

## 3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS COMPRESORES

Los compresores se pueden clasificar según varios criterios.

Una clasificación tiene en cuenta la forma en que se produce la compresión:

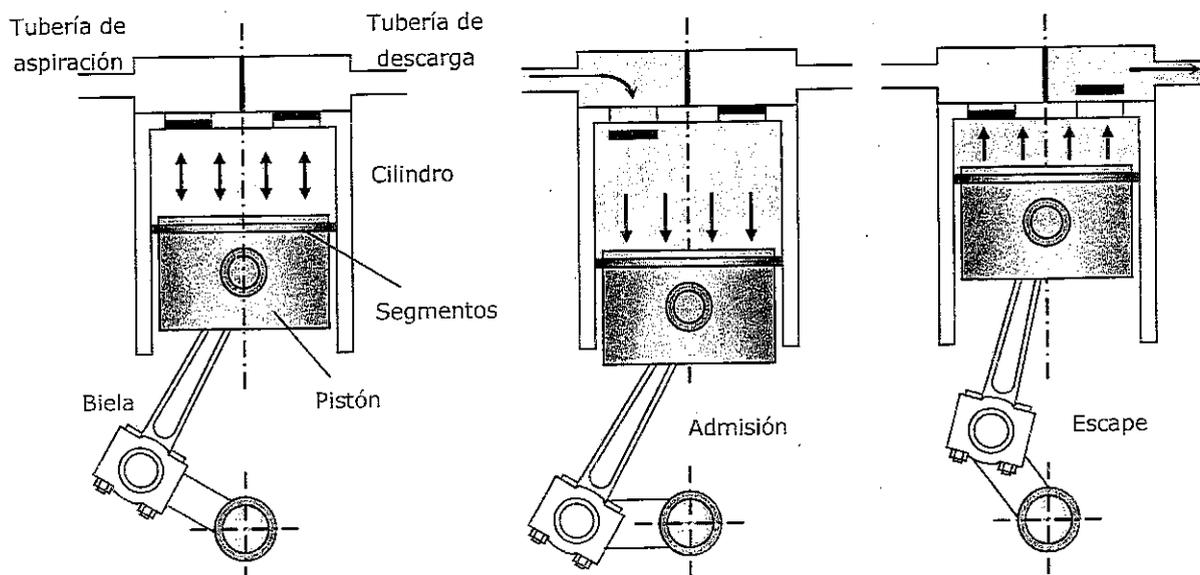
- **Compresores de desplazamiento positivo (volumétricos).** Queda retenida en el compresor una cantidad de gas que experimenta una variación negativa de volumen. Se dividen, a su vez, en: **alternativos** (recíprocos o reciprocantes) y **rotativos**.
- **Compresores centrífugos (turbocompresores).** Tienen un dispositivo (impulsor o rodete) donde se produce un cambio del momento cinético del gas. Se dividen en: **radiales** y **axiales**, según la dirección del gas respecto al eje de rotación del rodete.

### 3.1.1 COMPRESORES ALTERNATIVOS

Los compresores alternativos transforman un movimiento rotativo en otro alternativo, semejante a los motores de combustión interna pero en sentido inverso. Están formados por:

- 1) Cámara de compresión en forma de cilindro (parte fija).
- 2) Pistón o émbolo (parte móvil) que se desliza interiormente por el cilindro. El pistón está unido a través de una biela de transmisión a un motor accionador.

Los segmentos colocados en el émbolo aseguran la estanquidad entre éste y el cilindro, separando la alta presión (interior del cilindro) de la parte de baja presión (cárter).



En los compresores pequeños en lugar de segmentos se utilizan pistones con ranuras, que aseguran la estanquidad por las importantes pérdidas de carga que sufre el gas al atravesarlas, y por la película creada por el aceite de lubricación.

El tamaño de estos compresores oscila desde 1/8 HP (90 W) hasta 900 kW o más.

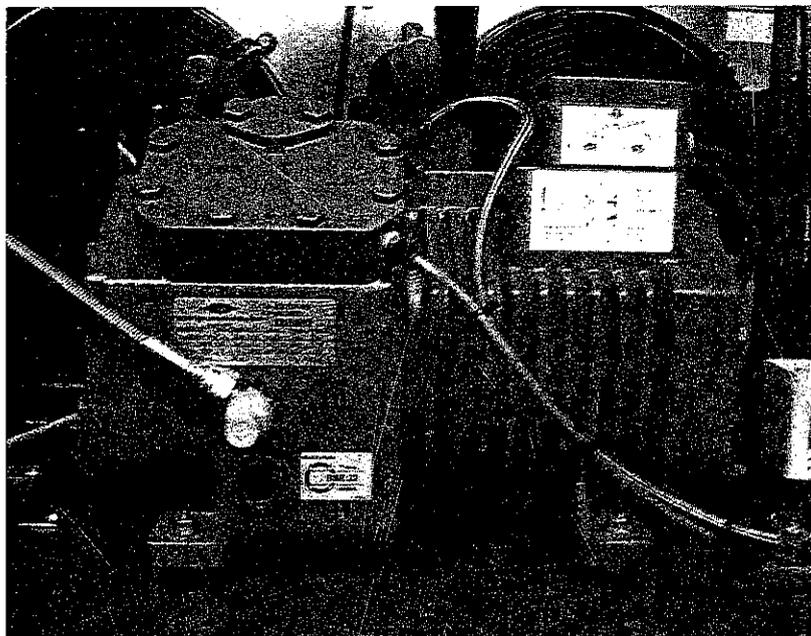
Los compresores alternativos se clasifican en:

### 1) Herméticos

- Todo el conjunto motor-compresor va dentro de una carcasa soldada sin accesibilidad.
- Normalmente se instalan en equipos de pequeña potencia, siendo de menor coste.
- Ventajas:
  - 1) Motor refrigerado por el propio refrigerante
  - 2) Sin transmisiones.
- Inconveniente: En caso de avería del motor, el refrigerante puede quedar contaminado y la reparación plantea más dificultades que en los otros tipos.

### 2) Semiherméticos (herméticos accesibles)

- El eje del motor es prolongación del cigüeñal del compresor y están en una misma carcasa accesible desde el exterior.
- Se utilizan en potencias medias.
- Ventajas:
  - 1) Son más accesibles, pues el plato de válvulas es desmontable y todas las partes internas pueden cambiarse fácilmente en caso necesario
  - 2) Eliminan los problemas de alineamiento entre el motor y el compresor.
- Inconveniente: El mismo que en el caso anterior.



### 3) Abiertos (todos los que utilizan $\text{NH}_3$ )

- El cigüeñal es accionado por un motor exterior al compresor.
- Se utilizan para medias y grandes potencias y son los más versátiles y accesibles.
- Ventaja: No existe el riesgo de contaminar el refrigerante.
- Inconvenientes:
  - 1) Vibraciones a causa de las transmisiones que necesita
  - 2) Si se emplean correas son importantes la correcta alineación y tensión de éstas.

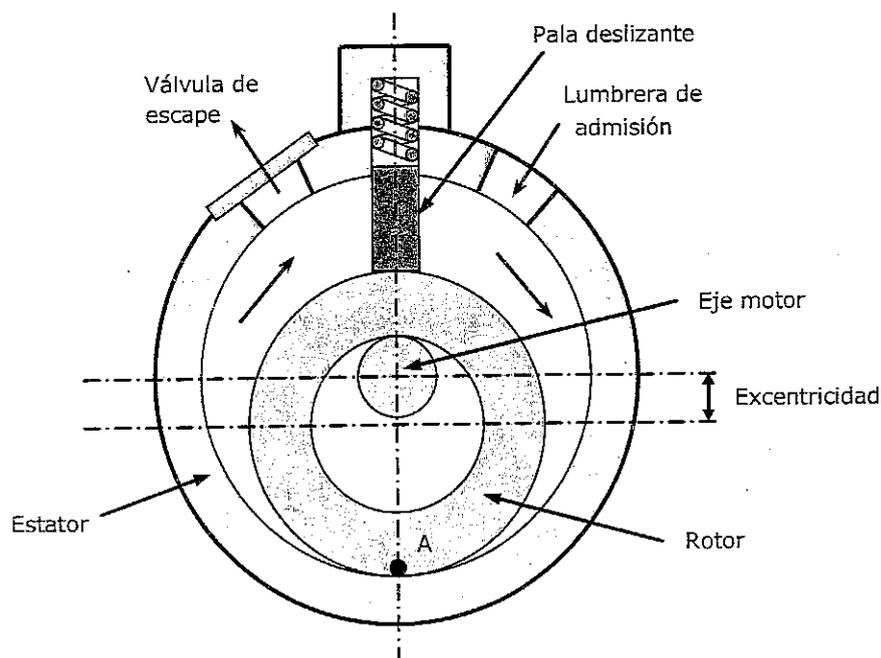
#### 3.1.2 COMPRESORES ROTATIVOS

##### COMPRESORES ROTATIVOS DE PISTÓN RODANTE

Los compresores rotativos poseen acoplamiento directo del motor y no tienen válvulas de admisión, circulando el gas siempre en el mismo sentido.

Admiten elevadas relaciones de compresión (7:1), ya que el aceite lubricante, que ha de ser abundante, sirve además para eliminar el calor producido por la compresión. Están sujetos a mucha menos vibración mecánica que los compresores alternativos.

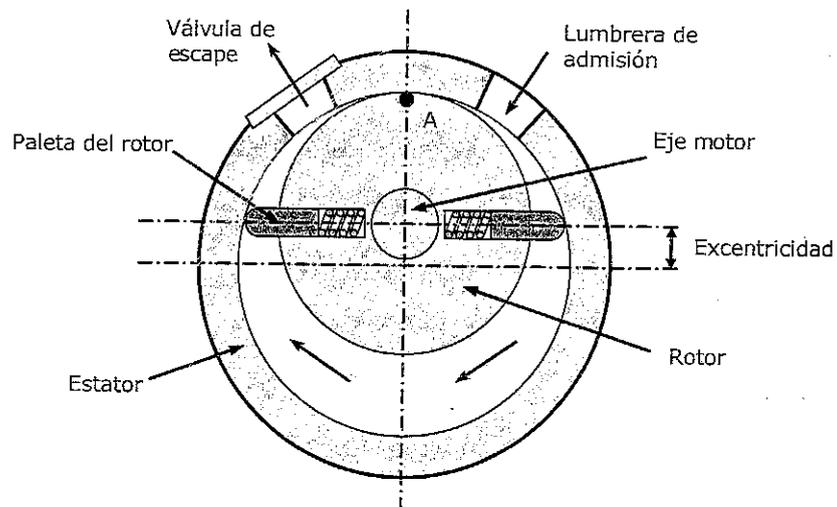
En los compresores de pistón rodante (rodillo), el eje motor y el eje del estator son concéntricos, mientras que el eje del rotor es excéntrico una distancia "e" respecto a ellos.



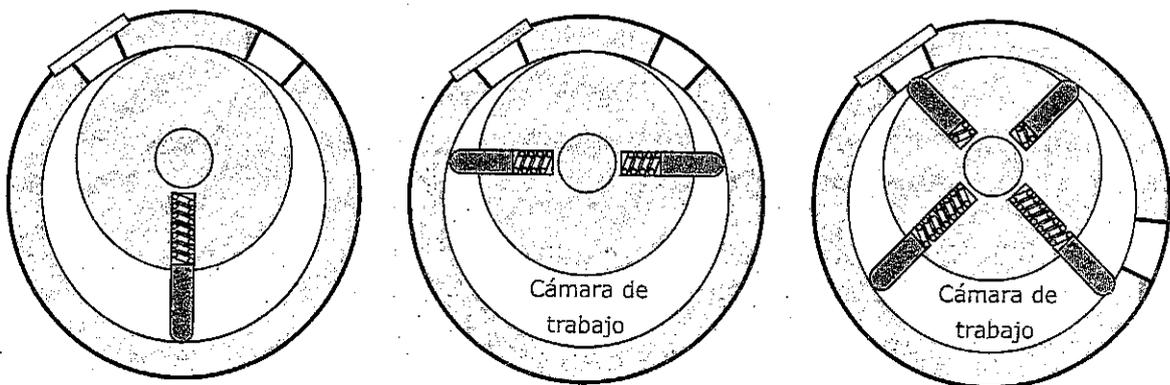
Aplicaciones: Equipos de pequeño tamaño, como los acondicionadores de ventana, los refrigeradores domésticos, etc. Estos compresores son extremadamente eficientes.

## COMPRESORES ROTATIVOS DE PALETAS

El eje motor es excéntrico respecto al eje del estator y concéntrico respecto al eje del rotor (ver figura). El rotor es un cilindro hueco con ranuras radiales en las que las palas están presionadas por un resorte a fin de lograr un mejor sello.

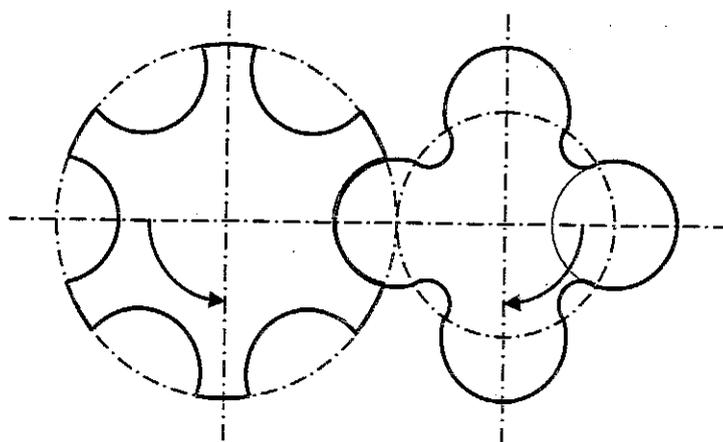


Los compresores rotativos no incorporan válvulas de aspiración, pero las válvulas de descarga sí son indispensables en los compresores de tipo monocelular y bicelular.



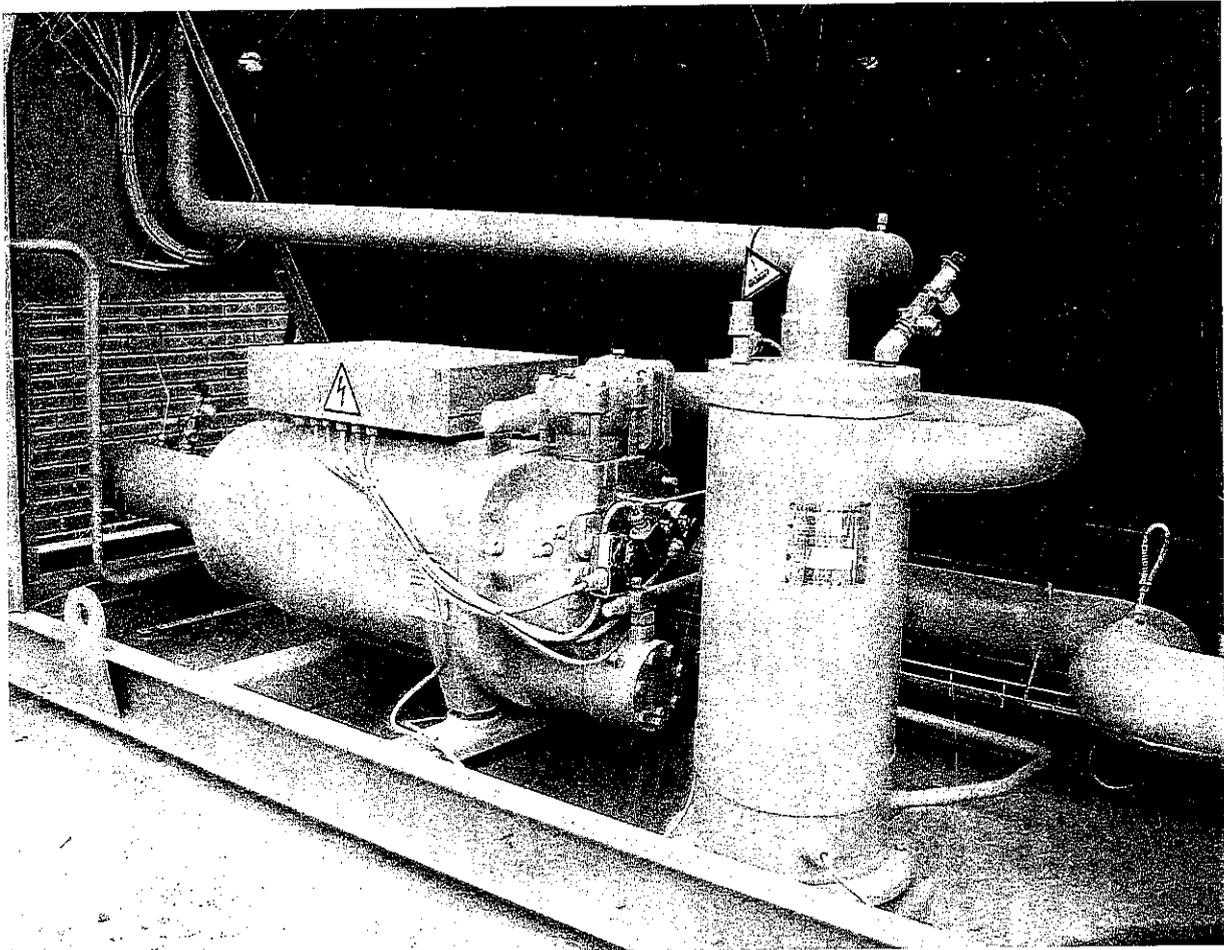
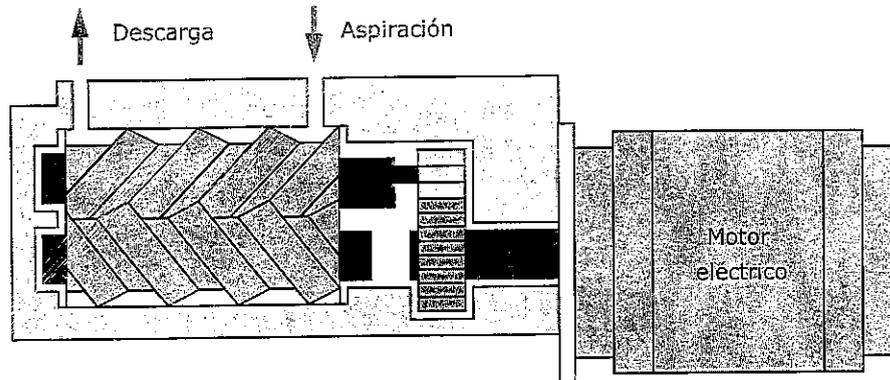
## COMPRESORES ROTATIVOS DE TORNILLO (HELICOIDALES)

El compresor de tornillo utiliza un doble conjunto de rotores (macho y hembra). El rotor macho tiene usualmente cuatro lóbulos que engranan dentro de seis alvéolos del rotor hembra (disposición 4 + 6), hallándose este rotor accionado por el primero (ver figura).



Estos compresores requieren un alto grado de calidad en las tolerancias, lo cual supone elevados costos de fabricación. Pueden alcanzar relaciones de compresión de hasta 20:1.

El gas, debido al giro, queda prisionero entre los espacios de los rotores, siendo transportado de un extremo al otro del engranaje donde se hallan la admisión y el escape.

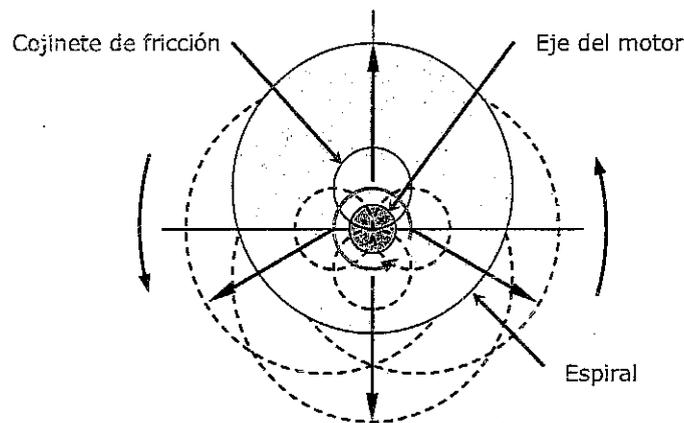


### COMPRESORES ROTATIVOS DE ESPIRAS (SCROLL)

El compresor de espiras emplea dos piezas en forma de espiral, una fija (superior) y la otra móvil (inferior) accionada por el eje del motor. El centro de rotación de la espira móvil está en decalaje con el de la espira fija, con una excentricidad "e" llamada "radio orbital", que permite la compresión volumétrica de los vapores aspirados.

La espiral inferior no describe un movimiento rotativo, sino que se trata de un movimiento giratorio de traslación. Entre ambas piezas (espiral fija y espiral móvil) van creando, desde la boca de admisión y de manera continua, una cámara de compresión de volumen decreciente. En la descarga existe una válvula de retención que evita el retorno de gas a alta presión hacia la parte de baja presión a la parada de la máquina.

En la figura siguiente se muestra el giro del eje del motor que hace que la espiral describa una órbita alrededor del centro del eje y no una rotación.



### 3.1.3 COMPRESORES CENTRÍFUGOS (TURBOCOMPRESORES)

Los compresores centrífugos son máquinas de alta velocidad: entre 3.000 y 30.000 rpm, por lo cual son capaces de manejar volúmenes muy grandes de refrigerante con bajas relaciones de compresión. Pueden ser de dos tipos:

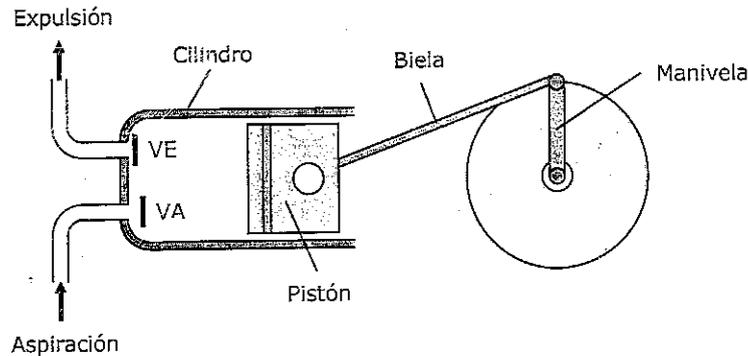
- Compresores centrífugos monoetapa (un solo paso). Pueden usarse solo en aquellas aplicaciones donde, por ser pequeña la caída de temperatura ( $T_{\text{condensación}} - T_{\text{evaporación}}$ ), el aumento de presión requerido es relativamente pequeño.
- Compresores centrífugos multietapa (dos o más pasos). Consiste esencialmente de una serie de ruedas impulsoras montadas en un eje de acero contenidas dentro de una carcasa de hierro fundido. El número de ruedas (pasos de compresión) puede ser: una, dos, tres y cuatro; en algunos casos se han empleado hasta 12 ruedas.

Las eficiencias de los compresores centrífugos son relativamente altas para todos los tamaños: 70 a 80%, aunque en algunos casos se obtienen valores mayores a 80%.

Su gama de potencia frigorífica se extiende de 350 kW a 12.000 kW y las temperaturas de evaporación pueden variar de +10 °C (acondicionamiento de aire) a -160 °C (licuefacción del metano). Se utilizan para climatización como enfriadoras de agua.

## 3.2 FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE UN COMPRESOR

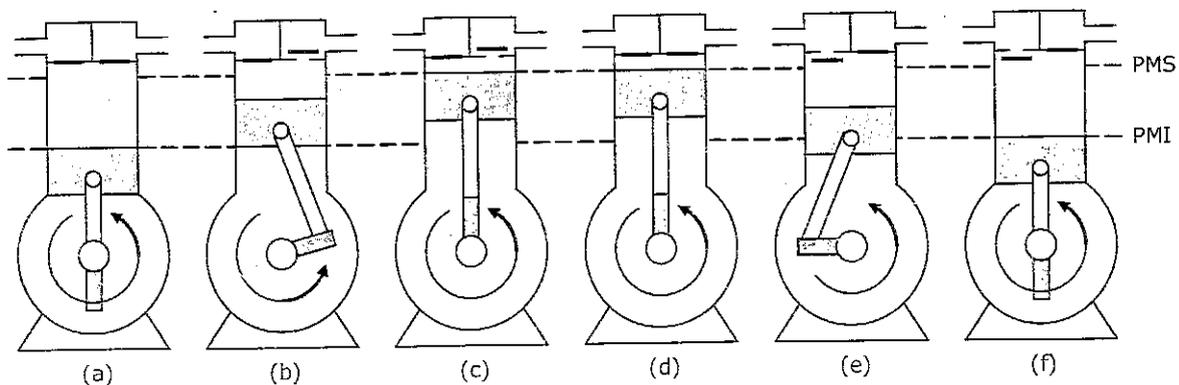
El elemento fundamental de un compresor alternativo es un cilindro provisto de émbolo, que es accionado mediante un sistema de biela manivela. El cilindro tiene dos válvulas denominadas de aspiración (VA) y de expulsión o descarga (VE) que facilitan la entrada y salida del gas de forma conveniente, cuya apertura se realiza por diferencias de presión.



El proceso completo de compresión comprende cuatro carreras de émbolo con un giro del eje de rotación. La figura siguiente muestra un compresor con el pistón en cuatro posiciones, durante la carrera que efectúa dentro del cilindro.

Las cuatro posiciones (etapas) son:

- **Compresión (1-2).** Las válvulas están cerradas y el gas está dentro del cilindro (a). El émbolo inicia su movimiento desde la posición de máximo volumen PMI (punto muerto inferior) hasta que se alcanza una presión determinada que abre la VE (b).
- **Expulsión o descarga (2-3).** La VE está abierta. El émbolo prosigue su movimiento hasta la posición de mínimo volumen PMS (punto muerto superior) (c).
- **Reexpansión (3-4).** Con las válvulas cerradas, el émbolo inicia su movimiento desde el PMS (d) hasta el momento que la baja presión abre la VA (e).
- **Succión o aspiración (4-1).** La VA está abierta. Entra gas en el cilindro, desplazándose el émbolo hacia el PMI (f). A partir de aquí se inicia un nuevo ciclo.



Para evitar que el pistón choque contra la placa de la válvula cuando se encuentra en la parte superior, los compresores alternativos se diseñan con un pequeño espacio (espacio o volumen residual,  $V_r$ ) entre la parte superior del pistón (PMS) y la placa de la válvula.

No todo el vapor de alta presión pasará a través de las válvulas de descarga al final de la carrera de compresión. Permanece una cierta cantidad dentro del cilindro en el espacio residual entre el pistón y la placa de la válvula. El vapor que permanece en el espacio residual al final de cada carrera de descarga se le llama "vapor residual".

