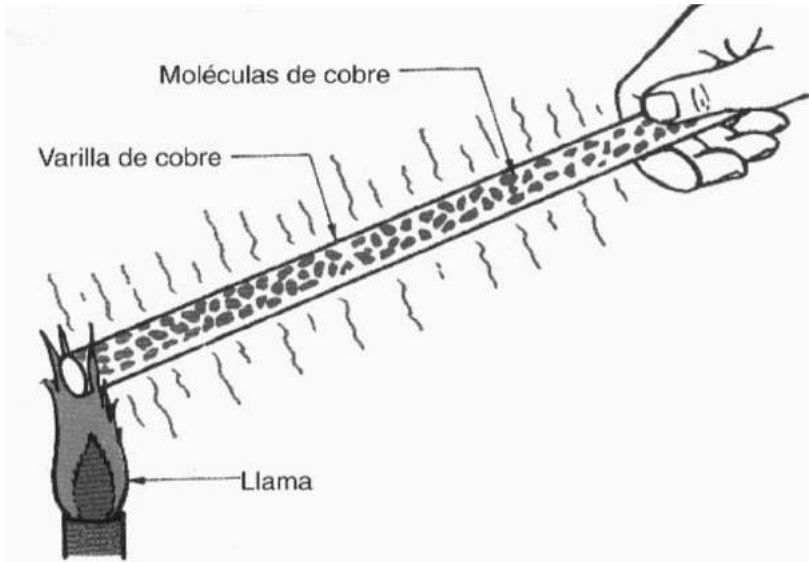


Figura 3: Conducción, la varilla se calienta transmitiendo el calor a la mano.

Por Radiación; los rayos caloríficos se propagan en línea recta por el espacio, al llegar a un cuerpo frío son absorbidos, la parte que no es absorbida se refleja de la misma forma que un rayo luminoso en un espejo.

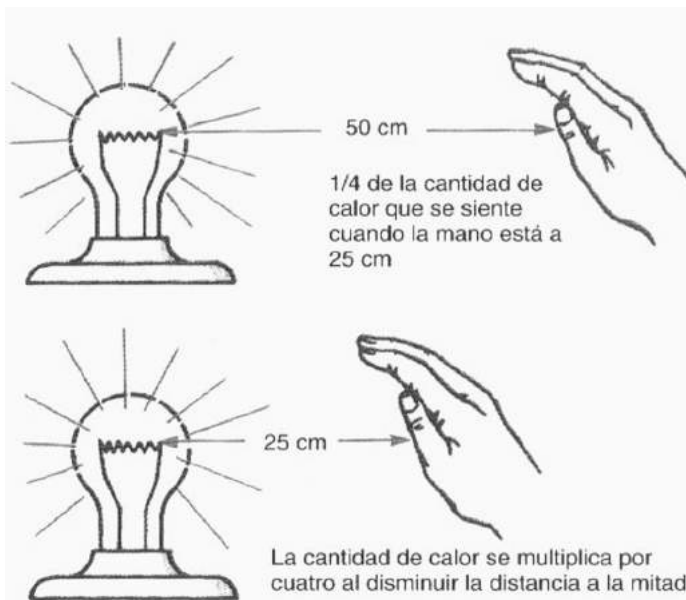


Figura 4: Radiación, la intensidad del calor disminuye según el cuadrado de la distancia.

Por convección; es una forma de transmisión característica de los líquidos y de los gases. El fluido entra en movimiento por diferencia de densidad, las partículas calientes son más ligeras y sirven de vehículo del calor.

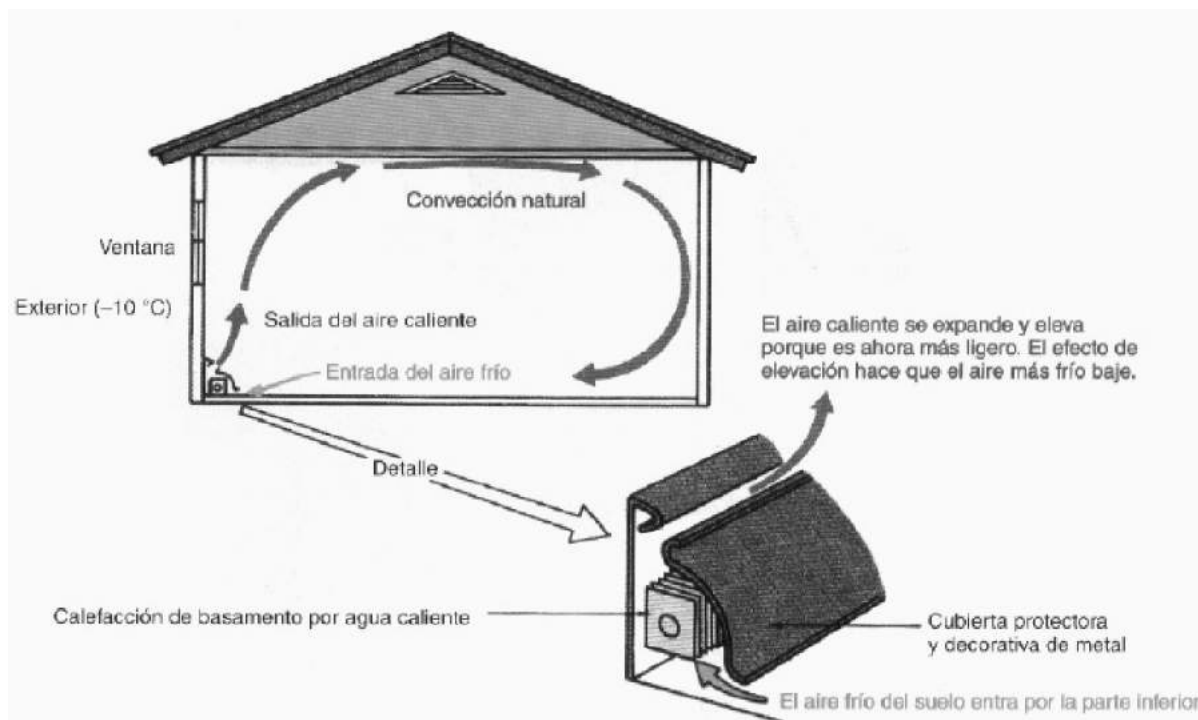


Figura 5: Convección natural.

Presión: absoluta, relativa y atmosférica

Presión de un fluido

Es la fuerza que ejerce un fluido en la unidad de superficie:

$$Presión = \frac{Fuerza}{Superficie} = \frac{[Newton]}{[m^2]} = [Pascal]$$

Presión absoluta

Es la presión medida a partir del vacío absoluto.

$$P_{absoluta} = P_{relativa} + P_{atmosférica}$$

Presión atmosférica

Es la presión que ejerce el aire de la atmósfera sobre los elementos de la instalación, la presión atmosférica estándar se considera 101.325 Pa = 1,013 bar = 10,33 m.c.a.

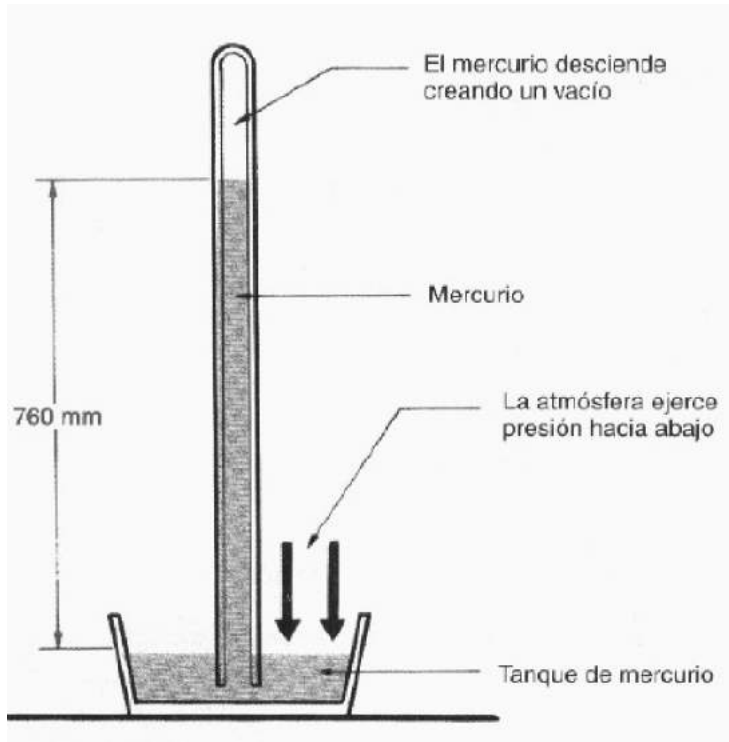


Figura 6: Barómetro de Mercurio (Hg).

Presión relativa o manométrica

Es la presión medida tomando como referencia o valor cero de presión la Presión Atmosférica. En escala relativa o manométrica las presiones inferiores a la atmosférica tienen valores negativos, y el vacío absoluto equivale a -1,013 bar.

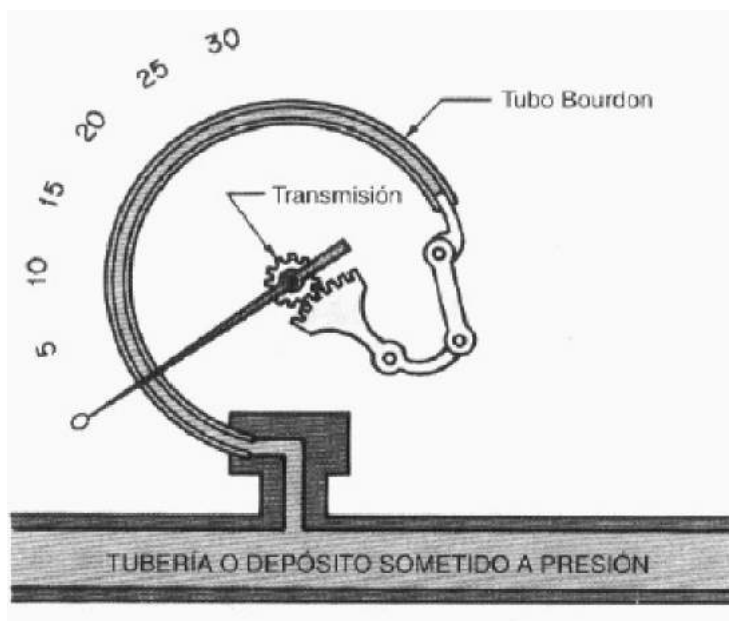


Figura 7: Tubo Bourdon de un manómetro.

Unidades de medida de presión

Sistema Internacional: Pascal (Pa), bar.

Otros sistemas: "kilo" (kg/cm^2), también llamado atmósfera métrica o técnica (at).

Atmósfera física (atm).

Libra por pulgada cuadrada (psi).

Milímetro de columna de mercurio (mmHg).

Pulgada de columna de mercurio (inHg).

Metro de columna de agua (m.c.a).

Factores de conversión:

1 bar = 1,01972 kg/cm^2 .

1 atm = 760 mmHg= 29,92 inHg= 1,033 kg/cm^2 = 1,01325 bar = 101.325 Pa.

1 m.c.a = 0,09805 bar.

El diagrama de Mollier

Introducción

El diagrama de Mollier es una representación gráfica de las propiedades de un refrigerante. En él se representan magnitudes como la presión, la entalpía, la temperatura o el volumen específico, y permite conocer el estado del refrigerante (líquido, vapor o mezcla de ambos) en función de las citadas magnitudes.

El funcionamiento de una máquina frigorífica determinada se representa sobre el diagrama de Mollier como un ciclo o camino cerrado, que una vez dibujado permite estimar magnitudes de interés y prever el comportamiento del refrigerante.

Zonas del diagrama de Mollier

En el diagrama se distinguen tres zonas, separadas por dos líneas, tal y como se muestra en la figura siguiente.

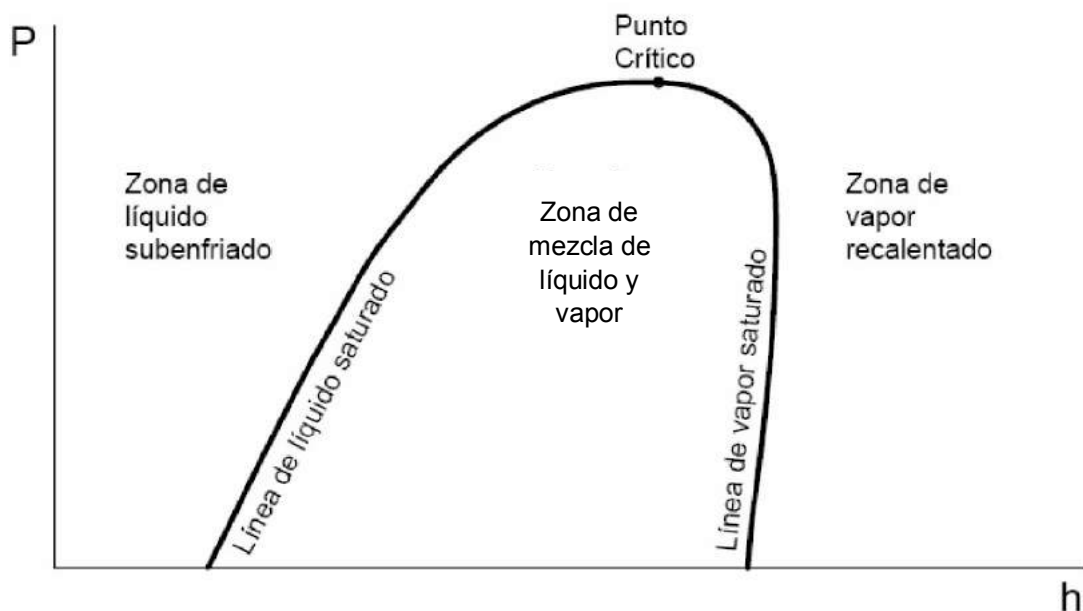


Figura 8: Diagrama de Mollier de un refrigerante.

La zona de líquido subenfriado, donde se representan las condiciones de presión y entalpía que dan lugar a refrigerante en estado líquido, que necesita aporte de energía para vaporizarse.

La zona de líquido – vapor, donde se dan las condiciones de presión y entalpía que propician equilibrio entre líquido y vapor, que se hallan mezclados en una proporción llamada título de vapor.

La zona de vapor sobrecalentado, es donde las condiciones de presión y entalpía provocan que el refrigerante se halle completamente vaporizado, es decir en estado gaseoso.



Las tres zonas se hallan separadas por dos líneas muy importantes, que no pertenecen a ninguna de ellas. A la izquierda tenemos la línea de líquido saturado, que representa los estados del refrigerante que, aun estando en estado líquido, si recibiesen un pequeñísimo aporte de energía formarían la primera burbuja de vapor. A la derecha tenemos la línea de vapor saturado, que representa los estados del refrigerante, que aun estando en estado vapor por completo, si cediesen una pequeñísima cantidad de energía, condensarían la primera gota de líquido.

Ambas líneas, la de líquido saturado y la de vapor saturado confluyen en su punto más alto, en el llamado punto crítico del refrigerante. En la práctica habitual de la refrigeración interesa mantenerse alejado del punto crítico todo lo posible.

Escalas del diagrama

El diagrama de Mollier cuenta con una escala vertical y otra horizontal. La escala vertical, normalmente a la izquierda del diagrama, representa la presión absoluta del refrigerante. Es necesario hacer notar que si queremos llevar una presión manométrica al diagrama debemos sumarle 1 atmósfera (aproximadamente 1 kg/cm^2). Hay que tener precaución con la escala de presiones, ya que, dado que es logarítmica, en ella las unidades aparecen divididas en tramos de distinta longitud, aunque de igual valor, lo que puede llevar a engaño.

La escala horizontal, normalmente representada debajo, mide la entalpía, que no es otra cosa que la energía almacenada por un kilogramo de refrigerante respecto a un estado de referencia.

En los procesos de intercambio térmico, que tienen lugar en el evaporador o en el condensador, las diferencias de entalpía entre el punto inicial y el punto final nos permitirán estimar el calor intercambiado por un kilogramo de refrigerante. En el proceso de compresión la diferencia entre las entalpías del punto inicial y del final nos permitirá obtener la energía necesaria para comprimir un kilogramo de refrigerante.

CICLOS DE COMPRESIÓN MECÁNICA

Ciclo de compresión mecánica en simple etapa, introducción

Cualquier equipo de compresión mecánica se compone de cuatro elementos principales unidos entre sí por medio de líneas frigoríficas.

Estos cuatro elementos son los siguientes: el compresor, el condensador, la válvula de expansión y el evaporador. Estos elementos se pueden ver representados en el diagrama siguiente.

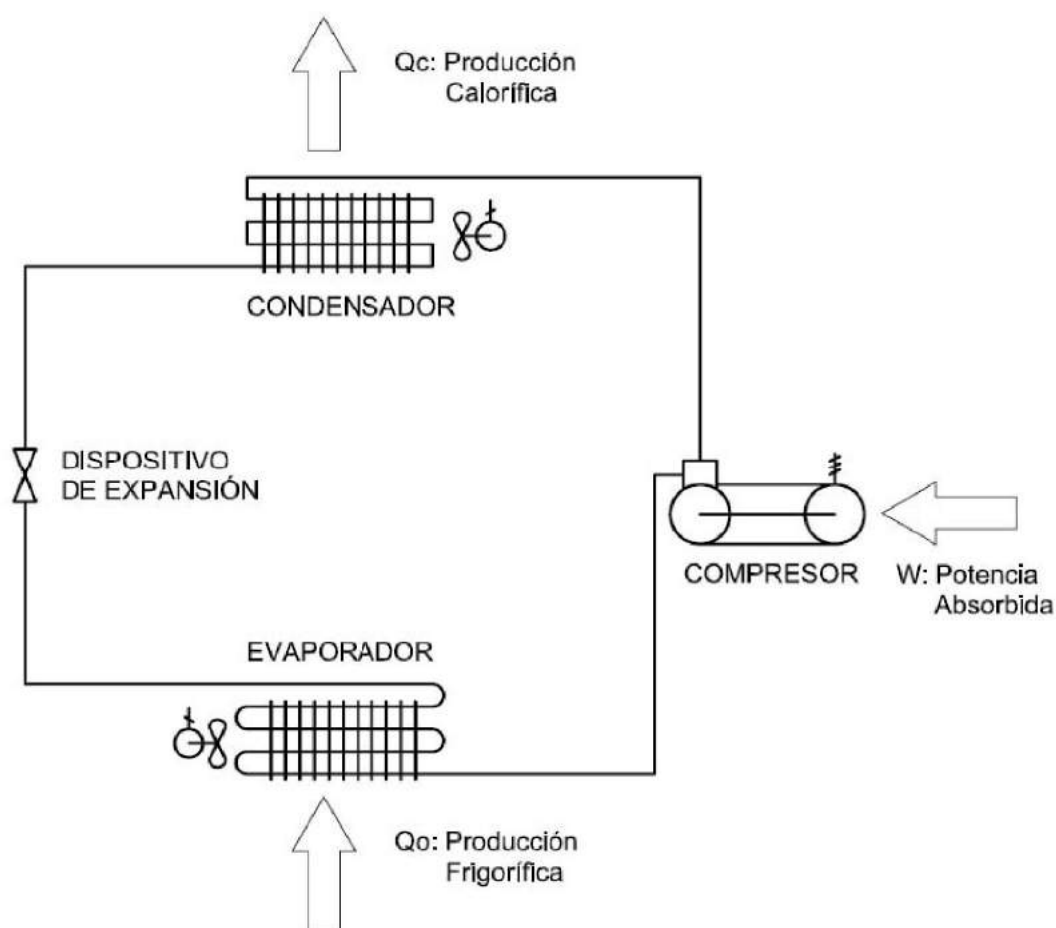


Figura 9: Elementos principales de una instalación frigorífica por compresión de vapor.

En el ciclo frigorífico tenemos los cuatro procesos distintos:

1. **Compresión.** El compresor comprime el gas elevando su presión desde la presión de baja presión de evaporación hasta la presión de alta. La temperatura del gas también aumenta.

2. **Condensación.** En el condensador el refrigerante en estado vapor se enfría, se condensa pasando a estado líquido y se subenfía.
3. **Expansión.** El refrigerante en estado líquido se expande, bajando su presión desde la alta presión a la baja presión, disminuyendo la temperatura. Una parte del líquido se transforma en vapor.
4. **Evaporación.** El refrigerante se evapora completamente, absorbiendo el calor del medio a enfriar.

Observamos que si dividimos el ciclo frigorífico representado en la figura siguiente mediante una línea horizontal, tendremos dos zonas en función del estado del refrigerante, en la zona superior alta presión y alta temperatura, y en la zona inferior baja presión y baja temperatura.

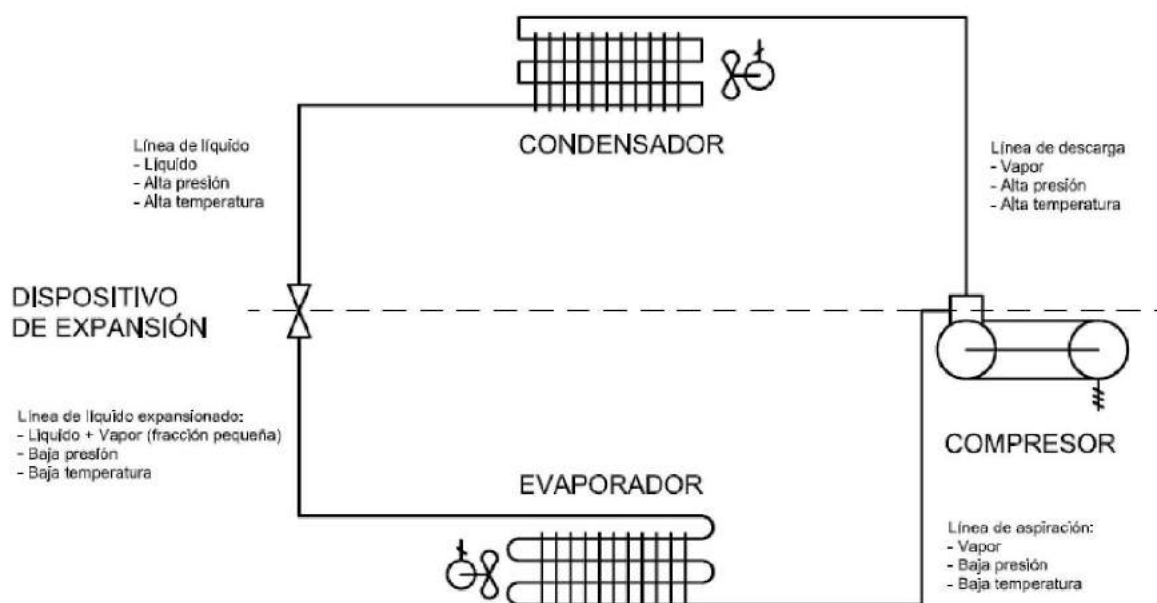


Figura 10: Evolución del refrigerante dentro de una instalación frigorífica.

Además de estos cuatro elementos principales tenemos que indicar también otros elementos imprescindibles para el buen funcionamiento del equipo:

- El cuadro eléctrico, en el que se instalan los elementos de regulación y control, así como los elementos de protección eléctrica.
- Microprocesador o controlador digital para el control del equipo.
- Los ventiladores del condensador y del evaporador, si existen.
- El filtro deshidratador.
- El visor del líquido.
- Los termostatos, de seguridad y de regulación.
- Los presostatos de seguridad y de regulación.



Ciclo de compresión mecánica en simple etapa, procesos.

En el interior de una máquina frigorífica de compresión de simple etapa el refrigerante realiza un ciclo que puede ser representado en el diagrama de Mollier por cuatro líneas, tal como se muestra en la figura siguiente.

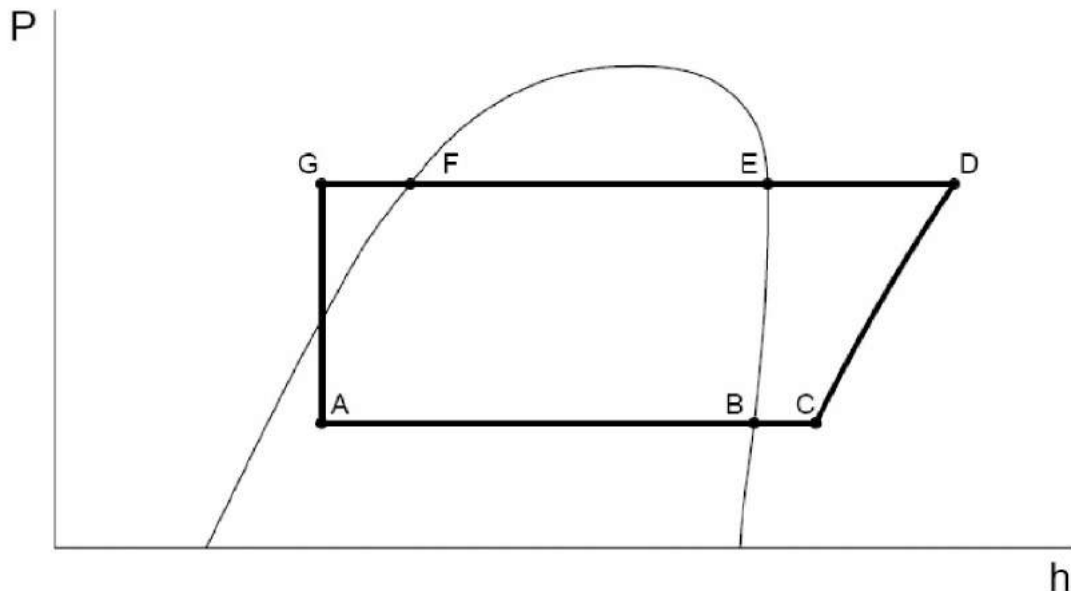


Figura 11: Representación del ciclo frigorífico.