### 3.3 DISPOSITIVOS VARIADORES DE POTENCIA

---

#### 3.3.1 CONTROL DE LA CAPACIDAD EN COMPRESORES ALTERNATIVOS

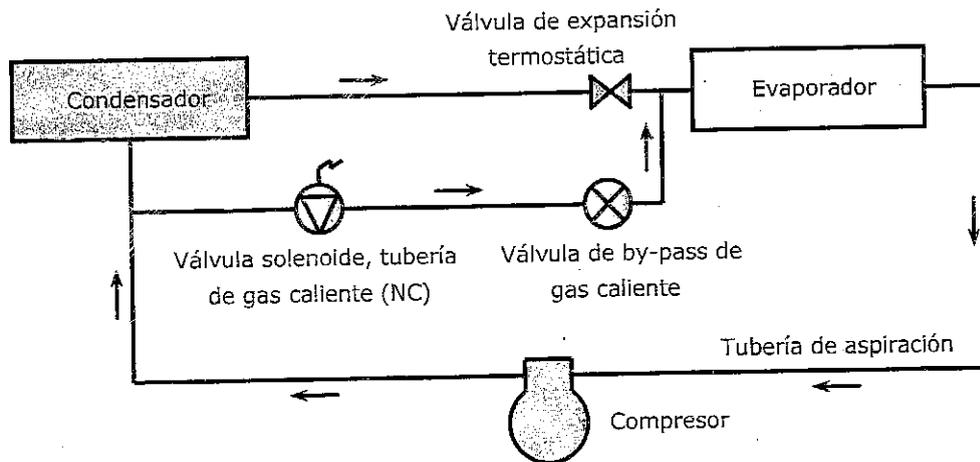
La mayoría de los compresores se diseñan para trabajar en unas condiciones operativas fijas y determinadas. No obstante, se precisan de algunos medios de control de capacidad para poder variar las condiciones de carga.

Dependiendo de las aplicaciones, el control de capacidad puede aplicarse por los métodos siguientes:

- **Operación "todo/nada"**. Es la forma más simple de control de capacidad; sin embargo, si este método se repite muy a menudo (ciclos cortos), puede ocurrir un fallo prematuro del compresor. Se utiliza corrientemente en refrigeración comercial. Se calcula que la cantidad de frío que debe suministrarse a la instalación en 24 horas la producirá el compresor en un tiempo menor, comprendido generalmente entre 14 y 18 horas.
- **Compresores múltiples**. Este método cae dentro de la categoría de la operación todo/nada. Los sistemas que utilizan de 2 a 8 compresores (plantas enfriadoras) permiten de 2 a 8 etapas escalonadas.
- **Variación de la velocidad del compresor**. Permite una adaptación más sensible a la producción de la máquina. Se utilizan variadores de frecuencia que actúan sobre la velocidad del motor de accionamiento (750 a 1.500 rpm, o 900 a 1.500 rpm), en función de la carga calorífica de la instalación.
- **Descarga o desconexión de cilindros**. Es el procedimiento que más se emplea en los modernos compresores multicilíndricos. El control de la capacidad de un compresor de varios cilindros, se obtiene "descargando" uno o más cilindros de tal manera que éstos se vuelven inefectivos. En un compresor de 8 cilindros, por ejemplo, los regímenes de marcha (en porcentaje de la producción máxima), tienen los siguientes valores:

100% - 75% - 50% - 25% - 0%

- **Modulación de la capacidad mediante by-pass de gas caliente.** Se utiliza siempre que los controles todo/nada son inaceptables, o siempre que los descargadores de capacidad no son capaces de funcionar bien para tratar la carga. Consiste en hacer pasar por el by-pass una parte del gas comprimido para evitar que la presión de aspiración del compresor caiga por debajo de un valor predeterminado. Para evitar retrocesos y bombeo del sistema, se coloca una válvula solenoide delante del by-pass de gas caliente.



Aunque el gas caliente pase por el by-pass puede ser inyectado directamente en la aspiración del compresor, esto no es recomendable. En lugar de ello, debería inyectarse después de la válvula de expansión o a la entrada del evaporador. Esto permite al gas caliente mezclarse con la mezcla de líquido-vapor después de la válvula de expansión y retornar como gas frío al compresor. Este método también permite mantener el recalentamiento.

### 3.3.2 CONTROL DE LA CAPACIDAD EN COMPRESORES DE TORNILLO

La mayoría de compresores de tornillo poseen un sistema de regulación de potencia continuo desde 10 a 100%. Esta regulación se efectúa por medio de una válvula interna de deslizamiento colocada bajo los rotores. Cuando esta válvula está cerrada, el compresor trabaja a plena carga. A medida que se abre, la longitud efectiva de trabajo de los rotores disminuye lo mismo que la potencia frigorífica. El exceso de gas vuelve a la aspiración. Gracias a este principio, la potencia absorbida con carga parcial disminuye con la potencia frigorífica en una relación que depende de la relación de compresión.

Las válvulas deslizantes pueden funcionar desde la presión correspondiente a plena carga (100%) hasta cargas parciales del 25%, en forma manual o automática, mediante un pistón hidráulico movido por el aceite del compresor.

La capacidad de desplazamiento puede realizarse, también, variando la velocidad de giro del rotor conducido, por medio de un variador de frecuencia.

### 3.3.3 CONTROL DE LA CAPACIDAD EN COMPRESORES SCROLL

Para los tamaños pequeños, se utiliza el control "on-off", parando y arrancando el motor por medio de un termostato o un presostato.

Se puede conseguir un cierto grado de regulación mediante la fabricación de unidades múltiples equipadas con dos o más compresores scroll de tamaños iguales o diferentes, montados en paralelo, lo que permite cubrir una amplia gama de capacidades frigoríficas y fraccionar la potencia frigorífica de modo escalonado.

Por ejemplo, una unidad compuesta por dos compresores diferentes, uno del 40% y el otro del 60% de la potencia frigorífica total, posibilita el escalonamiento siguiente: 40% (primero), 60% (segundo) y 100% (los dos).

Actualmente se están incorporando a los compresores scroll variadores de frecuencia para la regulación de la capacidad, incidiendo sobre la velocidad de giro del compresor.

### **3.3.4 CONTROL DE LA CAPACIDAD EN COMPRESORES CENTRÍFUGOS**

El control de capacidad más simple, y menos eficiente, es estrangular el caudal de aspiración del compresor; esto sólo se hace en unidades pequeñas compactas.

Los demás compresores centrífugos tienen un conjunto de guías móviles a la entrada del primer rotor. Estos álabes se denominan "de prerrotación" (PRV), ya que su función es crear un movimiento de torbellino (rotación) en la corriente de flujo de refrigerante a la entrada del impulsor o rotor. Un compresor que tiene más de un rotor puede tener más de un conjunto de álabes PRV. Las pérdidas son menores que en el caso del estrangulamiento.

El método más eficaz de controlar la capacidad de un compresor centrífugo es variar su velocidad, variando la frecuencia de la corriente alterna que se suministra al motor. Los inversores de frecuencia variable se utilizan para modular la velocidad del motor de muchas enfriadoras centrífugas con capacidades hasta 2.500 kW.

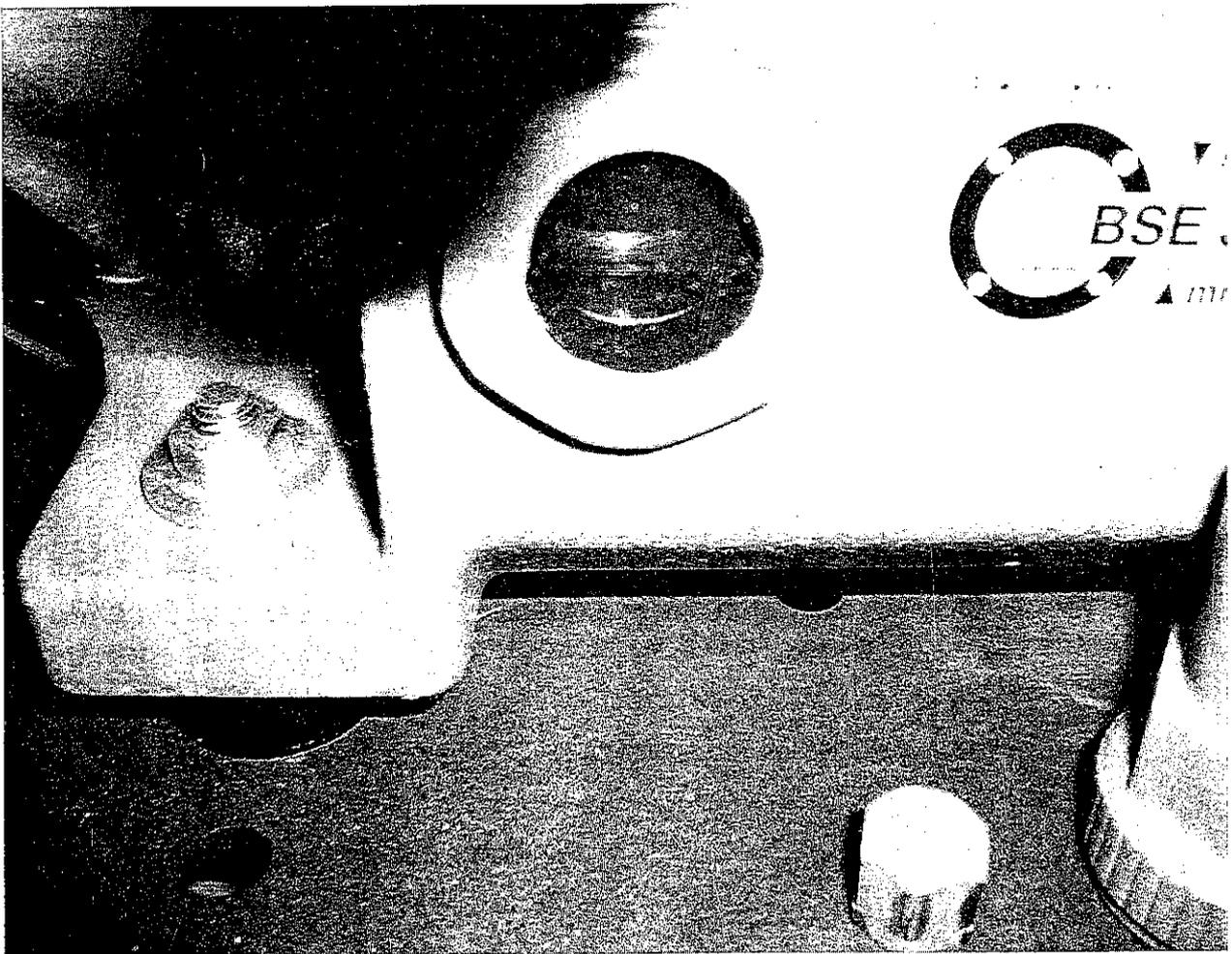
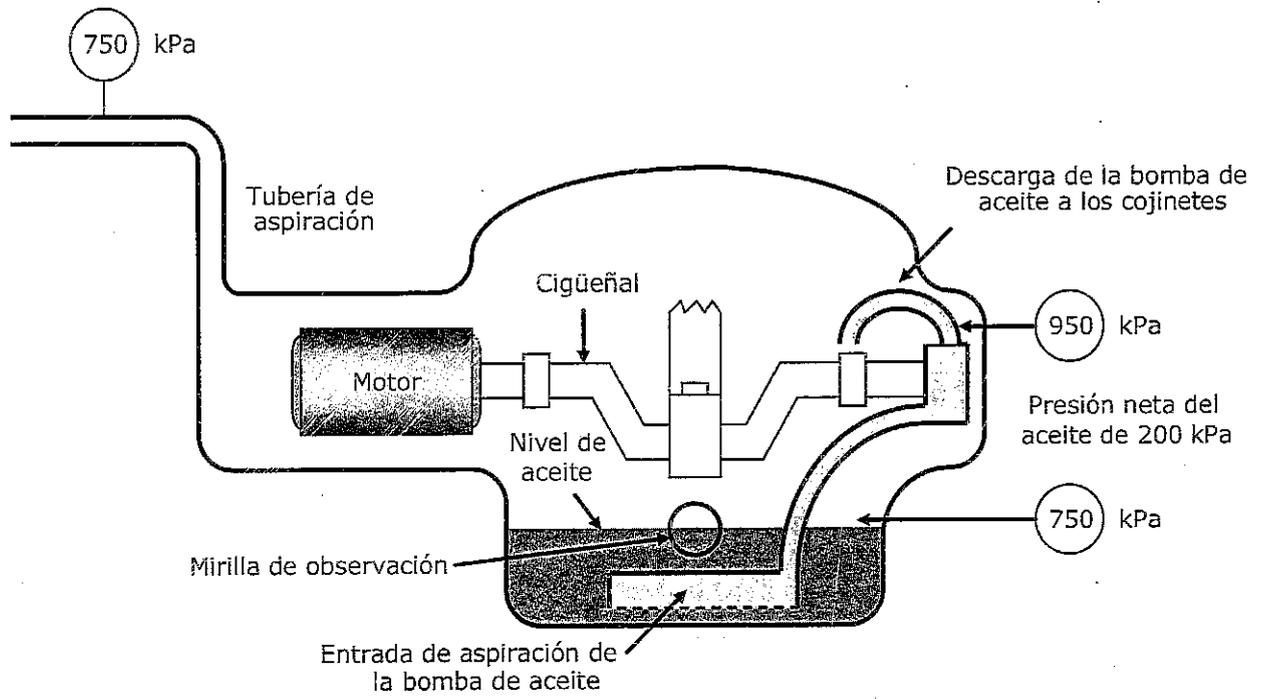
## **3.4 SISTEMA DE LUBRICACIÓN**

---

### **3.4.1 LUBRICACIÓN DE COMPRESORES ALTERNATIVOS**

El engrase de los órganos en movimiento y del sello de estanquidad puede lograrse por:

- **Lubricación por barboteo:** Se utiliza en los compresores de potencia inferior a 12 kW que giran a velocidad moderada ( $n \leq 600$  rpm).
- **Lubricación forzada:** Consiste en una bomba de aceite (de engranajes o paletas) montada en el extremo del eje del compresor, y accionada por éste. El aceite retorna, por gravedad, al fondo del cárter. Para que la lubricación sea posible la presión de descarga de la bomba ha de ser superior a la presión del cárter (presión de aspiración); por tanto, debe preverse un dispositivo de seguridad (presostato diferencial de aceite) que impida la puesta en marcha del compresor si la lubricación no queda asegurada.



### 3.4.2 LUBRICACIÓN DE COMPRESORES DE TORNILLO

La refrigeración del compresor se realiza mediante inyección de aceite en los rotores que además sirve como lubricante de los mismos. La inyección directa del aceite enfriado en el interior de la cámara de compresión presenta las siguientes ventajas:

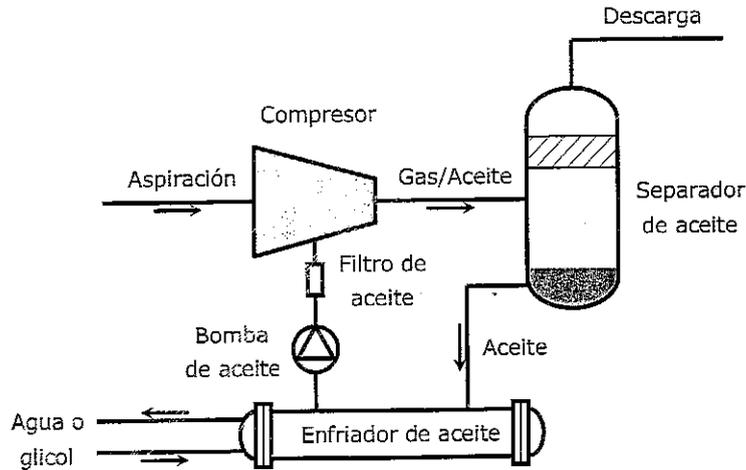
- **Lubricación de los rotores**, lo que permite asegurar el accionamiento del rotor hembra por el rotor macho, por el rozamiento sobre una película de aceite.
- **Refrigeración de la corriente de gas**. Durante el ciclo de compresión el gas refrigerante se calienta. El aceite inyectado enfría este gas y permite al compresor trabajar con altas relaciones de compresión. Aun con altas relaciones de compresión, la temperatura de descarga raras veces excede de 93 °C, con temperaturas normales de 71 °C a 82 °C.
- **Formación de una película entre los rotores**. Este film de aceite da mayor estanquidad, lo que permite hacer funcionar el compresor bajo grandes diferencias de presión con mínimas fugas entre la descarga y la aspiración (rendimiento volumétrico elevado).

La cantidad de aceite en un compresor de tornillo es muy importante, teniendo salida del mismo a través de la descarga, por lo que resulta imprescindible instalar un separador de aceite que separe completamente el aceite del refrigerante para reintegrarse hacia el compresor.

Dicho aceite debe ser filtrado, y enfriado, antes de volverlo a inyectar al compresor.

El enfriamiento del aceite se efectúa en un cambiador de calor agua-glicol o por inyección directa del refrigerante líquido en la descarga del compresor. Por consiguiente, se encontrarán en el compresor los siguientes elementos:

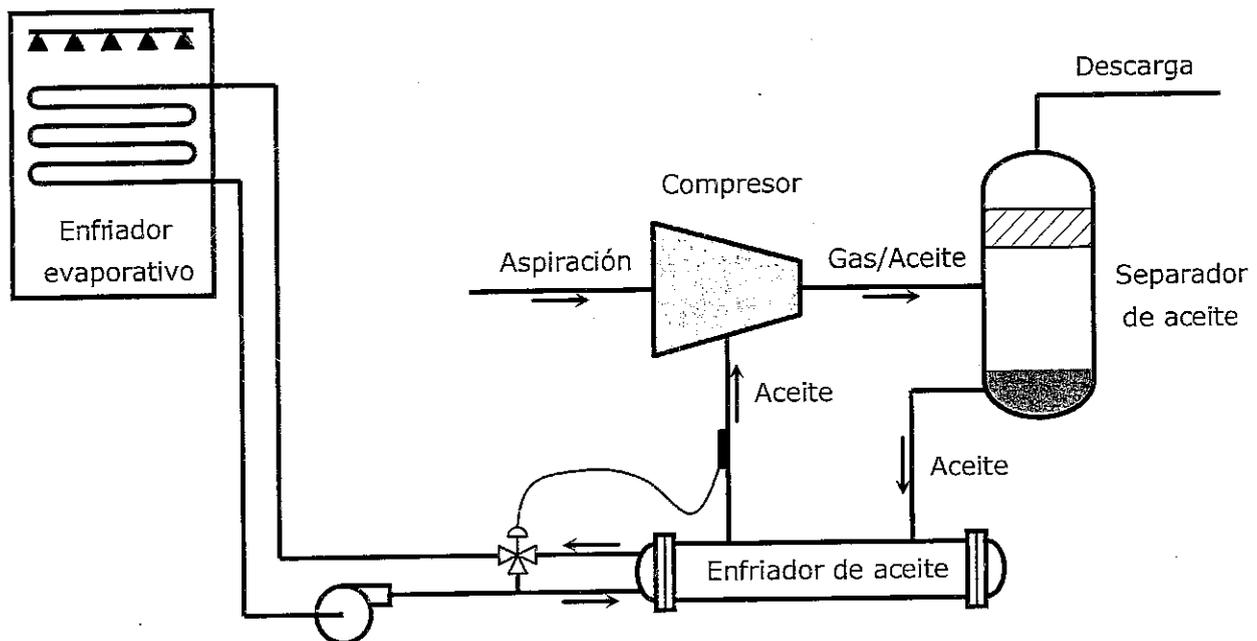
- Un separador de aceite eficaz (a la salida del compresor).
- Un recipiente de aceite separado o integrado.
- Una bomba de aceite (utilizada solo en el arranque, ya que en el funcionamiento normal la circulación del aceite se asegura por la diferencia de presiones).
- Un enfriador de aceite (utiliza agua como elemento refrigerante).
- Un filtro de aceite.



El calor cedido al aceite se intercambia en un enfriador de aceite. La forma más común de refrigeración del aceite usa un cambiador de calor tubular con agua o glicol.

El agua puede suministrarse desde un sistema abierto o cerrado (ver figura).

- Con el **sistema abierto**, el agua puede tomarse de una torre de enfriamiento.
- Con el **sistema cerrado**, el agua o glicol puede tomarse de un cambiador de calor enfriado por aire o del circuito cerrado de un enfriador evaporativo.



### 3.4.3 LUBRICACIÓN DE COMPRESORES SCROLL

El aceite, aspirado por Venturi (bomba de aceite centrífuga), permite subir el aceite por el árbol y lubricar las diversas partes mecánicas en movimiento. La bomba centrífuga es un dispositivo cónico fijado en el extremo inferior del cigüeñal, sumergida en el cárter de aceite.

El aceite se impulsa hacia arriba por un pasaje interno del cigüeñal, que permite lubricar los cojinetes superior e inferior del cigüeñal. El aceite llega al extremo superior para lubricar la espiral móvil. La lubricación necesaria por el contacto entre las superficies del scroll es proporcionada por la pequeña cantidad de aceite arrastrada por el gas de aspiración.

#### **3.4.4 LUBRICACIÓN DE COMPRESORES CENTRÍFUGOS**

La lubricación se realiza mediante otro motor y una bomba de aceite. Este motor permite arrancar la bomba de aceite antes que el motor centrífugo y asegura la lubricación antes de que el compresor y la caja de engranajes comiencen a girar.

El sistema de lubricación tiene un calentador en el colector de aceite que mantiene dicho colector a unos 60 °C. El aceite se bombea desde el colector a través de un filtro y un enfriador de aceite (intercambiador de calor por medio de agua). El enfriador de aceite lo enfría desde la temperatura del colector (unos 60 ó 70 °C) hasta unos 50 °C.

#### **3.4.5 RETORNO DE ACEITE EN LAS INSTALACIONES CON COMPRESORES MÚLTIPLES**

En los sistemas frigoríficos, el aceite está siempre en contacto con el refrigerante en el interior del cárter de los compresores para asegurar la buena lubricación de éstos.

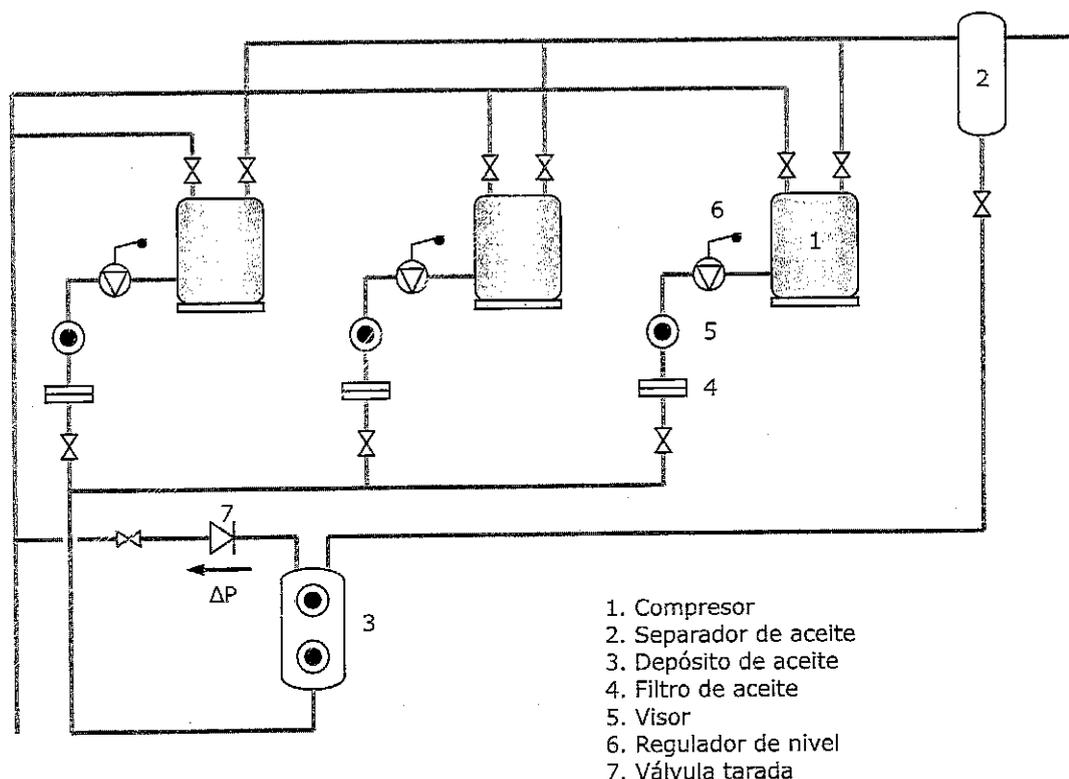
Cierta cantidad de este aceite, mezclado con el refrigerante en estado gaseoso, se encontrará en la descarga del compresor. Se hace necesario separarlo para devolverlo al cárter del compresor, por medio de un separador de aceite situado en la tubería de descarga.

En el caso de una instalación con compresores múltiples, el aceite separado debe alojarse en un depósito de aceite antes de restituirlo a cada uno de los compresores a través de líneas de retorno de aceite individuales. Debe instalarse una válvula tarada en la parte alta del depósito de aceite, unida a la tubería de aspiración, para mantener una diferencia de presión entre el depósito de aceite y los cárteres. Esta disposición garantiza una alimentación regular y permanente en los circuitos de retorno de aceite hacia los compresores.

El aceite que vuelve a los cárteres de los compresores debe filtrarse previamente.

El control de la circulación y del estado del aceite se obtiene por medio de un visor de aceite.

Finalmente, la reintegración del aceite a los cárteres de los compresores se asegura por el regulador de nivel de aceite que garantiza el mantenimiento de un nivel de aceite óptimo.



## 3.5 PRESOSTATOS DE PROTECCIÓN DE LOS COMPRESORES

### 3.5.1 PRESOSTATO DE BAJA PRESIÓN

El presostato de baja presión abre el circuito eléctrico cuando la presión del sistema disminuye por debajo de la presión de "desconexión", y cierra el circuito cuando la presión del sistema sube por encima del ajuste de la presión de "conexión".

El presostato de baja presión se utiliza principalmente como aparato de protección. Detiene el compresor en el caso de un descenso anormal de la presión de aspiración y vuelve a poner éste en marcha cuando han quedado establecidas las condiciones normales de marcha. Además, protege al compresor de daños debidos a la pérdida de refrigerante.

Los más utilizados en baja presión son los de rearme automático, dado que una baja presión de aspiración no representa una situación de tanto peligro para el compresor, como una alta presión en el circuito de alta, en cuanto a lo que concierne a la presión.