Los puntos destacados dentro del ciclo son los siguientes:

- A: Mezcla de líquido y vapor, a la entrada del evaporador.
- B: Vapor saturado, normalmente en las últimas filas del evaporador.
- C: Vapor recalentado, en la aspiración del compresor.
- D: Vapor recalentado, en la descarga del compresor.
- E: Vapor saturado, en las primeras filas del condensador.
- F: Líquido saturado, dentro del condensador, cerca del final del mismo.
- G: Líquido subenfriado, a la salida del condensador.

Los procesos que tienen lugar en los elementos de la máquina frigorífica se representan como líneas, que corresponden a:

- A → C: Evaporador (ebullición y recalentamiento).
- C → D: Compresor (compresión).
- D → G: Condensador (desrecalentamiento, condensación y subenfriamiento).
- G → A: Dispositivo de expansión.

Estudio de los procesos en el ciclo de compresión simple.

Evaporador:

Los procesos que tienen lugar en el evaporador se representan en el diagrama por la línea $A \rightarrow C$, que es una línea horizontal y por tanto de presión constante (isobara). En el Punto A llega al evaporador una mezcla de refrigerante líquido y refrigerante vapor procedente del dispositivo de expansión. Esta mezcla se encuentra a baja temperatura y a baja presión.

El proceso $A \rightarrow B$ representa la ebullición del refrigerante líquido; a lo largo de este tramo el líquido se vaporiza, ganando calor latente procedente de la cámara que queremos enfriar. Durante este proceso temperatura y presión permanecen teóricamente constantes.

Al llegar al Punto B, se acaba el líquido refrigerante y todo el fluido frigorígeno se encuentra en estado vapor. Aunque el vapor está a baja temperatura, su escasa capacidad para absorber calor, (pequeño calor específico) hace que su uso para enfriamiento de producto ya no sea interesante.

El proceso $B \rightarrow C$ recibe el nombre de recalentamiento, consiste en ceder algo de calor al vapor refrigerante para alejarlo de la línea de saturación, este calor, habitualmente procede de la cámara o mercancía y se propicia su cesión en las últimas filas del evaporador. El objeto del recalentamiento es el de asegurar que no entra refrigerante líquido al compresor que podría dañarlo, dado que no se comprime. Al fenómeno de entrada de líquido en el compresor se le conoce como golpe de líquido. Durante el recalentamiento en refrigerante incrementa su temperatura (entre 3 y 8° C), permaneciendo la presión constante. Es necesario tener en cuenta que hay sistemas frigoríficos que trabajan sin recalentamiento.

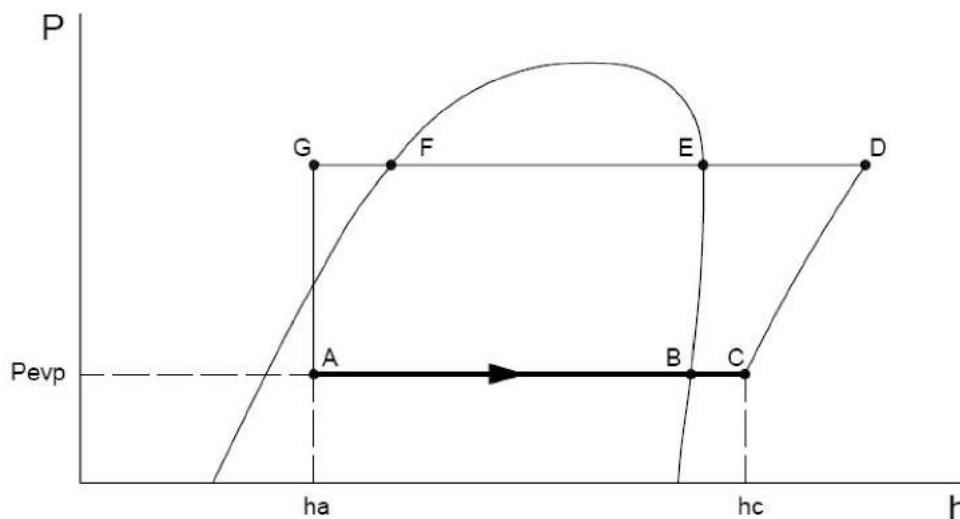


Figura 12: Proceso en el Evaporador.



A continuación los principales parámetros que se pueden obtener a partir del diagrama:

Producción frigorífica específica: Es el frío producido por un kilogramo de refrigerante, se calcula como la diferencia de entalpías entre la entrada y la salida del evaporador:

$$q_o = h_c - h_A$$

Producción frigorífica; es el frío producido por la máquina frigorífica, se obtiene multiplicando la producción frigorífica específica por el caudal másico de refrigerante.

$$\dot{Q}_o = \dot{m} \times q_o = \dot{m} \times (h_c - h_A)$$

Donde:

q_o : Producción frigorífica específica, en kcal/kg.

h_c : Entalpía del Punto C, en kcal/kg.

h_A : Entalpía del Punto A, en kcal/kg.

Q_o : Producción frigorífica, en kcal/h.

m : Caudal másico de refrigerante, kg/h.

Compresor:

Se representa en el diagrama mediante el segmento $C \rightarrow D$. Este proceso tiene lugar, teóricamente, a lo largo de una línea llamada isoentrópica, que considera el comportamiento del compresor como ideal, resultando una buena aproximación.

Durante el proceso de compresión, el refrigerante aumenta su presión y como consecuencia, su temperatura, que puede llegar a ser del orden de 90°C en la descarga del compresor.

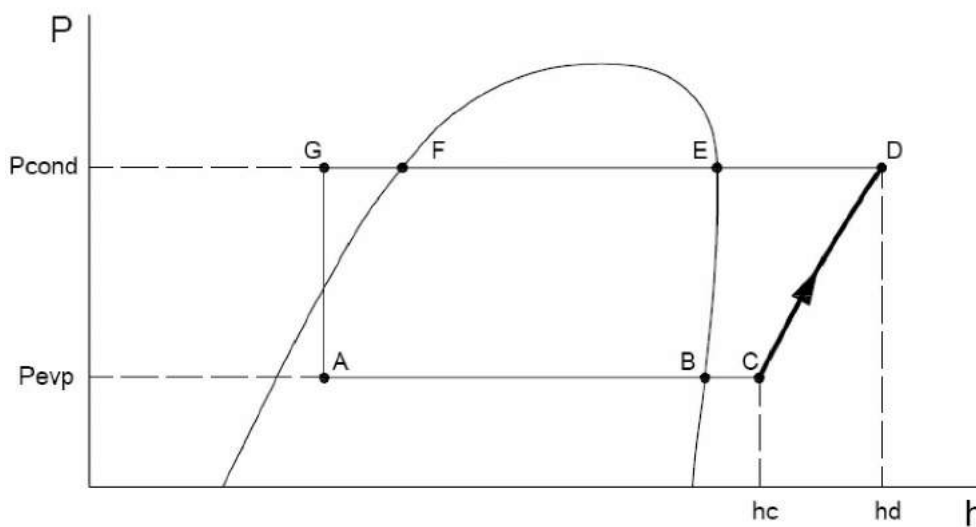


Figura 13: Proceso en el Compresor.

A partir del diagrama se puede obtener la potencia teórica del compresor, que posteriormente habría que corregir con los rendimientos de compresor, transmisión y motor.

Trabajo isoentrópico de compresión: Es el trabajo que realiza el compresor para comprimir un kilogramo de refrigerante:

$$w = h_D - h_C$$

Potencia isoentrópica de compresión: Es la potencia consumida por el compresor al comprimir de forma ideal el caudal másico de refrigerante, se calcula como el producto del caudal másico por el trabajo isoentrópico de compresión:

$$\dot{W} = \dot{m} \times w = \dot{m} \times (h_D - h_C)$$

Donde:

w: Trabajo isoentrópico de compresión, en kcal/kg.

h_D : Entalpía del Punto D, en kcal/kg.

h_C : Entalpía del Punto C, en kcal/kg.

W: Potencia isoentrópica de compresión, en kcal/h.

m: Caudal másico de refrigerante, kg/h.

Condensador:

Los procesos que tienen lugar en el condensador se representan en el diagrama por la línea D → G, y ocurren a lo largo de una línea de presión constante (isobara).

En el Punto D se recibe el refrigerante del compresor como vapor recalentado, a alta presión y alta temperatura.

En el primer tramo del condensador (D → E), el vapor se des-recalienta, cediendo calor sensible al medio condensante, perdiendo temperatura, pero permaneciendo en estado vapor.

En el Punto E, se alcanza la temperatura de rocío del refrigerante a la presión de condensación. A partir de ese instante el vapor refrigerante cede calor latente al medio condensante, condensándose (E → F) y volviéndose líquido. A medida que avanzamos en el condensador aumenta la proporción de líquido y disminuye la de vapor. Es importante hacer notar que durante la condensación de fluidos puros, la temperatura permanece constante.

En el Punto F termina el proceso de condensación, porque todo el refrigerante ha pasado a líquido. Ocurre que, a estas alturas el líquido refrigerante todavía está más caliente que el medio condensante, por lo que todavía se puede enfriar un poco más.

Al proceso F → G se le llama subenfriamiento, a lo largo de él, el refrigerante pierde temperatura (entre 5 y 10° C) cediendo calor sensible al medio condensante. El subenfriamiento es positivo, al mejorar la producción frigorífica específica y aumentar la proporción de líquido a la salida del dispositivo de expansión.

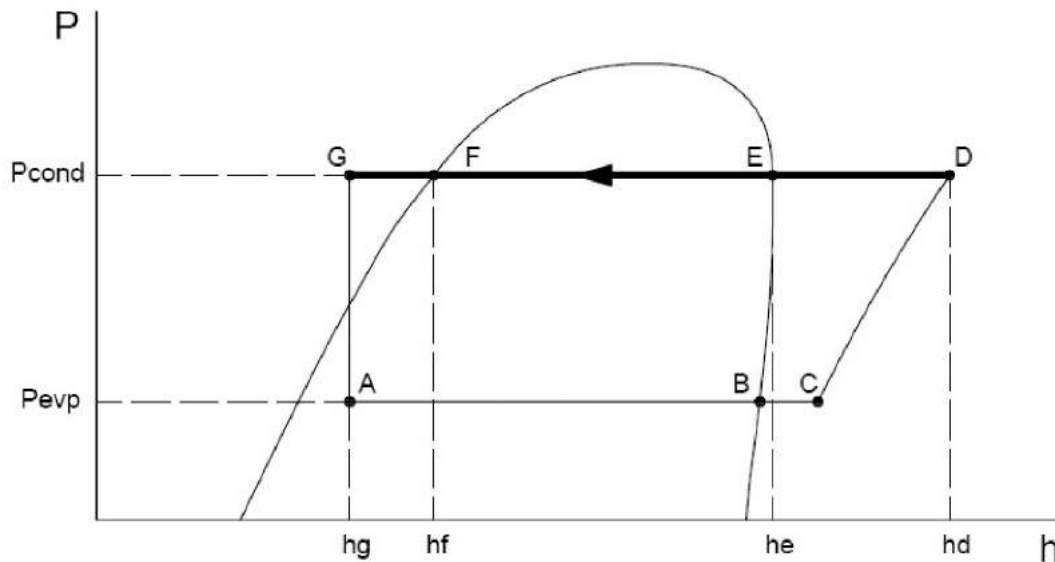


Figura 14: Proceso en el Condensador.

A partir del diagrama se puede obtener el calor específico de condensación y la potencia necesaria en el condensador:

Calor específico de condensación: Es el calor que es necesario extraer para desrecalentar, condensar y subenfriar un kilogramo de refrigerante:

$$q_C = h_D - h_G$$

Este calor específico es suma de calor sensible (el cedido durante el desrecalentamiento y el subenfriamiento) y calor latente (cedido durante la condensación propiamente dicha):

Calor sensible de condensación: $q_{CSensible} = (h_D - h_E) + (h_F - h_G)$

Calor latente de condensación: $q_{CLatente} = h_E - h_F$

Potencia necesaria en el condensador: Es la potencia a absorber por el medio condensante:

$$\dot{Q}_C = \dot{m} \times q_C = \dot{m} \times (h_D - h_G)$$

Donde:

q_C : Calor específico de condensación, en kcal/kg.

h : Entalpía del punto correspondiente, en kcal/kg.

Q_C : Potencia necesaria en el condensador, en kcal/h.

m : Caudal másico de refrigerante, kg/h.

Dispositivo de expansión:

En el dispositivo de expansión el refrigerante pasa desde la presión del condensador hasta la presión del evaporador, a través de un proceso llamado laminación

isoentálpica, representado en el diagrama de Mollier como un segmento de recta vertical, desde el punto G hasta el Punto A.

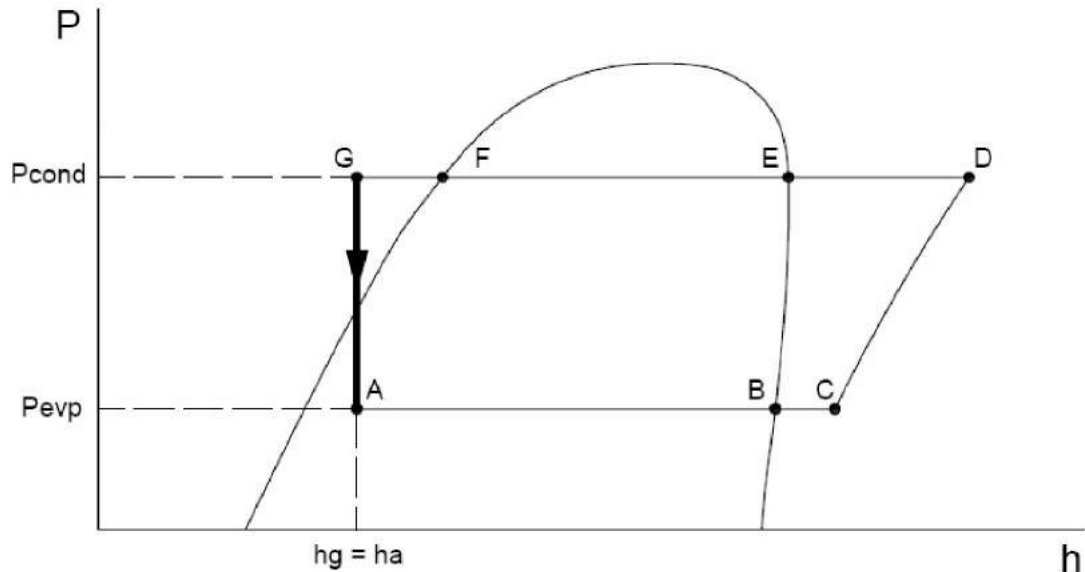


Figura 15: Proceso en el dispositivo de Expansión.

La laminación isoentálpica consiste en hacer pasar el refrigerante a través de un “accidente” que provoque pérdida de presión, como el orificio estrecho de una válvula o un tubo largo y de muy pequeño diámetro como el tubo capilar. Durante este proceso la entalpía del fluido permanece constante, y la presión y temperatura del fluido disminuyen, como consecuencia de la formación de una pequeña fracción de vapor refrigerante.

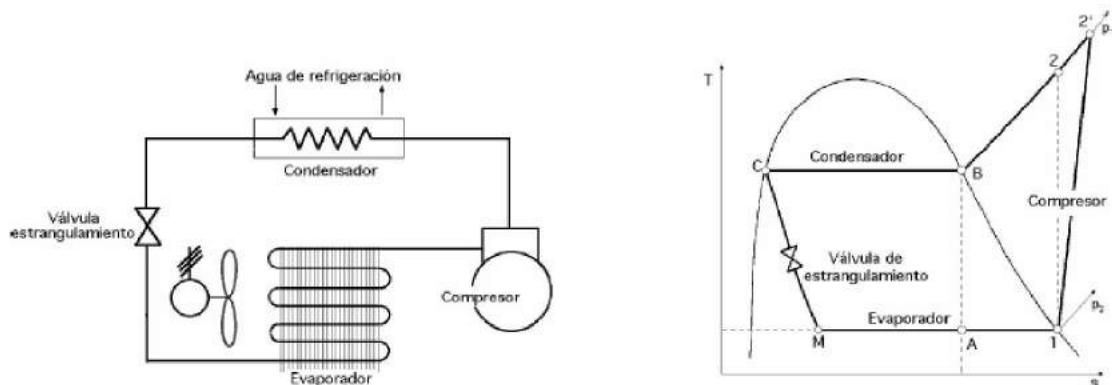


Figura 16: Ciclo frigorífico por compresión de vapor y diagrama T-S.



Ciclos de compresión múltiple

En el ciclo de compresión simple, la compresión y la expansión se producen en un solo salto, (máquinas domésticas y un gran número de equipos de carácter industrial); en estas máquinas las presiones y temperaturas (de condensación y evaporación) no difieren excesivamente.

Cuando la diferencia de presiones entre la aspiración y escape (salida) del compresor es muy grande, o lo que es lo mismo, la diferencia entre la temperatura del cambio de estado en el condensador y la reinante en el evaporador, se producen los siguientes fenómenos:

- Un aumento importante en la temperatura de escape del compresor puede originar la posible descomposición del aceite lubricante con el consiguiente acortamiento de la vida media de la máquina.
- Un aumento de la relación de compresión implica que el rendimiento volumétrico propio del compresor simple disminuye, lo que da origen a una disminución de la capacidad frigorífica al bombear menor cantidad de fluido frigorígeno.
- A medida que nos adentramos en la zona de vapor recalentado se produce una inclinación cada vez mayor de las líneas de entropía constante, hecho que se origina al aumentar la relación de compresión, lo que implica un incremento de la potencia requerida por el compresor.

Por todo esto, a partir de ciertos límites puede resultar más económico utilizar un ciclo de compresión múltiple, distinguiendo dos grandes tipos de instalaciones, La compresión múltiple directa y la compresión múltiple indirecta o en cascada.

En las instalaciones de compresión múltiple directa, el fluido frigorígeno se comprime dos o más veces, sucesivamente, existiendo un enfriamiento del vapor recalentado después de cada compresión. Lo más normal es la compresión doble directa; sistemas de compresión de más etapas son posibles, si bien menos frecuentes en la industria.

Los ciclos de compresión múltiple se utilizan cuando las temperaturas de enfriamiento son muy bajas, esto hace necesario un salto de presiones demasiado grande como para hacer la compresión en una etapa, lo cual implicaría un elevado sobrecalentamiento del refrigerante y mucha potencia gastada por el compresor.

Compresión en dos etapas con enfriamiento intermedio por intercambiador.

En este ejemplo el enfriador I puede operar con agua fría o con el propio refrigerante sin mezclarse.

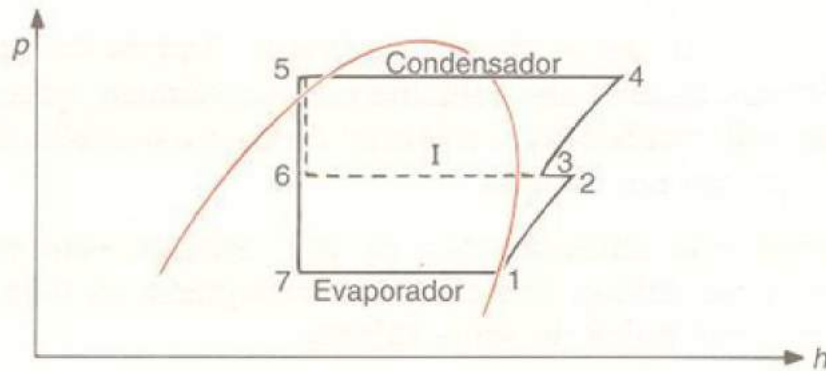
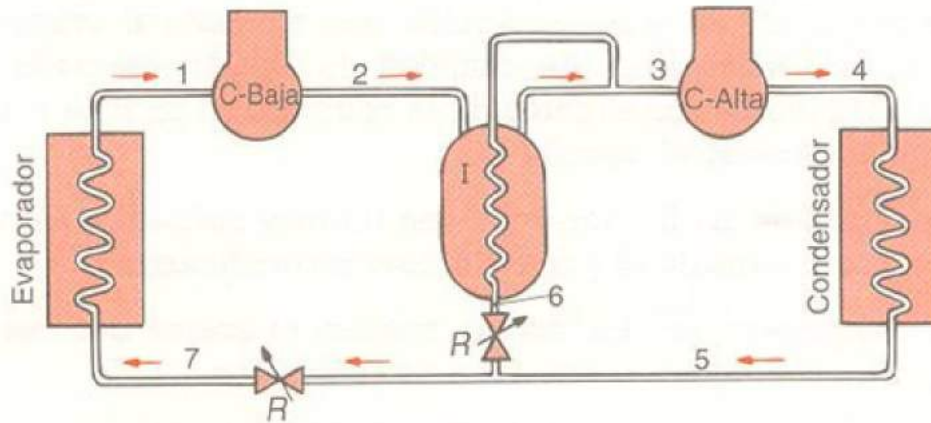


Figura 17: Compresión en 2 etapas con enfriamiento por intercambiador

Compresor en dos etapas con enfriador separador abierto con inyección total (booster open flash).

En este caso en el recipiente I se mezcla la totalidad del líquido refrigerante que alimenta el evaporador. En este recipiente se enfría el vapor entre compresor de baja y de alta, y también se enfría el fluido que va para el evaporador.

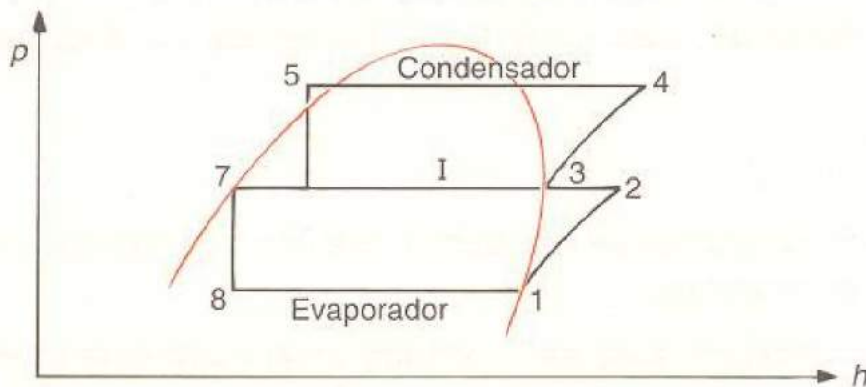
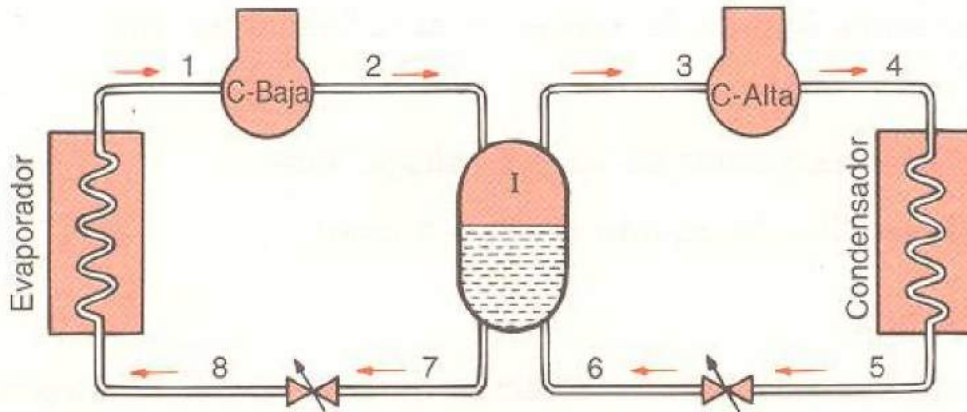


Figura 18: Compresión en 2 etapas con enfriamiento "booster open flash".

Ciclos de compresión en cascada

En ciertas aplicaciones son necesarias temperaturas de trabajo extremadamente bajas, por debajo de -30°C por lo que la relación de presiones para una sola etapa de compresión tiene que ser muy elevada; si se elige un fluido frigorígeno cuyos valores de la presión en el evaporador sean moderados, resulta que las presiones en el condensador son muy elevadas y viceversa.

A bajas temperaturas, las presiones correspondientes son muy bajas, (inferiores a la presión atmosférica), por lo que en las zonas de producción de frío existe una fuerte tendencia a la entrada de aire húmedo a los evaporadores, lo que implica un porcentaje de humedad que puede solidificar dando lugar a trastornos en el funcionamiento. Además, cuanto menor sea la temperatura, el volumen específico del vapor a la entrada del compresor será mayor, por lo que para una misma masa de fluido frigorígeno a desplazar, a menor temperatura requerida mayor deberá ser el volumen disponible del compresor.

Si el fluido tiene unas características adecuadas para el evaporador y resulta que las condiciones del condensador están cerca del punto crítico, cuando el fluido se expande, el título al final de la expansión será muy grande, lo que disminuye el COP de la instalación, al tiempo que exige potencias en el compresor relativamente altas, de forma que hay que recurrir a compresiones escalonadas para paliar el problema. Por eso, para la producción de frío a bajas temperaturas, se han desarrollado sistemas de compresión indirecta, en los que se utilizan fluidos frigorígenos especiales, que solventan las dificultades citadas y que por otro lado no son adecuados para trabajar en la zona de condensación normal, ya que por un lado dan lugar a altas presiones, con el consiguiente problema de posibles fugas al exterior y por otro presentan el inconveniente de poseer bajas temperaturas críticas.

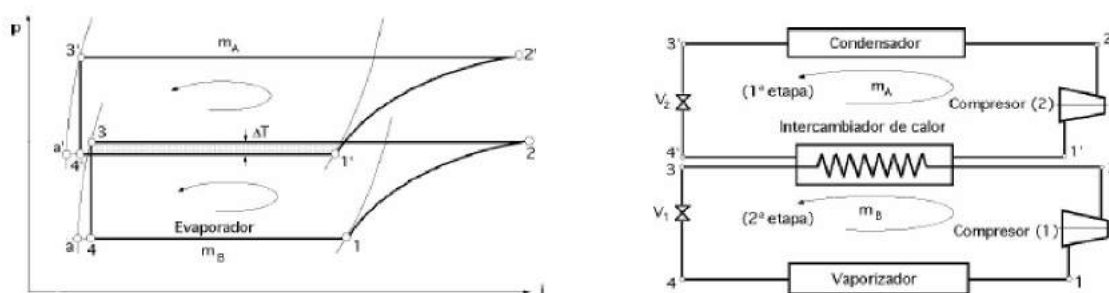


Figura 19: Ciclo de compresión en cascada.