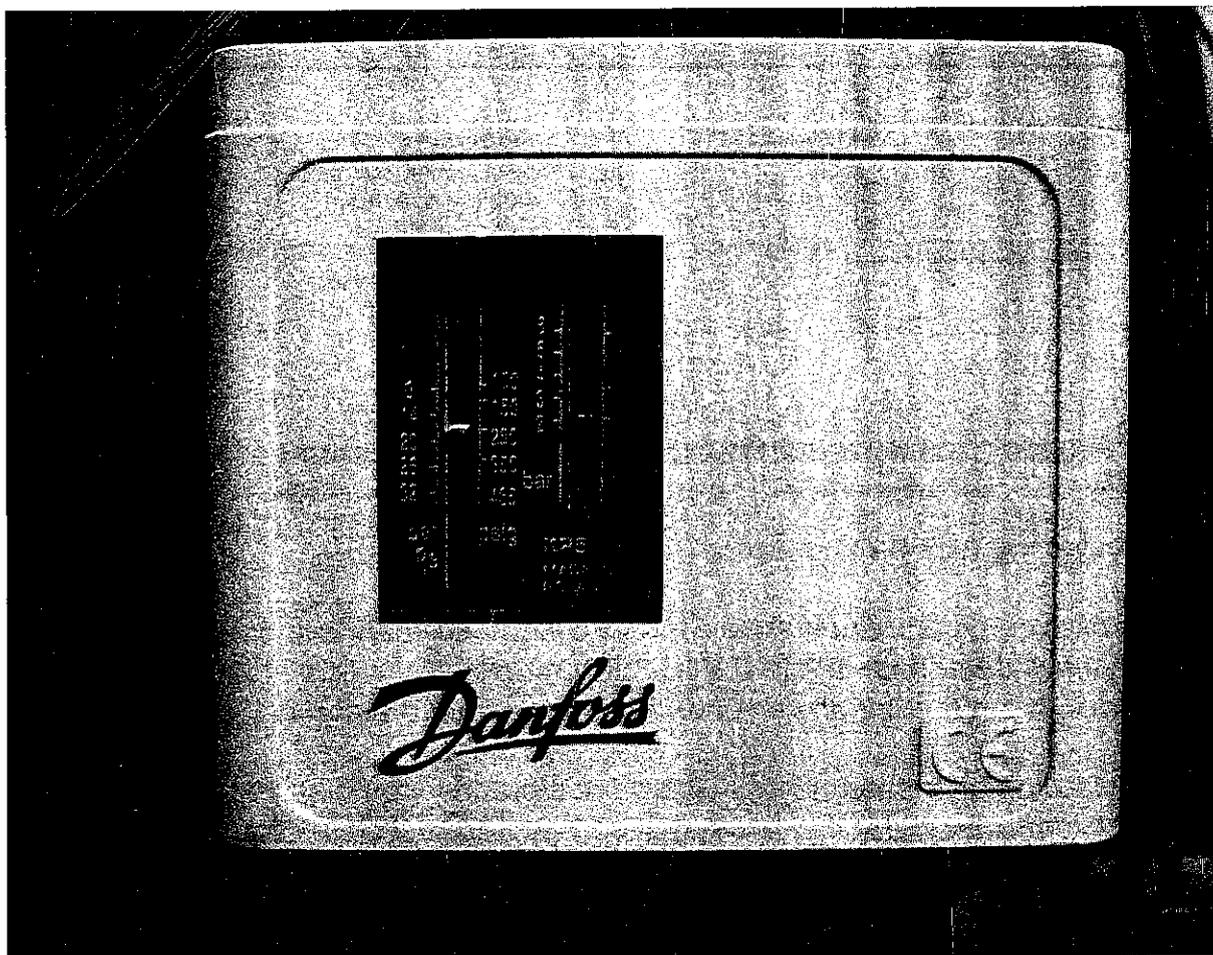
El presostato de baja presión está formado por dos escalas:

- **Ajuste principal**, que es la escala de "conexión" (*cut-in*).
- **Diferencial**, que restada al ajuste principal, da la presión de "desconexión".

Las escalas son orientativas y se han de comprobar con el manómetro. La presión de "conexión" (a la cual arranca el compresor) será la correspondiente a la temperatura que ha de haber en el recinto a enfriar. Si es inferior, tendremos falsas arrancadas y, si es superior, el compresor no arrancará hasta que la temperatura de la cámara no sea elevada.

Es importante ajustar correctamente el diferencial, debido a que:

- Presión de "conexión" y "desconexión" muy próximas: ciclo corto del compresor.
- Presión de "conexión" y "desconexión" muy alejadas: sobrecalentamiento del compresor antes de apagarse.



### 3.5.2 PRESOSTATO DE ALTA PRESIÓN

El presostato de alta presión protege al compresor de las altas presiones (condensadores sucios, problemas de ventilador, sobrecarga, aire muy caliente), "desconectando" el compresor cuando las presiones alcanzan valores por encima del ajuste del presostato, y volviendo a "conectarlo" al restablecerse las condiciones normales de funcionamiento.

En la mayoría de las unidades de refrigeración, cualquier cosa que haga que se supere la temperatura máxima de condensación de 68 °C dañará al compresor.

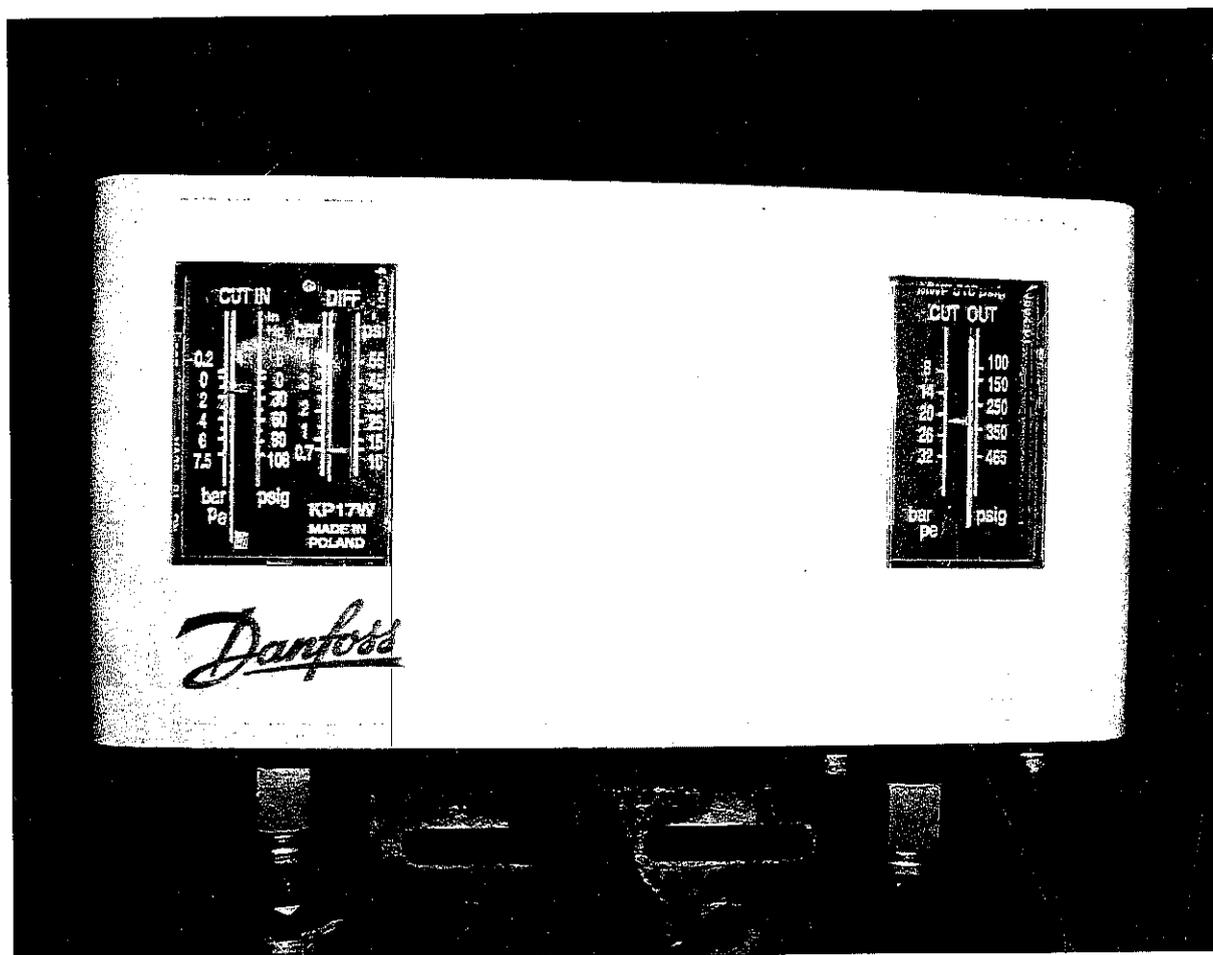
La presión de "conexión" es aproximadamente 345 kPa menor que la presión de "desconexión".

El presostato de alta presión puede ser reinicializado automática o manualmente. El presostato con reinicialización manual proporciona una mejor protección a los equipos, pero el presostato con reinicialización automática puede evitar que se echen a perder los alimentos, permitiendo al compresor funcionar a cortos intervalos. En los presostato de alta presión con reinicialización manual, pulsar el botón de reinicio no arrancará de nuevo el compresor hasta que la presión del sistema haya disminuido hasta su valor de "conexión".

### 3.5.3 PRESOSTATO COMBINADO

Para simplificar los circuitos eléctricos, los dos presostatos pueden reunirse en una misma caja que incorpora el conjunto de los dos mecanismos. El presostato combinado se compone de dos elementos sensibles, por lo que tendremos entonces dos fuelles conectados a su toma particular de presión: el fuelle de alta presión y el fuelle de baja presión.

En todos los presostatos combinados contruidos de esta forma, el diferencial de alta presión viene regulado de fábrica y no puede regularse sobre la propia instalación.



### 3.5.4 PRESOSTATO DIFERENCIAL DE ACEITE

El presostato diferencial de aceite se utiliza para parar el compresor en el caso de lubricación defectuosa, cuando esta lubricación se efectúa por medio de bomba. Mide la diferencia entre la presión de aspiración en el cárter del cigüeñal y la presión de descarga de la bomba de aceite para determinar la presión neta del aceite.

La presión neta del aceite tiene que estar comprendida entre 70 kPa y 400 kPa. No es habitual que la presión neta del aceite disminuya por debajo de 70 kPa durante la puesta en marcha del compresor. Para evitar falsas activaciones el presostato diferencial incorpora un temporizador de 120 segundos que retarda la desconexión del compresor. Si la presión no ha alcanzado al menos una presión de 70 kPa en dicho periodo de tiempo, el presostato desconecta el compresor y el presostato tiene que reiniciarse manualmente.

---

## 3.6 VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESIÓN DEL COMPRESOR

---

### 3.6.1 VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN DEL CÁRTER

La válvula reguladora de presión del cárter (*Crankcase Pressure Regulator, CPR*), se encuentra en la tubería de aspiración, pero normalmente se sitúa cerca del compresor (para eliminar la influencia de las pérdidas de carga en la tubería de aspiración), en lugar de en la salida del evaporador. El fuelle sensor de la válvula CPR se encuentra en el lado de la válvula correspondiente a la aspiración del compresor y normalmente dispone de un orificio manométrico en el lado de la válvula correspondiente al evaporador.

La válvula CPR protege el motor del compresor contra sobrecargas debidas a temperaturas de vaporización elevadas. Esta válvula se emplea para evitar que el compresor de baja temperatura se sobrecargue durante un arrastre en caliente, que puede tener lugar:

- 1) Cuando el compresor ha estado apagado durante un periodo de tiempo suficientemente largo y se ha incrementado la temperatura de la cámara.
- 2) Durante el arranque (puesta en marcha) con una cámara caliente.
- 3) Después del desescarche (por gas caliente o inversión de ciclo), debido al aumento de la presión de aspiración.

En cualquiera de estos casos, la temperatura en la cámara influye sobre la presión de aspiración. Cuando la temperatura es alta, la presión de aspiración también (y, por tanto, la densidad del gas).

La válvula CPR actúa directamente sobre la presión de aspiración del compresor, independientemente de la presión de vaporización. La válvula CPR permanece cerrada siempre que la presión a la salida sea superior a un valor predeterminado. Cuando la presión disminuye, empieza a modular el paso de refrigerante.

### 3.6.2 VÁLVULA REGULADORA DE CAPACIDAD DEL COMPRESOR

La válvula reguladora de capacidad (válvula desviadora del gas caliente o válvula by-pass de descarga) tiene por finalidad disminuir la producción frigorífica del compresor efectuando automáticamente un "by-pass" entre la descarga y la aspiración, limitando así a un valor mínimo previamente ajustado, la presión de aspiración del compresor.

En lugar de entrar en la tubería de aspiración, el gas de descarga podría conectarse a la entrada del evaporador. De esta forma, el gas caliente no solo impediría que se sobrecalentara el compresor, sino que también evitaría que el evaporador se enfriara demasiado.

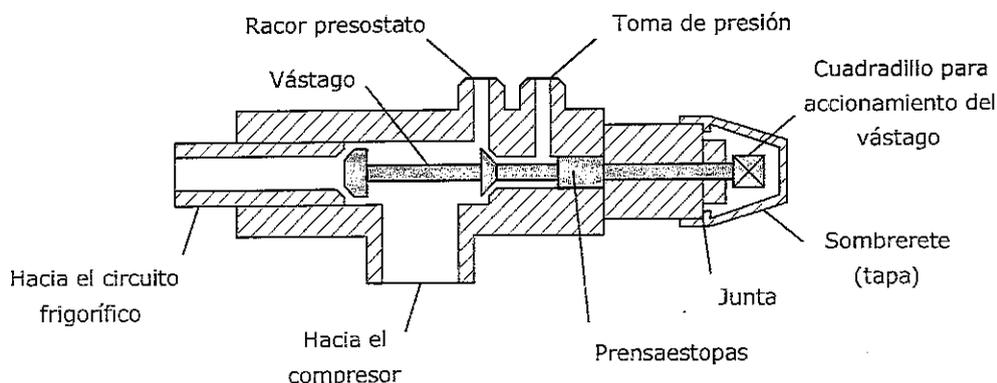
La válvula reguladora de capacidad proporciona un control de capacidad al compresor durante períodos de baja carga, manteniendo la presión de aspiración mínima para prevenir el congelamiento del evaporador o el trabajo en vacío del compresor. Por tanto:

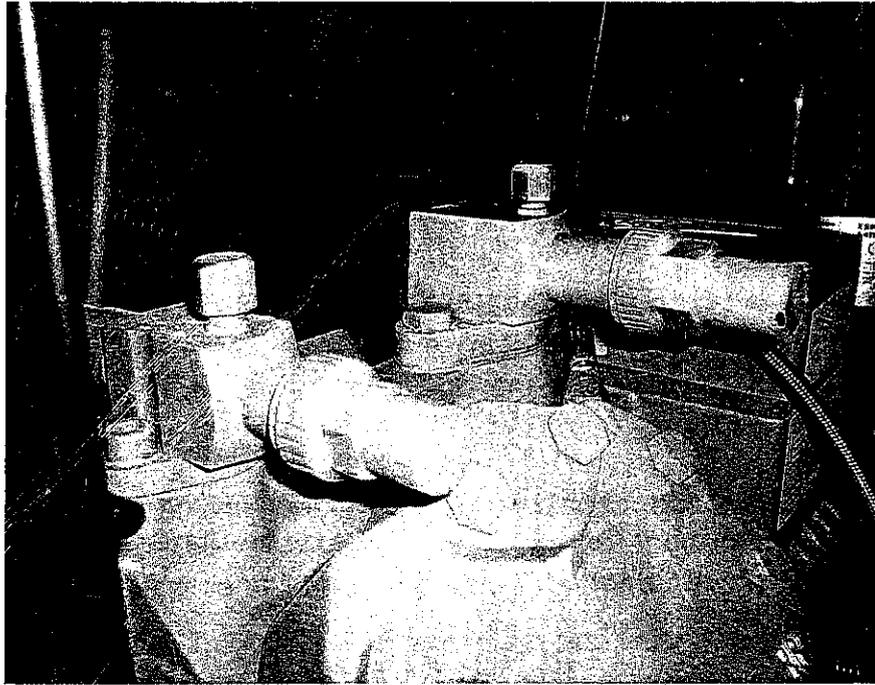
- Evita los paros continuos de compresor que reduce la vida del mismo.
- Mantiene unos consumos eléctricos estables.
- Evita que se reduzca excesivamente la presión de aspiración debido a la reducción de la carga térmica, y que el aceite del compresor entre en ebullición.

La válvula reguladora de capacidad se intercala entre la tubería de descarga y la tubería de aspiración, lo más cerca posible al compresor y, con preferencia, después del separador de aceite. Tienen el inconveniente de recalentar los vapores de aspiración.

## 3.7 VÁLVULAS DE MANTENIMIENTO DEL COMPRESOR

Los compresores herméticos, semiherméticos y abiertos de mediana y gran potencia acostumbran a llevar instaladas válvulas de servicio (o mantenimiento) tanto en la aspiración como en la descarga, del tipo que se muestra en la figura siguiente.





Las válvulas de mantenimiento de aspiración y de descarga del compresor son de concepción muy particular y es importante que los técnicos conozcan bien su funcionamiento. De forma general, una válvula de mantenimiento comprende los siguientes elementos:

- Cuadrillo de maniobra, accionable mediante una llave de carraca.
- Vástago de la válvula, que debe mantenerse libre de herrumbre.
- Sombrerete (tapa) provisto de junta, destinado a cubrir el cuadrillo de maniobra del vástago; se utiliza como refuerzo del prensaestopas, para evitar fugas.
- Entrada/Salida de vapores, de unión soldada o de rosca.
- Entrada/Salida para enroscar directamente al compresor (que fija rígidamente al mismo tiempo la válvula en el compresor).
- Unión macho  $\frac{1}{4}$ ", destinada a recibir un presostato.
- Unión macho  $\frac{1}{4}$ ", que sirve para la toma de presión, para la conexión de un manómetro o para otro tipo de intervención (unión provista de un capuchón).

Las válvulas de mantenimiento nunca pueden estar totalmente cerradas, debido al diseño del asiento de la válvula. Las válvulas de mantenimiento pueden estar en posición posterior, frontal y central. Las válvulas de mantenimiento se utilizan para:

- 1) Aislar el compresor de cara al mantenimiento o sustitución.
- 2) Comprobar las válvulas de láminas del compresor
- 3) Comprobar las presiones del sistema (orificio manométrico).

## 3.8 PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS COMPRESORES

---

### FUNCIONAMIENTO DEL COMPRESOR

Para analizar el funcionamiento del compresor, se tiene que comprobar si funciona o no funciona.

#### a) Compresor funciona

Cuando un compresor presenta una avería, pero funciona, se deben inspeccionar los siguientes puntos:

1. Temperatura de descarga (no debe superar los 120-140 °C)
  2. Ruidos anormales
  3. Presión de aceite
  4. Pérdidas de aceite
  5. Nivel de aceite
  6. Aceite en ebullición
  7. Aceite descolorido
  8. Paradas excesivas del compresor
  9. Funcionamiento ininterrumpido de compresor
  10. Compresor caliente
  11. Compresor frío
  12. Golpes de líquido
  13. Presión de aspiración
  14. Temperatura del gas de aspiración
- 

#### b) Compresor no funciona

En el caso de que el compresor no funcione, los puntos a inspeccionar serían los siguientes:

1. Presostato de alta
  2. Presostato de baja
  3. Termostato (klison)
  4. Fallo en el circuito de maniobra
  5. Tensión baja
  6. Sobrecarga del motor eléctrico
  7. Bobinas del motor eléctrico defectuosas
  8. Compresor mecánicamente agarrotado
-

## AVERÍAS EN EL COMPRESOR

### a) Compresor no comprime (fugas internas)

En este caso encontraremos un consumo eléctrico por debajo de la intensidad nominal, debido al escaso trabajo efectuado por el compresor en cuanto a la compresión del refrigerante, ya que la presión en el circuito de alta será baja y la presión en el circuito de baja será alta, al estar ambas presiones comunicadas en el interior del compresor.

Según la importancia de la fuga entre alta y baja, la instalación puede llegar a enfriar pero nunca a la temperatura de vaporización deseada sino siempre más elevada, por lo que la instalación realizaría ciclos muy largos de funcionamiento al no poder detectar el termostato la temperatura de corte a la que está ajustado.

El compresor puede llegar a estar muy caliente debido a los ciclos ininterrumpidos de funcionamiento. La solución es reparar o sustituir el compresor.

### b) El compresor no funciona

Comprobar, en primer lugar, si llega alimentación eléctrica a la entrada del sistema.

SÍ LLEGA TENSIÓN AL SISTEMA DE ARRANQUE	La bobina del relé de intensidad está abierta, o el circuito interior del "klison" no tiene continuidad.
NO LLEGA TENSIÓN AL SISTEMA DE ARRANQUE	Comprobar la entrada de alimentación eléctrica a la instalación y siguiendo la avería a partir de este punto, ésta se encontrará en alguno de los componentes del circuito de maniobra: termostato, presostatos, bobinas de contactores, y se tendrá que comprobar continuidad entre ellos.

### c) El compresor funciona ininterrumpidamente

Comprobar la temperatura en el recinto refrigerado.

TEMPERATURA DEL RECINTO MÁS BAJA DE LO NORMAL	La avería queda centrada en el termostato: a) Bulbo mal instalado, b) bulbo mal regulado, c) bulbo con los contactos eléctricos soldados (no desconecta la alimentación eléctrica al motor).
TEMPERATURA DEL RECINTO MÁS ALTA DE LO NORMAL	Fuga de refrigerante, compresor con fugas internas, mala condensación, obstrucción parcial en la línea de líquido, válvula de expansión con obstrucción parcial o mal regulada.

### d) El compresor hace ciclos cortos de funcionamiento

Las causas que pueden provocar que el compresor realice demasiados paros y arranques durante su funcionamiento, instalando elementos de seguridad, son las siguientes:

FALTA DE REFRIGERANTE U OBSTRUCCIÓN PARCIAL EN CUALQUIERA DE LOS COMPONENTES DE LA LÍNEA DE LÍQUIDO

En ambos casos, la presión de baja será más baja de lo normal, haciendo actuar el presostato (de baja).

Hay que inspeccionar toda la línea de líquido y sus componentes, comprobando posibles diferencias de temperatura.

REDUCCIÓN DE CAUDAL DE AIRE EN EL EVAPORADOR

La presión de baja estará más baja de lo normal, debido a:

- a) Suciedad o hielo externo en el evaporador,
- b) filtros sucios en el evaporador,
- c) rotura de las correas del ventilador.

### e) Compresor demasiado caliente

Un compresor se encuentra demasiado caliente debido a:

EXCESIVA CARGA TÉRMICA EN EL EVAPORADOR

La presión de baja estará demasiado alta, así como el consumo eléctrico, y los ciclos de funcionamiento del compresor serán largos, por tardar en alcanzar la temperatura de corte del termostato.

MALA CONDENSACIÓN

La presión de alta será más alta de lo normal (temperatura del filtro secador más caliente de lo normal); consumo eléctrico más elevado.

MAL ENFRIAMIENTO DEL MOTOR Y DE LOS CILINDROS

### f) Compresor demasiado frío

Encontrar un compresor demasiado frío solo es posible cuando le llega refrigerante en estado líquido (del tubo de aspiración) o bien en estado gaseoso pero con muy poco sobrecalentamiento. Normalmente puede ser debido a:

1. Ajuste incorrecto de la válvula de expansión termostática
  2. Válvula equipada con un orificio demasiado grande
  3. Bulbo de la válvula termostática mal instalado
- 

#### **g) Presión de aspiración alta**

Una alta presión de aspiración puede ser debida a:

1. Compresor pequeño
  2. Compresor con fugas internas
  3. Válvula reguladora de capacidad defectuosa o mal ajustada
  4. Carga térmica demasiado grande
  5. La válvula de desescarche por gas caliente tiene fugas
  6. Válvula de expansión ajustada con un sobrecalentamiento bajo
  7. Bulbo de la válvula de expansión mal instalado
  8. Orificio de la válvula de expansión demasiado grande
- 

#### **h) Presión de aspiración baja**

Una baja presión en la aspiración puede ser debida a:

1. Evaporador demasiado pequeño
  2. Ventilador del evaporador averiado o gira a bajas revoluciones
  3. Caída de presión exagerada en el evaporador o en la línea de aspiración
  4. Evaporador bloqueado de hielo
  5. El desescarche bloqueado de hielo
  6. Insuficiente paso de aire a través del evaporador
  7. Acumulación de aceite en el evaporador
  8. Falta de refrigerante líquido en el evaporador
-

## 4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS CONDENSADORES

Los condensadores se clasifican en dos grandes grupos:

- Condensadores enfriados por aire.
- Condensadores enfriados por agua.

### 4.1.1 CONDENSADORES ENFRIADOS POR AIRE

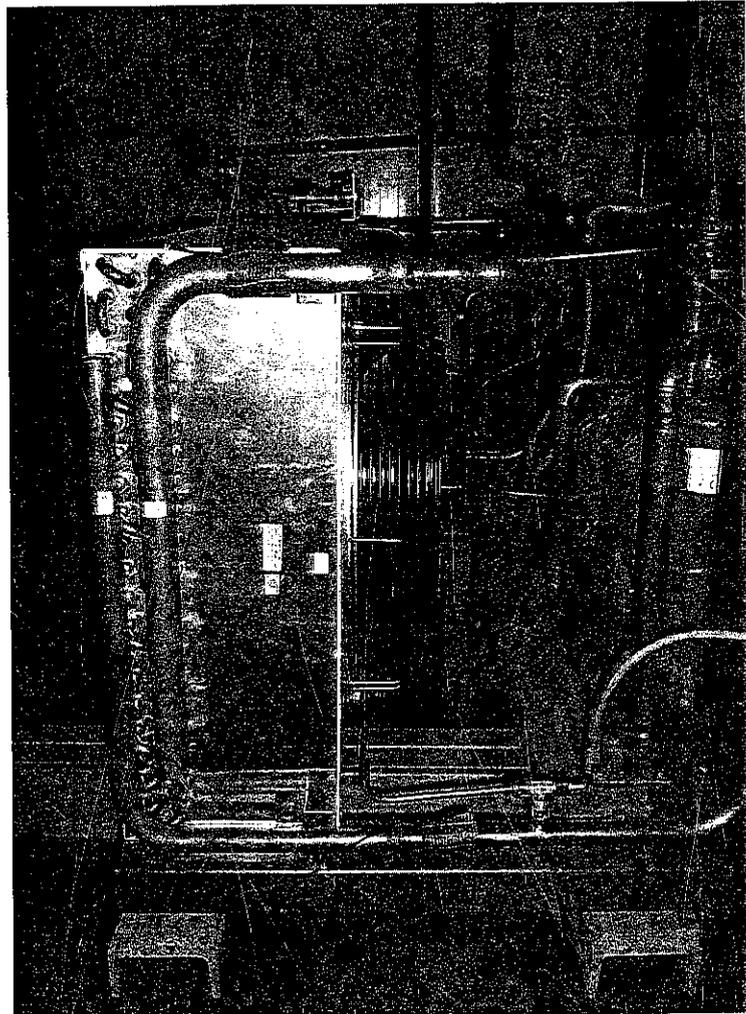
El aire es un medio de condensación del que se puede disponer gratuitamente en cantidad ilimitada, por lo que es el más utilizado para obtener de forma económica la condensación de los vapores del fluido frigorígeno.

Sin embargo, el aire tiene un calor específico muy bajo ( $c_{pa} \approx 1 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ ) y, además, el coeficiente global de transmisión de calor entre un vapor condensante y un gas (aire) es débil. Estas dos características obligan a mover grandes volúmenes de aire y a que deba tenerse una gran superficie de intercambio para cantidades de calor relativamente reducidas.

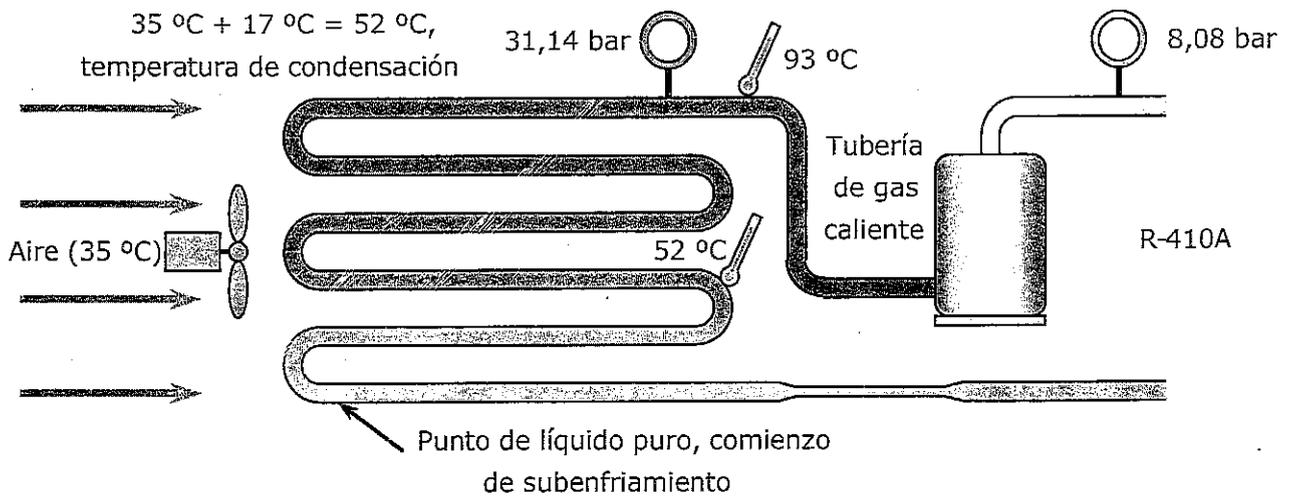
Esto implica la necesidad de aparatos muy voluminosos, por lo que (como regla general) estos condensadores se utilizan solamente máquinas frigoríficas de potencia igual o inferior a 2.000 kW.

El aire se hace circular de manera forzada sobre el conjunto de tubos aleteados mediante ventiladores.

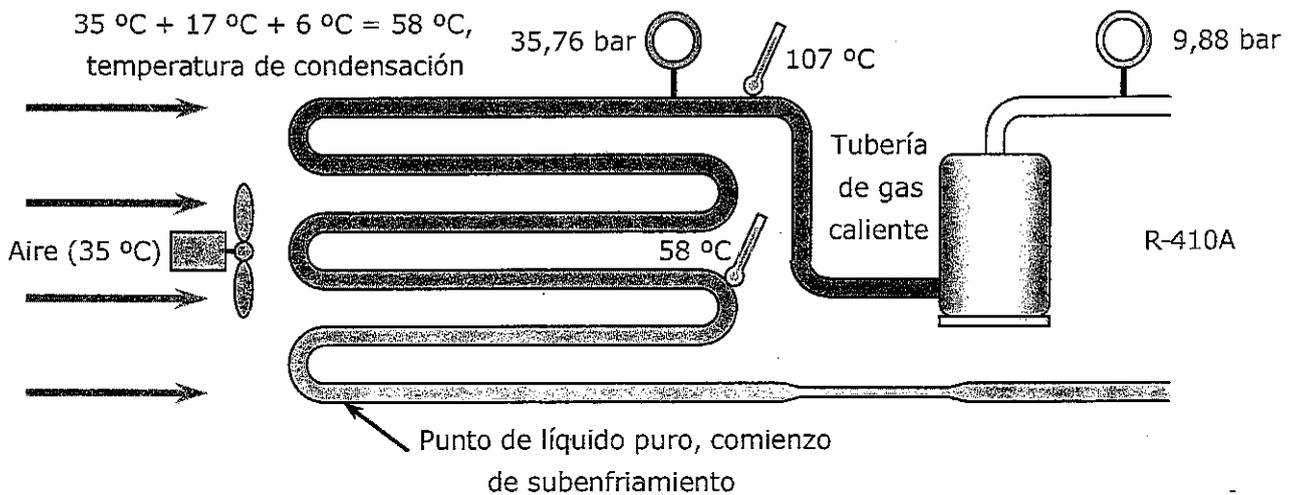
Los condensadores enfriados por aire están directamente relacionados con la temperatura del aire que pasa por ellos (aire ambiente). El refrigerante del interior del serpentín de un condensador de eficiencia estándar se condensa normalmente a una temperatura  $17 \text{ }^\circ\text{C}$  superior a la del aire que pasa por él.



Por ejemplo, con una temperatura exterior de 35 °C, la temperatura de condensación sería de 52 °C. Si el refrigerante es R-410A, el manómetro de alta presión indicaría 3.114 kPa.



Si la presión de aspiración es elevada, puede alcanzar una temperatura de condensación 6 °C por encima de lo habitual, lo que significaría que la presión de descarga, para el R-410A, sería de 35,76 bar (35 °C + 17 °C + 6 °C = 58 °C)



#### 4.1.2 CONDENSADORES ENFRIADOS POR AGUA

El agua es más densa que el aire, por lo que puede absorber calor de forma más eficiente que el aire. En los condensadores enfriados por agua, los coeficientes globales de transmisión de calor son mucho más elevados que en los condensadores de aire. Por tanto, a igual calor específico, serán mucho menos voluminosos que los condensadores de aire.

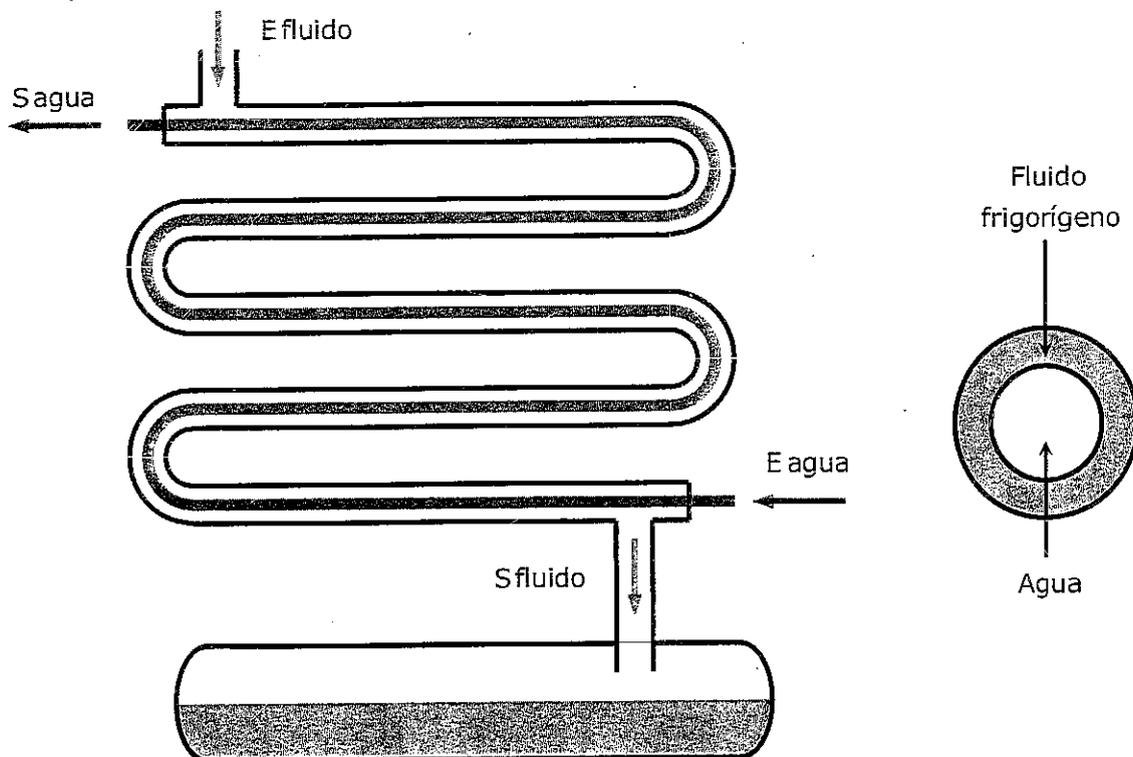
Los condensadores enfriados por agua se diseñan para trabajar a una temperatura de condensación constante de sólo unos 40 °C. La única ocasión en la que un condensador enfriado por aire funciona a esta temperatura es en días templados (24 °C).

## Condensadores coaxiales a contracorriente

En estos condensadores, el refrigerante circula en el espacio anular y el agua por el tubo interior. De esta forma resulta posible hacer circular ambos fluidos a contracorriente.

Se construyen con tubos de cobre de una misma longitud. Los dos tubos, uno dentro del otro se curvan a la vez, evitando los codos y soldaduras.

Estos condensadores requieren de un recipiente de líquido a la salida, tal como se ilustra en la figura siguiente.

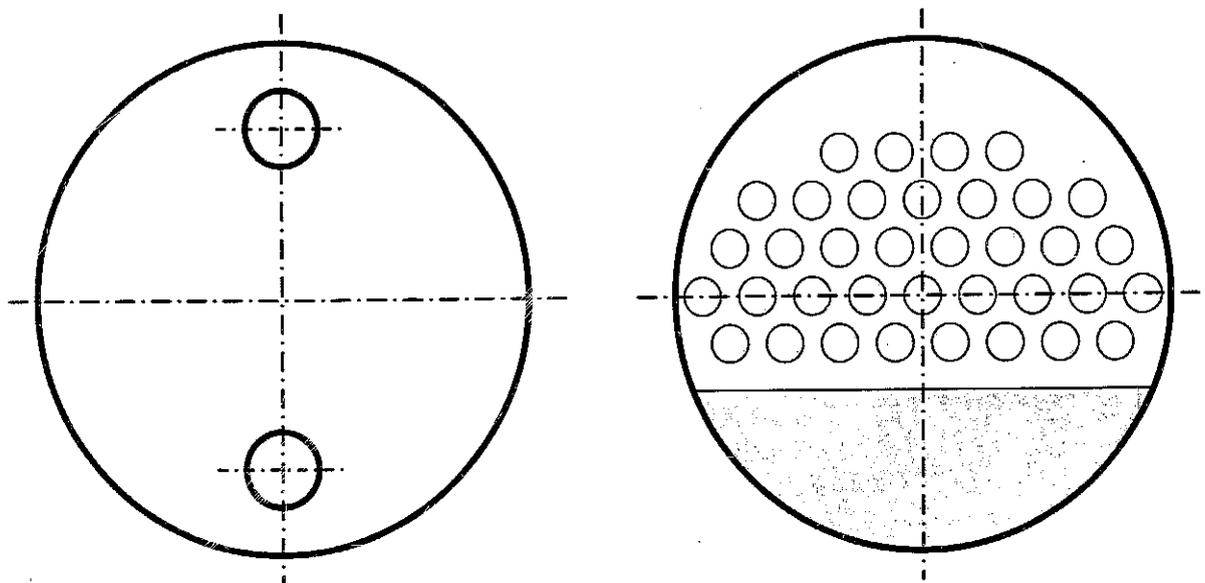


Este recipiente permite acumular cierta cantidad de líquido frigorígeno el cual, sin la presencia del recipiente, llenaría las últimas espiras del condensador disminuyendo, por lo tanto, la superficie libre destinada a la condensación del fluido.

## Condensadores multitubulares horizontales (coraza y tubo)

Consiste en una virola en cuyo interior se encuentran los tubos por donde circula el agua.

La condensación del fluido se efectúa en el exterior de dichos tubos de agua, sirviendo la parte inferior de la virola como recipiente del líquido condensado.

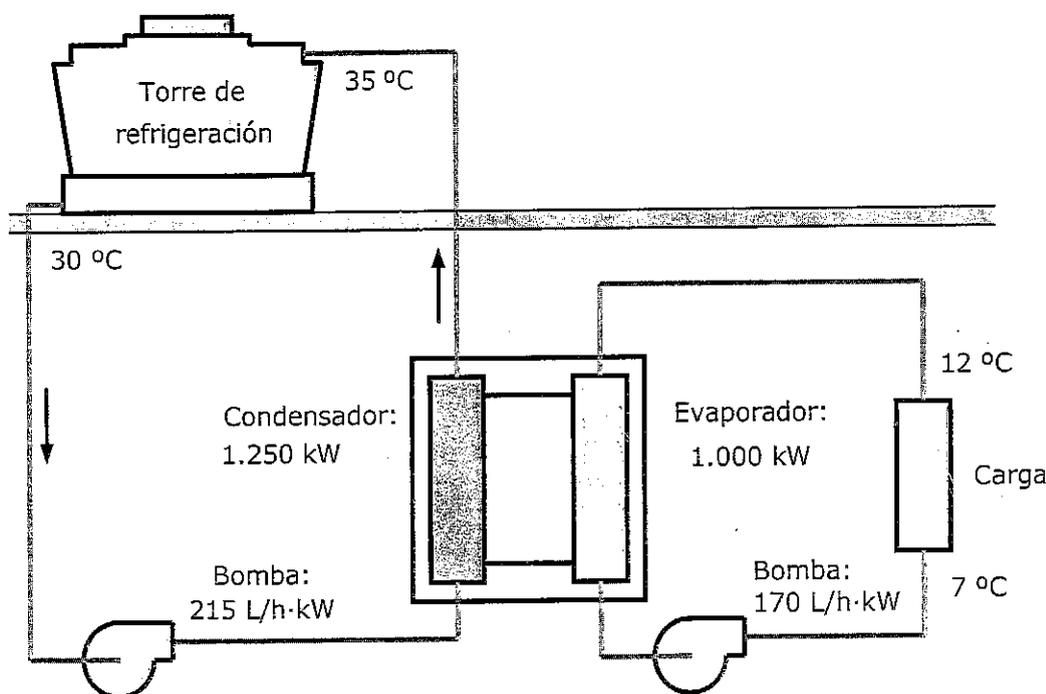


Debe asegurarse que la temperatura donde se halle ubicado no sea inferior a 0 °C (congelamiento del agua).

La circulación de agua debe ser de 1 a 2 m/s, combinándose perfectamente con una torre de refrigeración, pues el agua solo se calienta de 3 °C a 5 °C.

## 4.2 TORRES DE REFRIGERACIÓN

El calor absorbido por el evaporador debe ser expulsado a la atmósfera. En general, los sistemas de acondicionamiento de aire y refrigeración de más de 700 kW (200 ton) utilizan el agua como medio para expulsar el calor, y la mayoría de estas instalaciones utilizan torres de refrigeración para la expulsión última del calor a la atmósfera. La torre de refrigeración es el mejor sistema cuando se desea limitar el consumo de energía primaria. La figura muestra un sistema básico con torre de refrigeración.



R-428A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es una mezcla de: R-125 (77,5%), R-143A (20%), R-600A, (1,9%), R-290 (0,6%).</li> <li>• Se transfiere en fase líquida o en cargas completas se hace en fase gas.</li> <li>• Punto de ebullición es de -48,35 a -47,51 °C.</li> <li>• Masa molar 107,5 kg/kmol.</li> </ul>
--------	--

### Otros refrigerantes compatibles

R-417A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es una mezcla de: R-125 (46,6%), R-134A (50%), R-600 (3,4%).</li> <li>• Debe transferirse siempre en fase líquida desde la botella.</li> <li>• Punto de ebullición es de -38,0 a -32,9 °C.</li> <li>• Masa molar de 106,7 kg/kmol.</li> </ul>
--------	--

R-422D	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es una mezcla de: R-125 (85,1%), R-134A (11,5%), R-600A (3,4%).</li> <li>• Se transfiere en fase líquida.</li> <li>• Su punto de ebullición es de -46,0 a -43,6 °C.</li> <li>• Su masa molar 113,49 kg/kmol.</li> </ul>
--------	--

R-422A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es una mezcla de: R-125 (65,1%), R-134A (31,5%), R-600A (3,4%).</li> <li>• Se transfiere en fase líquida.</li> <li>• Su punto de ebullición es de -42,6 a -38,6 °C.</li> <li>• Su masa molar de 109,83 kg/kmol.</li> </ul>
--------	---

R-427A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un mezcla de: R-32 (15%), R-125 (25%), R-143A (10%), R-134A (50%).</li> <li>• Se transfiere en fase líquida, en cargas completas en fase gas.</li> <li>• Su punto de ebullición es de -43,0 a -32,87 °C.</li> <li>• Su masa molar de 90,4 kg/kmol.</li> </ul>
--------	---

La prueba de acidez deberá efectuarse según el apartado 1.5.3.1.

Si el refrigerante no cumple cualquiera de las condiciones antes indicadas o el historial del refrigerante indica una contaminación elevada del mismo, por ejemplo, debido al quemado del motor, el refrigerante deberá ser regenerado o eliminado de forma adecuada mediante su entrega a un gestor de residuos autorizado.

Cualquier refrigerante limpiado deberá cumplir con las especificaciones del anexo informativo B de la UNE EN 378-4 Guía de especificaciones (parámetros para refrigerantes reciclados).

## 7.3 OPCIONES DE REFRIGERANTES ALTERNATIVOS

Los refrigerantes alternativos al R-22, se pueden clasificar en los llamados DROP-IN y el resto. La característica DROP-IN de algunos refrigerantes alternativos, nos indica que se puede cargar directamente en el sistema frigorífico sin necesidad de efectuar ninguna modificación en el mismo, comportándose de un modo similar.

### Refrigerante DROP-IN

R-424A	<ul style="list-style-type: none"><li>• Es una mezcla de R-125 (50,5%), R-134a (47%), R-600a (0,9%), R-600 (1%), R-601a (0,6%).</li><li>• Se transfiere en fase líquida o en cargas completas si se hace en fase gas.</li><li>• Punto de ebullición a 1,013 bar es -39,74 a -34,34 °C,</li><li>• Masa molar 108,0 kg/kmol.</li></ul>
--------	--

R-434A	<ul style="list-style-type: none"><li>• Es una mezcla de: R-125 (63,2%), R-143a (18%), R-134a (16%), R-600a (2,8%).</li><li>• Se transfiere en fase líquida.</li><li>• Punto de ebullición es de -45,03 a -42,26 °C.</li><li>• Masa molar 105,3 kg/kmol.</li></ul>
--------	--

En la prueba de acidez se utilizará el método de titulación para detectar cualquier compuesto que pueda ionizarse como un ácido. Para la prueba se requiere una muestra de 100 g a 120 g con un límite inferior de detección de 0,1 ppm de masa.

Si no se supera la prueba de acidez, toda la carga de refrigerante se someterá a un tratamiento de limpieza o regeneración, debiendo ser sustituidos los filtros/ deshidratadores del sistema de refrigeración. Esta prueba de acidez, generalmente, no será necesaria cuando se trata de recuperar refrigerante de una instalación durante su construcción.

El refrigerante recuperado de un sistema de refrigeración (por ejemplo, el extraído por exceso de carga, o debido al mantenimiento del sistema, reparación local no contaminante, reparación general o sustitución de algún componente), podrá normalmente ser reintroducido en el mismo sistema.

Cuando un sistema quede fuera de servicio debido a una elevada contaminación del refrigerante o por haberse quemado el motor (compresor hermético o semihermético) el refrigerante debe ser limpiado, regenerado o eliminado.

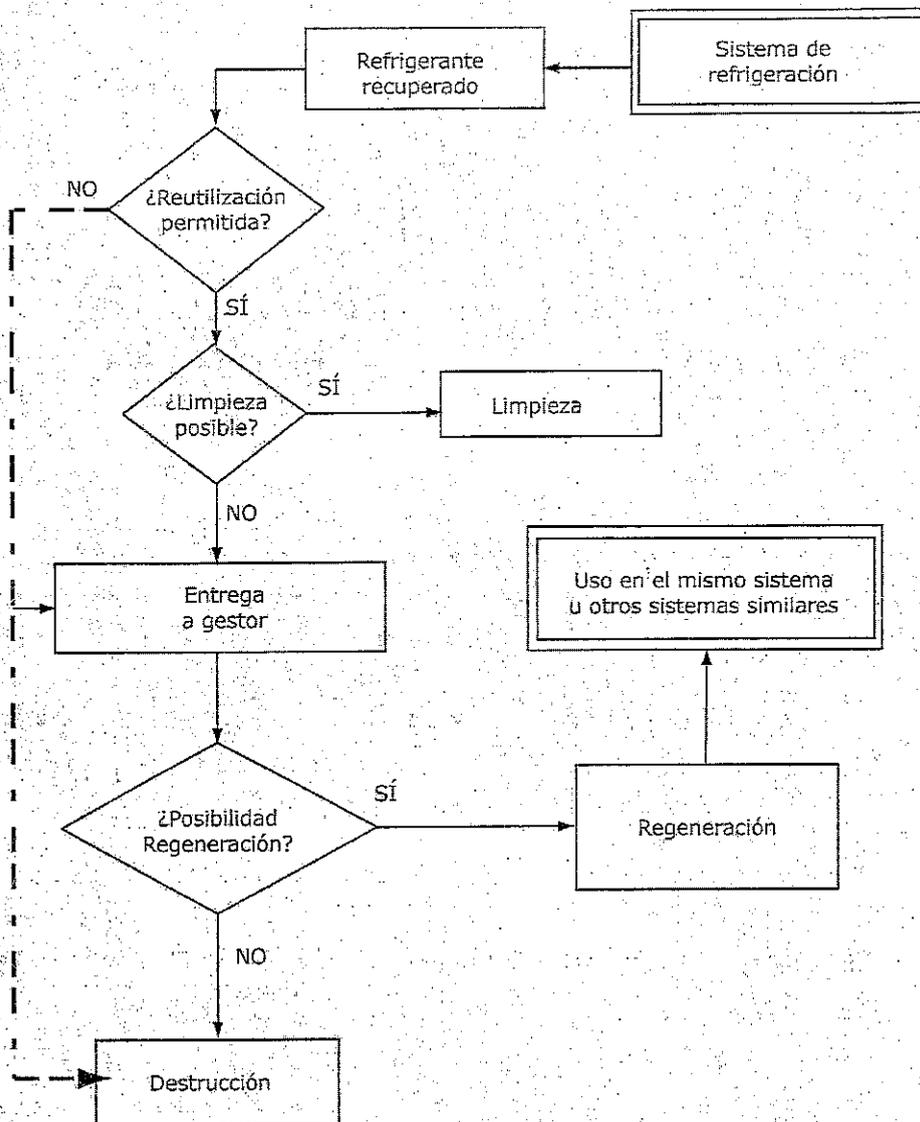
Los procedimientos de extracción y carga descritos en la Norma UNE-EN 378-4 deberán seguirse al recargar el refrigerante en el sistema de refrigeración.

Se volverá a cargar el refrigerante a través de un filtro/deshidratador a fin de eliminar la posible humedad absorbida por el fluido durante su recuperación.

### **1.5.3.2 Reutilización en un sistema similar**

El uso de un refrigerante recuperado en un sistema de refrigeración de similares características y componentes deberá cumplir los requisitos siguientes:

- a. El mantenimiento del sistema deberá realizarlo la misma persona o empresa que haya realizado la recuperación del refrigerante.
- b. El equipo de limpieza deberá cumplir con los requisitos del apartado 1.5.4
- c. Que se conozca el historial del refrigerante y del sistema de refrigeración desde la fecha de la primera puesta en servicio.
- d. La empresa frigorista deberá informar, a la propiedad o al usuario, del proceso de limpieza del refrigerante utilizado, así como de su procedencia y de los resultados de las pruebas o, en su caso, de los análisis practicados.



### 1.5.2 Recuperación para la reutilización general

Para la reutilización general, los refrigerantes recuperados deberán ser limpiados o entregados a gestor de residuos para su regeneración y cumplimiento con las especificaciones correspondientes a los refrigerantes nuevos.

### 1.5.3 Recuperación para la reutilización en el mismo sistema o en un sistema similar

#### 1.5.3.1 Para reutilización en el mismo sistema

En el caso de un refrigerante fluorado, se deberá realizar una prueba de acidez.

3. Los gases fluorados de efecto invernadero contenidos en otros productos y aparatos, con inclusión de los aparatos móviles, a menos que sirvan para operaciones militares, serán recuperados por personal debidamente cualificado, siempre que ello sea viable técnicamente y no genere costes desproporcionados, con el fin de garantizar su reciclado, regeneración o destrucción.

4. La recuperación a efectos de reciclado regeneración o destrucción de los gases fluorados de efecto invernadero, en virtud de los apartados 1 y 3, tendrá lugar antes de la eliminación final de dichos aparatos y, en su caso, durante su reparación y mantenimiento.

- Reglamento de Seguridad para Instalaciones Frigoríficas RD 138/2011, en su Instrucción IF-17 en el apartado 1.5 nos indica:

### **1.5 Requisitos para la recuperación y reutilización del refrigerante**

#### **1.5.1 Generalidades**

Las directrices dadas en relación con el tratamiento a seguir para la recuperación de un refrigerante antes de su reutilización, son aplicables a todas las clases de refrigerantes con las siguientes salvedades para refrigerantes CFC y HCFC.

Los refrigerantes CFC una vez recuperados, no se pueden reutilizar y deberán ser entregados a gestor de residuos autorizado para su eliminación.

Los refrigerantes HCFC una vez recuperados, sólo podrán reutilizarse bien por la misma empresa frigorista que los recuperó, bien por otra distinta pero, en este caso, únicamente en equipos del mismo titular que el equipo del cual se recuperaron. A partir del 1 de enero de 2015 no se podrán reutilizar en ningún caso y deberán ser entregados a gestor de residuos autorizado para su eliminación.

En el resto de casos se dará preferencia, en primer lugar, a la reutilización del refrigerante, previa limpieza del mismo y en segundo lugar a la regeneración, evitándose la eliminación del refrigerante siempre que sea posible.

Según el caso, el refrigerante recuperado seguirá alguno de los caminos indicados en el diagrama de la figura 1.