Los condicionantes anteriores se resuelven con la refrigeración en cascada, mediante una adecuada elección de las presiones intermedias que evite los problemas de estanqueidad y origine al mismo tiempo relaciones de compresión razonables. La producción de frío a bajas temperaturas se consigue mediante sistemas de compresión simples, que utilizan fluidos frigorígenos especiales; para el caso de dos etapas de compresión, los vapores resultantes se comprimen hasta una cierta presión mediante un compresor de (BP) y posteriormente se condensan en un intercambiador intermedio, mediante la cesión de calor al evaporador de un segundo circuito de compresión simple por el que circula un fluido frigorígeno distinto; la condensación del fluido frigorígeno de baja temperatura tiene por objeto la vaporización del de alta, tal,

que pueden ser condensados con ayuda de un agente exterior; las válvulas V1 y V2 completan ambos ciclos.

Los principales inconvenientes que se presentan en estas instalaciones son:

- La transformación de calor en el intercambiador intermedio (evaporador alta-condensador baja) siempre da lugar a pérdidas por no ser un equipo de características ideales.
- Si la instalación se mantiene parada durante un largo período, el igualar la temperatura del circuito de baja a la temperatura ambiente, da lugar a fuertes presiones en dicho circuito, por lo que se hace necesario disponer de un sistema de alivio, consistente en un recipiente de volumen apropiado, (bulbo), con vistas a impedir pérdidas de fluido frigorígeno.

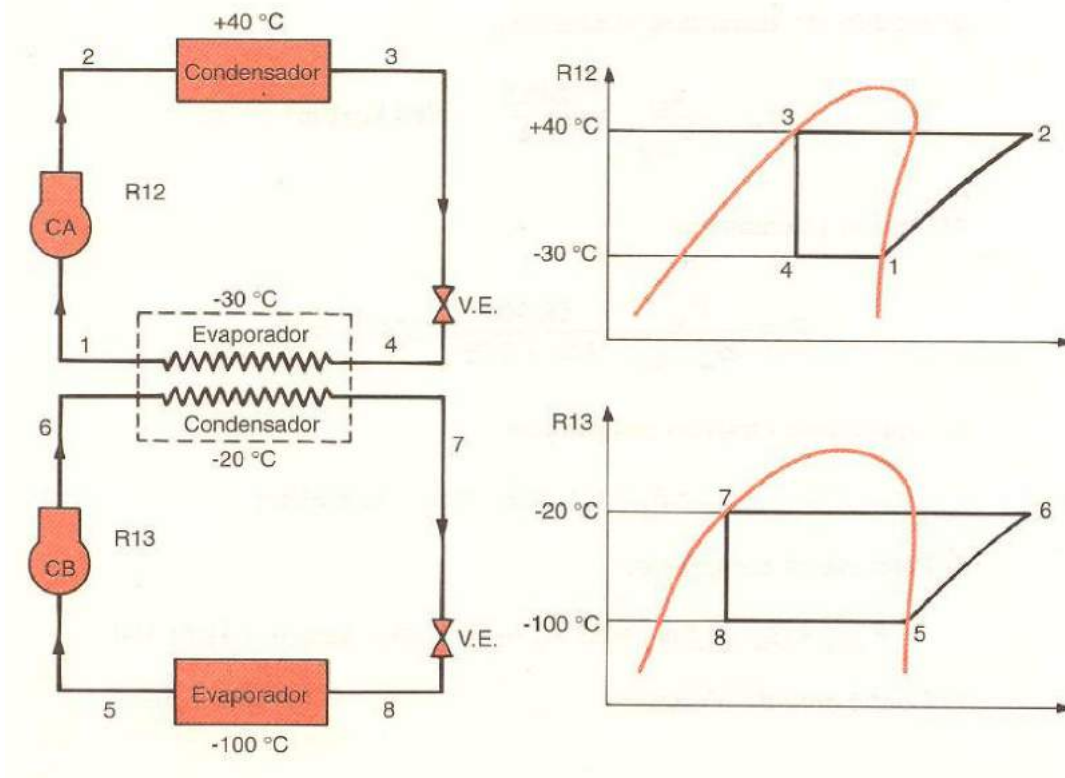


Figura 20: Ciclo de compresión en cascada con dos etapas y dos refrigerantes

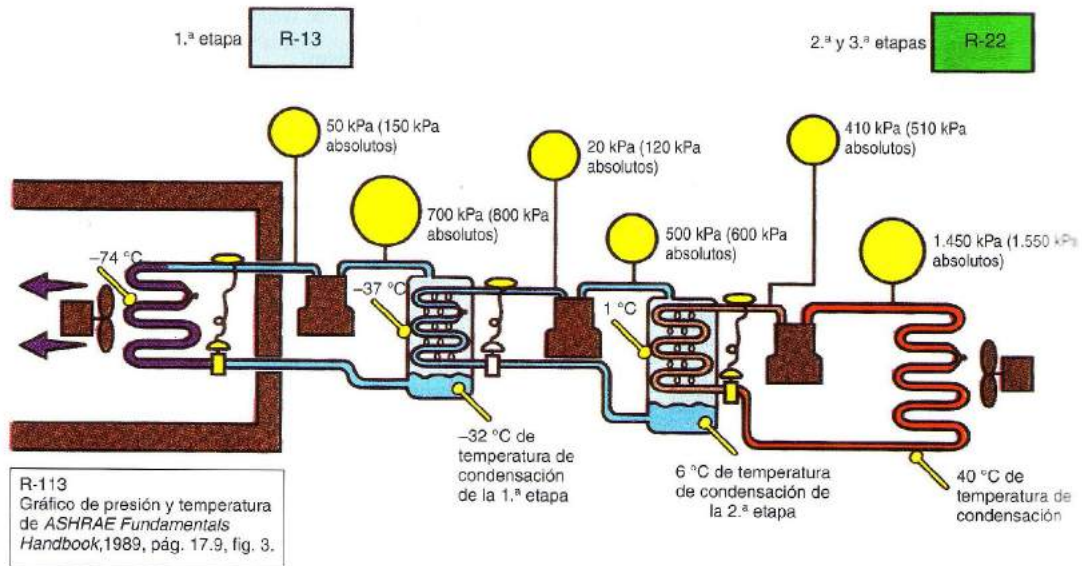


Figura 21: Ciclo de compresión en cascada con tres etapas y dos refrigerantes, R13 para baja presión y R22 media y alta presión.

Sistemas directos e indirectos

Para entender la diferencia entre un sistema de refrigeración directo y otro indirecto, se puede analizar la figura siguiente, donde se observa la diferencia entre ambas instalaciones. En la instalación directa el evaporador está en el interior del recinto a refrigerar, mientras que en la instalación indirecta se utiliza un fluido secundario para efectuar la refrigeración en dicho recinto, este fluido suele ser una mezcla anticongelante como por ejemplo glicol o salmueras.

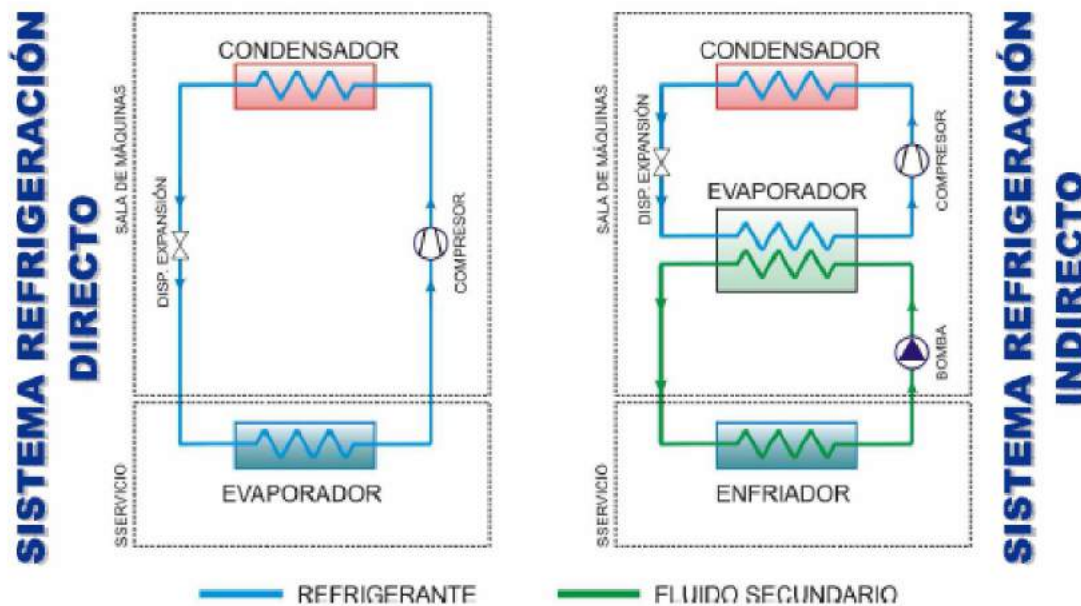


Figura 22: Esquema de sistema de refrigeración directo e indirecto.

El sistema de refrigeración indirecto consta de dos circuitos de fluidos distintos:

1. Circuito Primario. Circula refrigerante y es donde se produce el frío.
2. Circuito Secundario. Circula un fluido portador del frío.

Ventajas de los sistemas indirectos:

- Los sistemas indirectos permiten regulación más sencilla en plantas que tienen muchos puntos de consumo frío distintos.
- Los sistemas indirectos permiten evitar el uso de refrigerante en espacios confinados, con lo que se reduce el riesgo de asfixia.
- Permite utilizar refrigerantes menos seguros confinándolos en un espacio controlado.
- En sistemas con tendidos de tubería largos, permite evitar los problemas ocasionados por la pérdida de presión del refrigerante en las tuberías.
- Con sistemas indirectos tenemos una carga de refrigerante menor.
- Con sistemas indirectos las fugas son menos probables y más fáciles de detectar.

- La contaminación con salmuera de productos alimenticios, si la salmuera es la adecuada, es menos peligrosa.
- Posibilidad de acumular frío en horas valle.
- Confieren un margen de seguridad en caso de interrupción del suministro eléctrico.

Inconvenientes de los Sistemas indirectos:

- Menor eficiencia energética (+30% en supermercados).
- Instalación más compleja.

SISTEMAS INDIRECTOS DE REFRIGERACIÓN COMPARATIVA

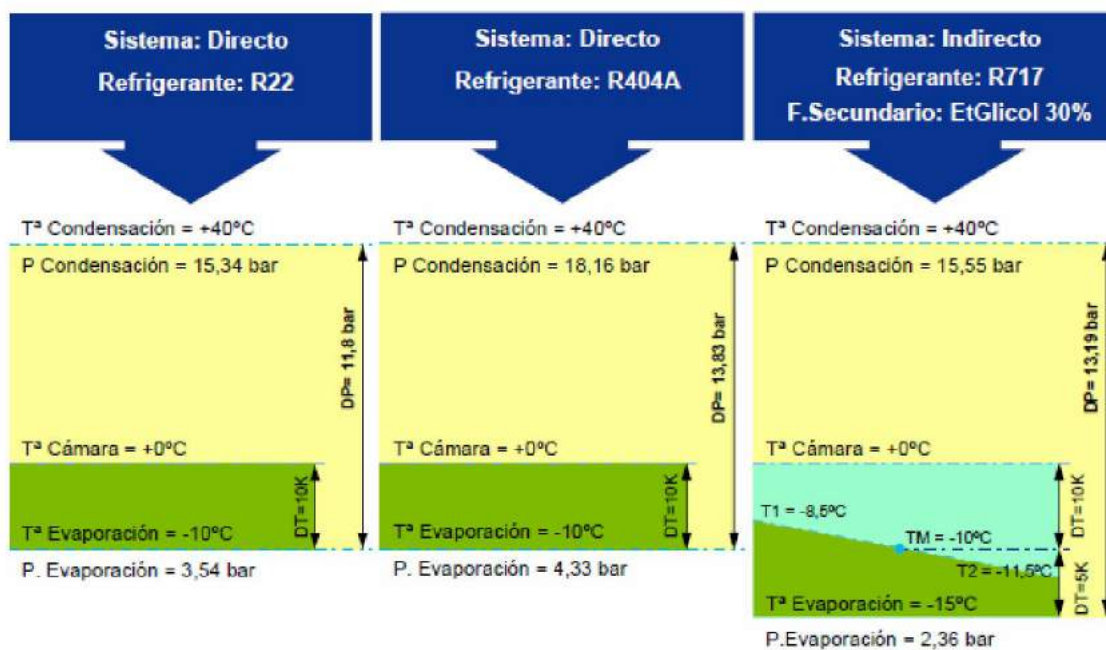


Figura 23: Comparativa de aplicación de un sistema indirecto frente a dos soluciones con sistema directo.

Clasificación de los sistemas de refrigeración

A efectos de lo dispuesto en el artículo 21 del Reglamento de Seguridad para Plantas e Instalaciones Frigoríficas, los sistemas de refrigeración se clasifican según se establece a continuación:

1.1. Sistema directo.

Sistema de refrigeración sin circuitos auxiliares, estando el evaporador del circuito primario directamente en contacto con el medio a enfriar o a acondicionar.

1.2. Sistema indirecto cerrado.

Sistema de refrigeración con un sólo circuito auxiliar, cuya materia circulada no entra en contacto con el medio a enfriar o a acondicionar.

1.3. Sistema indirecto abierto.

Sistema de refrigeración con un sólo circuito auxiliar, cuya materia circulada entra en contacto con el medio a enfriar o a acondicionar.

1.4. Sistema doble indirecto cerrado.

Sistema de refrigeración con dos circuitos auxiliares en serie, tal que la materia circulada en el circuito final no entra en contacto con el medio a enfriar o a acondicionar.

1.5. Sistema doble indirecto abierto.

Sistema de refrigeración con dos circuitos auxiliares en serie, tal que la materia circulada en el circuito final entra en contacto con el medio a enfriar o a acondicionar.

1.6. Sistema indirecto cerrado ventilado.

Análogo al 1.2, pero en el que el tanque del circuito principal está a la presión atmosférica.

1.7. Sistema indirecto abierto ventilado.

Similar al indirecto abierto, pero el evaporador está situado en un tanque abierto o comunicado con la atmósfera.

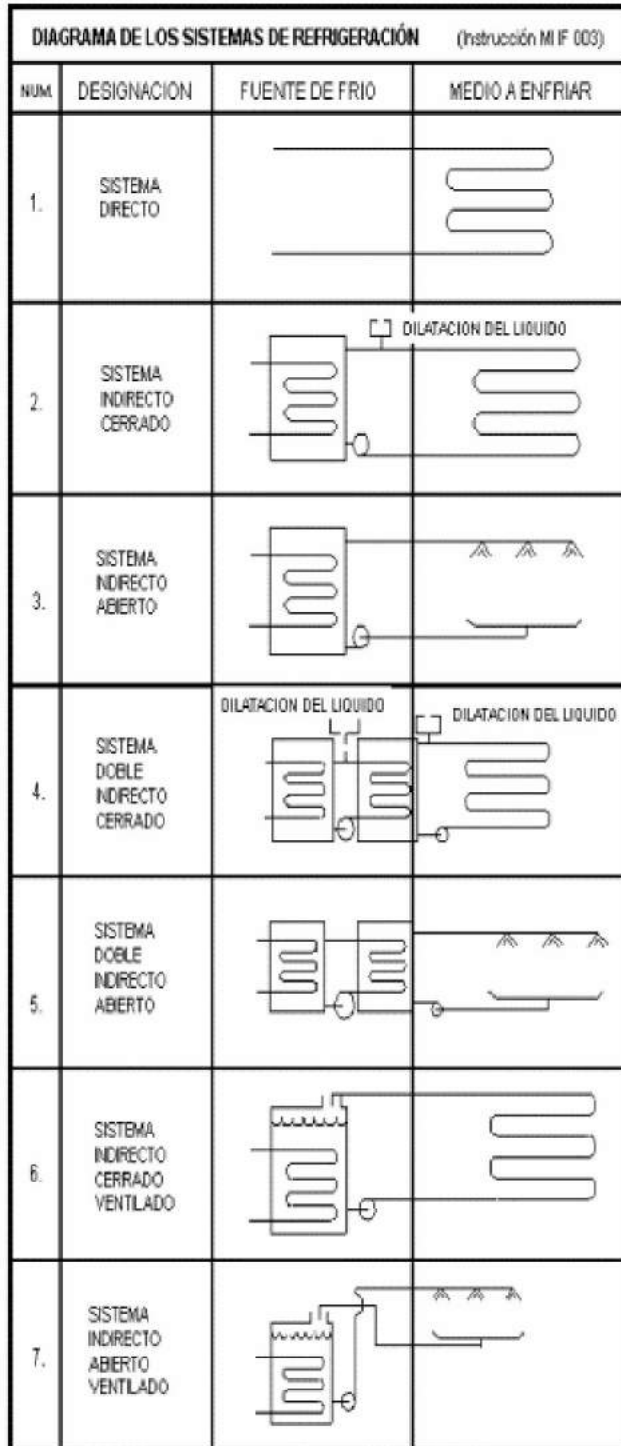


Tabla 3: Diagrama del sistema de refrigeración, según MI IF 003.

ELEMENTOS DE LAS PLANTAS FRIGORÍFICAS

Compresores, clasificación y reseña de funcionamiento.

Clasificación de los Compresores:

Los compresores son los dispositivos encargados de hacer pasar el fluido frigorígeno desde la presión de evaporación, correspondiente a las condiciones del foco frío, a la presión de condensación del foco caliente, por lo que hay que hacer un aporte exterior de trabajo.

El tipo de compresor depende del tipo de fluido frigorígeno utilizado. En las máquinas de desplazamiento positivo se aplica una fuerza exterior para obligar a un cierto volumen de gas o vapor a desplazarse desde el recinto a baja presión hasta el recinto a alta presión. En los turbocompresores el movimiento de un rotor en el seno del gas o vapor comunica a éste un incremento de energía cinética, que posteriormente se traduce en un incremento de presión al pasar el fluido por un conducto de sección variable que actúa como difusor.

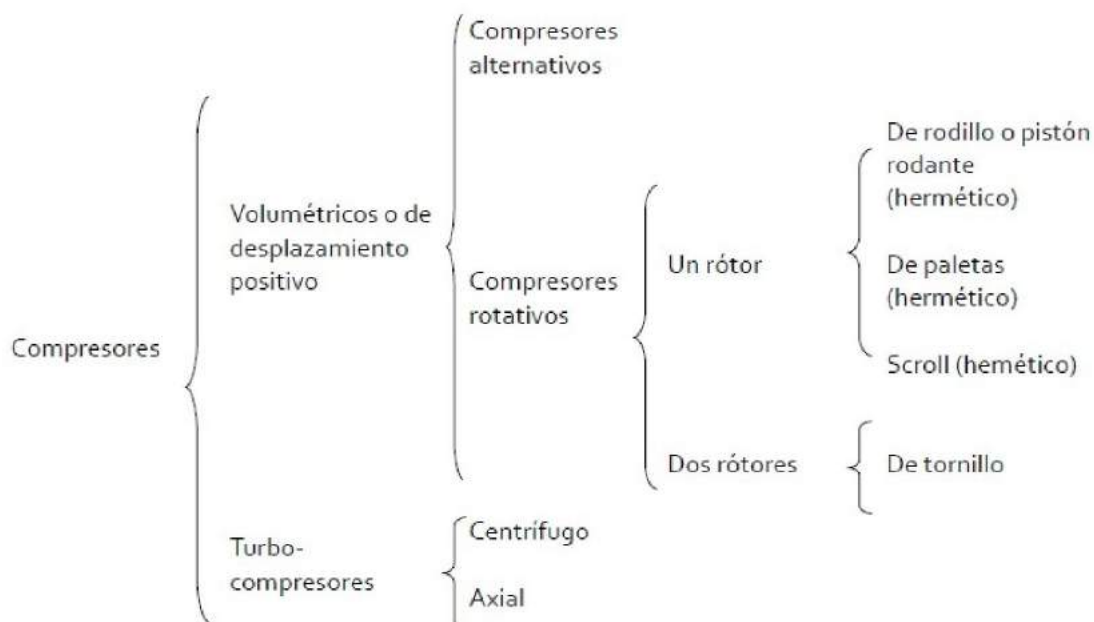
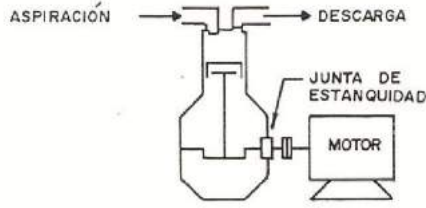
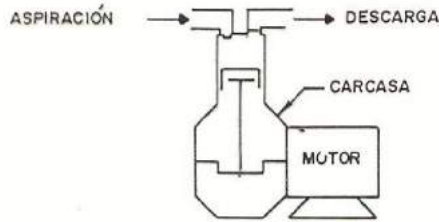
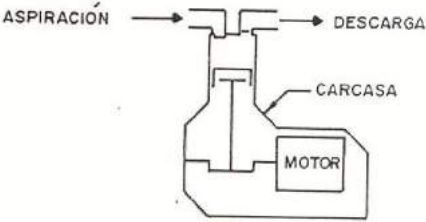


Figura 24: Clasificación de los compresores atendiendo a su principio de funcionamiento.



 <p>A — COMPRESOR ABIERTO</p>	<p style="text-align: center;">Tabla I <i>Compresor abierto</i></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; padding: 5px;">Ventajas</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">Desventajas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="vertical-align: top; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> - Motor separado del circuito frigorífico. - En caso de quemarse el motor no contamina. - Facilidad en la producción frigorífica variando las rpm. con transmisión por correas. </td> <td style="vertical-align: top; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> - Sello mecánico, causa de fugas de gas refrigerante y mantenimiento. - Dificultad de arranque en carga. - Con bomba de engrase, precisa control de presión de aceite. </td> </tr> </tbody> </table>	Ventajas	Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Motor separado del circuito frigorífico. - En caso de quemarse el motor no contamina. - Facilidad en la producción frigorífica variando las rpm. con transmisión por correas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sello mecánico, causa de fugas de gas refrigerante y mantenimiento. - Dificultad de arranque en carga. - Con bomba de engrase, precisa control de presión de aceite.
Ventajas	Desventajas				
<ul style="list-style-type: none"> - Motor separado del circuito frigorífico. - En caso de quemarse el motor no contamina. - Facilidad en la producción frigorífica variando las rpm. con transmisión por correas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sello mecánico, causa de fugas de gas refrigerante y mantenimiento. - Dificultad de arranque en carga. - Con bomba de engrase, precisa control de presión de aceite. 				
 <p>B — COMPRESOR SEMI-HERMÉTICO</p>	<p style="text-align: center;">Tabla III <i>Compresor semihermético</i></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; padding: 5px;">Ventajas</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">Desventajas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="vertical-align: top; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> - No existe sello mecánico. - Se puede reparar. - Engrase sin control de presión en pequeñas potencias. - No hay transmisión por correas o acoplamiento semielástico. </td> <td style="vertical-align: top; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> - Contamina el sistema frigorífico si se quema. - El motor cede su calor producido al sistema frigorífico. - Limitación en la temperatura de trabajo (bajas temperaturas con R.22). - Control de presión de aceite, trabajando con bomba de engrajes. - Los bornes de conexión pueden ofrecer fugas de refrigeración. </td> </tr> </tbody> </table>	Ventajas	Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - No existe sello mecánico. - Se puede reparar. - Engrase sin control de presión en pequeñas potencias. - No hay transmisión por correas o acoplamiento semielástico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Contamina el sistema frigorífico si se quema. - El motor cede su calor producido al sistema frigorífico. - Limitación en la temperatura de trabajo (bajas temperaturas con R.22). - Control de presión de aceite, trabajando con bomba de engrajes. - Los bornes de conexión pueden ofrecer fugas de refrigeración.
Ventajas	Desventajas				
<ul style="list-style-type: none"> - No existe sello mecánico. - Se puede reparar. - Engrase sin control de presión en pequeñas potencias. - No hay transmisión por correas o acoplamiento semielástico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Contamina el sistema frigorífico si se quema. - El motor cede su calor producido al sistema frigorífico. - Limitación en la temperatura de trabajo (bajas temperaturas con R.22). - Control de presión de aceite, trabajando con bomba de engrajes. - Los bornes de conexión pueden ofrecer fugas de refrigeración. 				
 <p>C — COMPRESOR HERMÉTICO</p>	<p style="text-align: center;">Tabla II <i>Compresor hermético</i></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; padding: 5px;">Ventajas</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">Desventajas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="vertical-align: top; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> - Menor volumen o misma capacidad frigorífica. - No existe sello mecánico. - Engrase sin control de presión. - Menos ruidoso que el abierto. - No hay transmisión por correas o acoplamiento semielástico. </td> <td style="vertical-align: top; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> - Contamina el sistema frigorífico si se quema. - El motor cede su calor producido al sistema frigorífico. - No se puede reparar fácilmente. - No existen piezas de recambio. - Limitación en las temperaturas de trabajo (bajas temperaturas de evaporación). - Los bornes de conexión pueden ofrecer fugas de refrigeración. </td> </tr> </tbody> </table>	Ventajas	Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Menor volumen o misma capacidad frigorífica. - No existe sello mecánico. - Engrase sin control de presión. - Menos ruidoso que el abierto. - No hay transmisión por correas o acoplamiento semielástico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Contamina el sistema frigorífico si se quema. - El motor cede su calor producido al sistema frigorífico. - No se puede reparar fácilmente. - No existen piezas de recambio. - Limitación en las temperaturas de trabajo (bajas temperaturas de evaporación). - Los bornes de conexión pueden ofrecer fugas de refrigeración.
Ventajas	Desventajas				
<ul style="list-style-type: none"> - Menor volumen o misma capacidad frigorífica. - No existe sello mecánico. - Engrase sin control de presión. - Menos ruidoso que el abierto. - No hay transmisión por correas o acoplamiento semielástico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Contamina el sistema frigorífico si se quema. - El motor cede su calor producido al sistema frigorífico. - No se puede reparar fácilmente. - No existen piezas de recambio. - Limitación en las temperaturas de trabajo (bajas temperaturas de evaporación). - Los bornes de conexión pueden ofrecer fugas de refrigeración. 				