## **7.1 INTRODUCCIÓN**

Identificación	Nombre químico	Fórmula química	Grupo	Grupo seguridad
R-22	Clorodifluorometano	CHClF <sub>2</sub>	Grupo L	A1

## **7.2 NORMATIVA APLICABLE**

La normativa aplicable para este tipo de gas es:

- Reglamento CE nº 1.005/2009, en el cual prohíbe la venta y el uso de refrigerantes entre otros de los HCFC, en todo el ámbito de la Comunidad Económica Europea desde el 01/01/2010, pudiéndose vender y utilizar siempre que sean regenerados, específicamente identificados y documentados donde se demostrará la procedencia, cumpliendo la normativa de cada país.
- Reglamento CE nº 842/2006, en su artículo 4º que dice:

### **Artículo 4 Recuperación**

1. los operadores de los siguientes tipos de aparatos fijos serán responsables de tomar las medidas necesarias para la recuperación adecuada, por parte de personal acreditado que cumpla los requisitos establecidos en el artículo 5, de gases fluorados de efecto invernadero con el fin de garantizar su reciclado, regeneración o destrucción:

- a) Circuitos de refrigeración de los aparatos de refrigeración, aire acondicionado y bomba de calor;
- b) Aparatos que contengan disolventes a bases de gases fluorados de efecto invernadero;
- c) Sistemas de protección contra incendios y extintores, y
- d) Equipos de conmutación de alta tensión

2. Cuando un contenedor de gases fluorados, recargable o no, alcance el final de su vida útil, la persona que utilice el contenedor a efectos de transporte o almacenamiento será la responsable de tomar las medidas necesarias para la adecuada recuperación de cualesquiera gases residuales que contenga con el fin de garantizar su reciclado, regeneración o destrucción.

3. Montaje incorrecto del bulbo. El bulbo solo tiene que detectar la temperatura del propio tubo. Aislar con un material que no absorba agua.

4. Enclavamiento mecánico de la válvula por humedad o suciedad. Agua congelada o suciedad en la válvula sujetan la aguja en posición abierta, dejando de reaccionar al cambio de temperatura del bulbo. La humedad congelada puede bloquear la válvula en cualquier posición (completamente abierta, cerrada u otra posición).

5. La válvula no cierra. La aguja o la tobera están destruidas por corrosión, cavitación o erosión, siendo así que el cierre hermético es imposible. La existencia de suciedad o partículas metálicas entre orificio y aguja impide el cierre hermético.

---

válvula), tendremos la seguridad que el tapón está provocado por la humedad existente en el circuito. Si realizada esta operación no encontramos variación en cuanto al funcionamiento de la válvula (valor del sobrecalentamiento), el tapón estará producido por la **suciedad** acumulada en el filtro de la propia válvula, en cuyo caso se debe completar el análisis de todos los componentes del sistema antes de proceder a desarmar la válvula.

### **b) Mala calidad de líquido delante de la válvula (sin subenfriamiento)**

En el caso de tener una cantidad insuficiente de refrigerante en estado líquido delante de la válvula, tendremos un evaporador alimentado solo en una parte de su superficie, ya que si medimos el sobrecalentamiento lo encontraremos más largo de lo normal.

Si la instalación tiene visor de líquido a la salida del filtro secador, comprobaremos la existencia de burbujas de gas, ya que de ser así el origen de la avería podría ser por:

1. Falta de refrigerante. El filtro secador lo encontramos a temperatura ambiente, y la presión de baja más baja de lo normal. La falta de refrigerante da siempre lugar a la pérdida de rendimiento puesto que el refrigerante evaporado ya no está en condiciones de absorber calor, circulando pues sin utilidad alguna.
2. Mala condensación. El filtro secador lo encontramos más caliente de lo normal, pero la presión de baja puede ser normal e incluso un poco más alta de lo normal.
3. Tapón parcial en el filtro secador. El filtro secador lo encontramos más frío de lo normal, y la presión de baja más baja de lo normal.
4. Tubería de líquido con diámetro pequeño, o tubería demasiado larga, o pérdida de presión demasiado elevada (filtro secador, accesorios etc.). En los puntos de estrangulación, se produce una expansión parcial o formación de gas, si la obturación progresa mucho, la diferencia de temperatura es apreciable al tacto.
5. Pérdida de presión debida a que el evaporador se ha instalado varios pisos más arriba que el condensador.

### **c) Evaporador sobrealimentado (trabajo húmedo del compresor)**

En el caso de que el evaporador se encuentre sobrealimentado de refrigerante, encontraremos un sobrecalentamiento muy corto a la salida del evaporador, y una presión de baja más baja de lo normal en todos los casos. El origen de la avería puede ser debido a:

1. Ajuste incorrecto de la válvula. La válvula está demasiado abierta, sobrecalentamiento insuficiente. Reajustar válvula.
2. Mal contacto del bulbo sensible.

### **a) Sobrecalentamiento alto**

Cuando el sobrecalentamiento es alto, la superficie del evaporador es ineficiente y se obtiene una baja capacidad del sistema de refrigeración y un alto consumo de energía. Puntos a inspeccionar:

1. Obstrucción de la línea de líquido (expansión antes de la válvula).
  2. Baja carga de refrigerante.
  3. Baja caída de presión a través de la válvula.
  4. Tapón de hielo, suciedad o aceite.
  5. Bulbo de la válvula mal instalado (cerca de fuente de calor o muy lejos).
  6. Ajuste de la válvula incorrecto.
- 

### **b) Sobrecalentamiento bajo**

Cuando el sobrecalentamiento es bajo, el evaporador está sobrealimentado, lo que ocasiona pérdida de eficiencia, alto consumo de energía y riesgo de daño al compresor. Puntos a inspeccionar:

1. Asiento de la válvula defectuoso (fuga en el asiento de la válvula).
  2. Bulbo de la válvula mal instalado (muy cerca).
  3. Ajuste de la válvula incorrecto.
- 

### **Averías en la válvula de expansión**

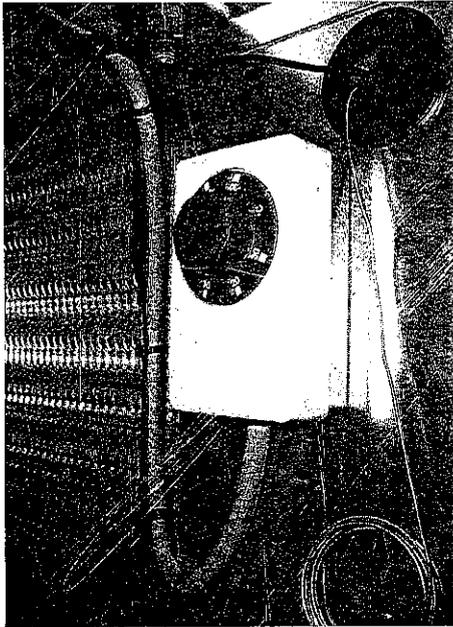
#### **a) Comprobación de la existencia de humedad en la válvula**

En la mayoría de los casos un pequeño cristal de hielo da lugar al bloqueo de la aguja. El efecto que produce la humedad congelada en la válvula, puede manifestarse en el funcionamiento de la instalación de las formas siguientes:

1. No hay inyección de líquido. Al evaporador lo encontramos sin escarcha y sin "producción de frío". Si comprobamos la presión de baja, la encontraremos en zona de vacío profundo (el compresor aspira y no le llega refrigerante).
  2. El paso de líquido es escaso. El refrigerante llega al evaporador en cantidad insuficiente provocando un escarche incompleto del evaporador (acumulación de escarcha en la entrada del evaporador y primeros codos, así como en el cuerpo de la válvula); la presión de baja está anormalmente baja y el sobrecalentamiento largo.
- 

**Comprobaciones:** Si envolvemos la válvula con un trapo mojado con agua caliente, y el sobrecalentamiento se restablece (funcionamiento normal de la

## 6.9 REGULADORES DE TEMPERATURA



El principal regulador de la temperatura es el termostato. Tiene por función la regulación de la temperatura (generalmente la del recinto en el cual se instala) mediante una acción "todo-nada". Su misión es la de controlar la puesta en marcha y paro de algún elemento, para poder mantener las condiciones deseadas de temperatura. La detección de temperatura se lleva a cabo mediante un elemento sensible:

- Dilatación de un sólido (bimetal), líquido o vapor, en los termostatos electromecánicos.
- Variación de una resistencia, en los termostatos electrónicos. Pueden no solamente asegurar la regulación de las temperaturas (regulación simple), sino también cumplir las funciones propias de los higrostats y los presostatos (regulación múltiple).

Normalmente, los termostatos que monitorean el aire de retorno (temperatura media del compartimento), tienen un diferencial de temperatura (diferencia de temperatura entre la "conexión" y la "desconexión") comprendido entre 2 °C y 3 °C.

## 6.10 PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS VÁLVULAS DE EXPANSIÓN

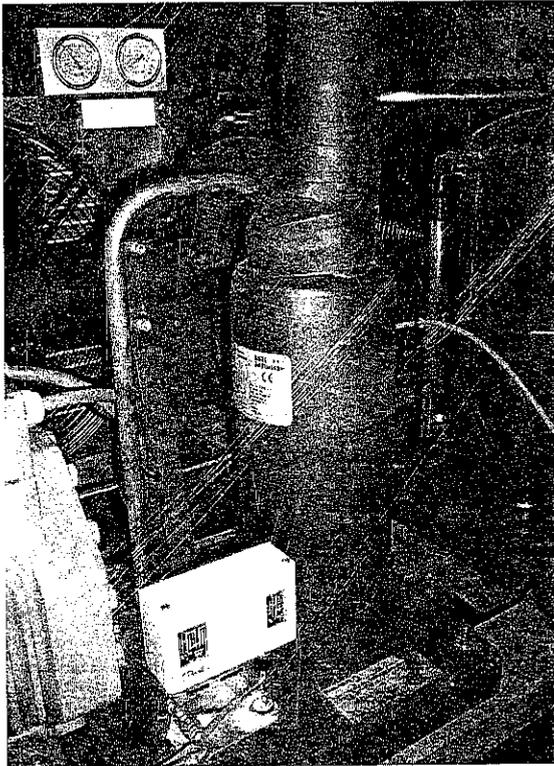
### FUNCIONAMIENTO DE LA VÁLVULA DE EXPANSIÓN

Cuando se pretende analizar el funcionamiento de una válvula de expansión, se deben efectuar los siguientes pasos:

1. Instalar el manómetro en la toma de baja y leer la presión de vaporización convirtiéndola a temperatura; se debe tener cuidado en hacer la corrección que sea necesaria, debido a la caída de presión en la línea de succión. También se puede medir la temperatura directamente colocando un termómetro al inicio del evaporador.
2. Instalar el termómetro debidamente aislado en el tubo de salida del evaporador, junto al bulbo termostático de la válvula.
3. Restar las dos temperaturas (Sobrecalentamiento =  $T_{\text{bulbo}} - T_{\text{vap}}$ ).

APLICACIÓN	ACONDICIONAMIENTO DE AIRE	REFRIGERACIÓN COMERCIAL	REFRIGERACIÓN DE BAJA TEMPERATURA
Temperatura de vaporización (°C)	10 °C a 5 °C	5 °C a -20 °C	-20 °C a -40 °C
Sobrecalentamiento (°C)	5 °C a 7 °C	3 °C a 5 °C	2 °C a 3 °C

## 6.7 ACUMULADOR DE ASPIRACIÓN



El acumulador de aspiración, llamado también "recipiente contra golpes de líquido" o "separador de partículas líquidas", tiene por objeto evitar la aspiración accidental de fluido no evaporado en el compresor. Este acumulador de aspiración se coloca en la línea de aspiración de la instalación, lo más cerca posible del compresor. No debe estar aislado, para que cualquier líquido que contenga pueda llegar a vaporizarse.

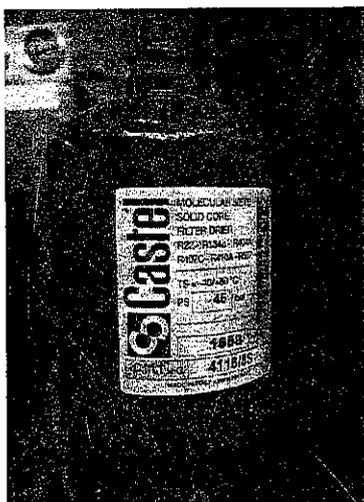
Es un elemento que se monta en instalaciones con una probabilidad elevada de que el compresor aspire líquido refrigerante durante su funcionamiento.

## 6.8 FILTROS SECADORES

El filtro secador (deshidratador) tiene como funciones:

- Absorber la humedad contenida en el circuito frigorífico.
- Recoger las impurezas que puedan circular con el refrigerante.
- Reducir el grado de acidez en la instalación.

Los filtros secadores se colocan en la tubería de líquido o en la tubería de aspiración. También se encuentran en la entrada de muchos aparatos de automatismo, formando un conjunto. Deben instalarse lo más cerca posible de la válvula de expansión. El sentido de paso del fluido se indica por medio de una flecha.



### FILTROS SECADORES PARA LA TUBERÍA DE LÍQUIDO

El filtro secador puede estar situado en cualquier lugar de la tubería de líquido, después de la válvula maestra del recipiente de líquido. Se debe instalar en posición vertical descendente según la dirección del líquido, ya que se obliga a que todo el refrigerante pase a través del secador, y se evita la formación de polvo molecular que podría taponar la salida.

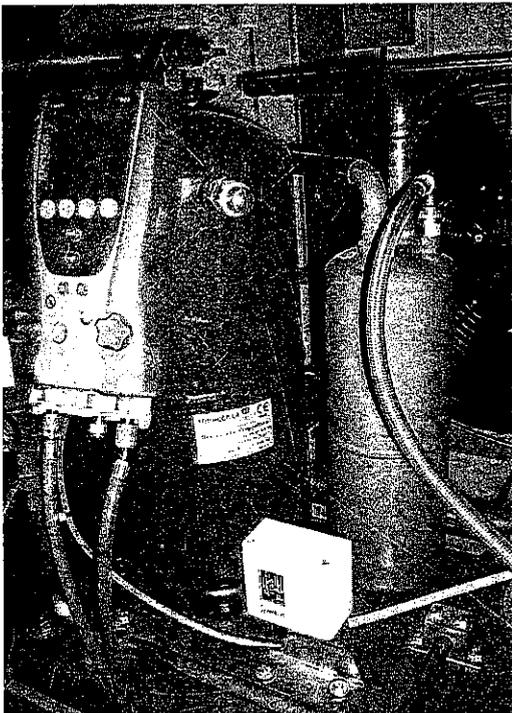
1. Mantener una temperatura de evaporador mínima para evitar la escarcha en serpentines de aire y un mejor control de la humedad.
2. Regulación de la temperatura del evaporador en vitrinas refrigeradas para alimentos (sistemas de evaporador único y evaporadores múltiples).
3. Regulación de la temperatura del evaporador en enfriadoras de agua.

La EPR se usa mucho en **sistemas de enfriamiento de agua y salmuera** con el fin de evitar el congelamiento durante los periodos de carga mínima.

La EPR también se utiliza cuando se tiene un compresor con varios evaporadores que operan a temperaturas diferentes. Se instala una válvula EPR en la tubería de aspiración de cada uno de los evaporadores de temperatura más alta.

La válvula EPR también se utiliza en aquellos casos en que el compresor es de mayor potencia que los evaporadores; de esta manera se puede conseguir en el evaporador la presión adecuada para conseguir la temperatura deseada en la cámara.

## 6.6 | SEPARADOR DE ACEITE



La función del separador de aceite es garantizar el retorno del aceite que es impulsado fuera del compresor con el refrigerante a través de la tubería de descarga.

La separación del aceite del fluido frigorígeno puede obtenerse por:

- Cambios bruscos de dirección.
- Reducción brusca de la velocidad (aumento de la sección).
- Choques sobre las paredes.

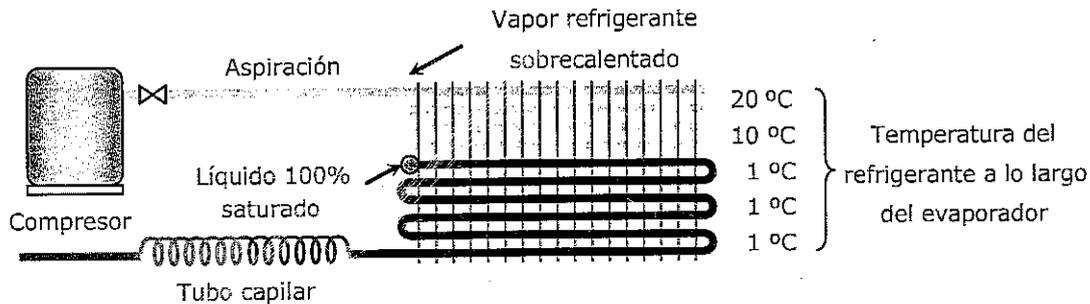
La separación se produce separando la mezcla aceite-gas por gravedad o decantación, cayendo el aceite al fondo y regresándolo de nuevo al cárter del compresor.

Los separadores de aceite se instalan en la descarga de los compresores, lo más cerca posible de éstos.

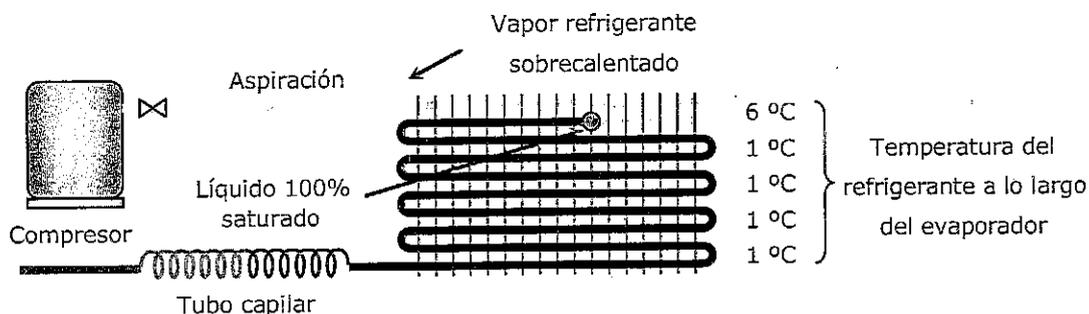
Los separadores de aceite son recipientes cilíndricos de chapa de acero soldada, cuya sección obliga a que la velocidad del gas no pase de 0,4 a 0,5 m/s. El aceite separado se junta en la parte baja del separador y a continuación regresa al cárter del compresor de forma automática a través de un tubo de retorno.

sobrecalentamiento a la salida del evaporador, que indirectamente controla también el subenfriamiento:

a) Sistema con deficiencia de refrigerante: El evaporador no se utiliza completamente. El sobrecalentamiento es excesivo:  $20\text{ }^{\circ}\text{C} - 1\text{ }^{\circ}\text{C} = 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



b) Sistema con carga correcta de refrigerante: El evaporador se utiliza completamente. El sobrecalentamiento es correcto:  $6\text{ }^{\circ}\text{C} - 1\text{ }^{\circ}\text{C} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



El tubo capilar es demasiado lento en su respuesta a los cambios en la carga o a las modificaciones en la cantidad de refrigerante. Por ejemplo, si un técnico añade cierta cantidad de refrigerante en el sistema, la carga tarda 15 minutos en ajustarse. Muchos técnicos se precipitan y sobrecargan este tipo de sistemas.

En muchos sistemas de tubos capilares, el tubo capilar está sujeto a la tubería de aspiración, entre el condensador y el evaporador, con el fin de intercambiar calor entre el tubo capilar y la tubería de aspiración.

## 6.5 VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN DE EVAPORADOR

En cualquier sistema frigorífico, a medida que disminuye la carga, también disminuye la presión de vaporización. La válvula reguladora de presión de evaporador (*Evaporator Pressure Regulating, EPR*) es un control que evita que la presión (y temperatura) de vaporización baje de un valor mínimo determinado, independientemente de qué tan baja sea la presión en la tubería de aspiración. La válvula EPR incorpora un orificio manométrico (Schrader).

La válvula EPR se instala en la tubería de aspiración, en la salida del evaporador. La válvula EPR nunca se queda completamente cerrada mientras que el compresor está funcionando.

Las aplicaciones de la válvula EPR son:

Selección de tubos capilares para compresores de baja temperatura R-404A																
T <sub>c</sub>	-40 °C				-35 °C				-30 °C				-25 °C			
T <sub>amb</sub>	25 °C		32 °C													
CV	L	D	L	D	L	D	L	D	L	D	L	D	L	D	L	D
3/8	1,4	0,8	2,25	0,8	2,2	1	3,2	1	1,6	1	2,1	1	1,2	1	1,55	1
1/2	1,2	1,2			1,75	1	2,35	1	1,25	1	1,65	1	0,9	1	1,25	1
5/8	2,05	1			1,4	1	1,9	1	0,95	1	1,3	1	1,8	1,2	2,8	1,2
3/4					1,85	1,2			1,1	1,2	1,65	1,2			0,95	1,2
1 1/4	2,1	1,2			1,25	1,2	1,95	1,2	2,8	1,5	1,2	1,2	1,35	1,5	2,3	1,5
1 3/4	1,2	1,2	2	1,2	1,8	1,5	1	1,2	0,95	1,5	1,55	1,5				

L = longitud (m); D = diámetro interior (mm)

Debido a que en el sistema el tubo capilar y el compresor están conectados en serie, el tubo capilar debe alimentar el evaporador con el mismo caudal aspirado por el compresor.

Tiene su máxima eficiencia sólo para ciertas condiciones de operación fijadas. Para otras condiciones, la eficiencia del sistema será algo menor a la máxima. Sin embargo, el tubo capilar es hasta cierto grado autocompensante y si está debidamente diseñado, dará servicio satisfactorio para un rango razonable de condiciones de operación.

Los fabricantes de sistemas de tubo capilar establecen la cantidad de refrigerante que debe haber en la unidad para un funcionamiento adecuado, sin que el compresor resulte dañado. La cantidad específica de refrigerante se denomina carga crítica. Los fabricantes recomiendan medir el refrigerante en estos sistemas con balanzas de precisión. En condiciones nominales de funcionamiento (temperatura ambiente exterior de 35 °C), un sistema cargado correctamente mantendrá un sobrecalentamiento de 5 °C al final del serpentín.

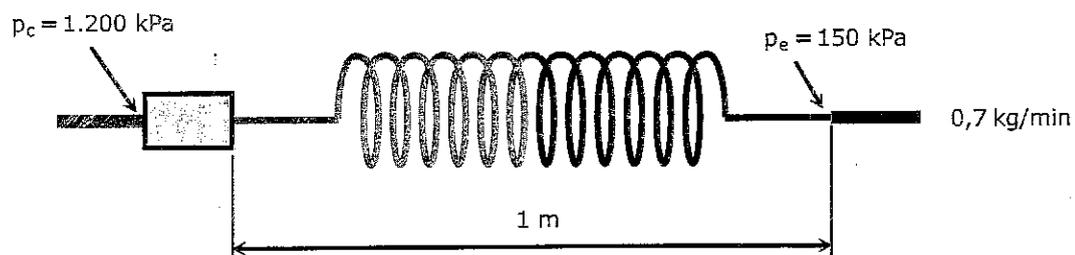
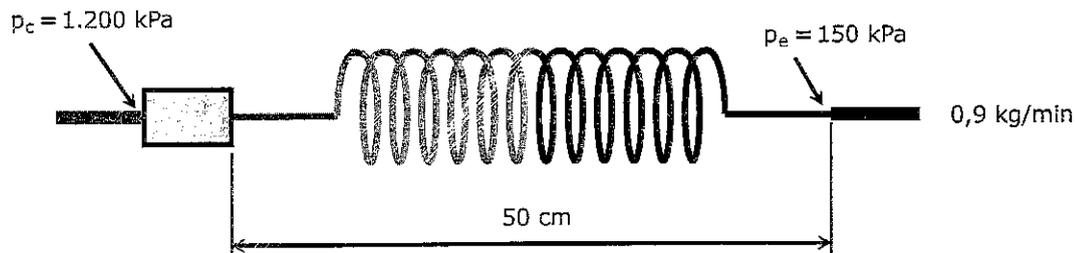
Si la unidad está sobrecargada de refrigerante, podría haber un retorno de flujo al compresor tanto en el caso de condiciones de carga baja en el evaporador como en condiciones de carga alta en el condensador. Además, ocasiona altas presiones de descarga y, por tanto, un alto consumo eléctrico, disminuyendo la eficiencia.

Si la unidad tiene poca carga, no refrigerará correctamente e incluso puede ocurrir que el compresor se sobrecaliente, causando un enfriamiento inadecuado del motor, deteriorándolo y provocando finalmente su quemadura. También ocasiona altas temperaturas de descarga, dañando el plato de válvulas. Por ejemplo, un sistema que tiene una deficiencia de refrigerante de un 10%, disminuye su eficiencia en un 20% aproximadamente, necesitándose que el equipo funcione un 20% más de tiempo para lograr el enfriamiento requerido.

El método para la determinación de la carga de refrigerante, es el del

Las **principales variables** que afectan el funcionamiento del tubo capilar son:

- Sus **dimensiones**: longitud y diámetro.
- Sus **presiones**: de entrada (condensación) y de salida (evaporación).
- El **subenfriamiento** del líquido a su entrada del tubo.



Cuanto más largo es el tubo, o más pequeño es su diámetro interior, más baja será la presión cuando el refrigerante salga de la tubería y entre en el evaporador.

El dimensionado de los tubos capilares es crítico, especialmente su diámetro. Una diferencia de 5 milésimas de pulgada, de un diámetro de 0,026" a 0,031", puede duplicar el caudal de refrigerante al evaporador. A continuación se muestran dos tablas de dimensionamiento para tubos capilares, para los refrigerantes R-134a y R-404A.

Selección de tubos capilares para compresores de alta temperatura, R-134a																
$T_e$	-10 °C				-5 °C				0 °C				+5 °C			
$T_{\text{pmb}}$	25 °C		32 °C		25 °C		32 °C		25 °C		32 °C		25 °C		32 °C	
CV	L	D	L	D	L	D	L	D	L	D	L	D	L	D	L	D
1/6	2,1	0,8	2,8	0,8	1,55	0,8	1,95	0,8	1,1	0,8	1,45	0,8			1	0,8
1/5	1,1	0,8	1,6	0,8	1,55	1	0,95	0,8	1,1	1	1,4	1			1,05	1
¼	1	1	1,3	1	2,7	1,2	0,9	1	1,95	1,2	2,45	1,2	1,55	1,2	1,85	1,2
3/8	1,9	1,2	2,55	1,2	1,4	1,2	1,75	1,2	1	1,2	1,3	1,2			0,9	1,2
½	1,2	1,2	1,5	1,2	2,85	1,5	1,1	1,2	2	1,5	2,6	1,5	1,45	1,5	1,85	1,5
¾	1,4	1,5	1,7	1,5	1,05	1,5	1,3	1,5			0,95	1,5				
1	1,05	1,5	1,35	1,5			0,9	1,5								
1 ½	2,7	2	3,4	2	1,85	2	2,4	2	1,3	2	1,65	2			1,15	2
2	1,25	2,2	1,6	2,2			1,1	2,2								

L = longitud (m); D = diámetro interior (mm)

se efectúa en la trampa.

Si el montaje horizontal resulta imposible, podrá fijarse verticalmente sobre el tramo ascendente de dicha tubería, después de una trampa de aceite (sifón).

Según sea el diámetro del tubo, la posición del bulbo sobre un tubo horizontal, será diferente dependiendo de la presencia eventual de gotitas de líquido que perturbarían la información del valor del recalentamiento. Se instalará en una posición de entre las 1 y las 4 horas (zona más fría) conforme están situados los números en la esfera de un reloj; si se coloca a las 6 horas (parte inferior del tubo), detectará el aceite existente en el circuito, y si se coloca a las 12 horas (parte superior de la tubería), detectaría solo gas (zona más caliente).

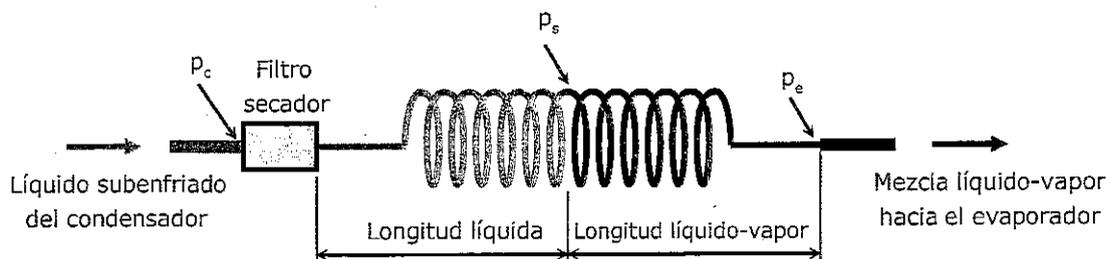
- Para tubos de aspiración de 3/8" a 5/8", a las 1 horas.
- Para tubos de aspiración de 3/4" y 7/8", a las 2 horas.
- Para tubos de aspiración de 1" y 1 1/8", a las 3 horas.
- Para tubos con diámetros superiores, a las 4 horas.

## 6.4 DOSIFICADOR DE TUBO CAPILAR

Las particularidades que tiene un tubo capilar son las siguientes:

- El tubo capilar es el elemento de expansión más sencillo y barato.
- Se denomina capilar porque está constituido por un finísimo tubo de 0,5 a 2,5 mm de diámetro interior y una longitud de 0,5 a 5 m.
- Al pasar a través del tubo capilar, el líquido refrigerante pierde presión a causa de la fricción y desaceleración del fluido, transformándose una parte en vapor.
- Habitualmente se monta en forma de bucle enrollado de 50 a 200 mm de diámetro.

El funcionamiento es el siguiente. El refrigerante entra en el tubo capilar a una presión de condensación  $p_c$ , que se va reduciendo a temperatura constante  $T_c$ , hasta que llega a la presión de saturación  $p_s$  a esta temperatura. En este punto (punto de ebullición o de burbujeo), comienza la vaporización (condición líquido-vapor) a lo largo de la longitud del tubo, bajando aún más su presión (y temperatura), hasta alcanzar la presión de vaporización  $p_e$ .



sobrecalentado de la tubería, por tanto, tendrá una presión ( $p_1$ ) de 1,82 bar, que es la presión que se ejerce en el diafragma a través del tubo capilar (fuerza total que tiende a abrir la válvula). Bajo estas condiciones, la fuerza que tiende a abrir la válvula es igual a la fuerza que tiende a cerrarla:

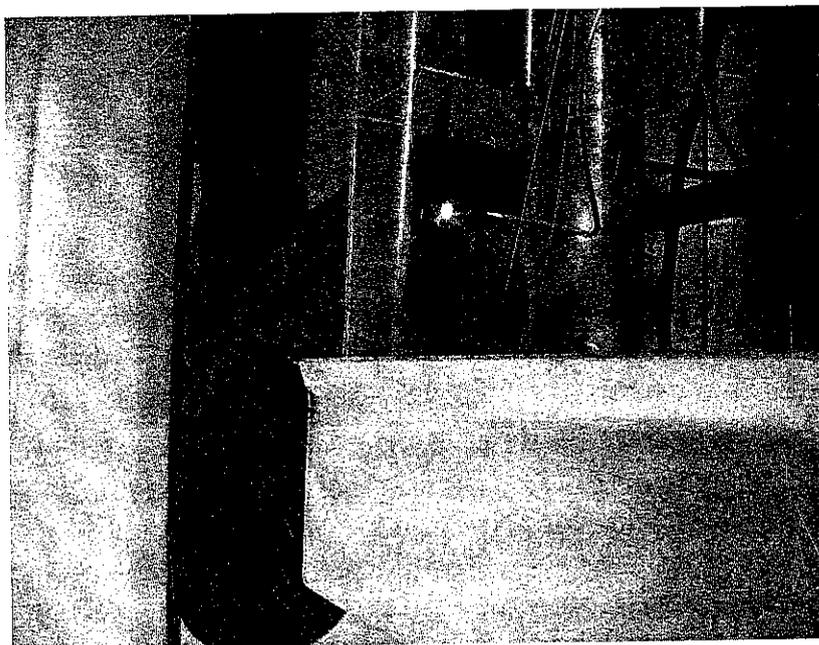
$$p_{22} + p_{21} = p_1 \Rightarrow p_{21} = 1,82 - 1,34 = 0,48 \text{ bar}$$

y la válvula estará en equilibrio, hasta que un cambio de sobrecalentamiento en la aspiración desequilibre las fuerzas y cause que la válvula se mueva en una u otra dirección.

TEMPERATURA DE LA CÁMARA	2 °C
TEMPERATURA DE VAPORIZACIÓN	-6 °C
SOBRECALENTAMIENTO	5 °C
TEMPERATURA BULBO (1,82 BAR)	-6 °C + 5 °C = -1 °C

### 6.3 COLOCACIÓN DEL BULBO REMOTO DE LA VET

El funcionamiento adecuado de la VET depende de la localización e instalación adecuada del bulbo remoto. El bulbo remoto debe estar abrazado con firmeza (usando grapas metálicas) a un tramo horizontal del tubo de aspiración, cerca de la salida del evaporador, y de preferencia dentro del espacio refrigerado. La superficie del tubo de aspiración deberá estar limpia para poder realizar un buen contacto térmico. El bulbo una vez montado en la tubería, se aislará térmicamente para evitar la influencia del ambiente exterior.



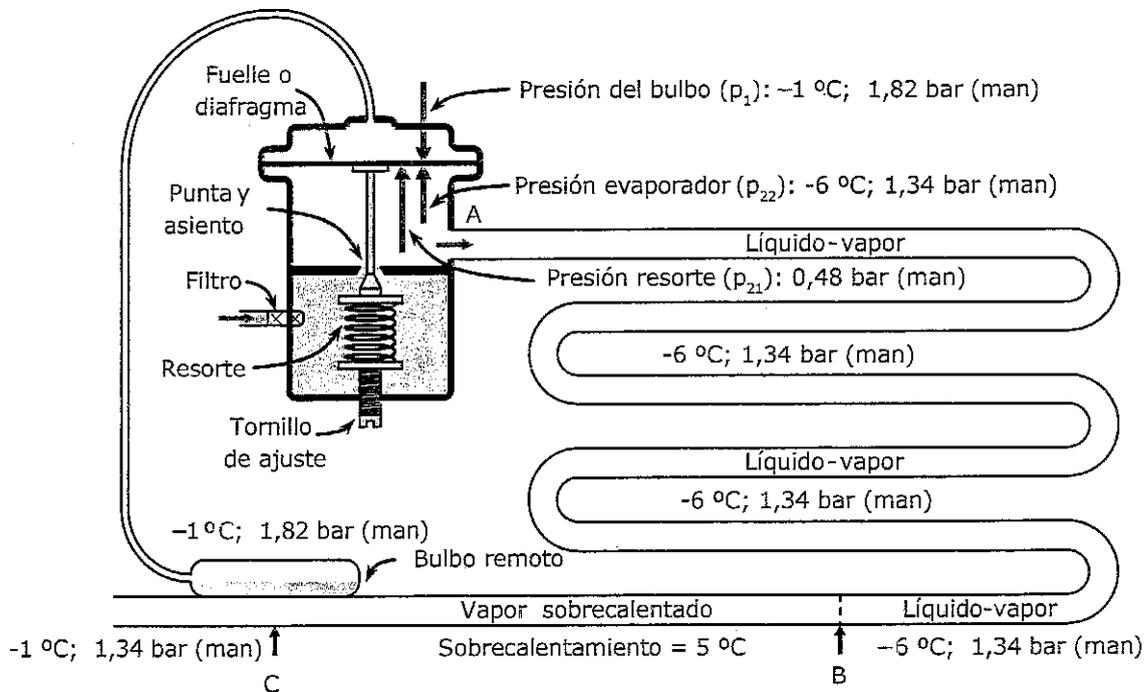
El bulbo remoto no debe localizarse en una tubería de aspiración con trampa o forma de U. El líquido puede hacer trampa en el tubo de aspiración a la salida del evaporador, causando pérdidas por sobrecalentamiento y resultando en una operación irregular de la válvula debido al efecto alterno de secado y llenado que

Según la influencia de cada una de las fuerzas, se demuestra que:

- Si  $F_1$  es superior a  $F_2$ , la válvula de expansión se encuentra abierta.
- Si  $F_2$  es superior a  $F_1$ , la válvula de expansión se encuentra cerrada.

Por tanto, la característica de operación de la VET resulta de la interacción de tres fuerzas (presiones): la presión en el evaporador ( $p_{22}$ ), la presión ejercida en el resorte ( $p_{21}$ ), y la presión ejercida por la mezcla de líquido vapor que se tiene en el bulbo remoto ( $p_1$ ).

Supóngase que la válvula funciona en equilibrio (régimen permanente). El evaporador trabaja en una aplicación de temperatura media y justo antes del punto de desconexión. La presión manométrica en el evaporador ( $p_{22}$ ) es de 134 kPa (1,34 bar) y el refrigerante utilizado, el R-134a, se vaporiza a  $-6\text{ }^\circ\text{C}$  (la temperatura de la cámara es de  $2\text{ }^\circ\text{C}$ ).



La válvula de expansión mantiene  $5\text{ }^\circ\text{C}$  el sobrecalentamiento, por lo que la temperatura de la tubería de aspiración es de  $-1\text{ }^\circ\text{C}$ . Supóngase que se ajusta la tensión en el resorte para ejercer una presión ( $p_{21}$ ) de 0,48 bar, de modo que la presión total que tiende a cerrar la válvula es 1,82 bar, que es la suma de  $p_{22}$  y  $p_{21}$  ( $1,34 + 0,48$ ). Si se ignora la caída de presión en el evaporador, podrá suponerse que la temperatura y la presión del refrigerante son las mismas en todas las partes del evaporador donde se tenga una mezcla de líquido-vapor. Sin embargo, en algún punto B cerca de la salida del evaporador, se vaporizará todo el líquido de la mezcla y el refrigerante en dicho punto será vapor saturado. A medida que el vapor refrigerante va desde B hasta C (final del evaporador), éste continúa absorbiendo calor de los alrededores, aumentando su temperatura y permaneciendo constante la presión. En este caso, el vapor refrigerante se sobrecalienta  $5\text{ }^\circ\text{C}$ , de  $-6\text{ }^\circ\text{C}$  hasta  $-1\text{ }^\circ\text{C}$ , desde el punto B hasta el punto C donde está localizado el bulbo remoto. La temperatura de la mezcla líquido-vapor del bulbo es la misma que la del vapor

sobre el diafragma: eleva el diafragma y cierra la válvula. La tensión del resorte viene configurada de fábrica para un sobrecalentamiento de 4 °C a 6 °C.

**5. Tornillo de regulación.** Está protegido por una tapa de protección. Normalmente, una vuelta completa del vástago puede cambiar el ajuste de sobrecalentamiento en unos 2 °C. Girando el dispositivo haciéndolo que entre en la válvula (en sentido horario), aumenta la tensión del muelle para cerrar la válvula, por tanto, menor será la cantidad de refrigerante que entre en la válvula y mayor el sobrecalentamiento.

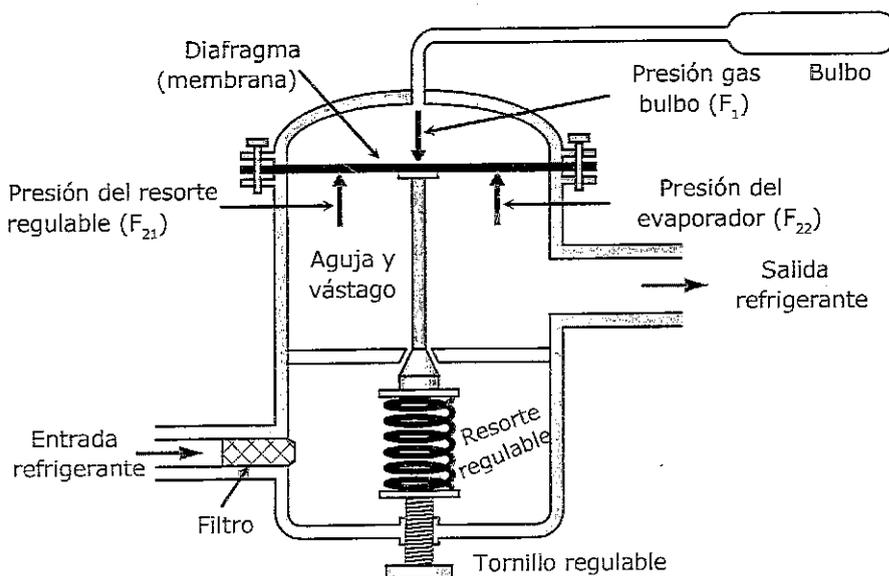
**6. Filtro de malla.** El filtro de malla muy fina protege a la aguja de las impurezas que puedan deteriorarla o perjudicar su buen funcionamiento.

**7. Bulbo sensor.** El bulbo, que contiene refrigerante en estado líquido-vapor, va unido al cuerpo de la válvula de expansión a través de un tubo capilar. El bulbo se encarga de detectar qué temperatura hay en el extremo final del evaporador y de transmitirla, convertida en presión, a la parte superior del diafragma.



El asiento de la válvula está fijo en el cuerpo de la válvula y el diafragma mueve la aguja. Uno de los lados del diafragma obtiene su presión del bulbo, mientras que el otro la obtiene del evaporador. El diafragma se mueve hacia arriba y hacia abajo en respuesta a tres fuerzas (presiones) diferentes. Estas tres fuerzas son:

- $F_1$ : fuerza ejercida por la presión aportada por el bulbo remoto.
- $F_{21}$ : fuerza (regulable) ejercida por el resorte de regulación.
- $F_{22}$ : fuerza ejercida por la presión en el evaporador.



## 6.1 CLASIFICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE EXPANSIÓN

Los dispositivos de expansión (dispositivos de control de flujo refrigerante) constituyen la separación entre la parte de alta presión y la parte de baja presión del circuito frigorífico. En estos aparatos, el fluido frigorígeno entra en estado líquido y bajo la presión de condensación (con sus pérdidas de carga); a su paso a través del orificio calibrado experimenta una caída de presión y se evapora parcialmente enfriándose, por lo que sale en forma de mezcla líquido-vapor, siendo más rica en vapor a medida que se reduce la presión de vaporización. La función de cualquier dispositivo de control del flujo refrigerante es doble:

- Inyectar al evaporador la cantidad justa y necesaria de fluido frigorígeno para absorber la aportación de calor procedente del medio a enfriar.
- Mantener un diferencial de presión entre los lados de alta y baja presión del sistema que permita vaporizar el refrigerante bajo las condiciones de baja presión deseadas y, al mismo tiempo, efectuar la condensación a la presión de alta.

Los dispositivos de expansión más utilizados son:

- Válvula de expansión termostática, VET (sobrecalentamiento constante).
- Dosificador de tubo capilar.

## 6.2 FUNCIONAMIENTO DE UNA VÁLVULA DE EXPANSIÓN TERMOSTÁTICA (VET)

La VET regula automáticamente el caudal de refrigerante, en función de la carga del sistema, de forma que el rendimiento del evaporador sea máximo. Además, protege al compresor de la entrada de líquido, ya que mantiene constante el sobrecalentamiento. La válvula de expansión termostática se compone de:

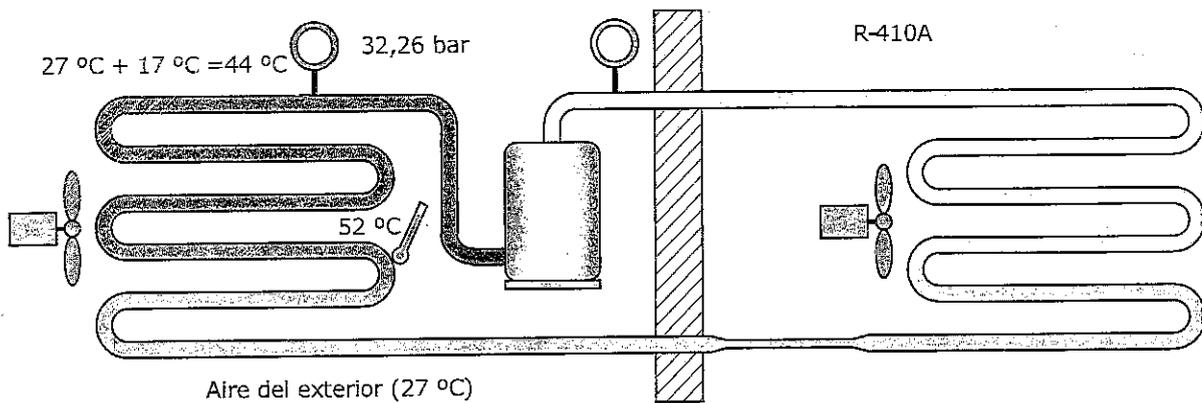
- 1. Cuerpo de la válvula.** Pieza mecanizada con extremada precisión, hecha de bronce o latón estampado (de acero inoxidable para  $\text{NH}_3$ ), que contiene al resto de los componentes y fija la válvula al circuito de tuberías de refrigeración.
- 2. Membrana o diafragma.** Separa el cuerpo del aparato en dos partes asegurando la estanquidad entre ambas partes. El diafragma está hecho de un metal muy fino.
- 3. Aguja y asiento.** La aguja va unida a la membrana por medio de un vástago, formando un conjunto aguja-membrana. El tamaño de la aguja y del asiento determina la cantidad de refrigerante que pasará para una caída de presión determinada.
- 4. Resorte de regulación.** El resorte es una de las tres fuerzas que actúan

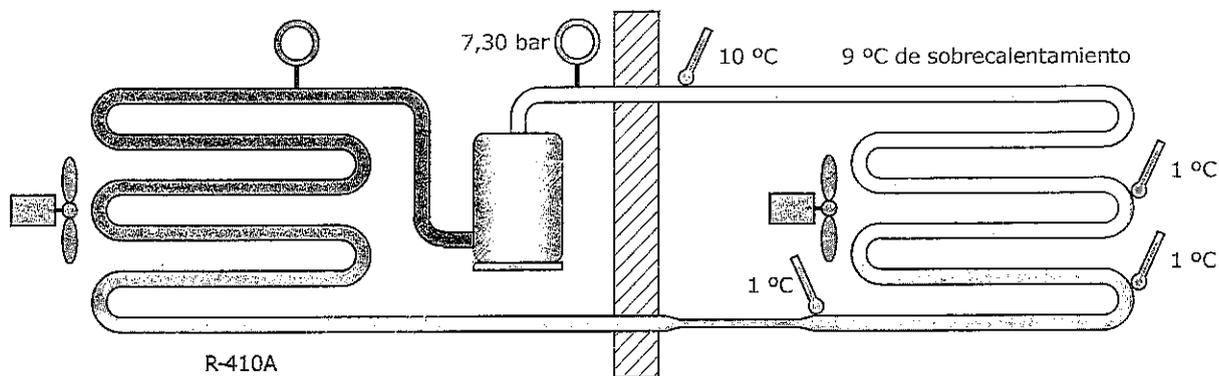
## Temperatura de condensación superior a la normal

Si el manómetro de alta presión mide 32,26 bar y la temperatura exterior es 27 °C, la presión de descarga puede parecer demasiado elevada. La escala del distribuidor manométrico indica que el condensador está condensando a 52 °C. Sin embargo, un condensador no debe condensar a más de 17 °C por encima de la temperatura exterior ( $27\text{ °C} + 17\text{ °C} = 44\text{ °C}$ ), por lo que la temperatura de condensación es, en realidad, 8 °C demasiado alta.

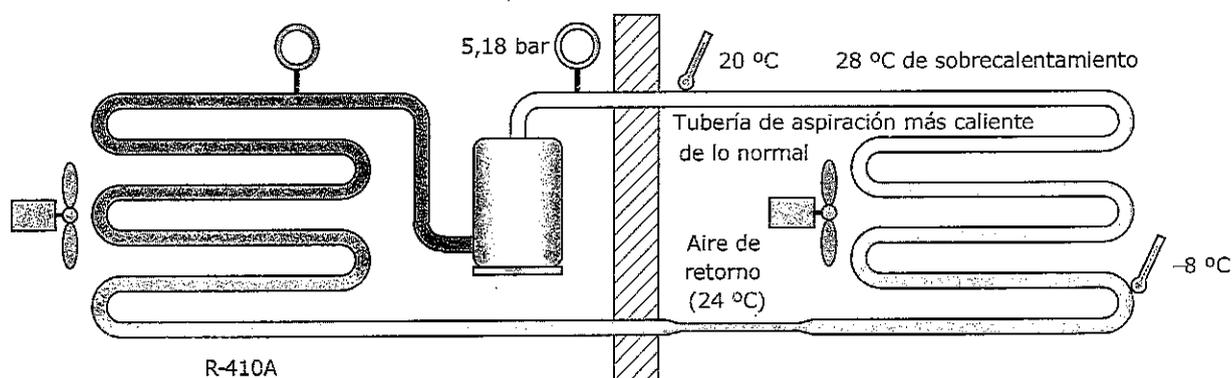
Las causas son:

- suciedad en el condensador o
- sobrecarga de refrigerante.

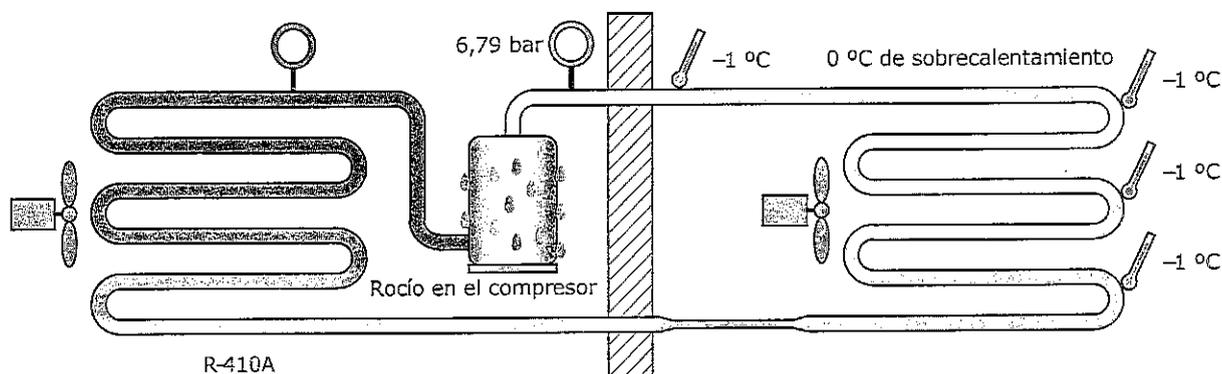




La combinación de la temperatura y la presión de la tubería de aspiración ayudan a decidir si el sistema está bajo de carga o el filtro está ocluido. Por ejemplo, si la presión de la tubería de aspiración es demasiado baja, y la tubería de aspiración está templada, quiere decir que el evaporador del sistema se ha quedado sin refrigerante.



Cuando la presión de aspiración es demasiado baja y el sobrecalentamiento también, la tubería de aspiración está fría; el serpentín está inundado de refrigerante líquido porque no está absorbiendo tanto calor como debiera (no se vaporiza el suficiente refrigerante). El serpentín puede estar sucio, o el flujo de aire es insuficiente.



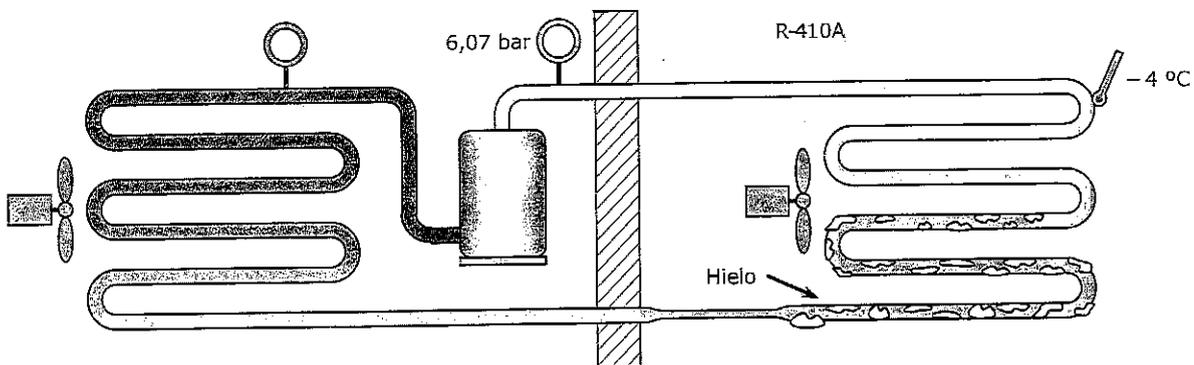
## DIFERENTES RANGOS DE TEMPERATURA

### Temperatura de vaporización inferior a la normal

Si la temperatura de vaporización en un sistema de acondicionamiento de aire debería ser cercana a los 4 °C, podemos convertir ese valor a 8,12 bar, para el R-410A. Si la presión fuera de 6,07 bar, el refrigerante estaría vaporizando a -4 °C, suficientemente frío como para congelar el condensado sobre el serpentín del evaporador.

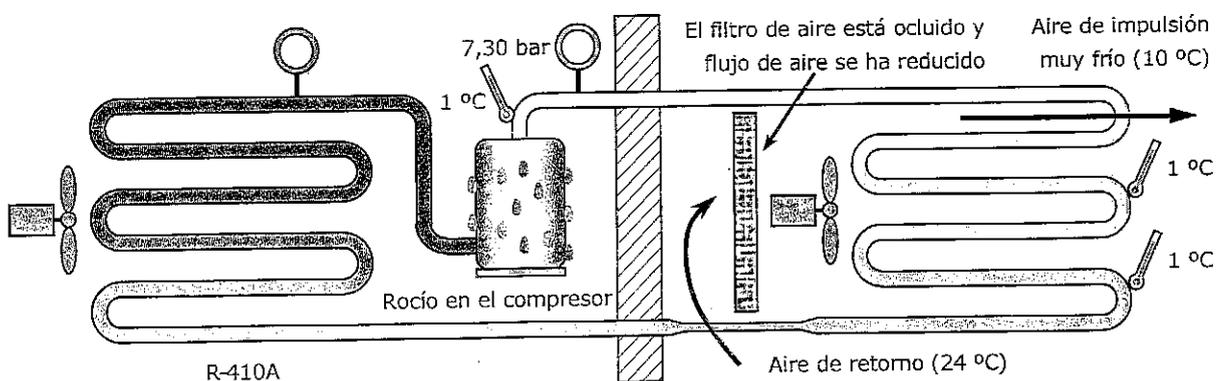
Las causas de una temperatura tan bajas pueden ser:

- carga alta de refrigerante o
- restricción del caudal de aire.