Compresores Alternativos.

Los compresores alternativos son máquinas de desplazamiento positivo en el que el gas es comprimido por medio de émbolos, el funcionamiento es el siguiente:

La posición 1 corresponde al momento en que el pistón alcanza su PMS. Cuando el pistón comienza su carrera descendente, el espacio dentro del cilindro se encuentra lleno de gas todavía a una presión ligeramente superior a la de descarga y en el transcurso de la carrera descendente, va disminuyendo la presión en el interior del cilindro, hasta que la tensión del resorte correspondiente cierra la válvula de escape, por lo cual, durante la primera parte de la carrera de expansión ambas válvulas están cerradas. Cuando el pistón alcanza el punto 2, se abre la válvula de admisión, continúa su carrera descendente, con lo cual se aspira vapor, según un proceso esencialmente isobárico, hasta que se alcanza el PMI, posición 3.

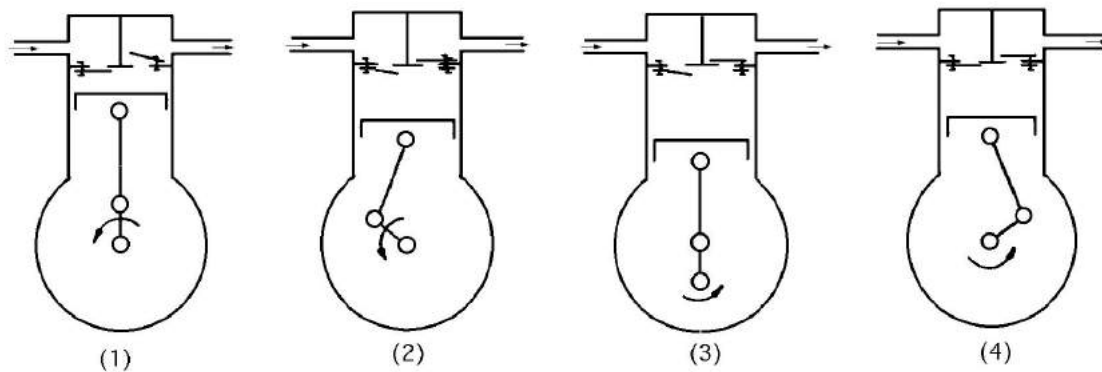


Figura 25: Tiempos de funcionamiento de un compresor alternativo.

Cuando el pistón inicia su carrera ascendente, se cierra la válvula de admisión, debido a un ligero incremento de la presión en el interior del cilindro sobre el valor de la presión de aspiración. A partir de este momento, con las dos válvulas cerradas, se inicia la compresión del gas 3 según un proceso esencialmente adiabático, hasta alcanzarse la posición 4.

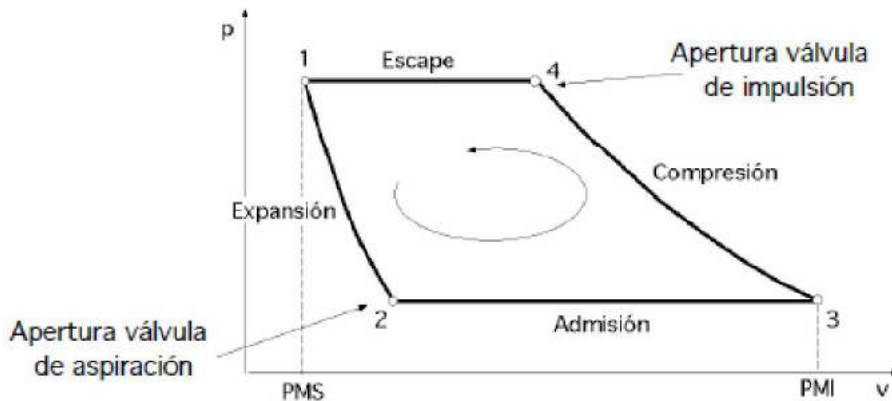


Figura 26: Diagrama PV de un compresor alternativo de simple efecto.

En este momento, posición 4, la presión en el interior del cilindro es ligeramente superior al valor de la presión en la descarga y al vencer el resorte correspondiente se abre la válvula de escape. Al continuar la carrera ascendente del pistón, el gas contenido en el interior del cilindro es impulsado hacia el exterior, según un proceso esencialmente isobárico, hasta que aquel alcanza de nuevo el PMS, momento en que se vuelve a iniciar la secuencia descrita.

El cuerpo del compresor es, generalmente, de fundición y viene dividido en dos partes, que son el bloque del cilindro y el cárter.

Las paredes de los cilindros van rectificadas y pulidas a espejo con rigurosas tolerancias, o bien van dotadas de camisas cuidadosamente mecanizadas. La parte exterior del cuerpo del compresor está dotada de aletas, para facilitar el enfriamiento del bloque de los cilindros.

En el cuerpo del compresor están dispuestos los cojinetes de rozamiento del cigüeñal o excéntrica; las superficies de rozamiento de los cojinetes suelen ir acanaladas para facilitar la lubricación.

Los compresores con cigüeñal en el lado del volante llevan una tapa lateral atornillada, donde va alojado el prensaestopas que permite la colocación del cigüeñal; esta tapa no es necesaria en los compresores de excéntrica, detalle éste que permite distinguir a simple vista el tipo de compresor.

Cuando el peso es un factor a tener en cuenta, se acude a cuerpos de aluminio, como sucede en los vehículos de transporte de productos congelados o refrigerados.

Las válvulas de admisión y de escape son diferentes; en el caso de la válvula de admisión, ésta abre cuando la diferencia entre la presión en la línea de aspiración y la presión en el interior del cilindro equilibra la tensión de un resorte, en tanto que la de escape abre cuando la diferencia de presiones entre el interior del cilindro y la línea de impulsión equilibra la tensión del resorte correspondiente.

El desplazamiento máximo del pistón, igual al doble de la longitud de la manivela, es la carrera, que debe ser algo inferior a la longitud del cilindro, para evitar entre otras

cosas que, debido a dilataciones de origen térmico, el pistón pueda golpear contra el plato de válvulas durante la carrera ascendente.

La posición más elevada del émbolo recibe el nombre de punto muerto superior PMS y la más baja el de punto muerto inferior PMI.

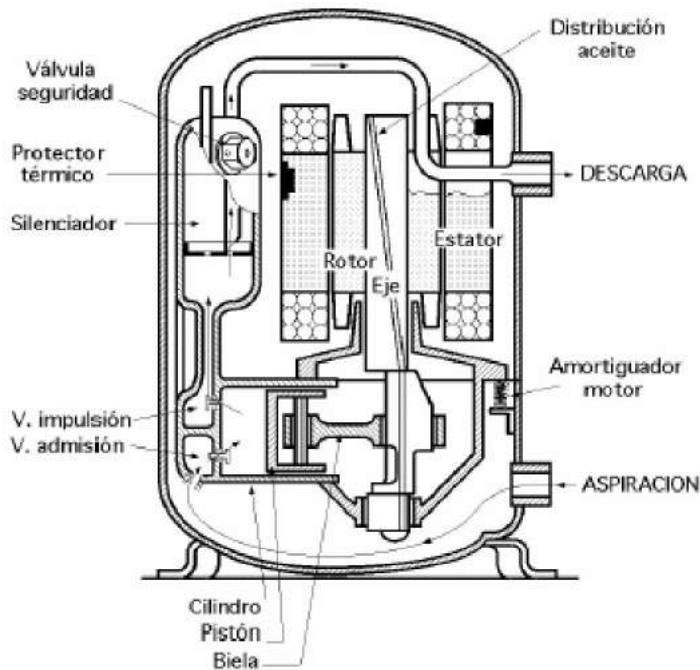


Figura 27: Compresor alternativo hermético, partes.

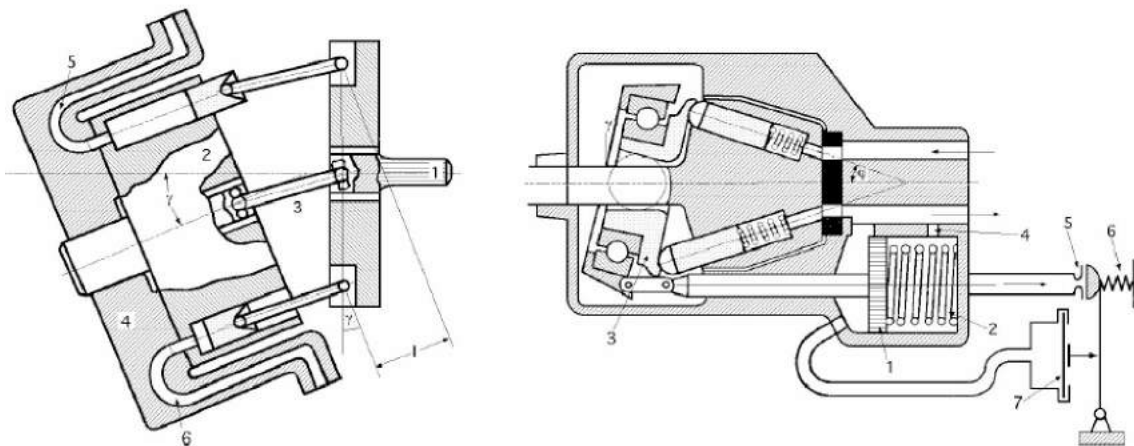


Figura 28: Compresores de pistones, con bloque de pistones inclinado y regulable.

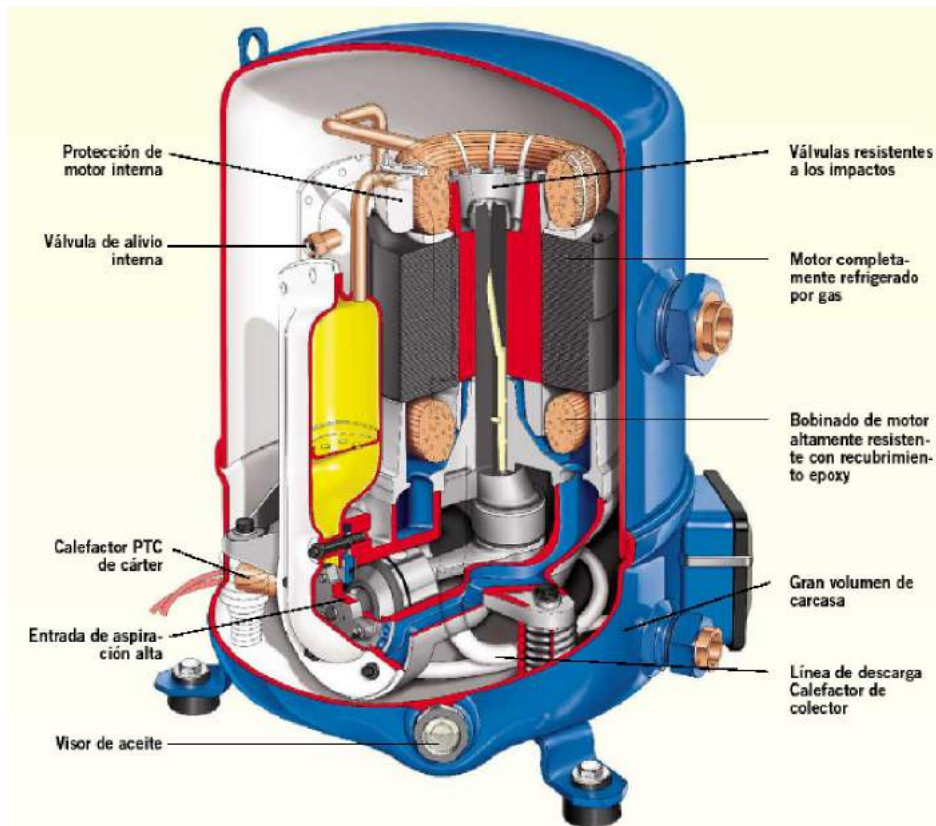


Figura 29: Compresor alternativo hermético, vista seccionada.

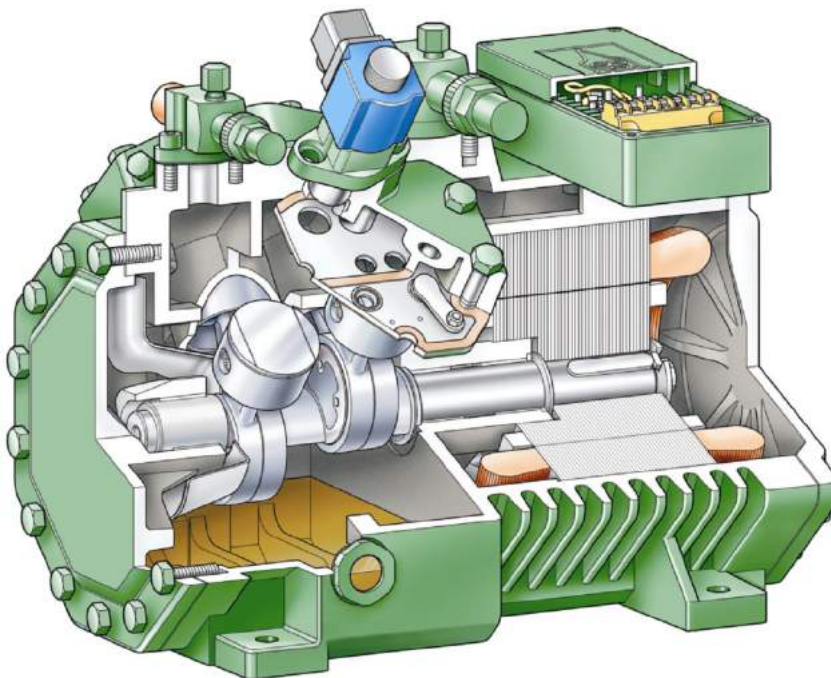


Figura 30: Compresor alternativo semihermético. Vista seccionada



- Lightweight pistons with hard chromi
- Gas-dampened discharge valves
- Stop valves with non-rising spindle
- Casing in grey cast iron of GG25 quali

CMO 28 direct

Figura 31: Compresor alternativo abierto.

Compresores Rotativos

Los compresores rotativos son particularmente adecuados para las aplicaciones en las que se requiere un desplazamiento volumétrico elevado a presiones de operación moderadas.

Están constituidos por uno o varios elementos dotados de movimiento rotativo que conforman el rotor, y situados en el interior de un cilindro, estator.

Entre el estator y el rotor existe una cámara en la que el fluido aspirado se comprime, de forma que el movimiento del rotor confina al fluido en dicha cámara eliminando la comunicación con la línea de aspiración; posteriormente el desplazamiento del rotor pone en comunicación la cámara con la línea de impulsión y al existir en ésta una presión mayor, se produce la entrada de fluido procedente de la impulsión en la cámara que comprime el vapor, produciéndose una compresión por reflujo; finalmente, el movimiento del rotor expulsa todo el fluido de la cámara, obligándolo a pasar a la línea de impulsión. Existen muchos tipos de compresores rotativos, entre los cuales se puede hacer mención a los compresores de paletas, de émbolos radiales, de émbolos axiales, Scroll, etc.

La diferencia fundamental entre compresores rotativos y alternativos consiste, en lo que a las cualidades de operación se refiere:

- Por una parte en el hecho de que la ausencia de desplazamientos alternativos reduce la presencia de vibraciones.
- Por otra en que el gasto másico de gas, es mucho menos pulsante.

- La presencia de líquido al final de la compresión presenta una menor importancia.

Compresores de rodillo o pistón rodante:

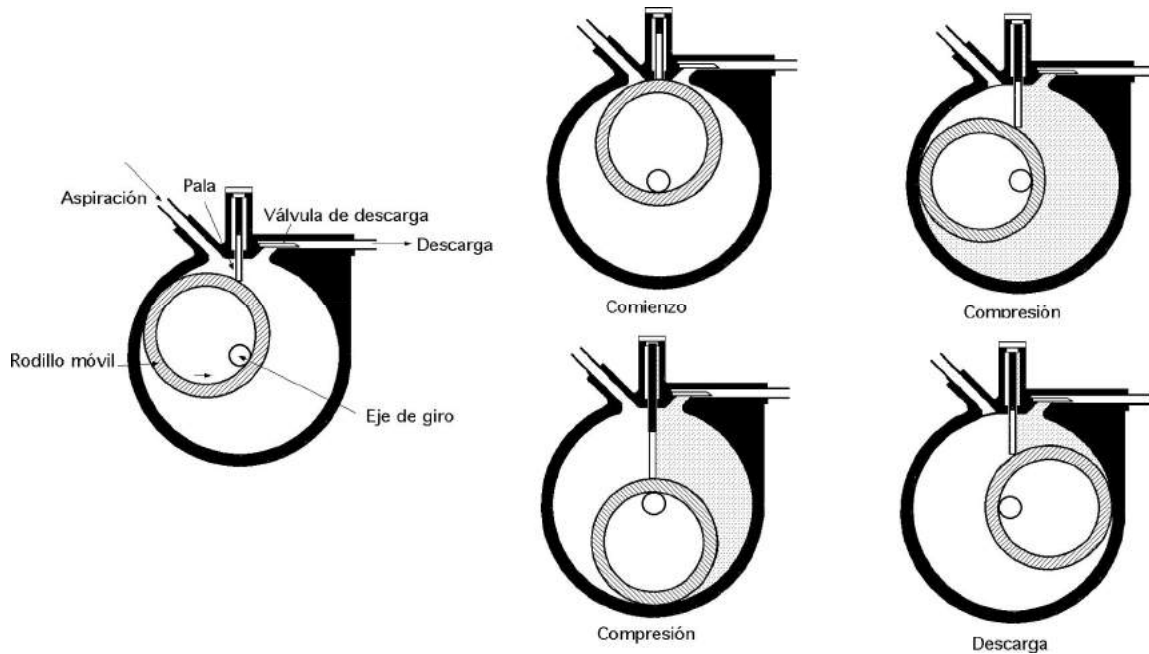


Figura 32: Compresor de rodillo o pistón rodante. Principio de Funcionamiento.

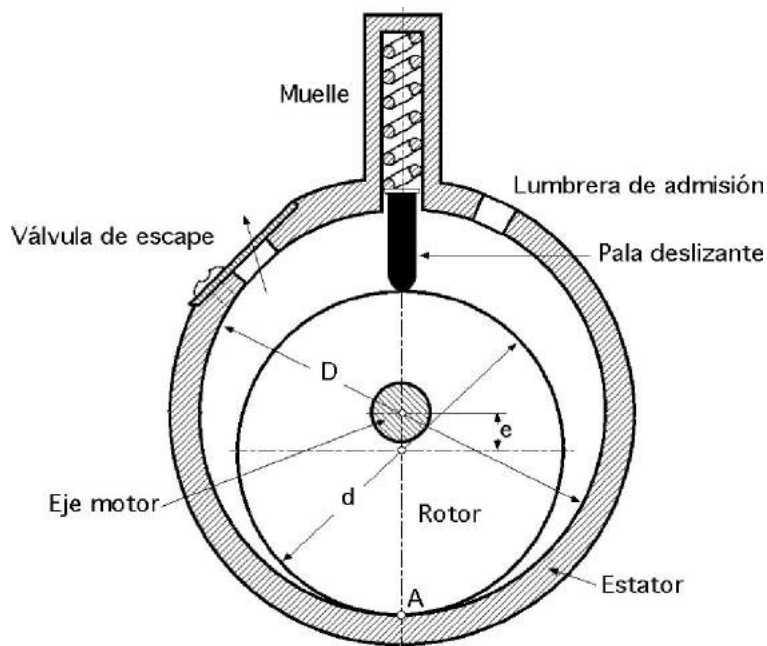


Figura 33: Compresor de rodillo o pistón rodante.

Compresores de paletas:

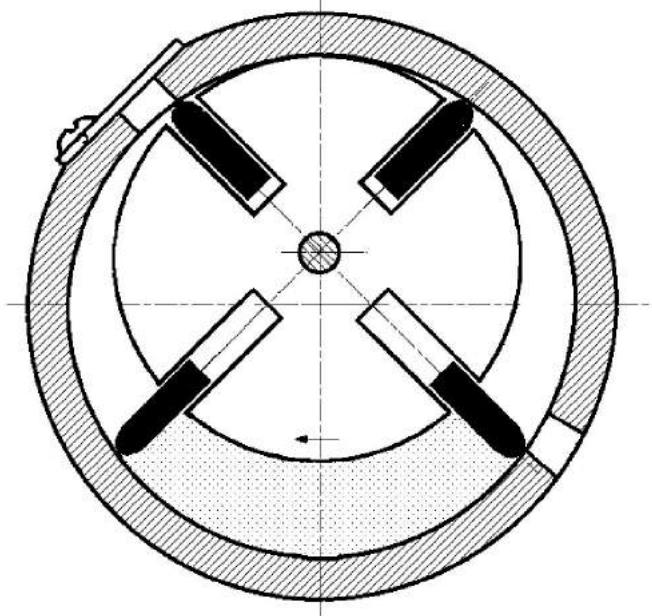


Figura 34: Compresor de paletas multicelular.

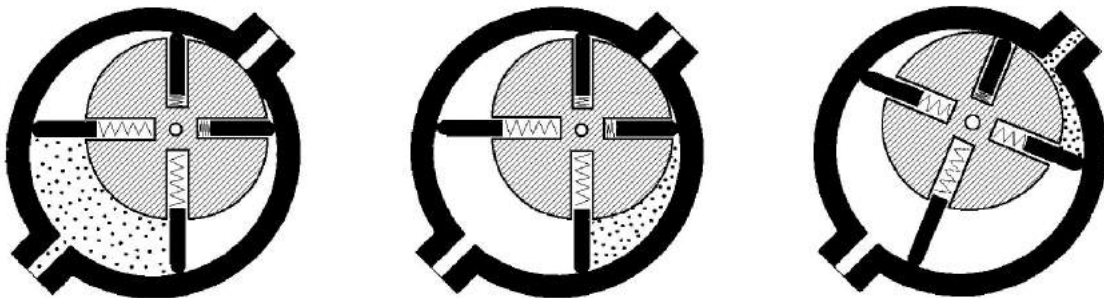


Figura 35: Compresor de paletas multicelular. Funcionamiento.

Compresores Scroll:

El compresor *Scroll* posee solo una espiral móvil que sigue la trayectoria definida por el mecanizado en una espiral fija, a diferencia de lo que ocurre con la tecnología a pistón, que requiere gran cantidad de partes móviles para lograr el efecto de la compresión buscado. La espiral fija está acoplada rígidamente al cuerpo del compresor. La espiral móvil orbita, acoplada al eje del compresor. El movimiento orbital crea una serie de compartimientos de gas que se desplazan entre ambas espirales. Estos compartimientos se forman en la periferia de las espirales y van desplazándose hacia el centro, donde se produce la descarga. A medida que estos compartimientos se desplazan, va disminuyendo su volumen y aumentando la temperatura y presión del gas que está dentro de ellos, generándose el efecto de compresión buscado.

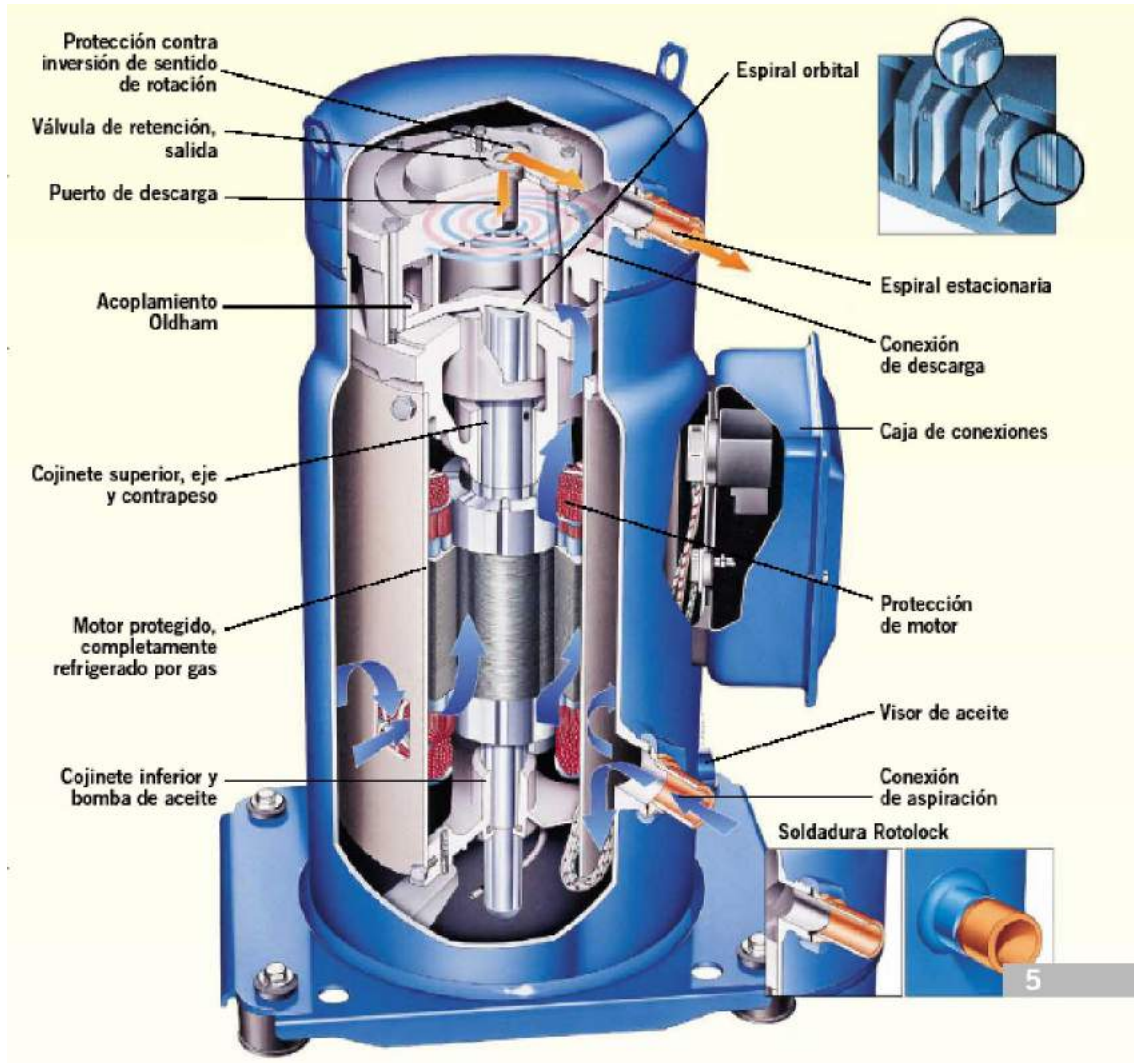


Figura 36: Compresor Scroll. Vista seccionada.

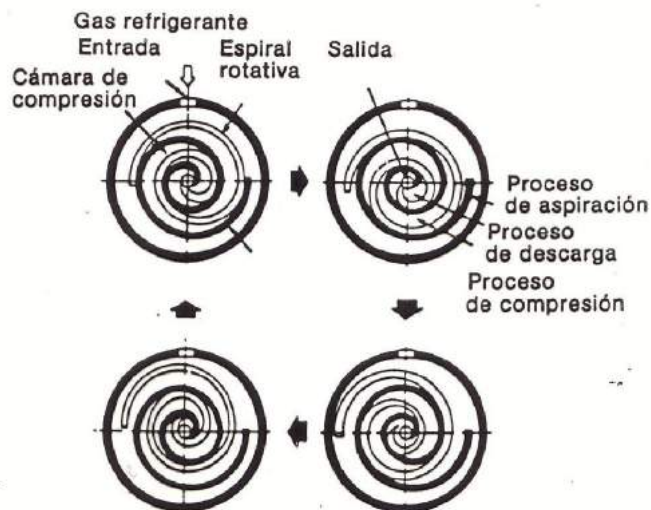


Figura 37: Compresor Scroll. Principio de funcionamiento.

Compresores de Tornillo

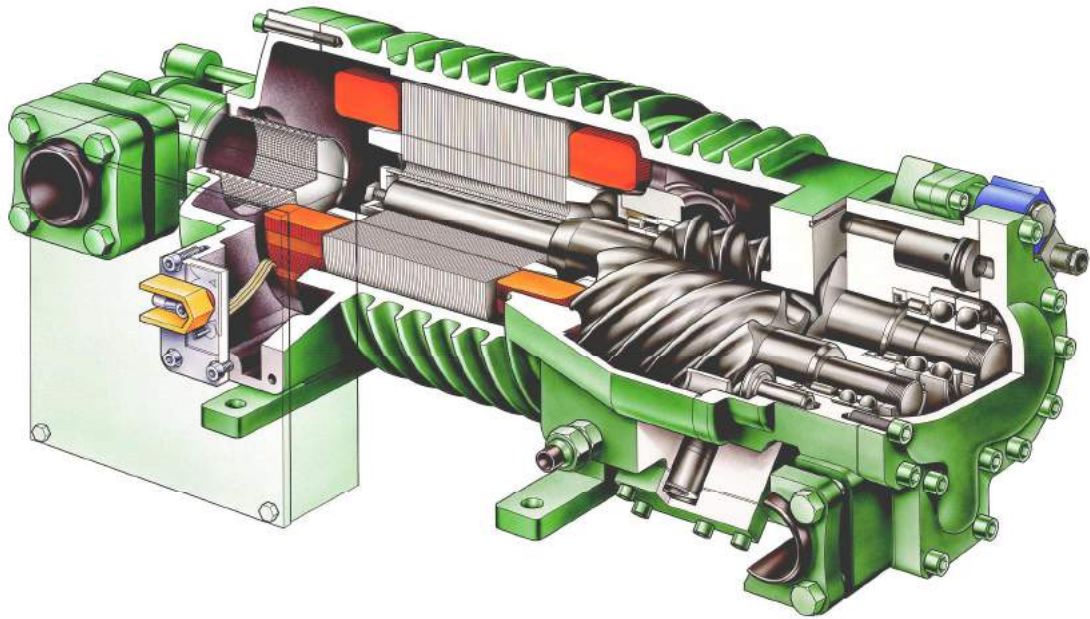


Figura 38: Compresor de Tornillo semihermético. Vista seccionada.

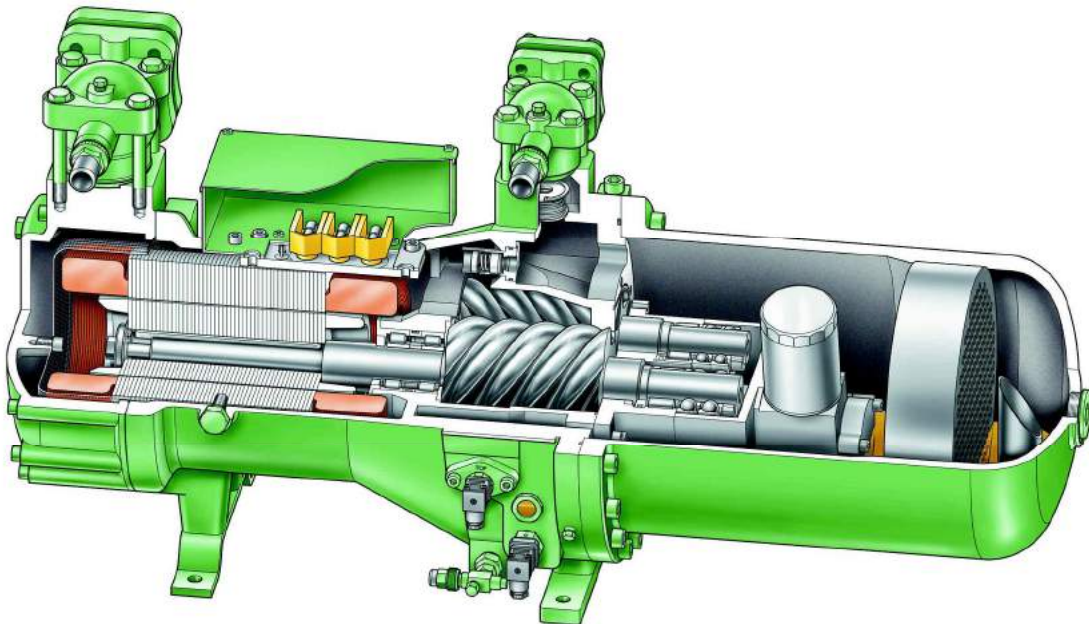


Figura 39: Compresor de Tornillo semi-hermético con separador de aceite incorporado. Vista seccionada.



Figura 40: Compresor de Tornillo abierto.

Turbocompresores

Un turbocompresor TC está constituido esencialmente por un rotor que gira en el interior de una carcasa; el rotor está formado por un conjunto de álabes o paletas y el vapor es obligado a circular por el espacio libre entre cada dos álabes.

El movimiento impuesto al rotor aumenta la velocidad absoluta del vapor y posteriormente se transforma la energía cinética de la corriente en energía de presión mediante un difusor. Existen dos tipos de TC: los de flujo axial y los centrífugos ó de flujo radial.

En los compresores de flujo axial, el fluido circula en dirección paralela al eje del rotor, en tanto que en los de flujo radial el movimiento del fluido respecto al álabe es normal al eje del rotor; la relación de compresión depende del número de etapas de compresión (rotor y estator que conforman un escalonamiento de presión), de la forma de los álabes, sobre todo del ángulo de salida β_2 y de la velocidad periférica de cada rodete; sin embargo, la relación de compresión de cada escalonamiento ϵ_c oscila entre 1,25 y 1,30 y para el compresor completo entre 15 y 20.

En los compresores de flujo radial se puede obtener, por escalonamiento, una relación de compresión de hasta 3. El compresor de flujo axial se emplea únicamente cuando la masa de gas a comprimir es extraordinariamente elevada y por eso no se suele utilizar en el campo de la refrigeración.

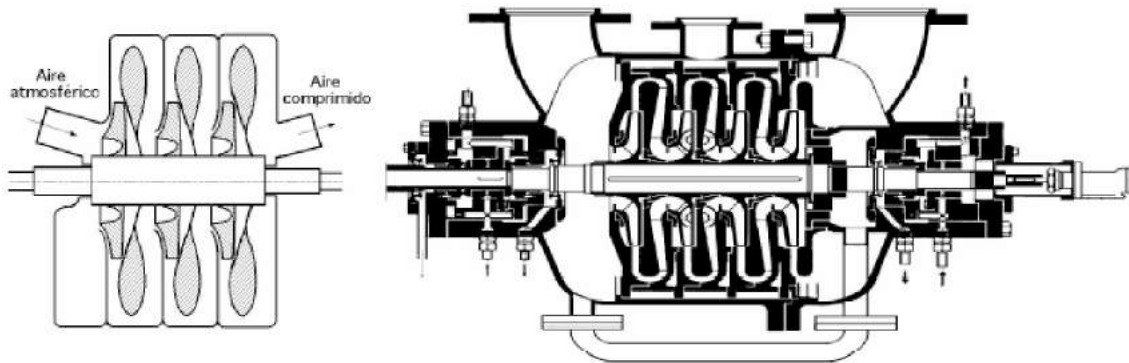


Fig II.18.- Turbocompresor radial

Figura 41: Turbocompresor Radial.

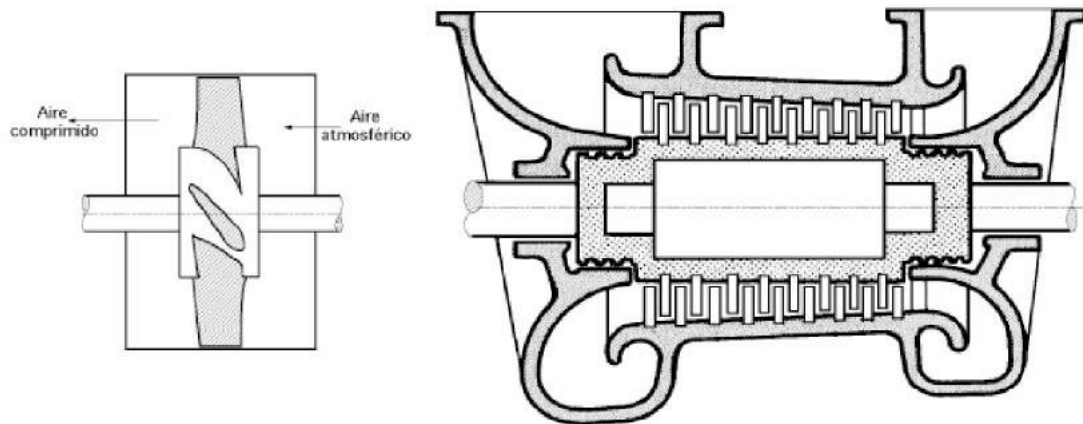


Figura 42: Turbocompresor Axial.

Evaporadores, clasificación, desescarches.

Clasificación de los Evaporadores

Los evaporadores son unos intercambiadores de calor en los que tiene lugar la evaporación del fluido frigorígeno sustrayendo calor del espacio que queremos que se enfríe. Están constituidos por un haz de tuberías en las que se evapora el fluido frigorígeno extrayendo calor de los alrededores, que es en esencia el fenómeno de producción de frío, o potencia frigorífica, que se desea conseguir.

El evaporador consiste en un recipiente metálico, (carcasa), al que llega el fluido frigorígeno procedente de la válvula de estrangulamiento, parcialmente vaporizado, produciéndose en el mismo la ebullición de la parte licuada, a baja presión, lo que origina la extracción de calor del medio que le rodea, es decir, de la cámara frigorífica.

Al final del proceso de vaporización de las últimas gotas de líquido, se produce vapor saturado seco.

La temperatura de este vapor puede aumentar, produciéndose un recalentamiento a expensas del calor extraído al medio exterior, e incluso del propio rozamiento del vapor a su paso por el evaporador.

Los evaporadores pueden ser de tipos variados, ya que la técnica del frío industrial abarca una muy amplia gama de aplicaciones, al tiempo que deben acomodarse a diferentes condiciones de trabajo que dependen, sobre todo de las temperaturas y del grado de humedad, (título), del vapor a la entrada del evaporador.

La tabla siguiente muestra una clasificación de los tipos de evaporadores más importantes.

Grupo	Clase	Tipo de evaporador
Enfriadores de aire	Circulación aire Natural	Tubo liso
		Tubo aleteado
		Placas
	Circulación aire Forzado	Tubo liso
		Tubo aleteado
Enfriadores de Líquido	De inmersión	De serpentín, de parrilla...
	Doble tubo	Intensivos
	Multitubular/ carcasa y tubo	Horizontales, verticales, etc.
	De placas	
Otros tipos	Armarios de Placas	
	Placas eutécticas	

Tabla 4: Clasificación de los evaporadores.



Figura 43: Intercambiador de Tubo aleteado.

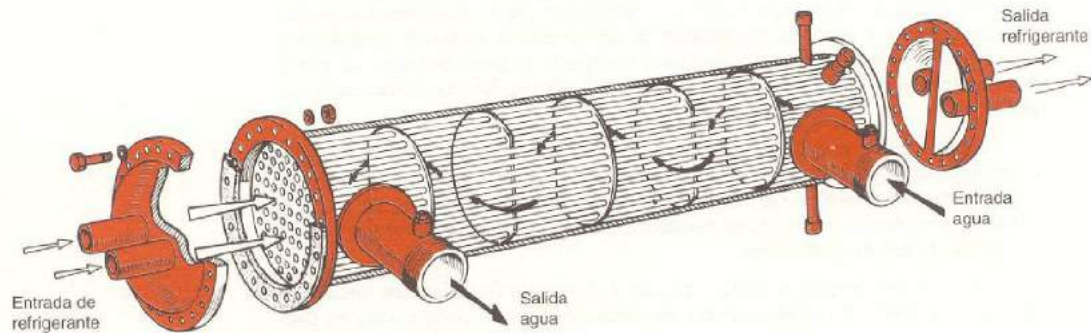


Figura 44: Intercambiador de carcasa y tubos

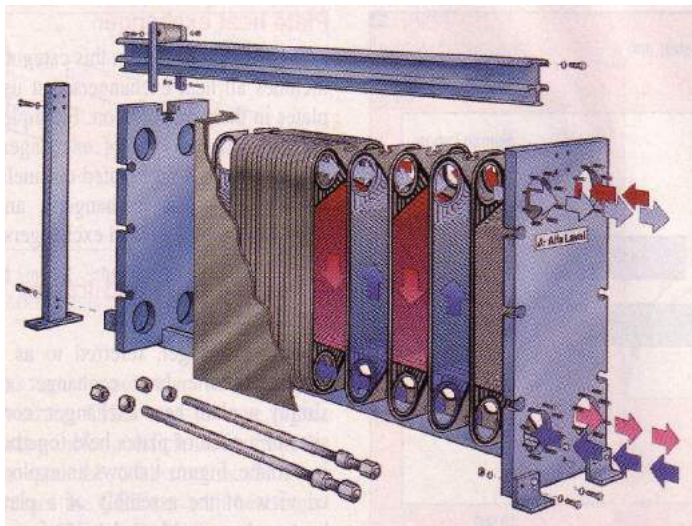


Figura 45: Intercambiador de placas.

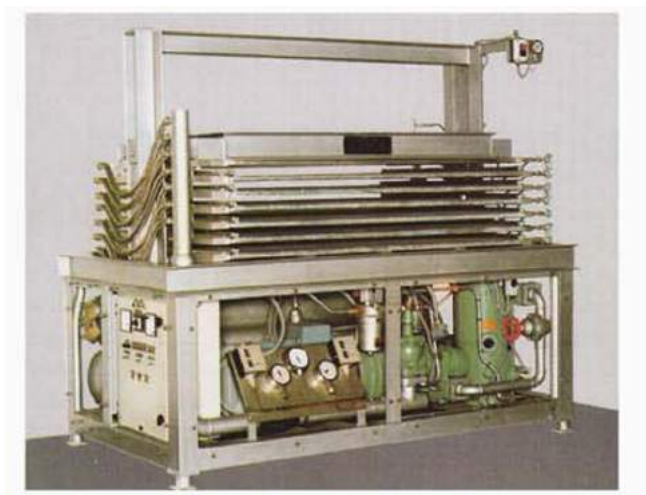


Figura 46: Armario de placas horizontales.



Figura 47: Armario de placas verticales.

Desescarches

Para hablar de los desescarches, se debe tener en cuenta que ocurre en el interior y exterior de un evaporador.

En un evaporador de aire de tiro natural o forzado se tienen dos fluidos. En el interior del evaporador se encuentra el fluido frigorigénico normalmente llamado refrigerante, y en el exterior pasando a través de los tubos y aletas se encuentra el aire con su correspondiente contenido de humedad.

Como se ha indicado el aire tiene agua en una proporción calculable en función de la humedad relativa y temperatura. Como en el interior del evaporador la temperatura suele ser menor a la de rocío del agua (punto en el cual el agua comienza a condensar), el agua condensa en el evaporador. Si además la temperatura en el interior es inferior a cero grados, lo cual es muy normal, el agua condensada se congela formando escarcha, nieve o hielo.

La formación de escarcha, nieve o hielo dependerá de las condiciones internas y externas del evaporador.

Cuando comienza el proceso de formación de hielo, lo primero que se produce es escarcha en la superficie de los tubos y aletas. La escarcha está formada por una multitud de cristales que incrementan de forma sustancial la superficie de intercambio de calor, y en un principio mejoran la transmisión de calor.

Posteriormente, según aumenta el volumen de escarcha acumulado, disminuye drásticamente la velocidad del aire a través de las aletas perdiéndose potencia frigorífica. Cuando esto sucede, esta escarcha o nieve se debe fundir con el aire de circulación parando la inyección, y cuando ya está fundida, volver a inyectar para

congelar rápidamente el agua líquida formando un hielo denso y buen transmisor del calor.

Cuando la temperatura de evaporación es bastante inferior a cero grados, el proceso de formación de escarcha y nieve casi no se manifiesta y se produce directamente hielo denso.

Lo anterior afecta al funcionamiento del evaporador disminuyendo la transmisión de calor del exterior del evaporador al interior. Por un lado el hielo se coloca sobre el tubo y aletas del evaporador como si de un aislante térmico se tratase, y por otro lado ocupa un volumen junto a las aletas reduciendo la sección de paso del aire, con lo cual se reduce el caudal de aire a través del evaporador.

Claramente puede verse que estos dos fenómenos reducen la transmisión frigorífica y reducen la capacidad de intercambio térmico en el evaporador. Además el proceso de formación de hielo es acumulativo, lo cual hace que si no se evita, con el tiempo el evaporador se bloquee de hielo. En consecuencia se deduce que es necesario eliminar el hielo del evaporador de forma periódica.

El proceso de eliminación de hielo de un evaporador es lo que en términos frigoríficos se conoce como desescarche.

Es importante no olvidar que el evaporador tiene una bandeja en la parte inferior para recoger el agua condensada, la cual debe salir a los desagües de agua. Se debe evitar que las tuberías de agua de salida de las bandejas y el agua retenida en las mismas pueda congelarse.

Para eliminar el hielo que se forma en los evaporadores, hay que realizar un aporte de calor que permita la fusión del hielo. Dicho aporte de calor puede darse tanto desde dentro del evaporador como desde fuera de él. Los Tipos de desescarches son:

Con medios externos:

- Desescarche manual.
- Desescarche por parada de la instalación.
- Desescarches por aire.
- Desescarches por agua.

Con aporte interno de calor:

- Desescarche eléctrico.
- Desescarche por refrigerante caliente.
- Desescarche por inversión de ciclo.

Otra consideración importante a la hora de realizar el desescarche es si la instalación esta formada por un circuito independiente o multicircuito, o si se trata de una central de compresores común a muchos evaporadores.

Condensadores, clasificación.

La unidad compresora tiene como misión aspirar el vapor del fluido frigorígeno formado en el evaporador, comprimirlo hasta un valor apto para la condensación y, una vez licuado en el condensador, utilizarlo nuevamente en el proceso de refrigeración de la cámara frigorífica.

El tamaño del condensador es función de la cantidad de fluido frigorígeno que se comprima, dependiendo de ello la superficie del mismo, como intercambiador de calor, para transmitir al fluido frigorígeno el calor latente de la condensación. En el condensador se va a producir la eliminación de calor al medio exterior a través de un sistema de refrigeración.

El fluido frigorígeno, que llega al condensador, lo hace en estado de vapor, saturado o recalentado, y posee una temperatura superior a la del medio de refrigeración que se va a utilizar en el condensador, generalmente aire o agua, por lo que el fluido refrigerante, a la temperatura del medio exterior, absorberá el calor latente del fluido frigorígeno, provocando su condensación, el cual, una vez licuado y en muchos casos, refrigerado en contracorriente con vapor del evaporador, pasa a la válvula de estrangulamiento, que lo lamina y expansiona, para volver de nuevo al evaporador, e iniciar un nuevo ciclo.

La disminución de presión, tiene como resultado la evaporación parcial del líquido frigorígeno, entrando en el evaporador parcialmente licuado.

En el condensador se cede a un fluido refrigerante exterior, tanto el calor absorbido por el refrigerante en el evaporador, como el equivalente térmico del trabajo de compresión, pasando el fluido frigorígeno del estado de vapor sobrecalentado al de líquido subenfriado.

La tabla siguiente muestra una clasificación de los tipos de condensadores más importantes.

Grupo	Fluido que enfría	Tipo condensador	$K = \text{kcal} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$
Calor sensible	Aire	Circulación de aire natural	8 a 10
		Circulación por aire forzado	20 a 25
	Agua	De inmersión	200 a 500
		Multitubulares horizontales	600 a 1.000
Multitubulares verticales		700 a 1.200	
		De doble tubo contracorriente	600 a 800
Calor latente	Atmosféricos	De lluvia	200 a 250
		De lluvia contracorriente	700 a 1.000
	Evaporación forzada	Evaporativos con tubo liso	200 a 300
		Evaporativos con tubo aleteado	100 a 150

Tabla 5: Clasificación de los Condensadores.

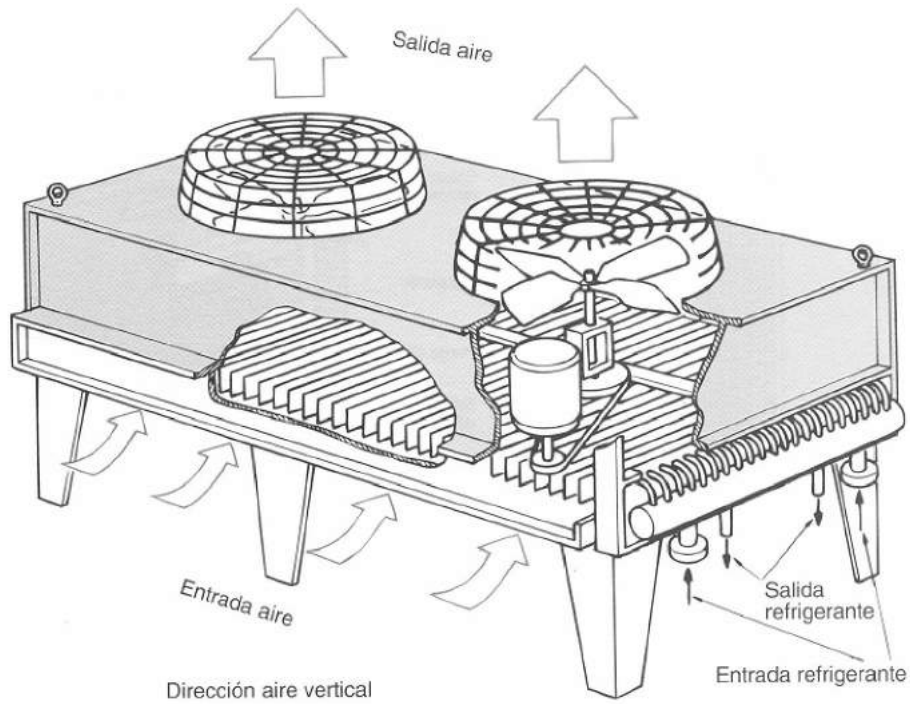


Figura 48: Condensador con circulación de aire forzado.

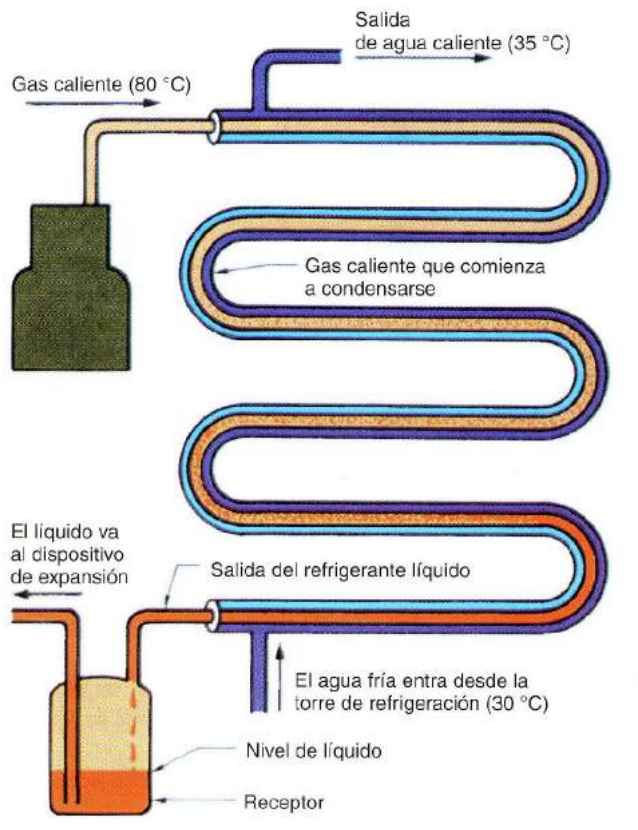


Figura 49: Condensador de doble tubo a contracorriente.