### Temperatura de la tubería de aspiración

La temperatura de la tubería de aspiración que vuelve hacia el compresor y la presión de aspiración serán de ayuda a la hora de comprender las características del gas de aspiración. El gas de aspiración puede tener algo de líquido (evaporador inundado de refrigerante) si los filtros están ocluidos o el serpentín del evaporador está sucio.



El gas de aspiración puede estar muy sobrecalentado si el equipo tiene una carga baja o si hay alguna restricción de refrigerante.

1. Falta de refrigerante.
  2. Anomalías en la válvula de expansión.
  3. Caída de presión en la línea de aspiración.
  4. Excesiva cantidad de aceite en el evaporador.
- 

**c) Diferencia de temperatura más baja de lo normal** (temperatura interior del recinto más baja de lo normal)

Puntos a inspeccionar:

1. Termostato o presostato regulado a una temperatura más baja de lo normal.
  2. Contacto o instalación del bulbo sensor defectuoso.
  3. Polvo o suciedad en los contactos.
- 

**d) Diferencia de temperatura dentro de lo normal** (temperatura del aire de impulsión alta)

Puntos a inspeccionar:

1. Sobrecarga térmica del sistema.
  2. Rotura de válvulas en el compresor.
  3. Arrastre de aceite en el separador.
- 

**e) Diferencia de temperatura dentro de lo normal** (temperatura del aire de impulsión baja)

Puntos a inspeccionar:

1. Baja carga térmica del sistema.
  2. Temperatura exterior muy baja.
  3. Fallo en el termostato o presostato de baja.
-

2) Tomar la temperatura del aire de retorno (de entrada) al evaporador.

3) Restar las dos temperaturas y analizar si la diferencia es alta o baja.

4) Según sea alta o baja, inspeccionar unos puntos en concreto.

5) Si la diferencia de temperatura es normal, habrá terminado la inspección.

---

### **Averías en el evaporador**

En general, se pueden considerar los siguientes casos:

- Diferencia de temperaturas entre el retorno y la impulsión superior a la normal (retorno muy alta e impulsión muy baja): la avería se encuentra en el circuito de aire.
- Diferencia de temperaturas inferior a la normal (las dos temperaturas muy altas en relación a las previstas): la avería se encuentra en el sistema frigorífico.

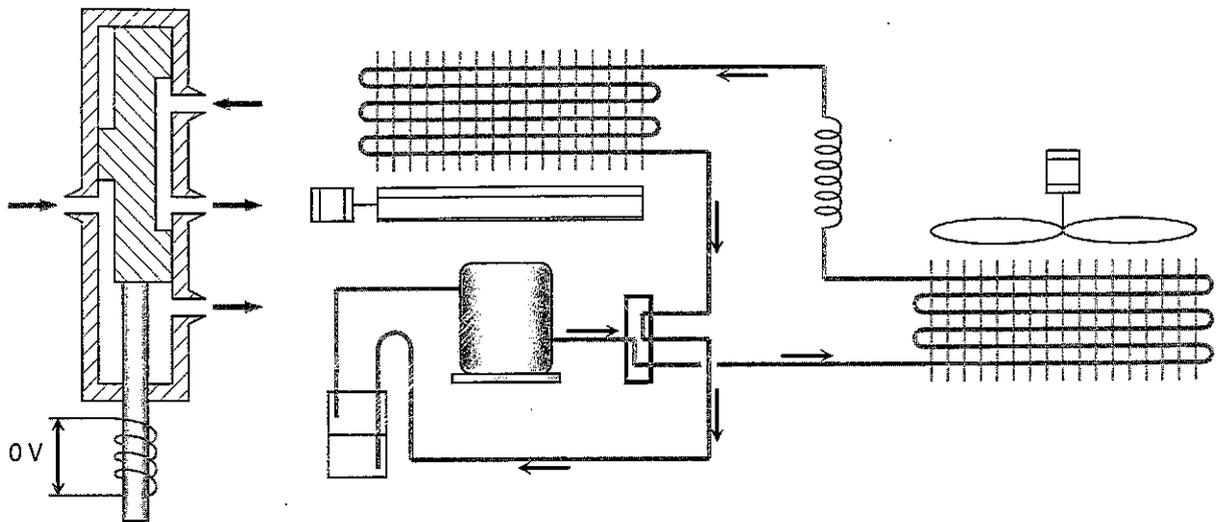
**a) Diferencia de temperatura más alta de lo normal** (temperatura de impulsión más baja de lo normal y temperatura de retorno más alta de lo normal: salto térmico mayor).

Puntos a inspeccionar del circuito de aire y del propio componente:

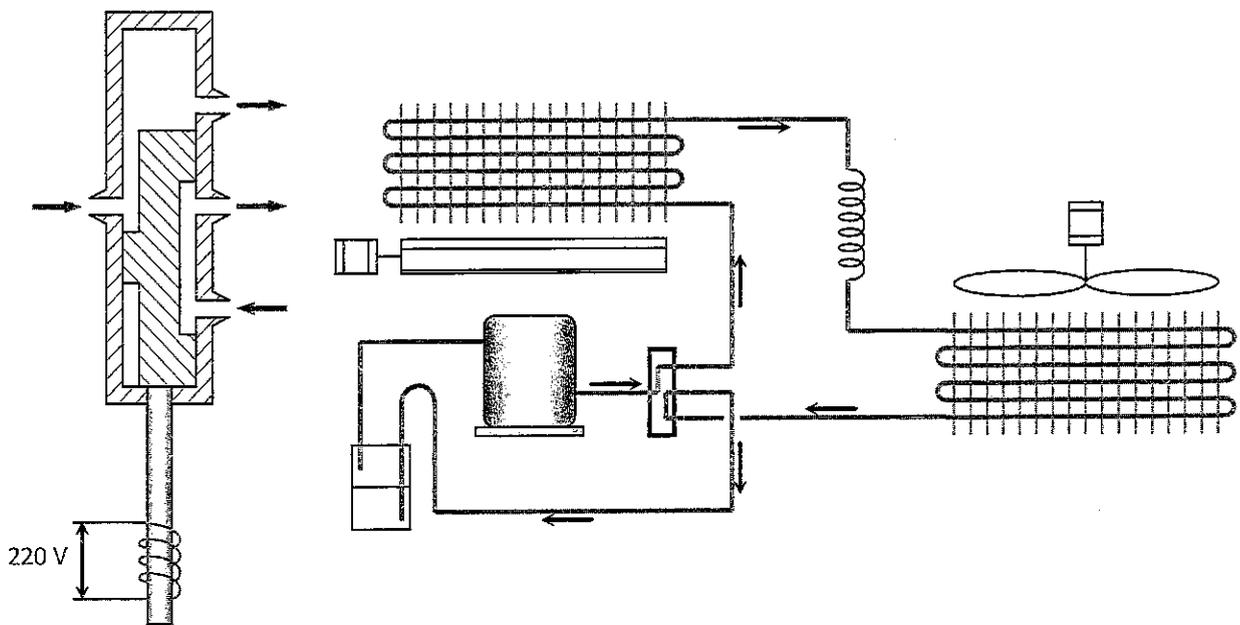
1. Filtros del aire sucios.
  2. Serpentin del evaporador sucio u obstruido.
  3. Motor y mecánica del ventilador.
  4. Compuertas parcialmente cerradas u obstáculos en la entrada del aire.
- 

**b) Diferencia de temperatura más baja de lo normal** (temperatura de impulsión más alta de lo normal y temperatura de retorno más alta de lo normal: salto térmico menor).

Puntos a inspeccionar del sistema frigorífico:



- Ciclo de desescarche. Cuando el circuito frigorífico funciona en el ciclo de desescarche, la válvula inversora está excitada. A partir de ella cambia de recorrido el refrigerante; al salir del compresor se condensa en lo que antes era el evaporador.



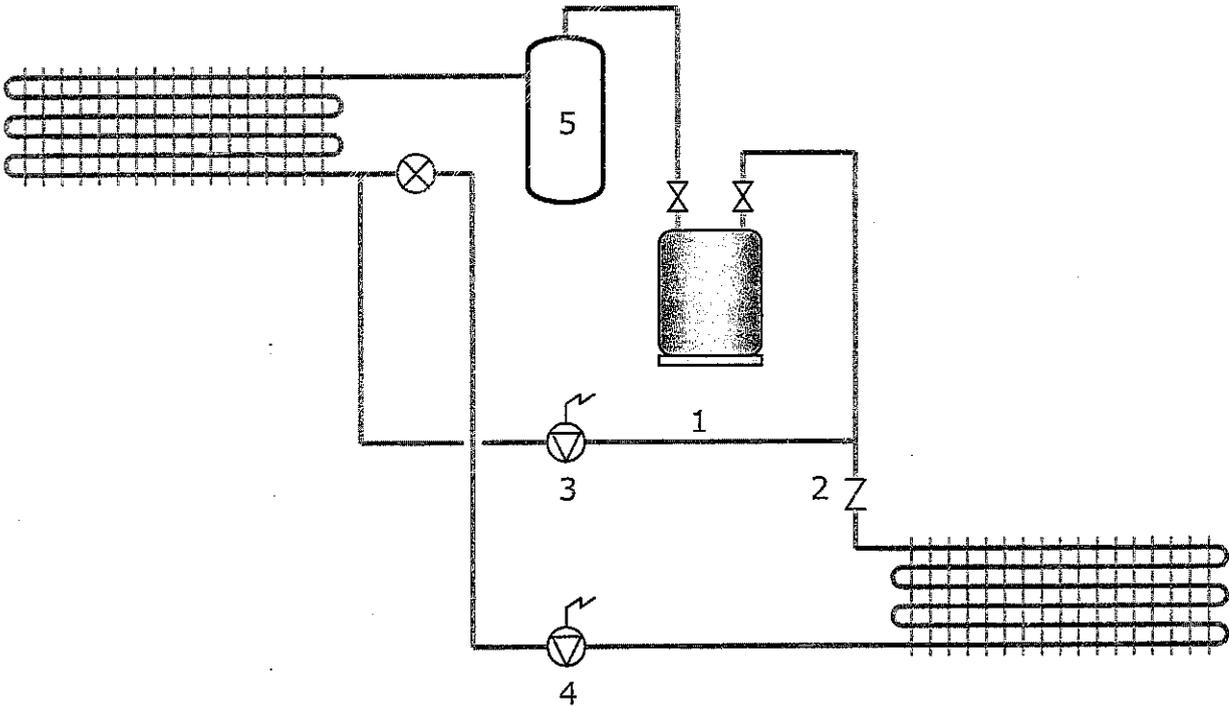
### 5.3 PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS EVAPORADORES

#### Funcionamiento del evaporador

Cuando se pretende analizar el funcionamiento de un evaporador, se deben efectuar los siguientes pasos:

- 1) Instalar el manómetro en la toma de baja, y leer la temperatura de vaporización.

- Una válvula solenoide (3), que cierra la tubería de "gas caliente" durante los períodos de marcha normal.
- Un dispositivo de reevaporación (5) del líquido formado en el evaporador durante el desescarchado, destinado a evitar los golpes de líquido al compresor durante este período del ciclo funcional.



A fin de obtener un desescarche rápido, la apertura y cierre de las válvulas solenoides 3 y 4 deben separarse por medio de un relé temporizador, con objeto de que el evaporador se vacíe del líquido que contenga (apertura diferida de la válvula solenoide 3).

### Descongelación por inversión de ciclo

Este sistema es el más eficaz de todos los dispositivos de desescarche por gas caliente, ya que en este sistema la condensación de los gases es total en el evaporador, y el líquido formado se vaporiza en el condensador. Durante el período de desescarche se produce la inversión de los procesos normales del condensador y del evaporador.

Para llevar a cabo el proceso de inversión de ciclo se utiliza un dispositivo especial llamado válvula inversora ("reversing valve") o válvula de cuatro vías, capaz de provocar el cambio de la dirección del refrigerante. El desescarche es muy rápido: de 5 a 15 minutos.

- Ciclo de refrigeración. Cuando el circuito frigorífico funciona en el ciclo de refrigeración, la válvula inversora no está excitada (posición de reposo).

## 5.2.2 DESCONGELACIÓN DE EVAPORADORES PARA BAJA TEMPERATURA

Cuando la temperatura del evaporador está por debajo de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la escarcha se produce fácilmente. Estos evaporadores se diseñan con una separación mayor entre aletas, para impedir que la escarcha forme un puente entre las aletas durante al menos 4 ó 6 horas de funcionamiento normal. En este caso, es necesario un reloj, controles y una fuente de calor para fundir la acumulación de escarcha. Normalmente se emplean resistencias eléctricas conectadas en las aletas del serpentín por el lado que entra el aire en el evaporador.

### Descongelación por calentamiento eléctrico

El ciclo de descongelación se inicia cerrando una válvula de solenoide en la tubería de líquido. Esto provoca la evacuación del evaporador y la parada del compresor mediante el control de baja presión. A continuación se conectan los controles eléctricos de calentamiento y se detienen los ventiladores (para evitar el resecado de los alimentos).

El número de descongelaciones por día y el periodo máximo de descongelación dependen de las condiciones de operación y de la ubicación del equipo. Normalmente, se realizan de 4 a 6 descongelaciones, cada una de 15 a 20 minutos de duración. Si la descongelación dura demasiado, el reloj dispone de un dispositivo de autoprotección ajustable (termostato de seguridad de desescarche, TSD), que hará que el sistema salga automáticamente del modo de descongelación y entre en el modo de refrigeración.

Después del desescarche, el ventilador tarda un tiempo en ponerse en marcha, para evitar que la humedad remanente en el evaporador entre de golpe en el compartimento.

### Descongelación por gas caliente

Se emplea principalmente en equipos para supermercados y heladoras, debido a su rapidez y efectividad. Durante la descongelación el gas caliente entra en el evaporador a través de la válvula de expansión termostática. Este método de descongelación requiere un trabajo intensivo. Deben instalarse tuberías adicionales desde la tubería de descarga.

El método de descongelación por gas caliente (ver figura), además de los elementos convencionales de una instalación frigorífica, incorpora:

- Una tubería de "gas caliente" (1), que une la descarga del compresor a la entrada del evaporador, después de la válvula de expansión.
- Una válvula de retención (2), que evita toda alimentación imprevista de líquido al evaporador, durante el desescarche, por vaciado del condensador.
- Una válvula solenoide (4), intercalada en la tubería de líquido, antes de la válvula de expansión, que interrumpe la alimentación del evaporador por medio de dicha válvula de expansión durante el período de desescarche.

Cuando el compresor para por termostato, los ventiladores del evaporador siguen recirculando el aire del compartimento a través de las aletas del serpentín. Debido a que las temperaturas del compartimento y de los productos están por encima de la temperatura de congelación, el evaporador se calienta y la escarcha se funde.

El termostato cuenta con un diferencial de temperatura (diferencia entre los puntos de conexión y desconexión) relativamente amplio para asegurar un periodo de descongelación suficiente. El punto de conexión de un termostato es el valor del ajuste para el que los contactos se cierran ante una subida de temperatura del compartimento. El punto de desconexión es el ajuste en el que los contactos se abren, deteniéndose el ciclo de refrigeración.

### **Descongelación "planificada"**

Cuando la temperatura del compartimento se encuentra entre 1 °C y 2 °C, suele haber demasiada escarcha que fundir durante el ciclo de apagado, no siendo lo suficientemente largo para descongelar el evaporador. Por tanto, se instala un reloj para forzar al compresor a permanecer apagado el tiempo suficiente como para que el serpentín se descongele.

Se debe planificar, cuándo y con qué frecuencia, tiene que desconectarse el compresor con el fin de eliminar la escarcha. Se utiliza un temporizador, para apagar el compresor el tiempo suficiente para que se efectúe la descongelación necesaria.

En general, las descongelaciones se planifican, para llevarse a cabo cuando no se está utilizando el compartimento refrigerado. El momento ideal es en la madrugada o durante la comida del medio día. Con una o dos horas suele ser suficiente para fundir la escarcha acumulada durante el día. La temperatura de los productos almacenados puede aumentar, pero no lo suficiente como para que se estropeen.

Una vez completado el periodo de descongelación, el compresor restaura rápidamente la temperatura original de los productos.

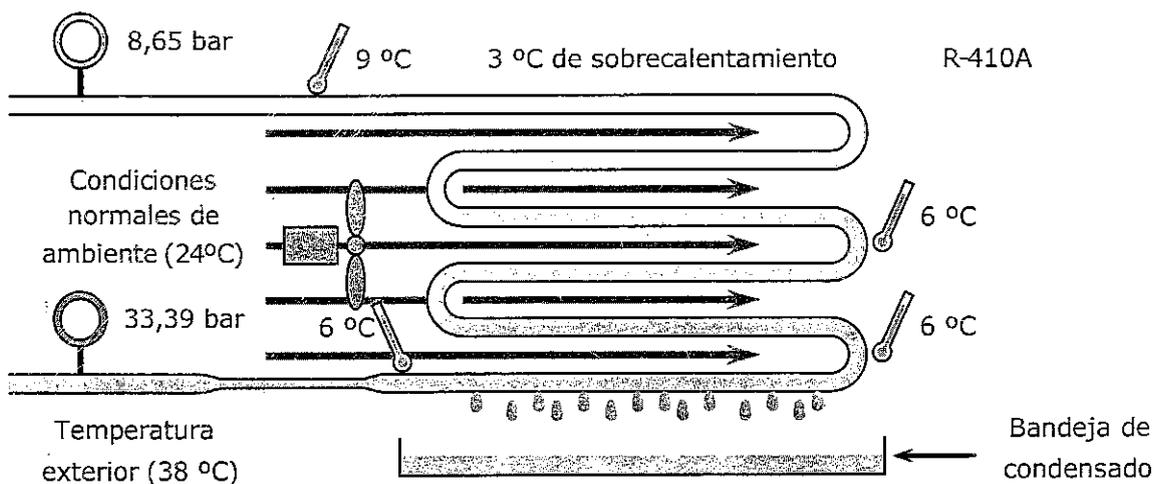
En algunos casos, se planifica para que el compresor funcione 16, 18 ó 20 horas por día. Es decir, el equipo descongela durante 8, 6 ó 4 horas, respectivamente. El número de periodos y su duración depende de las características de funcionamiento de la instalación.

### **Descongelación con "calor adicional"**

Si la temperatura del compartimento es de 1 °C o inferior, no existe ninguna forma de que el compartimento se caliente lo suficiente como para poder descongelar por aire. Es necesario utilizar para la descongelación gas caliente o calor eléctrico suplementario.

Normalmente, solo se precisan una o dos descongelaciones cortas cada 24 horas.

- Si aumenta la temperatura exterior, por ejemplo hasta 38 °C, la presión de descarga también aumentará (33,39 bar), y la presión de aspiración será incluso mayor que 8,65 bar, ya que la presión de descarga influirá sobre la presión de aspiración.
- El aumento de la presión de descarga origina un aumento del flujo de refrigerante a través del dosificador de calibre fijo, haciendo que disminuya el sobrecalentamiento.



## 5.2 PROCEDIMIENTOS DE DESCONGELACIÓN

### 5.2.1 DESCONGELACIÓN DE EVAPADORES PARA TEMPERATURA MEDIA

La temperatura del compartimento en un sistema de temperatura media está comprendida entre 1 °C y 4 °C, con temperaturas de vaporización entre -9 °C y -4 °C. Esta temperatura es inferior a la de congelación (0 °C), por lo tanto se acumulará escarcha en las aletas del evaporador durante el funcionamiento del compresor.

Según sea la temperatura del compartimento, se utiliza un método para descongelar:

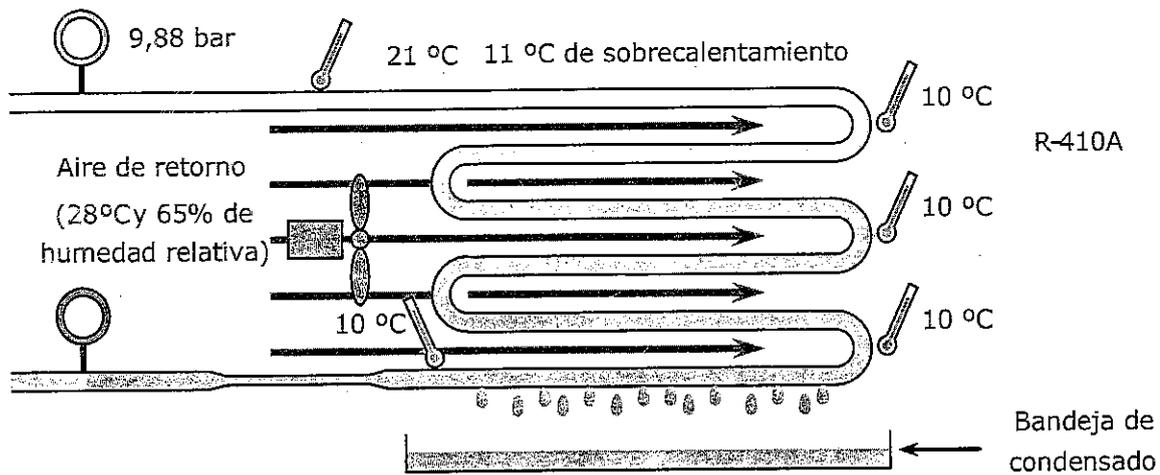
- Descongelación "variable o de "ciclo de apagado": Temperatura del compartimento igual o mayor de 3 °C (no se necesita reloj).
- Descongelación "planificada": Temperatura del compartimento alrededor de 2 °C (necesita reloj, pero no necesita calor adicional).
- Descongelación con "calor adicional": Temperatura del compartimento igual o menor de 1 °C (necesita reloj y una fuente adicional de calor).

#### Descongelación "variable" o de "ciclo de apagado"

Los refrigeradores que tienen una temperatura de compartimento de 3 °C o mayor, se descongelan por sí solos durante el ciclo de apagado con el método de "ciclo de apagado" (desescarche "on-off").

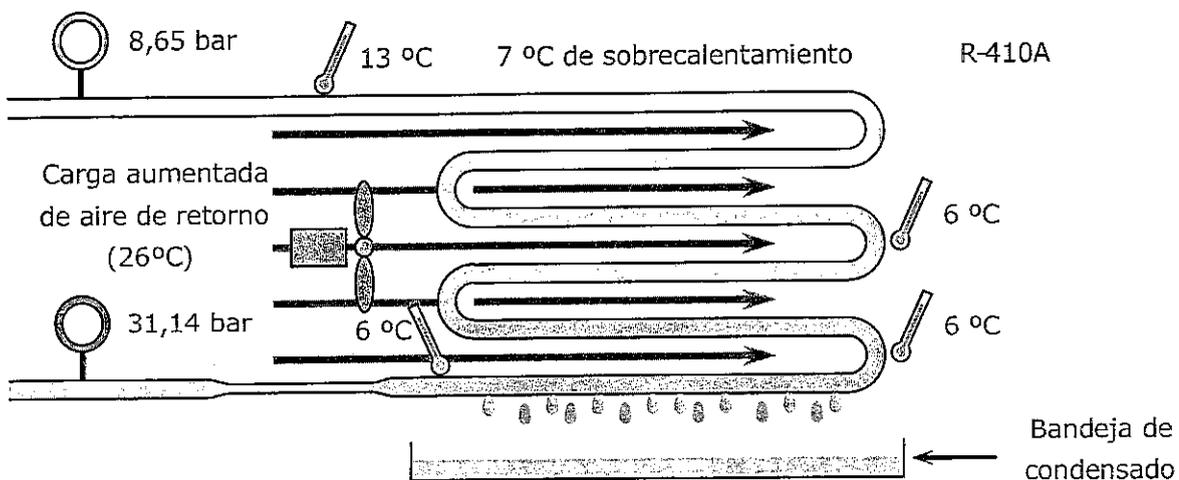
## Temperatura del ambiente acondicionado por encima de las condiciones de diseño

- Este caso se puede dar, por haber estado apagado el equipo durante algún tiempo.
- La presión de aspiración será mayor que la normal.
- La temperatura del aire de retorno puede rondar los 28 °C, acompañados de una humedad relativa también más alta.
- La temperatura de vaporización, puede elevarse hasta los 10 °C, a la que corresponde una presión de 9,88 bar, para el R-410A.



## Temperatura exterior por encima de las condiciones de diseño

- Este caso se puede dar a partir del medio día, después de que el Sol ha dejado caer sus rayos; aumenta la carga interior del recinto, estableciéndose unas nuevas condiciones.
- Por ejemplo, si la temperatura ha subido hasta 26 °C, el refrigerante líquido vaporizará más rápidamente; esto hace que la presión de aspiración y el sobrecalentamiento aumenten ligeramente, hasta 8,65 bar y 7 °C, respectivamente.



En cualquier caso, el líquido enfriado está circulando a través del enfriador conectado a la tubería por medio de una bomba por lo general de tipo centrífugo.

Como regla general, los enfriadores de expansión seca se usan en instalaciones de potencia comprendida entre 7 kW y 900 kW. Los enfriadores inundados, se usan para capacidades comprendidas entre 35 kW y varios miles de kilovatios.

### 5.1.3 SOBRECALENTAMIENTO EN LA SALIDA DEL EVAPORADOR

El sobrecalentamiento garantiza que todo el refrigerante se ha vaporizado dentro del evaporador.