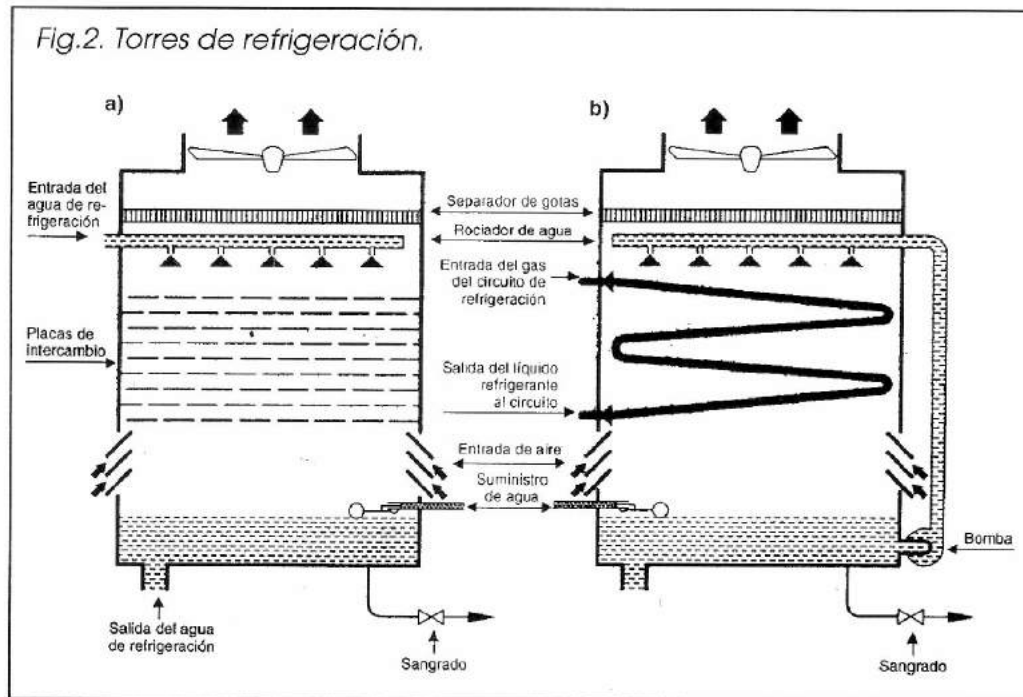


Figura 50: Condensador de calor latente, torre de refrigeración.

Dispositivos de expansión, clasificación y funcionamiento.

La misión de los elementos de expansión es controlar el paso de refrigerante, reducir la presión y la temperatura del líquido refrigerante, alimentar líquido a baja presión hacia el evaporador, y mantener un sobrecalentamiento constante a la salida del evaporador.

Los diferentes tipos de elementos de expansión son:

- Tubo capilar.
- Restrictores fijos.
- Válvula de expansión manual.
- Válvula de expansión termostática.
- Válvula de expansión automática o presostática.
- Válvula de flotador de alta presión.
- Válvula de flotador de baja presión.
- Válvula electrónica.
- Válvula pilotada y válvula piloto.

En estos elementos se produce un cambio de la presión del fluido mediante una transformación isoentálpica, desde la alta presión y temperaturas existentes en el condensador, a la baja presión y temperaturas requeridas en el evaporador.

Al disminuir la presión y la temperatura del fluido, cuando éste atraviesa una válvula de laminación, se reduce la entalpía específica del líquido, lo que requiere que parte de él vaporice, absorbiendo en esta evaporación parcial el calor sobrante, (diferencia entre las entalpías específicas del líquido antes y después de la válvula). Además de la misión principal de reducir la presión y la temperatura del fluido, en la mayoría de las ocasiones la válvula de laminación cumple otra misión secundaria, que es regular el caudal del fluido frigorígeno que pasa al evaporador, en función de diversas variables, lo que da lugar a distintos tipos de válvulas.

Tubo capilar

El tubo capilar es uno de los dispositivos de expansión más utilizados en los sistemas frigoríficos que trabajan en ciclo de compresión de vapor. Empleado en todas las aplicaciones domésticas y en un gran número de las de tipo comercial es de fácil montaje, económico y está exento de averías.

Los tubos capilares, son los restrictores más utilizados como válvulas de laminación. Un tubo capilar consiste en un tubo de pequeño diámetro, generalmente de gran longitud, por el que al circular el fluido frigorígeno a alta velocidad se reduce su presión debido a la fricción, produciéndose la expansión brusca del fluido frigorígeno al terminar dicho tubo. Aunque el uso de tubos capilares está muy extendido, este tipo de válvulas de laminación, no permite la regulación automática del flujo de fluido frigorígeno, por lo que en aquellas instalaciones frigoríficas en que se prevean unas variaciones sensibles de la carga térmica no deberán emplearse.

Los tubos capilares se emplean en instalaciones pequeñas debido a que presentan las ventajas siguientes:

- Facilidad de instalación.
- Fiabilidad, no hay piezas en movimiento.
- Bajo coste.
- Permiten utilizar compresores con bajo par de arranque por el buen equilibrio de presiones.

La selección del capilar se basa en el método práctico de la "prueba y error", es decir, en el ensayo de distintos capilares para determinar el que ofrece mejores prestaciones. Aún en el caso de disponer de modelos simplificados de cálculo, el ajuste final para una aplicación dada debe hacerse mediante ensayos prácticos en laboratorio. Contribuye a esta necesidad el hecho que el sistema frigorífico no trabaja bajo condiciones constantes las cuales afectan al comportamiento del capilar.

Entre las condiciones que más afectan al caudal en el capilar están las presiones de entrada y salida que, en general, se corresponden con las de condensación y evaporación, respectivamente.

Como recomendación general, cuanto más baja es la temperatura de evaporación más necesaria es la existencia de un intercambiador (en la práctica, se puede considerar obligatoria en aplicaciones de baja presión, LBP, por ejemplo, congeladores). También afecta la temperatura del líquido a la entrada del capilar (grado de subenfriamiento desde la salida del condensador).

Las diferencias de diámetro y rugosidad debidas a las tolerancias de fabricación también afectan al caudal real que proporcionará un capilar en una producción masiva.

El uso de las tablas es muy simple. En principio se debería partir del valor del caudal de refrigerante pero, dado que, definido un ciclo de refrigeración, el caudal es proporcional a la producción frigorífica y ésta es fácil de conocer a partir del catálogo del compresor, se toma como dato de entrada no el caudal sino la producción frigorífica que le corresponde.

En caso de Cambios en el diámetro es posible, con alguna restricción, trabajar con diámetros distintos a los indicados en las tablas. Con un diámetro distinto al dado en las tablas, la nueva longitud será, siempre en forma aproximada:

$$Z = \left(\frac{D}{D_0} \right) \times 4,7 \times Z_0$$

NOTA: El subíndice (0) indica los valores dados por las tablas adjuntas.

TABLAS PARA APLICACIONES A BAJA TEMPERATURA (LBP)

La tabla considera una temperatura de condensación $T_c = 45^\circ \text{C}$ e intercambio de calor en capilaridad. Incremente la longitud un 2% por cada K de incremento de temperatura de condensación.

Q_{ASH} es la capacidad frigorífica bajo condiciones ASHRAE (LBP) correspondientes al caudal másico M indicado (líquido subenfriado hasta $32^{\circ}C$, gases aspirados sobrecalentados hasta $32^{\circ}C$).

La relación entre longitud y diámetro es, aproximadamente:

$$(L / L_0) = (D / D_0)^{5,4}$$

TABLA DE TUBOS CAPILARES PARA REFRIGERANTE R404A (LBP)

Longitud del tubo capilar (m)															
Q_{ASH}	M	Diámetro interno del tubo capilar (mm) y Temperatura de evaporación ($^{\circ}C$)													
		0,6		0,7		0,8		0,9		1		1,2		1,5	
kcal/h	kg/h	-30	-23,3	-30	-23,3	-30	-23,3	-30	-23,3	-30	-23,3	-30	-23,3	-30	-23,3
130	3,51	1,39	1,47	3,22	3,38										
135	3,64	1,29	1,36	2,99	3,13										
140	3,78	1,20	1,26	2,77	2,91										
145	3,91	1,11	1,18	2,58	2,71										
150	4,05	1,04	1,10	2,41	2,52										
155	4,18		1,03	2,25	2,36										
160	4,32			2,11	2,21										
165	4,45			1,98	2,08										
170	4,59			1,87	1,96										
175	4,72			1,76	1,84	3,68	3,81								
180	4,86			1,66	1,74	3,48	3,60								
190	5,13			1,49	1,56	3,11	3,22								
200	5,40			1,34	1,40	2,80	2,90								
225	6,07			1,05	1,10	2,20	2,28								
250	6,74					1,77	1,83	3,35	3,49						
275	7,42					1,46	1,51	2,75	2,87						
300	8,09					1,22	1,26	2,30	2,40						

Longitud del tubo capilar (m)															
Q _{ASH}	M	Diámetro interno del tubo capilar (mm) y Temperatura de evaporación (°C)													
		0,6		0,7		0,8		0,9		1		1,2		1,5	
325	8,77					1,04	1,07	1,94	2,03	3,55	3,69				
350	9,44							1,67	1,74	3,04	3,17				
375	10,12							1,45	1,51	2,64	2,74				
400	10,79							1,27	1,32	2,30	2,40				
425	11,46							1,12	1,17	2,03	2,11				
450	12,14								1,04	1,80	1,88				
475	12,81									1,61	1,68				
500	13,49									1,45	1,51				
525	14,16									1,31	1,36	3,54	3,78		
550	14,84									1,19	1,24	3,21	3,43		
575	15,51									1,08	1,13	2,92	3,12		
600	16,19										1,03	2,67	2,85		
650	17,53											2,25	2,41		
700	18,88											1,93	2,06		
750	20,23											1,67	1,79		
800	21,58											1,45	1,56		
850	22,93											1,28	1,37		
900	24,28											1,13	1,22		
950	25,63											1,01	1,09	3,54	3,76
1000	26,98													3,18	3,38
1100	29,67													2,61	2,77
1200	32,37													2,18	2,32

Longitud del tubo capilar (m)												
Q _{ASH}	M	Diámetro interno del tubo capilar (mm) y Temperatura de evaporación (°C)										
		0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,5				
1300	35,07										1,84	1,96
1400	37,77										1,58	1,68
1500	40,46										1,37	1,46

Tabla 6: Longitud de tubo capilar para R404A.

Válvula de expansión manual

Estas válvulas presentan grandes inconvenientes por la necesidad de que un operario esté siempre dispuesto a actuar sobre ellas, a fin de regular el paso de fluido frigorígeno; presentan asimismo graves dificultades en la regulación, por lo que este tipo de válvula está totalmente en desuso en la actualidad.

Válvula de expansión Automática o Presostática

Este tipo de válvula reacciona a las variaciones de presión en el evaporador, asegurando una presión constante en el mismo. El funcionamiento de esta válvula, está basado en el mantenimiento de la presión de evaporación en un valor constante, regulando el flujo de fluido frigorígeno para conseguir dicha constancia. La presión de evaporación se puede variar, como se muestra en la figura siguiente, mediante la modificación de la tensión del resorte R por medio de un tornillo T de regulación; dicha tensión se transmite a un diafragma D, a través de un sistema mecánico en contacto con él M, que transmite el movimiento a una aguja A, que obtura más o menos el paso de líquido procedente del condensador, produciéndose la laminación al pasar dicho líquido, a través del espacio libre dejado por la aguja, al cuerpo de la válvula.

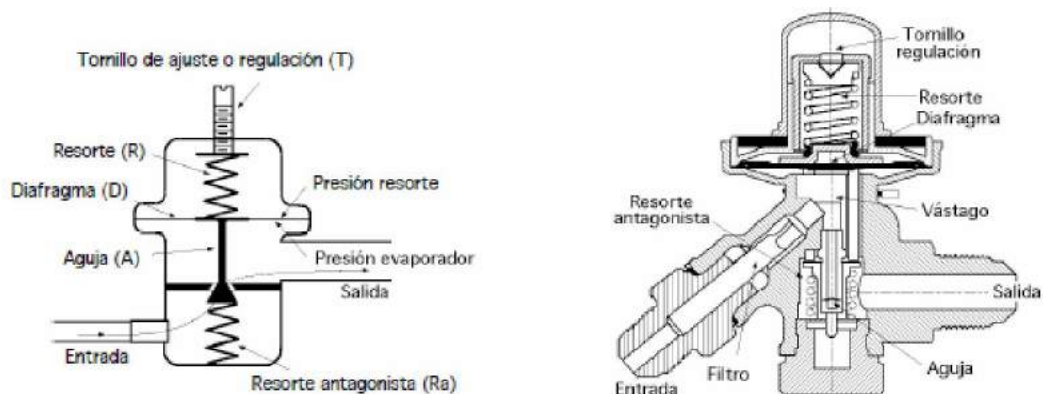


Figura 51: Válvula de expansión automática.

Los elementos mecánicos que integran la válvula, se completan con un resorte antagonista al primero Ra que intenta obturar la entrada de líquido a la válvula.

Válvula de expansión Termostática

Esta válvula reacciona a las variaciones del grado de calentamiento del fluido frigorígeno, vapor saturado o recalentado, que sale del evaporador.

La válvula de expansión termostática o válvula de termoexpansión, es un dispositivo de medición diseñado para regular el flujo de refrigerante líquido hacia el evaporador, en la misma proporción en que el refrigerante líquido dentro del evaporador se va evaporando. Esto lo logra manteniendo un sobrecalentamiento predeterminado a la salida del evaporador (línea de succión), lo que asegura que todo el refrigerante líquido se evapore dentro del evaporador, y que solamente regrese al compresor el refrigerante en estado gaseoso. La cantidad de gas refrigerante que sale del evaporador puede regularse, puesto que la termo válvula responde a:

1. La temperatura del gas que sale del evaporador y,
2. La presión del evaporador.

En conclusión, las principales funciones de una válvula de termo expansión son: reducir la presión y la temperatura del líquido refrigerante, alimentar líquido a baja presión hacia el evaporador, según la demanda de la carga, y mantener un sobrecalentamiento constante a la salida del evaporador.

Debido a que en el nombre dado a este dispositivo se incluye la palabra «termo», se tiene la falsa idea de que se utiliza para controlar directamente la temperatura, y muchos técnicos intentan erróneamente controlar la temperatura del refrigerador, moviendo el ajuste de la válvula.

Las partes principales de una válvula de termo expansión son: el bulbo remoto, el diafragma, las varillas de empuje, el asiento, la aguja, el resorte, la guía del resorte y el vástago de ajuste.

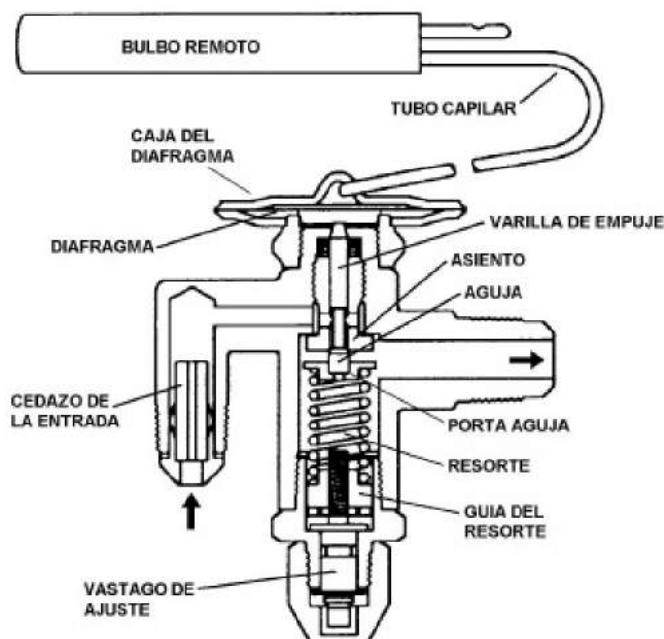


Figura 52: Partes de una válvula de expansión termostática.

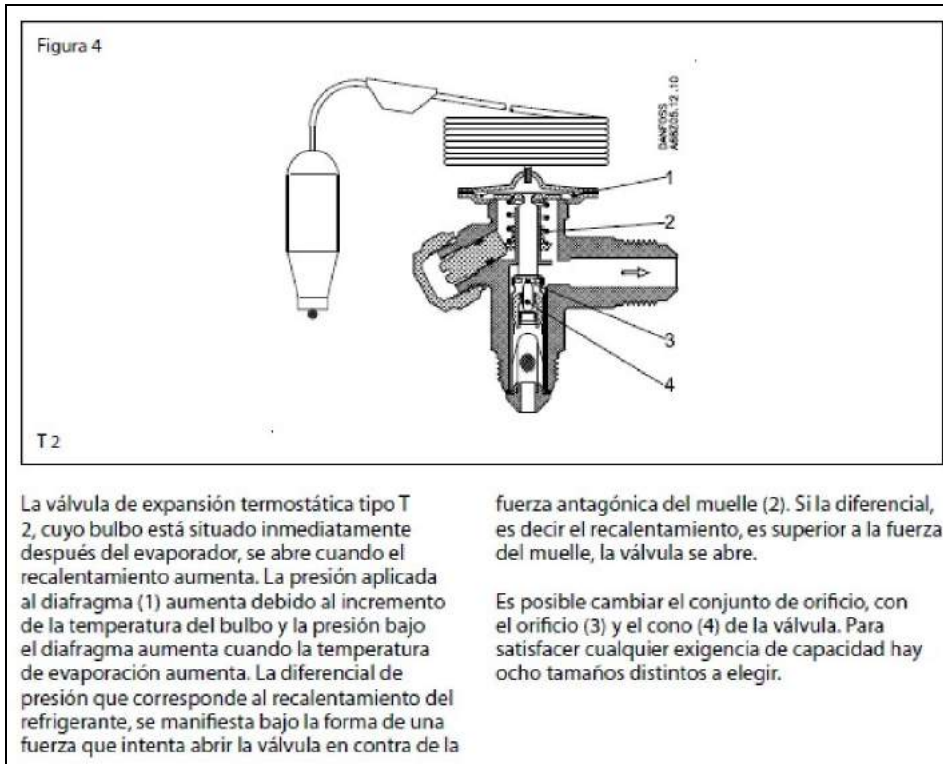


Figura 53: Válvula de expansión termostática de Danfoss.

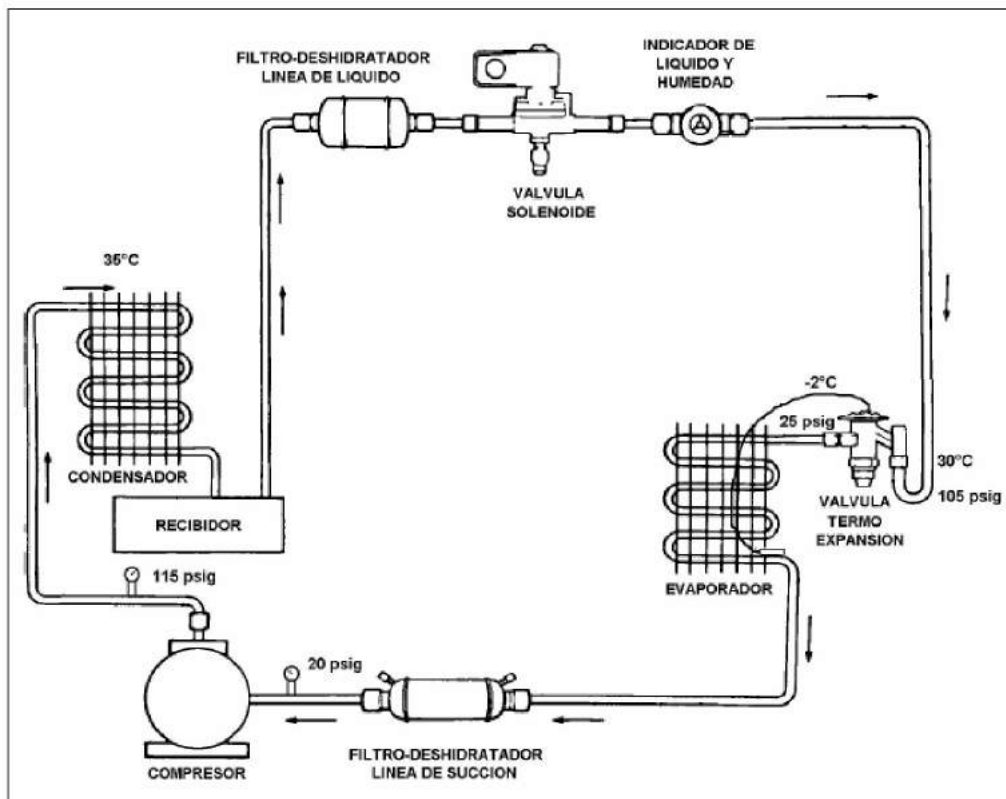


Figura 54: Localización de la válvula de termo expansión en una instalación frigorífica operando con R134a.



Accesorios: Instrumentación de regulación y medida, filtros, válvulas y visores.

Controles automáticos para instalaciones comerciales de refrigeración y acondicionamiento de aire

T/TE TK/TKE		Válvulas de expansión termostática	Regulan la inyección de líquido en evaporadores
EVR		Válvulas de solenoide	Se accionan electromagnéticamente para abrir o cerrar el paso
KP		Presostatos	Cierran o abren un circuito eléctrico en función de la presión
MP		Presostatos diferenciales para aceite	Protegen el compresor contra una presión insuficiente del aceite de lubricación
KP		Termostatos	Cierran o abren un circuito eléctrico en función de la temperatura
KVP		Reguladores de presión de evaporación	Mantienen constante la presión de evaporación
KVL		Reguladores de presión de aspiración	Protegen el motor del compresor contra sobrecarga en el momento del arranque
KVR		Reguladores de presión de condensación	Aseguran una presión suficiente en el condensador
NRD		Válvulas de presión diferencial	Aseguran una presión suficiente en el recipiente
KVD		Reguladores de presión del recipiente	Mantienen la presión del recipiente en el valor de reglaje del regulador (ajustable)
CPCE KVC		Reguladores de derivación de gases calientes	Adaptan la capacidad del compresor a la carga real del evaporador
DX		Filtros secadores	Eliminan la humedad, los ácidos y las impurezas
SGI		Visores	Indican el estado del refrigerante
BM		Válvulas de cierre	Para cierre manual
NRV		Válvulas de retención	Aseguran la dirección correcta de la circulación del fluido
OUB HE WVFX		Separadores de aceite Intercambiadores de calor Válvulas de agua	Para retornar aceite al compresor Transmiten el efecto de enfriamiento al líquido Regulador de presión de condensación
KVQ + EKS 67		Regulador electrónico de evaporación	Para regulación de temperatura del medio

Instalación de refrigeración comercial con
evaporadores de cámara de congelación y de cámara fría

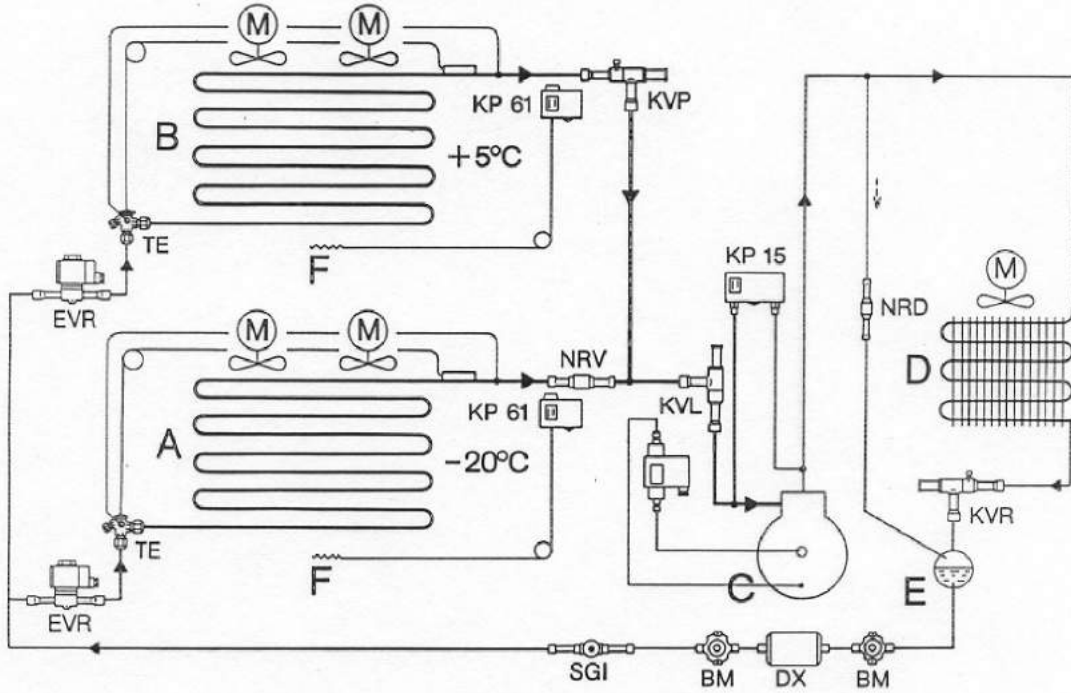


Figura 55: Esquema de instalación frigorífica con la identificación de los distintos accesorios.

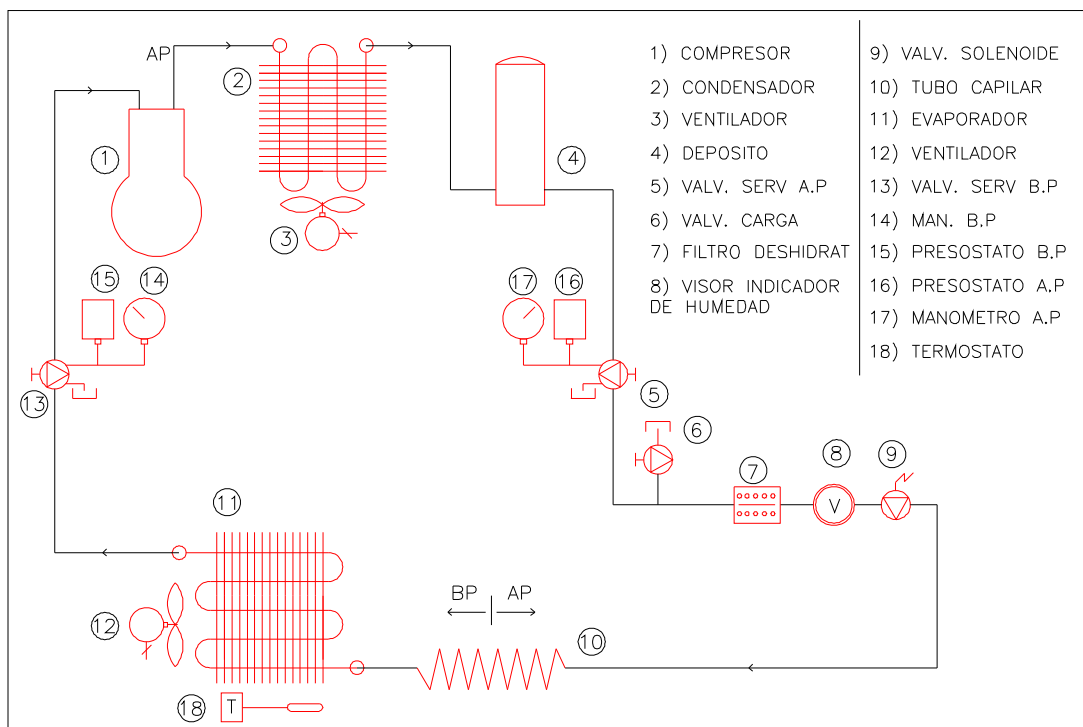


Figura 56: Esquema de instalación frigorífica realizada durante este curso, identificación de elementos.

Presostatos.- El presostato actúa en función de la presión, tanto en la parte de alta como de baja presión; existe un modelo de presostato combinado de alta y baja presión que realiza funciones de control de la presión de baja y de la presión de alta con un solo interruptor, accionado por dos sistemas de fuelles, llevando escalas indicadoras de las presiones de regulación, tanto de alta, como de baja y diferencial.

Termostato bimetálico.- El termostato bimetálico, está compuesto por dos láminas metálicas de diferente coeficiente de dilatación; los dos metales están soldados o laminados juntos, de forma que al someterlos a una misma temperatura, se dilatan desigualmente, provocando una deformación del conjunto, proporcional a la temperatura a que han sido expuestos.

Termostato con bulbo y capilar.- El bulbo es el elemento sensible, que contiene un gas dilatante que actúa en función de las variaciones de temperatura, y va conectado mediante un tubo capilar a un fuelle, que al acusar las diferencias de presión causadas por las variaciones de temperatura, acciona un interruptor que cierra o abre el circuito.

Filtros secadores.- Mientras que algunos tipos de fluidos frigoríficos reaccionan con la humedad existente en el circuito, con grandes inconvenientes para el sistema, otros no se ven afectados por tales circunstancias, pero la humedad que se va acumulando reduce la efectividad de la máquina, por lo que tanto en el caso de utilizar unos u otros tipos de fluidos frigoríficos, se hace necesaria la utilización de secadores. Los secadores más utilizados y eficaces son los de tipo desmontable, a base de cloruro de calcio, silicagel, que se pueden emplear con cualquier tipo de fluido frigorífico.

Los cartuchos secadores precisan ser renovados de acuerdo con las exigencias del sistema en que se encuentren instalados, ya que todo depende de la humedad, variable en cada caso, y del tipo de desecador empleado, pues mientras que el cloruro de calcio se hace pernicioso para el sistema cuando se ha saturado de humedad, el silicagel y el tamiz molecular pueden permanecer en el sistema indefinidamente.

Tanto el silicagel como el tamiz molecular se pueden regenerar, sometiendo los primeros a temperaturas de 160°C a 200°C y los segundos a temperaturas de 300°C.

Por lo perjudicial que es la humedad en el circuito del fluido frigorífico se comprende la necesidad de tomar precauciones sobre su instalación, por lo que será necesario que permanezcan herméticamente cerrados todos los elementos que componen la máquina frigorífica, así como en un manejo adecuado, tanto del fluido frigorífico, como del aceite lubricante que se utilice.

Existen en el mercado elementos que hacen una triple función, ya que actúan como filtro de partículas, como deshidratadores y como absorbentes de ácidos, y se utilizan en instalaciones frigoríficas de gran capacidad. Construidos en acero con cabeza atornillable, permiten el alojamiento de cartuchos fácilmente recambiables.

El filtro secador realiza dos funciones:

- Filtrar el fluido frigorífico mediante dos filtros, uno de los cuales es fino y el otro grueso.



- Secar o deshidratar, mediante un componente activo que retiene la humedad.

Esta última función es importante, ya que es el mismo gas que aspira el compresor el que refrigera el bobinado del motor, por lo que si existiera humedad podría dañar los aislantes y como consecuencia averiar el compresor.

Manómetros.- Sirven para controlar las presiones, y pueden ser de:

- Baja presión, yendo instalados en la tubería de aspiración o en la parte baja del sistema frigorífico.
- Media presión, instalados en la zona interetapas del compresor; también sirven para medir la presión del aceite lubricante
- Alta presión, instalados a la salida del compresor o parte alta del sistema frigorífico

Tubería frigorífica.

Las tuberías de cobre para refrigeración se sirven limpias de impurezas y cerradas por los dos extremos para evitar que tengan impurezas o humedad.

Se suele presentar en rollos (denominado recocado) o en barras (denominado estirado).

Los diámetros de tubo utilizados en refrigeración son:

<i>Denominación del tubo</i>	1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"
Diámetro nominal mm.	1/8"	1/4"	3/8"	1/2"	5/8"
Diámetro exterior mm.	6,35	9,52	12,7	15,87	19,05
Espesor mm.	1	1	1	1	1,05
Peso por metro Kg.	0,151	0,241	0,331	0,419	0,512
Sección interior cm ²	0,166	0,465	0,933	1,561	2,29

<i>Denominación del tubo</i>	7/8"	1"	1 1/8"	1 3/8"	1 5/8"
Diámetro nominal mm.	3/4"	7/8"	1"	1 1/4"	1 1/2"
Diámetro exterior mm.	22,22	25,4	28,57	34,92	41,28
Espesor mm.	1,14	1,2	1,27	1,4	1,52
Peso por metro Kg.	0,594	0,689	0,975	1,315	1,696
Sección interior cm ³	3,122	4,16	5,32	8,107	11,4

Tabla 7: Diámetro y propiedades de tubo de cobre para refrigeración.

Para más información consultar normativa; UNE-EN 12735-2=2001.

Cuando se dimensionan tuberías que utilizan refrigerantes HFC, hay que tener en cuenta una doble exigencia: la de suministrar al fluido una velocidad suficiente como para arrastrar el aceite a lo largo de la superficie interior de las mismas, asegurando así un buen coeficiente de transmisión del calor en el evaporador y en el condensador, y la de contener la caída dentro de límites tolerables a fin de no perturbar las condiciones de funcionamiento de los distintos elementos del circuito.

Por ejemplo, una disminución de la presión en la línea líquida antes de la válvula, reduce la capacidad de esta última y, en consecuencia, la del evaporador.

Por otra parte, una caída de presión en la línea de aspiración obliga al compresor a tener que trabajar a una presión inferior con un gas que presenta un volumen específico superior, lo cual se traduce en una reducción del caudal y del rendimiento frigorífico.

Para compensar la caída de presión a lo largo de la línea de alimentación, el compresor tiene que funcionar a una presión mayor, lo que influye negativamente sobre los rendimientos volumétrico y frigorífico.



FLUIDOS FRIGORÍFICOS Y ACEITES

Fluidos frigorígenos: Refrigerantes.

Definición y propiedades

De manera general, un refrigerante es cualquier cuerpo o sustancia que actúe como agente de enfriamiento, absorbiendo calor de otro cuerpo o sustancia.

Desde el punto de vista de la refrigeración mecánica por evaporación de un líquido y la compresión de vapor, se puede definir al refrigerante como el medio para transportar calor desde donde lo absorbe por ebullición, a baja temperatura y presión, hasta donde lo cede al condensarse a alta temperatura y presión.

Un refrigerante ideal ha de cumplir las siguientes propiedades:

- Ser químicamente inerte hasta el grado de no ser inflamable, ni tóxico, ni explosivo, tanto en estado puro como cuando esté mezclado con el aire en determinada proporción.
- No reaccionar desfavorablemente con los aceites o materiales empleados en la construcción de los equipos frigoríficos.
- No reaccionar desfavorablemente con la humedad, que a pesar de las precauciones que se toman, aparece en toda instalación.
- Su naturaleza será tal que no contamine los productos almacenados en caso de fuga.
- El refrigerante ha de poseer unas características físicas y térmicas que permitan la máxima capacidad de refrigeración con la mínima demanda de potencia.
- La temperatura de descarga de cualquier refrigerante siempre disminuye a medida que baja la relación de compresión. Por lo tanto deseamos que la temperatura de descarga sea la más baja posible para alargar la vida del compresor.
- El coeficiente de conductancia conviene que sea lo más elevado posible para reducir el tamaño y costo del equipo de transferencia de calor.
- La relación presión-temperatura debe ser tal que la presión en el evaporador para la temperatura de trabajo sea superior a la atmosférica, para evitar la entrada de aire y de humedad en el sistema en caso de fuga.
- Temperatura y presión crítica alejada de las condiciones de trabajo
- Punto de congelación deberá ser inferior a la temperatura mínima de trabajo.
- Finalmente ha de ser de bajo precio y fácil disponibilidad.

Identificación de los refrigerantes

Los refrigerantes se identifican por números después de la letra R, que significa "refrigerante". El sistema de identificación ha sido estandarizado por la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers), y en España se ha adoptado por indicación de la instrucción técnica complementaria MI-IF002 del vigente Reglamento de Seguridad para Plantas e Instalaciones Frigoríficas.

De acuerdo con la citada disposición los refrigerantes se denominarán o expresarán por su fórmula o denominación química, o si procede, por su denominación simbólica numérica, no siendo suficiente, en ningún caso, su nombre comercial.

En la práctica, los refrigerantes se identifican por su denominación simbólica numérica, que puede resumirse en la tabla siguiente:

Tipo de refrigerante	Denominación simbólica numérica	Leyenda	Ejemplos
Refrigerantes orgánicos puros	R - XYZ	X = N° de Carbonos - 1 (Si X = 0 no se pone) Y = N° de Hidrógenos + 1 Z = N° de Fluor	R-22 R-134a
Refrigerantes orgánicos puros con bromo	R - XYZ B N° de Bromos		R-13B1
Mezclas zeotrópicas	R-4xx	Números arbitrarios de la serie 400	R-407C R-410A
Mezclas azeotrópicas	R-5xx	Números arbitrarios de la serie 500	R-507A
Otros refrigerantes	R-6xx	Refrigerantes que no tienen cabida en otras denominaciones	R-600 R-600a
Refrigerantes inorgánicos	R-7+PM	PM = Peso molecular	R-717 R-744

Tabla 8: Denominación simbólica numérica de los refrigerantes.

Tipos de refrigerantes; Refrigerantes orgánicos puros

La mayoría de los refrigerantes orgánicos utilizados en la actualidad son hidrocarburos entre los que tenemos los siguientes tipos:

- CFC: (Flúor, Carbono, Cloro), Clorofluorocarbonado totalmente halogenado, no contiene hidrógeno en su molécula química y por lo tanto es muy estable, esta estabilidad hace que permanezca durante largo tiempo en la atmósfera afectando seriamente la capa de ozono y es una de las causas del efecto invernadero.(R-11, R-12, R-115). Está prohibida su fabricación desde 1995.

- HCFC: (Hidrógeno, Carbono, Flúor, Cloro), Es similar al anterior pero con átomos de hidrógeno en su molécula. La presencia de Hidrógeno le confiere menos estabilidad, en consecuencia, se descompondrá en la parte inferior de la atmósfera y no llegará a la estratosfera. Posee un potencial reducido de destrucción de la capa de ozono. Su desaparición está prevista para el año 2015. (R-22)
- HFC: (Hidrógeno, Flúor, Carbono), Es un Fluorocarbono sin cloro con átomos de hidrógeno sin potencial destructor del ozono dado que no contiene cloro. (R-134a, 141b).
- HC: Hidrocarburos no halogenados, compuestos orgánicos sin presencia compuestos únicamente por hidrógeno y carbono. Destacan por su buen comportamiento medioambiental, y presentan como principal inconveniente su carácter inflamable, son ejemplos el propano (R-290), el butano (R-600) y el isobutano (R-600a)

Mezcla de refrigerantes orgánicos; Mezclas zeotrópicas.

Se llama así a las mezclas formadas por dos o más componentes (refrigerantes puros) de diferente volatilidad. Cuando estas mezclas se evaporan o se condensan en un sistema de refrigeración, su composición y su temperatura de saturación cambian.

La palabra zeótropo se deriva de las palabras griegas zein= hervir, y tropos= cambiar. Al hervir esta mezcla en un evaporador, la composición del líquido remanente cambia. Esto es, al empezar a hervir el líquido, se evapora un porcentaje más elevado del componente más volátil. Por lo tanto, conforme continúa hirviendo la mezcla, el líquido remanente tiene menor concentración del componente más volátil, y mayor concentración del menos volátil. El cambio de composición del líquido, da como resultado un cambio en el punto de ebullición. La temperatura a la cual empieza a hervir el líquido (líquido saturado), se le conoce punto de burbuja.

La temperatura a la cual se evapora la última gota de líquido (vapor saturado), se le llama punto de rocío. A una misma presión, la temperatura del punto de burbuja es más baja que la del punto de rocío para cualquier mezcla zeotrópica. A este fenómeno se le conoce como "deslizamiento de temperatura". El R-401A es una mezcla zeotrópica formada por R-22 (53%), R-152a (13%) y R-124 (34%). Este deslizamiento de temperatura también ocurre en el condensador, pero aquí, la temperatura de condensación disminuye en lugar de aumentar. El inicio de la condensación es en su punto de rocío, cuando todo el vapor se ha condensado, este es el punto de burbuja. El deslizamiento de temperatura puede variar, dependiendo de la mezcla, desde 1° ó 2° C hasta varias decenas de grados centígrados. Cuando una mezcla tiene un deslizamiento menor, que no conduce a errores consecuentes en el cálculo para una aplicación en un sistema de refrigeración, se le llama "mezcla casi azeotrópica".

De 1990 a la fecha, los fabricantes de refrigerantes han desarrollado más mezclas zeotrópicas de las que existían, hasta antes de dicho año. Estas mezclas son transitorias y se desarrollaron para substituir a los refrigerantes HCFC's, tales como el R-12, el R-22 y el R-502. Estos últimos van a dejar de fabricarse y usarse alrededor del año 2030.

Estas mezclas ya se encuentran disponibles comercialmente, y algunas se van a quedar permanentemente como sustitutos para el R-22 y el R-502.

A las mezclas zeotrópicas comerciales, se les debe asignar un número de identificación en la serie 400. Este número indica qué componentes se encuentran en la mezcla, pero no el porcentaje de cada uno de ellos.

Mezcla de refrigerantes orgánicos; Mezclas Azeotrópicas.

Se llama así a las mezclas de dos o más componentes de diferente volatilidad, las cuales, al ser utilizadas en un sistema de refrigeración, NO cambian su composición ni su temperatura de saturación al hervir en el evaporador, o se condensan a una presión constante.

La composición del líquido es la misma que la del vapor.

Las mezclas azeotrópicas pueden inclusive ser destiladas, sin que cambie su composición. El prefijo "a" antes de la palabra zeótropo, es de raíz latina, y significa una negación, por lo que la palabra azeótropo se puede interpretar como que "no cambia al hervir". Al combinar los componentes, la mezcla resultante se comporta en muchas maneras, como si fuera un solo refrigerante puro, con una sola temperatura de saturación correspondiente a una presión dada.

Generalmente el punto de ebullición resultante de una mezcla azeotrópica, es menor o igual que el del componente con el más bajo punto de ebullición.

Algunos fabricantes de refrigerantes se han adelantado al defasamiento, y han desarrollado mezclas a base de hidrofluorocarbonos (HFC), los cuales no dañan la capa de ozono. Estas mezclas surgieron como alternativas para los HCFC's, tales como el R-22, el R-502 y el R-503 y algunos se van a quedar en forma permanente. Tal es el caso del R-507, el cual es una mezcla azeotrópica con 50% de R-125 y 50% de R 134a, y sustituye al R-22 o al R-502 en aplicaciones de media y baja temperatura. A las mezclas azeotrópicas que se comercialicen, deberá asignárseles un número de identificación progresiva de la serie 500.

Ventajas de los Azeótropos como Refrigerantes.

Ambas mezclas, las zeotrópicas y las azeotrópicas, pueden usarse como refrigerantes. En sistemas con evaporador tipo "seco" o de expansión directa, la mezcla completa se evapora antes de salir del evaporador. La composición permanece igual a través de todo el ciclo de refrigeración, y ambas mezclas pueden utilizarse bajo estas condiciones. En sistemas con evaporadores de tipo "inundado", una mezcla azeotrópica tendrá la ventaja de composición constante durante la evaporación. Con las mezclas zeotrópicas, es probable que el líquido en el evaporador sea mucho más rico en el componente de más alto punto de ebullición.

En relación con lo explicado anteriormente, una consecuencia negativa del comportamiento de las mezclas zeotrópicas se produce en caso de tener una fuga de una parte del gas refrigerante, el problema radica en que cambia la composición de la mezcla que queda en el interior, por lo cual el resto de refrigerante que nos queda en el interior ya no nos serviría por tener alterada su composición química.



Otra ventaja es el bajo punto de ebullición del azeótropo, lo que significa temperaturas de evaporación más bajas y con frecuencia, mayor capacidad. Por ejemplo, el R-500 tiene un 20% más de capacidad que el R-12 cuando se utiliza en las mismas condiciones, con el mismo propósito y con el mismo tamaño de motor.

Los refrigerantes de mezclas azeotrópicas más empleadas comercialmente, son el R-500, el R-502, el R-503 y el R-507. Estos son refrigerantes patentados y el proceso de fabricación es bastante complejo, por lo que los técnicos de servicio no deben intentar nunca hacer sus propias mezclas.

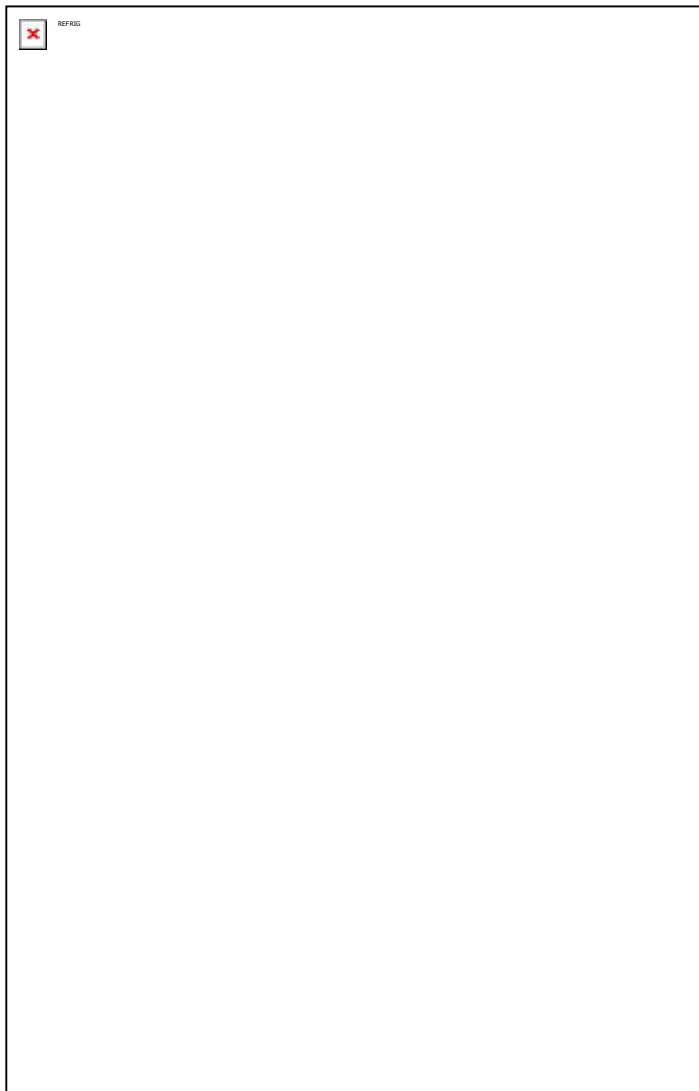


Figura 57: Temperaturas de cambio de estado para diversos refrigerantes.

Fluidos frigoríferos: Salmueras

Las salmueras originalmente estaban compuestas por agua con una elevada cantidad de sal disuelta, aunque actualmente existen fluidos frigoríferos orgánicos basados en glicoles y en otros compuestos. Se utilizan en sistemas frigoríficos como medio de transmisión de calor en el circuito secundario debido a su bajo punto de congelación (solidificación).

Propiedades Deseables en las Salmueras

- Punto de congelación adecuado. Suficientemente alejado de la temperatura de uso (4° C de diferencia).
- Aplicación. Posibilidad de que la salmuera se contamine con el producto sin perder propiedades (muy importante en sistemas abiertos).
- No tóxica. Importante en función de la aplicación.
- No inflamables.
- Propiedades físicas adecuadas. Viscosidad, calor específico y densidad.
- No corrosiva.

Tipos de salmueras

1. Agua. Adecuada para temperaturas mínimas de + 4° C.
2. Soluciones acuosas de sales inorgánicas:
 - a. Agua + Cloruro de sodio (sal común): $H_2O+NaCl$.
 - b. Agua + Cloruro de Calcio: $H_2O+CaCl$. (sales en escamas).
3. Soluciones acuosas de sustancias orgánicas. Alcoholes o Glicoles
 - a. Agua + Etanol (alcohol común).
 - b. Agua + Metanol (alcohol de quemar).
 - c. Agua + Etilenglicol.
 - d. Agua + Propilenglicol.
4. Hidrocarburos
 - a. Tricloroetileno.
5. Salmueras sintéticas
 - a. Tyfoxit.

Los inconvenientes del uso de las salmueras son:

- Dificultad para obtener muy bajas temperaturas con salmueras de bajo coste.
- La mayoría de las salmueras tienen tendencia a la corrosión, hay que usar aditivos inhibidores de la corrosión.



- Requieren temperaturas de evaporación más largas que los sistemas de expansión directa.
- El intercambio térmico refrigerante-salmuera supone una pérdida de rendimiento energético.

Aceites lubricantes

El compresor en un sistema de refrigeración mecánico, debe ser lubricado para reducir la fricción y evitar el desgaste. El tipo especial de lubricante utilizado en los sistemas de refrigeración, se llama aceite para refrigeración.

Este aceite debe cumplir ciertos requerimientos especiales, que le permiten realizar su función lubricante, sin importar los efectos del refrigerante y las amplias variaciones de temperatura y presión.

Los aceites lubricantes deben de realizar las funciones siguientes:

- Lubricar. Disminuir la fricción entre partes móviles.
- Refrigerar. Las piezas del compresor en movimiento.
- Estanqueidad. Efectuar cierre entre zonas a distinta presión y con respecto al exterior.
- Corrosión. Prevenir la corrosión.
- Fluido de Potencia en la regulación de capacidad en determinados compresores (circuitos hidráulicos).
- Silenciar.

Existen diferentes tipos de aceites lubricantes de aplicación en equipos de refrigeración, pudiendo ser minerales o sintéticos, los más importantes son los siguientes:

- MO: Aceite mineral. Incompatible HFC. Buen lubricante.
- AB: Alquil-bencénico. Buen lubricante. Incompatible HFC.
- POE: Aceite sintético. Buen Lubricante. Bastante higroscópico.
- PAG: Aceite sintético polialquil-glicol. Es un buen lubricante. Pero es muy higroscópico.

Las características que debe poseer un buen aceite de lubricación son las siguientes:

- Viscosidad adecuada: fluir a bajas temperaturas, lubricar a altas temperaturas.
- Punto de congelación bajo.
- No dejar residuos de ceras o parafinas a bajas temperaturas, (flocularse).
- Buena rigidez dieléctrica.
- Puntos de inflamación y combustión conocidos.
- Estable a la oxidación.
- Baja tendencia a la corrosión.

Usos de los aceites

Los Aceites minerales no son adecuados para bajas temperaturas de evaporación. Los aceites minerales con Bases nafténicas son los más utilizados y son apropiados para:

- Refrigerantes tradicionales CFC.
- Refrigerantes de transición HCFC.

Los aceites minerales con Bases parafínicas son utilizados para usos más concretos y son apropiados para el refrigerante amoniaco.

Los Aceites Sintéticos son obtenidos por síntesis química, y son los siguientes:

Los Aceites alquilbencénicos (hidrocarburos de síntesis), se pueden mezclar con los aceites minerales, sus compatibilidades son:

- No compatibles con R134a y los HFC.
- Compatibles con los refrigerantes CFC.
- Compatibles con los refrigerantes HCFC (Recomendados para baja temperatura de evaporación, en sistemas donde el retorno de aceite mineral no esté garantizado).

Los Aceites POE (ésteres orgánicos y poliéster), son Compatibles con todos los refrigerantes CFC, HCFC y HFC (son los más caros).

Los Aceites PAG (poliglicoles), son extremadamente higroscópicos, aplicación única en automoción con R134a.

Los Aceites PAO (Polialfaolefinas) no son recomendables con refrigerantes HFC.

La miscibilidad del Refrigerante y el Aceite es una característica necesaria para permitir que se mezclen. Dos líquidos son miscibles cuando forman una mezcla en cualquier proporción. Dos líquidos pueden ser parcialmente miscibles, dado que pueden ser miscibles a alta temperatura y no serlo a baja temperatura.

La solubilidad nos indica la capacidad de formar mezclas homogéneas.

COMPATIBILIDAD Y MISCIBILIDAD DE LUBRICANTES CON REFRIGERANTES

REFRIGERANTE	ACEITE MINERAL	ACEITE MINERAL + ALQUILBENCENICO	ACEITE ALQUILBENCENICO	ACEITE POLIOESTER
R134a	NO COMPATIBLE	NO COMPATIBLE	NO COMPATIBLE	COMPATIBLE
DI36	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE
R401A	NO COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE
R401B	NO COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE
R404A	NO COMPATIBLE	NO COMPATIBLE	NO COMPATIBLE	COMPATIBLE
DI44	NO COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE
R403B	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE
R402A	NO COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE
R402B	NO COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE
R22	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE
R407C	NO COMPATIBLE	NO COMPATIBLE	NO COMPATIBLE	COMPATIBLE
R417A	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE
R123	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE
R507	NO COMPATIBLE	NO COMPATIBLE	NO COMPATIBLE	COMPATIBLE
R413A	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE
R409A	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE
R408A	NO COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE
R410A	NO COMPATIBLE	NO COMPATIBLE	NO COMPATIBLE	COMPATIBLE
R422A	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE
R422D	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE
R423A	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE

Tabla 9: Compatibilidad y miscibilidad de lubricantes con refrigerantes.

GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE PLANTAS FRIGORÍFICAS

Detección de averías frecuentes

Tablas de averías comunes

CIRCUITO FRIGORÍFICO/ DIAGNOSIS DE AVERÍAS

Si la unidad tiene...	La línea de aspiración estará...	La línea de descarga estará...	El tubo capilar estará...	El evaporador estará...	El condensador estará...	El consumo será...
La carga de refrigerante correcta	Fria pero ligeramente más caliente que el eva.	Muy caliente	Templado	Frio	Muy caliente	Normal
Falta de refrigerante	Templada, próxima a T° ambiente	Caliente	Templado	Parcialmente templado a la salida. Muy frio a la entrada	Caliente	Más bajo de lo normal
Exceso de refrigerante	Muy fria. Escarcha	Templada/caliente	Frio	Fresco/frio	Ligeramente templado. Caliente	Mayor de lo normal
Restricción parcial en el lado de alta	Templada, próxima a T° ambiente	Muy caliente	Fresco	Parcialmente templado a la salida. Muy frio a la entrada	Parte inferior fria comparada con la parte superior	Más bajo de lo normal
Restricción total en el lado de alta	T° ambiente	Caliente y luego a T° ambiente	T° ambiente	Fresco y luego a T° ambiente	Templado y luego a T° ambiente	Alto y luego bajo



SÍNTOMAS	CAUSAS	RAZONES	VERIFICACIÓN	SOLUCIÓN
El compresor no gira	Fusible fundido	Compresor, cableado o conexiones derivadas	Comprobar cableado, bornes y resistencia de aislamiento del compresor	Sustituir el elemento derivado
El compresor no gira	Fusible fundido	Fusibles pequeños o con mal contacto	Comprobar consumo y calentamiento de los fusibles	Sustituir los fusibles y sus bases si fuera necesario
El compresor no gira	Fusible fundido	Compresor agarrotado	Reponer fusibles y comprobar consumo	Sustituir compresor
El compresor no gira	Relé térmico saltado	Consumo excesivo	Comprobar las conexiones de todos los elementos	Asegurar y sanear las conexiones deficientes
El compresor no gira	Relé térmico saltado	Defectos del contactor	Comprobar que la tensión de suministro es correcta	Consultar a la compañía suministradora
El compresor no gira	Relé térmico saltado	Térmicos inadecuados	Rearmar térmico, comprobar consumo	Sustituir el compresor si el consumo es alto
El compresor no gira	Circuito Bobina con corriente	Bobina quemada o cortada	Comprobar con un óhmetro	Sustituir bobina

CIRCUITO FRIGORÍFICO/ DIAGNOSIS DE AVERÍAS

SÍNTOMAS	CAUSAS	RAZONES	VERIFICACIÓN	SOLUCIÓN
El compresor no gira	Presostato de alta saltado	Escaso caudal de agua para condensación	Comprobar las posibles obstrucciones en línea y diferencia de T° entrada/salida agua elevada	Limpia el filtro de agua, comprobar válvulas abiertas, sustituir tuberías si fuera necesario
El compresor no gira	Presostato de alta saltado	Escaso caudal de aire para condensación	Comprobar sentido de giro del ventilador del condensador, transmisiones, consumo del motor y obstrucciones en los conductos de aire de condensación	Cambiar sentido de giro al motor, tensar correas, aumentar revoluciones, eliminar obstrucciones
El compresor no gira	Presostato de alta saltado	Condensador sucio	Comprobar que la diferencia de temperaturas del agua o del aire de condensación, (entrada/salida) es pequeña	Limpia el condensador con cepillo y nitrógeno seco, si es de aire, y con dicoloid si es de agua.
El compresor no gira	Circuito de bobina sin corriente	Termostato defectuoso	Ajustar los puntos superior e inferior y puentear el termostato. Analizar el efecto producido por cada uno de estos pasos	Conectar bien o sustituir el termostato
El compresor no gira	Circuito de bobina sin corriente	Presostato de alta o bajo defectuoso	Comprobar presiones de funcionamiento. Puentear presostatos uno a uno y analizar resultados	Sustituir presostato averiado

CIRCUITO FRIGORÍFICO/ DIAGNOSIS DE AVERÍAS

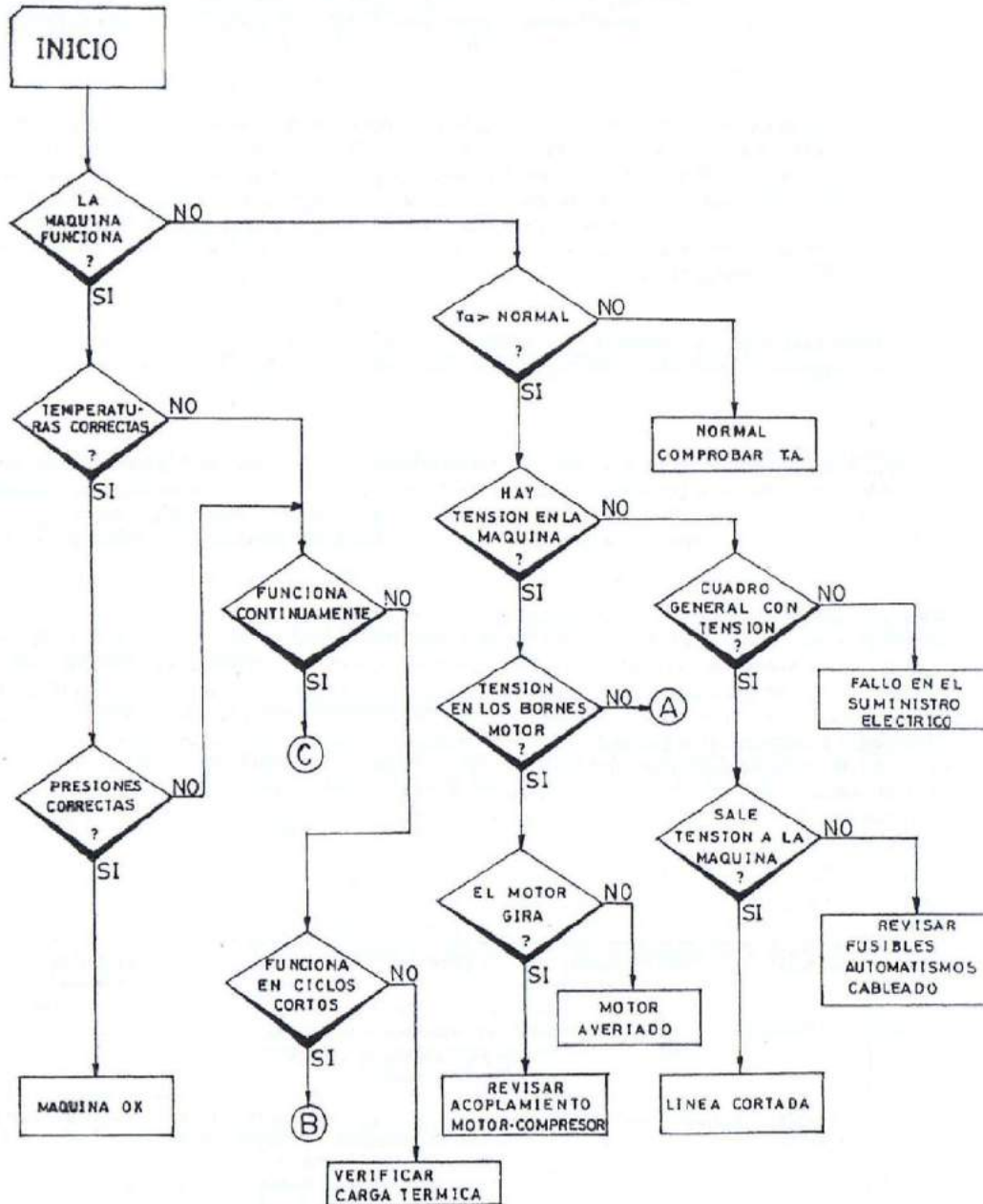
SÍNTOMAS	CAUSAS	RAZONES	VERIFICACIÓN	SOLUCIÓN
Compresor que trabaja intermitentemente	Presostato de baja corta y recupera continuamente.	Falta de refrigerante	Comprobar presiones y temperaturas de funcionamiento. Observar si se produce burbuja en visor de líquido	Probar fugas, corregirlas y completar la carga de gas
Compresor que trabaja intermitentemente	Presostato de baja corta y recupera continuamente.	Obstrucciones en el circuito	Comprobar si al parar el compresor las presiones de aspiración y descarga se igualan muy lentamente. Existe obstrucción	Limpia y sustituir el elemento obstruido
Compresor que trabaja intermitentemente	Presostato de baja corta y recupera continuamente.	Válvula de expansión cerrada	Quitar el bulbo de la línea de aspiración, calentarlo con la mano y observar el comportamiento de la válvula	Sustituir la válvula de expansión si no abre al calentar el bulbo
Compresor que trabaja intermitentemente	Presostato de baja corta y recupera continuamente.	Escaso caudal de aire en evaporación	Comprobar que el ventilador gira bien y que los filtros de aire y el aletado de la batería están limpios. Comprobar estado y tensión de las correas.	Corregir el sentido de giro. Limpia filtros de aire. Limpia evaporador. Tensar o sustituir correas del ventilador.
Compresor gira pero la unidad no enfría	Falta refrigerante	Fugas	Comprobar la T° de la línea de líquido y si se producen burbujas en el visor de líquido	Probar fugas, corregirlas y completar carga de gas
Compresor gira pero la unidad no enfría	El compresor no bombea	Válvulas de culata rotas o juntas defectuosas.	Comprobar recalentamiento del compresor, consumo y presiones de funcionamiento. Una alta presión de aspiración y baja de descarga, con compresor caliente, indica que éste no bombea	Sustituir compresor
Compresor ruidoso	Refrigerante líquido en aspiración	Válvula de expansión rota o abierta	Comprobar presión y T° de aspiración (Alta presión y baja T° indica que aspira líquido)	Cambiar válvula de expansión
Compresor ruidoso	Desgaste de los cojinetes/piezas internas	Envejecimiento de componentes mecánicos	El compresor trabaja correctamente a pesar de hacer ruidos anormales	Cambiar compresor

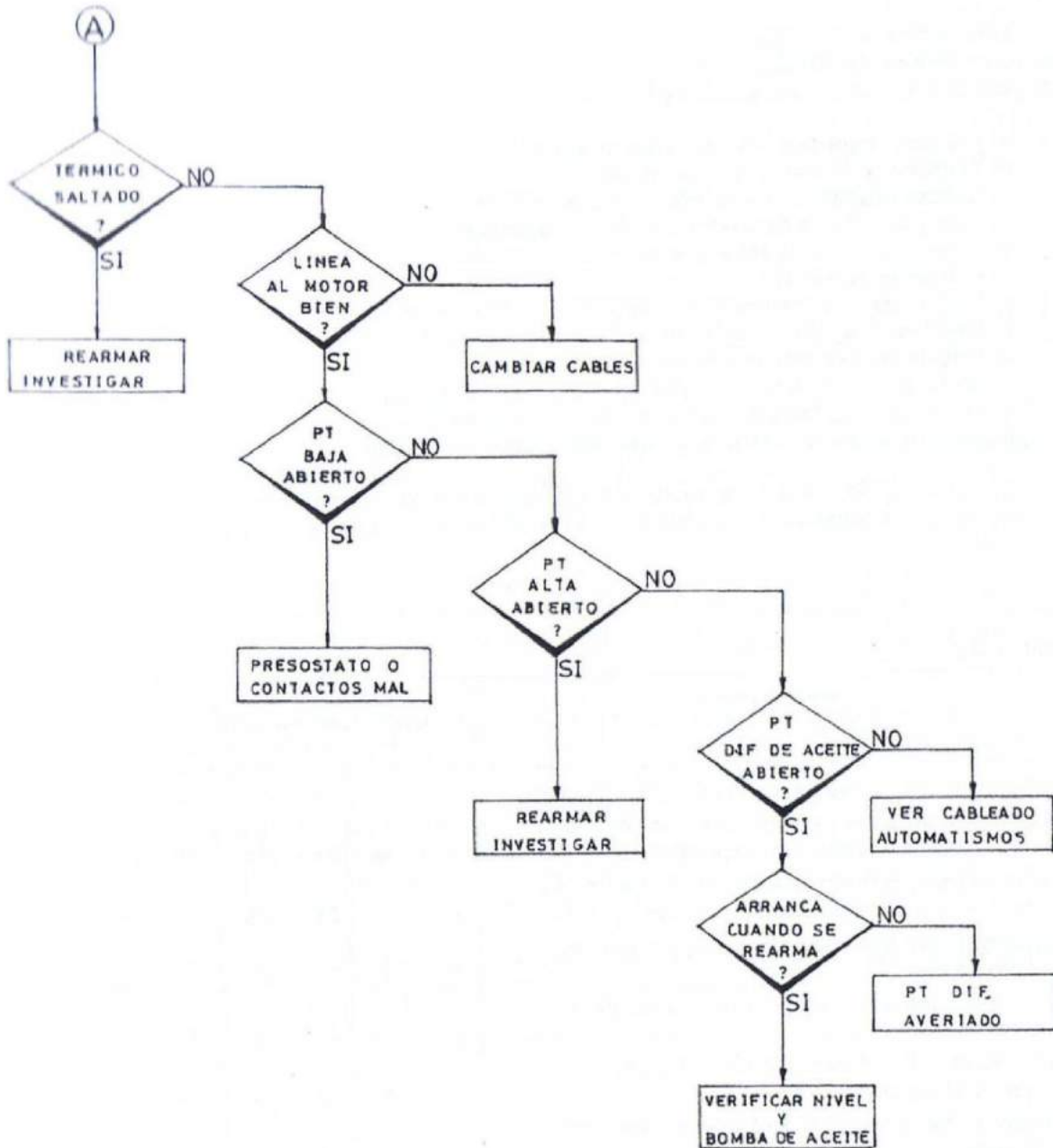


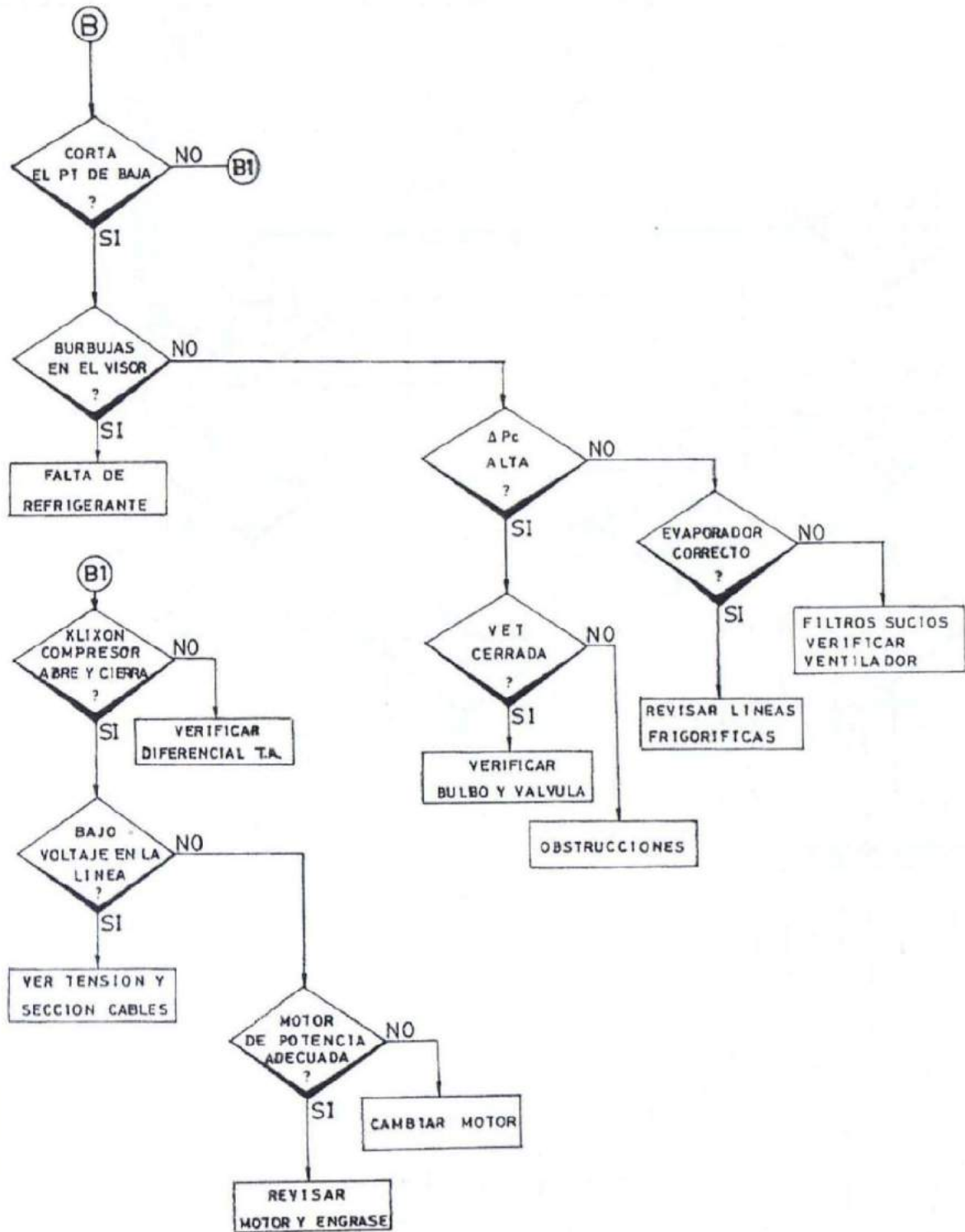
Diagrama de flujo para diagnóstico de averías

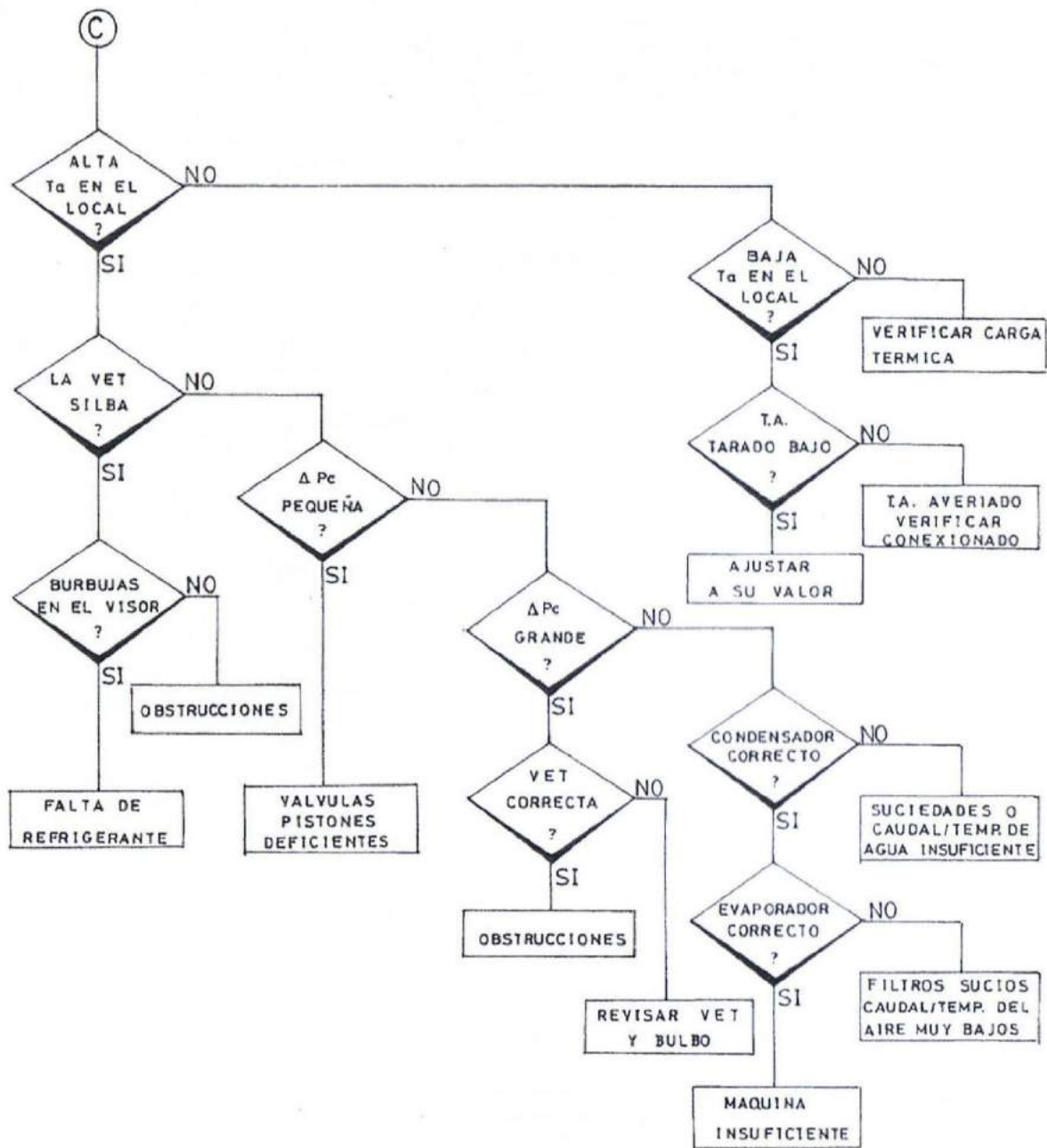
Notas

TA = Termostato Ambiente
T_a = Temperatura ambiente
 ΔP_c = Pdescarga - Pspiración
PT = Presostato
VET = Válvula expansión termostática











Observación del régimen de trabajo de la instalación Frigorífica

Observación	Funcionamiento normal de la instalación	Funcionamiento con carga de refrigerante inferior a la requerida	Funcionamiento con carga de refrigerante excesiva	Funcionamiento con mala condensación
Presión y temperatura de evaporación	Temperatura de evaporación menor que la de la cámara o bodega: - Fresco: entre 6 y 12°C - Congelado: entre 5 y 7°C	Menor de lo normal	Mayor de lo normal	Normal / Mayor de lo normal
Presión y temperatura de condensación	- Condensación por aire: Temperatura de condensación entre 10 y 15°C mayor que la de el aire a la entrada al condensador. - Condensación por agua: Temperatura de condensación entre 7 y 9°C mayor que la temperatura del agua a la salida del condensador	Menor de lo normal	Mayor de lo normal	Mayor de lo normal, posible parada por presostato de alta presión.
Recalentamiento	- Útil (en el bulbo de la válvula de expansión termostática): Del orden de 5°C - Total (en la aspiración del compresor): Entre 15 y 20°C	Muy elevado, mayor de lo normal	Bajo, compresor frío, con condensación o escarcha. ATENCIÓN: Riesgo de golpe de líquido.	Normal
Presencia de burbujas en el visor de líquido	NO	sí	NO	sí
Temperatura del compresor	Mayor que la ambiente, sin hielo ni condensación más allá de la válvula de aspiración.	Alta, compresor caliente, incluso parada por térmico (klixon) en herméticos y semiherméticos	Bajo, compresor frío, con condensación o escarcha. ATENCIÓN: Riesgo de golpe de líquido.	Alta.
Intensidad absorbida por el compresor	Próxima a la nominal	Inferior a la nominal	Superior a la nominal	Superior a la nominal

Tabla 10: Régimen de trabajo instalación frigorífica.

BIBLIOGRAFIA

Tratado práctico de refrigeración automática. J. Alarcón Creus.

Instalaciones frigoríficas, vol I. y II. P. Rapin y P. Jacquard.

Prontuario de frío. P. Rapin.

Tecnología de la refrigeración y Aire Acondicionado, W. Witman y W. Johnson.

Documentación técnica de los fabricantes de los equipos empleados.

REGLAMENTO DE SEGURIDAD PARA PLANTAS E INSTALACIONES FRIGORIFICAS, Real Decreto 3099/1977, de septiembre.

Ciclos de Refrigeración por compresión, Pedro Fernández Díez, Dep. de Ing. Eléctrica y Energética, U. de Cantabria

Refrigeración y Calefacción, Pedro Fernández Díez, Dep. de Ing. Eléctrica y Energética, U. de Cantabria