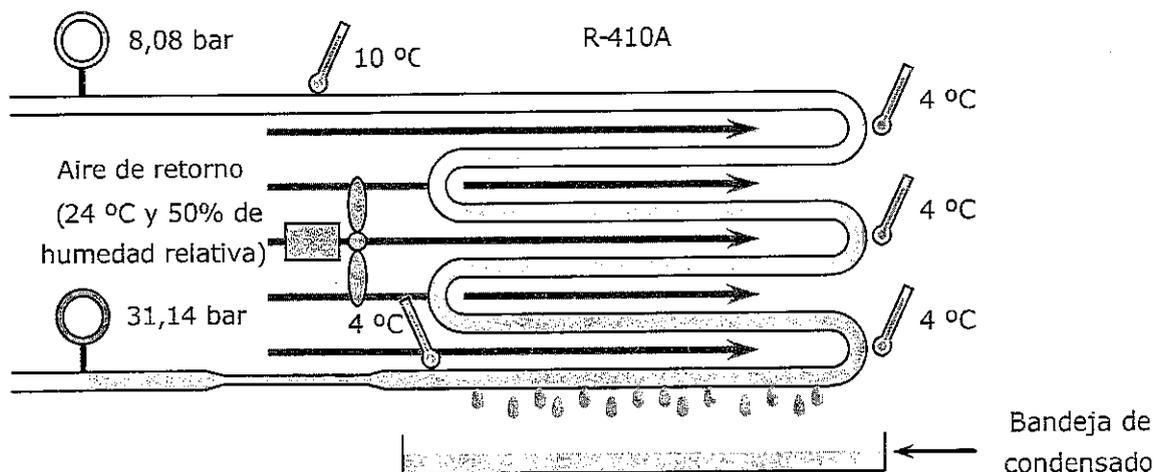
Se calcula de la siguiente forma:

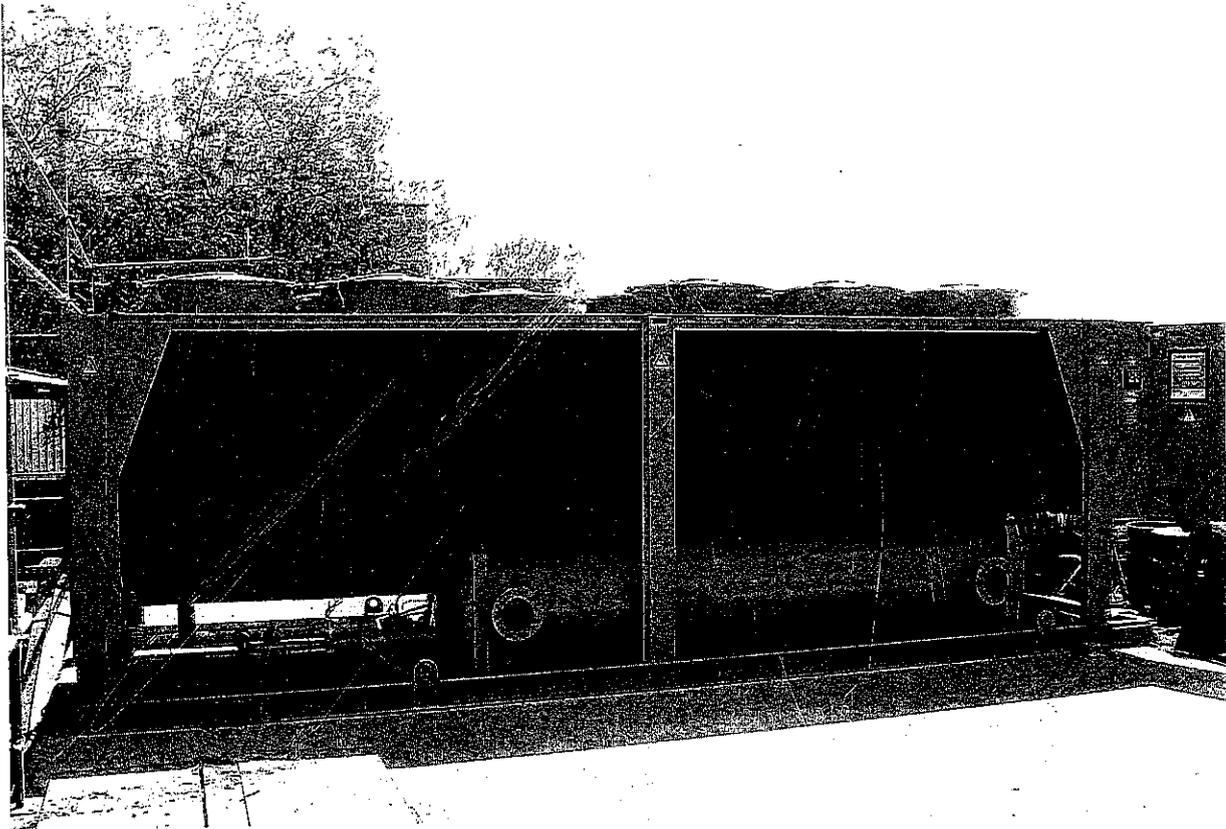
- 1) Se mide la temperatura de vaporización (se puede realizar con un termómetro o con un manómetro en la toma de aspiración y mediante una tabla p/T).
- 2) Se mide la temperatura de la tubería de aspiración (final del evaporador).
- 3) Se resta la temperatura de la tubería de aspiración menos la temperatura de vaporización. El resultado obtenido es el sobrecalentamiento.

El sobrecalentamiento varía de 2 °C (congelación) a 9 °C (acondicionamiento de aire). En los sistemas de refrigeración comerciales suele ser de 5 °C a 6 °C. Es conveniente que el sobrecalentamiento total, hasta la entrada del compresor, sea de 11 °C a 16 °C. El sobrecalentamiento del compresor se mide en la tubería de aspiración, a 15 cm del compresor.

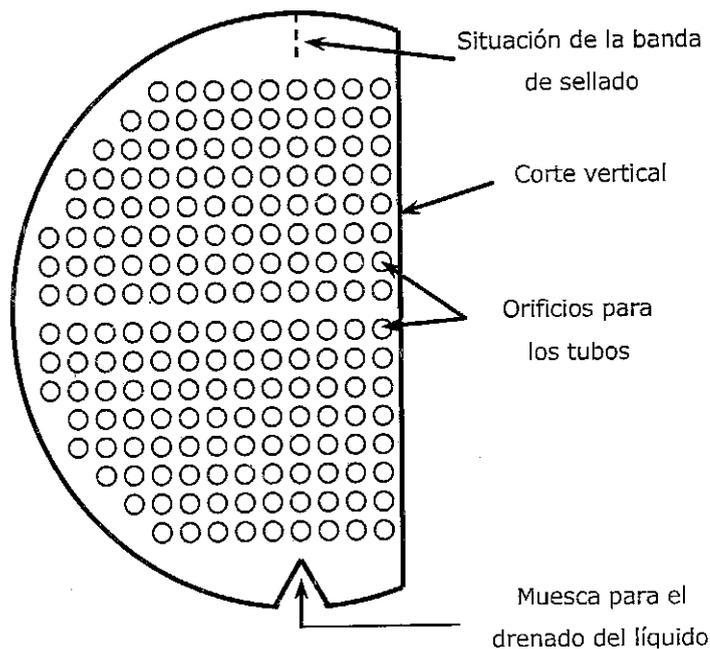
### 5.1.4 CONDICIONES DE TRABAJO DEL EVAPORADOR

El evaporador suele trabajar a una temperatura de vaporización de 4 °C cuando el sistema funciona bajo las condiciones de 24 °C y 50% de humedad relativa. Habitualmente, la temperatura de vaporización del refrigerante es de unos 20 °C por debajo de la temperatura del aire que entra. La presión de aspiración será de 8,08 bar para el R-410A. El refrigerante líquido llega casi hasta el final del serpentín, con un sobrecalentamiento de 6 °C.





Estos evaporadores disponen en su interior de placas desviadoras (deflectores), que mantienen la velocidad del líquido dentro de los límites para los cuales se tiene la relación caída de presión-transferencia de calor más efectiva (ver figura).



Cuando el enfriador trabaja inundado, el líquido enfriador circula por dentro de los tubos y el refrigerante está contenido en la carcasa; el nivel del refrigerante líquido dentro de la carcasa, se mantiene a cierto nivel con algún tipo de control de flotador.

El origen de la avería en **condensadores enfriados por agua** puede ser debido a:

1. Suciedad en el interior de las tuberías (limpiar o sustituir).
2. Caudal de agua demasiado pequeño (aumentar caudal o regular la válvula).
3. Bomba de agua defectuosa o no funciona (reparar o sustituir).
4. Temperatura del agua muy alta (aumentar el caudal de agua).

### **Avería en el sistema frigorífico**

Si la avería se encuentra en el sistema frigorífico, su origen puede ser debido a:

1. Instalación demasiado llena de refrigerante (descargar refrigerante controlando que la presión de condensación sea la correcta y que el visor esté lleno de líquido).
2. Exceso de carga térmica (exceso de mercancías, personas, etc.).
3. Superficie del condensador demasiado pequeña.
4. Aire o incondensables circulando con el refrigerante.
5. Regulador de presión de condensación ajustado a una presión demasiado alta.

### **b) Diferencia de temperatura más baja de lo normal (presión y temperatura de condensación baja)**

#### **Causas de una presión (temperatura) de condensación baja**

- Anomalía en el medio empleado para condensar (aire o agua).
- Anomalía en el sistema frigorífico.

#### **PROBLEMA**

Producción de líquido deficiente en el condensador, descendiendo las presiones de trabajo del sistema y, concretamente, en el circuito de baja disminuye la presión de inyección de líquido al evaporador, no llegándolo a bañar en toda su superficie, mermando así la producción frigorífica.

### a) Diferencia de temperatura más alta de lo normal (presión y temperatura de condensación excesiva)

<b>PROBLEMA</b>	Producción de líquido defectuosa en el condensador (exceso o defecto).
<b>SÍNTOMAS</b>	La instalación realiza ciclos ininterrumpidos o muy largos de funcionamiento. No se consigue tener la temperatura deseada en el recinto acondicionado.
<b>COMPROBACIONES</b>	Comprobar la temperatura del filtro secador al tacto, y en este caso lo encontraremos más caliente de lo normal. Esta sencilla comprobación nos delata que el condensador no es capaz de descargar el calor que transporta el fluido refrigerante, ya que la temperatura normal de un filtro secador es de templado al tacto.
	En algunas ocasiones, encontrar algo más caliente de lo normal el filtro secador, no nos declara suficientemente el origen de la avería; por tanto, tendremos que medir el subenfriamiento del líquido a la salida del condensador y comprobar su valor.
	En caso de tener visor de líquido después del filtro secador, veremos burbujas en la mirilla, debido a que parte del refrigerante que circula por su interior lo hace aún en estado gaseoso, causado por la mala condensación existente.
	El tubo de aspiración lo encontraremos menos "fresco" de lo normal, debido al excesivo sobrecalentamiento que traen los vapores aspirados por el compresor.

### Avería en el medio empleado para condensar (aire o agua)

El origen de la avería en **condensadores enfriados por aire** puede ser debido a:

1. Suciedad en la superficie del condensador.

Motor del ventilador funcionando a bajas revoluciones, aspas rotas o deterioradas.

2. Acceso de aire al condensador restringido.

3. Aire de aspiración e impulsión comunicados.

4. Temperatura ambiente, donde está ubicado el condensador, demasiado alta.

### Funcionamiento del condensador

Cuando se pretende analizar el funcionamiento de un condensador, se deben efectuar los siguientes pasos:

**1)** Instalar el manómetro en la zona de alta, y leer la temperatura de condensación (en el caso de no disponer de toma de presión en la zona de alta, instalar un termómetro debidamente aislado en el último codo de salida del condensador, y aproximadamente tendremos la temperatura de condensación).

**2)** Tomar la temperatura de entrada del medio empleado para condensar (aire o agua)

**3)** Restar las dos temperaturas y analizar si la diferencia es alta o baja con respecto a las estimadas como normales.

**4)** Según sea alta o baja, inspeccionar unos puntos en concreto.

**5)** Si la diferencia de temperatura es normal, habrá terminado la inspección.

### Averías en el condensador

a) Diferencia de temperatura más alta de lo normal (presión y temperatura de condensación excesiva).

b) Diferencia de temperatura más baja de lo normal (presión y temperatura de condensación baja).

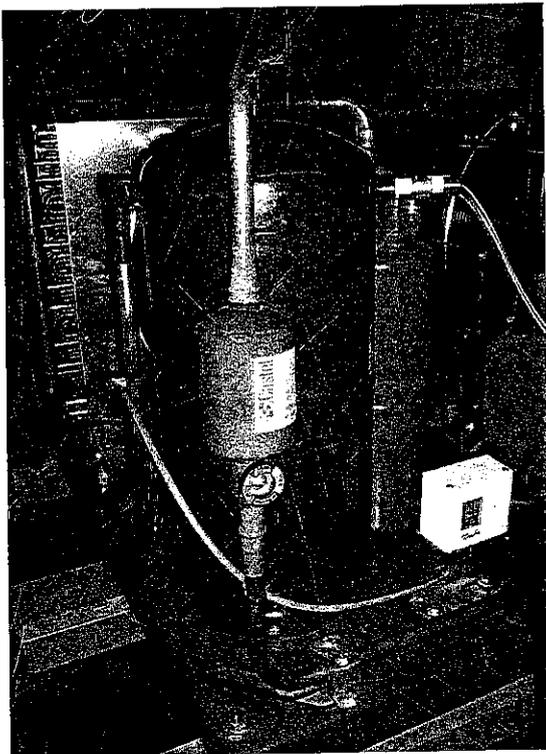
- **Garantizar un flujo continuo de líquido** a la válvula de expansión (no existe en el caso de la expansión conseguida mediante capilar).
- **Almacenar todo el fluido** de la instalación durante las operaciones de mantenimiento o recuperación (opcional).

En los condensadores enfriados por agua del tipo de inmersión o multitubulares, el propio condensador hace a la vez de recipiente de líquido.

El recipiente de líquido debe estar situado en una posición más baja que el condensador, para que el refrigerante tenga un incentivo para fluir hacia él de manera natural.

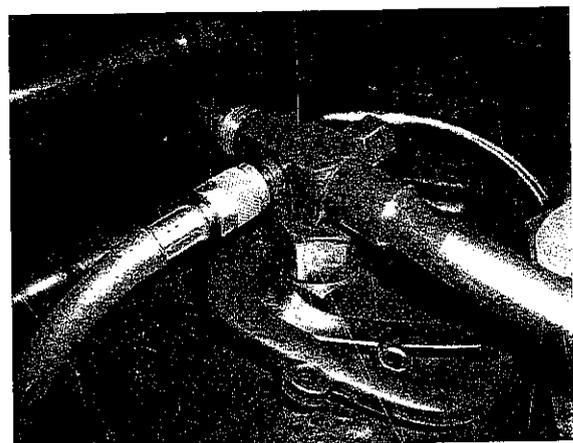
Puede estar situado de forma vertical u horizontal, dependiendo de la instalación. El refrigerante debe penetrar por la parte superior del recipiente y debe ser extraído del fondo. Esto se consigue con un sifón si la tubería está en la parte superior.

La válvula de servicio se localiza en la salida del receptor, en el propio tanque.



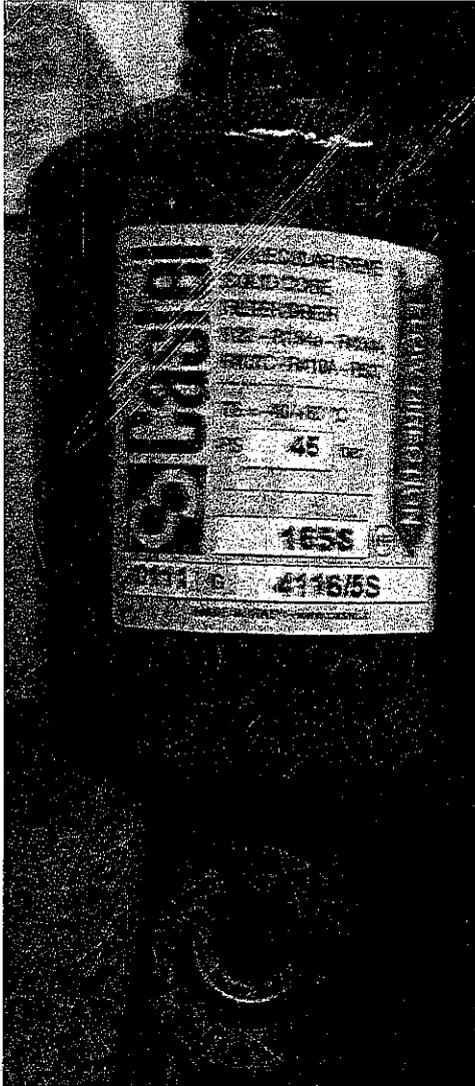
Esta válvula tiene importancia de cara al mantenimiento porque, cuando el mecanismo de la válvula está en posición frontal, el refrigerante no puede salir del receptor.

Si se opera el compresor con esta válvula cerrada, todo el refrigerante será bombeado hacia el condensador y el receptor (la mayor parte en el receptor). A continuación, pueden cerrarse las otras válvulas del sistema y el lado de baja presión de éste puede ser abierto para mantenimiento.



La causa principal de vaporización instantánea es la caída de presión. Si el líquido subenfriado se vaporiza en la tubería de líquido, el dispositivo de control no se comportará de manera correcta.

Es buena práctica instalar un visor de líquido antes del dispositivo de control, ya que la vaporización del gas puede verse en forma de burbujas.



Al subenfriar el líquido se disminuye su temperatura, y esta temperatura menor evita la vaporización a causa de una caída de presión.

En el caso anterior, si el líquido se subenfriaba hasta  $49\text{ }^{\circ}\text{C}$ , permanecerá en estado líquido aunque la presión disminuya a  $1.270\text{ kPa}$ .

Una tubería bien dimensionada evita una disminución de la caída de presión, resultado de la fricción entre el refrigerante y el interior del tubo. La caída de presión por fricción en la tubería aumenta si su diámetro es pequeño o su longitud es muy larga.

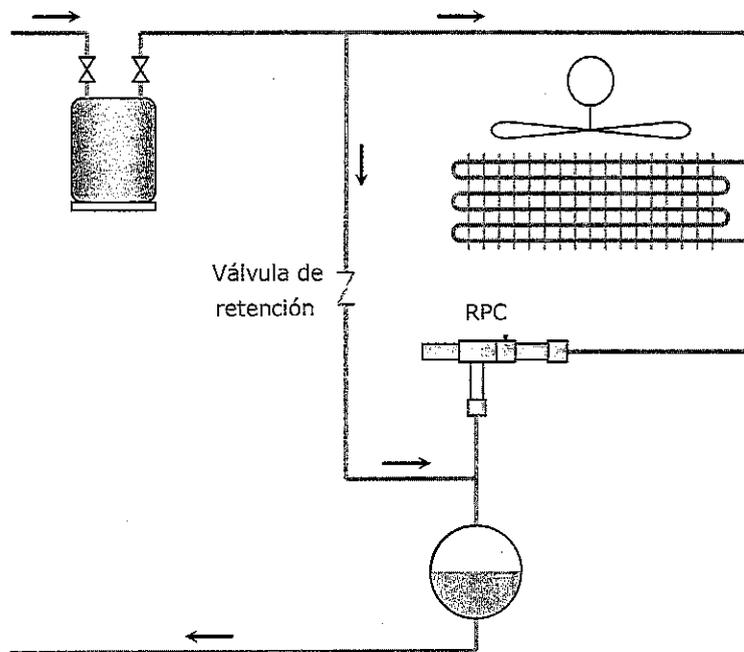
La tubería de líquido puede ser que pase por un lugar donde la temperatura sea elevada, y no se consigan los  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  de subenfriamiento.

En este caso, se puede aislar la tubería de líquido o se puede instalar un intercambiador de calor en la tubería de aspiración.

## 4.5 RECIPIENTE O RECEPTOR DE LÍQUIDO

El recipiente de líquido se emplea siempre que la instalación utiliza válvula de expansión como dosificador. Asegura que el elemento de expansión, situado más adelante, reciba el fluido frigorígeno en estado totalmente líquido. Está situado a la salida de la unidad condensadora. Tiene dos funciones ineludibles y una función opcional (pero recomendable):

- **Acumular líquido refrigerante** cuando la válvula de expansión reduzca el caudal hacia el evaporador. De esta manera se mantiene el condensador con un mínimo de líquido en su interior y no aumenta peligrosamente la presión de condensación.



Como referencia, la válvula de retención es aconsejable que esté regulada para que abra a una presión de 50 kPa a 100 kPa inferior a la presión de ajuste de la válvula RPC.

#### 4.4 SUBENFRIAMIENTO EN LA SALIDA DEL CONDENSADOR

El subenfriamiento consiste en enfriar un líquido saturado por debajo de la temperatura de condensación. El subenfriamiento de un condensador se determina restando la temperatura del líquido que sale del condensador de la temperatura de condensación.

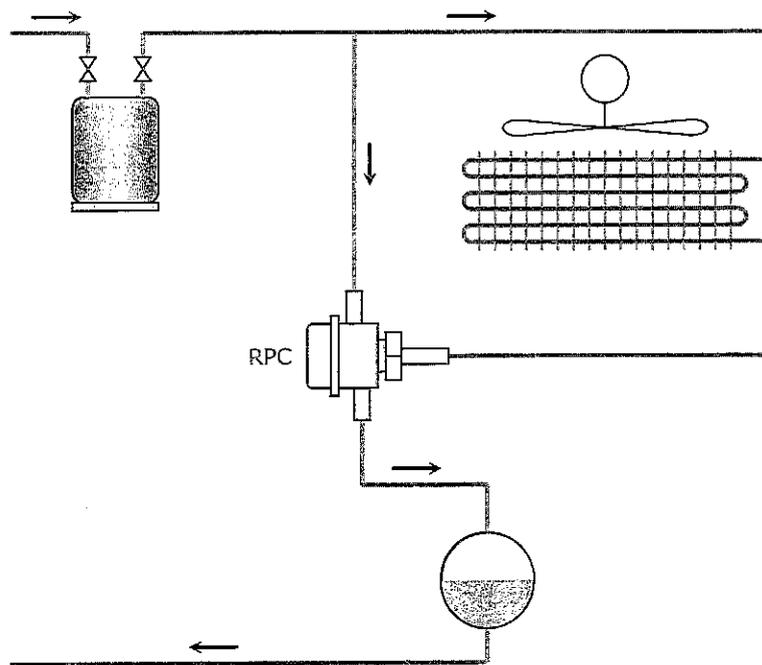
La mayoría de los sistemas operan con un subenfriamiento comprendido entre 3 °C y 11 °C, aunque el subenfriamiento de la mayoría de los sistemas de refrigeración es de 6 °C.

Se pueden considerar los tres casos siguientes de subenfriamiento incorrecto:

- 1) Subenfriamiento nulo (0 °C): puede ser debido a una falta de refrigerante.
- 2) Subenfriamiento bajo (menos de 3 °C): el refrigerante podría evaporarse instantáneamente antes de llegar al dispositivo de control.
- 3) Subenfriamiento alto (más de 11 °C): puede ser debido a un exceso de refrigerante.

La vaporización instantánea de líquido saturado se produce si su temperatura aumenta o si su presión disminuye. Por ejemplo si se tiene R-134a líquido a una presión de 1.285 kPa (que corresponde a 52 °C de saturación), se vaporizará instantáneamente si:

- Se aumenta su temperatura en 0,5 °C, a 52,5 °C.
- Se disminuye su presión a 1.270 kPa.



Otro sistema utiliza un regulador de presión de condensación de 2 vías situado a la salida del condensador. Una válvula de retención puentea el conjunto condensador/regulador de presión. La válvula de retención deberá estar obligatoriamente tarada para que no abra más que con un salto de presión muy superior a la suma de la pérdida de carga del condensador más la pérdida de carga de la válvula RPC abierta.

En el período estival, la temperatura elevada del aire utilizado para la condensación, hará que las presiones de condensación sean superiores al valor al que esté regulada la válvula RPC, por lo que ésta se encontrará totalmente abierta y en el condensador no se quedará más líquido retenido que el que previamente haya sido calculado para lograr un pequeño subenfriamiento en este punto. La presión en el recipiente de líquido será aproximadamente igual a la presión de condensación, siendo el valor de esta presión más alta que la presión de ajuste de la válvula RPC, por lo que esta válvula se encontrará abierta.

En el período invernal, la presión de condensación desciende en relación a la temperatura del aire de entrada al condensador, y su valor debe estar por debajo del ajuste de la válvula RPC, entonces la válvula se cerrará de forma progresiva reteniendo refrigerante en estado líquido al final del serpentín, reduciendo así la superficie destinada a la condensación del fluido y aumentando la presión de condensación para mantenerla en un valor aceptable. Los vapores de descarga pasan, a través del by-pass, y de la válvula de retención para dirigirse directamente al recipiente de líquido haciendo subir rápidamente su presión a un valor que asegure un buen funcionamiento del dispositivo de expansión.

El condensador, por lo tanto, se inundará más o menos de líquido en función del cierre de la válvula RPC. Será preciso tener presente este hecho para la elección del volumen del recipiente de líquido y para la determinación de la carga correcta de fluido frigorígeno.

enfriados por aire equipadas con un único ventilador. Con unidades que incorporan varios ventiladores, uno siempre estará en funcionamiento, para asegurar el enfriamiento del motor del compresor.

Para mejorar la estabilidad de regulación, se utiliza un ventilador equipado con un motor de dos velocidades, o de velocidad variable. Este dispositivo puede utilizarse con múltiples ventiladores; los primeros ventiladores se apagan por temperatura y el último se controla mediante la presión de descarga o la temperatura de condensación. A medida que la temperatura aumenta, también lo hace la velocidad del motor. En un día caluroso, todos los ventiladores estarán operando, con el ventilador variable funcionando a máxima velocidad.

#### **4.3.2 REGULACIÓN DE LA PRESIÓN DE CONDENSACIÓN MEDIANTE INUNDACIÓN DEL CONDENSADOR**

La inundación del condensador aumenta la presión de condensación. Se utiliza una válvula reguladora de la presión de condensación (RPC), que restringe el líquido que sale del condensador. Esto provoca que se estanque líquido en el condensador, dejando menos espacio para el gas de descarga procedente del compresor, aumentando la presión de condensación hasta una presión determinada por el ajuste de la válvula RPC.

Los dispositivos de inundación del condensador se utilizan tanto en climas templados como fríos (- 40 °C de temperatura ambiente o menos) para hacer que el refrigerante se desplace desde un tanque receptor sobredimensionado hasta el condensador. El exceso de refrigerante en el condensador actúa como una sobrecarga de refrigerante y hace que la presión de condensación sea muy superior a la que sería normalmente en un día frío o templado. La presión de condensación será igual a la que se produciría en un día caluroso. Este método proporciona una regulación muy estable, sin fluctuaciones durante la operación. Se requiere de una gran cantidad de refrigerante porque, además de la carga normal de operación, debe haber suficiente refrigerante como para inundar el condensador en el invierno. Se utiliza un receptor de gran tamaño para almacenar el refrigerante en el verano, cuando la válvula dirigirá el exceso de líquido hacia el receptor.

El método de inundación del condensador tiene un beneficio añadido en el invierno. Puesto que el condensador está casi completamente lleno de refrigerante, el líquido refrigerante que se dirige al dispositivo de expansión está muy por debajo de la temperatura de condensación (subenfriamiento alto), ayudando a mejorar la eficiencia del sistema.

La mayoría de las válvulas RPC son válvulas de 3 vías que impiden la salida de líquido del condensador en condiciones de baja temperatura ambiente, para incrementar la presión de condensación equivalente a una temperatura de condensación de 32 °C. Al mismo tiempo, la vía de la presión de descarga se abre para desviar el vapor de descarga caliente con el fin de mantener una alta temperatura del refrigerante en el receptor de líquido.

**a) Regulación del caudal de aire de condensación.** Paro de uno o varios ventiladores o modificación de la velocidad de rotación del ventilador, en función de la temperatura de condensación o de la presión de condensación.

**b) Regulación de la presión de condensación mediante inundación del condensador.** Mediante by-pass de los gases calientes al recipiente de líquido.

#### **4.3.1 REGULACIÓN DEL CAUDAL DE AIRE DE CONDENSACIÓN**

El sistema más simple consiste en detener el funcionamiento del ventilador mediante un presostato de alta presión (control del ciclo del ventilador) de rearme automático. Cuando el ventilador del condensador se apaga, la presión de condensación aumenta, independientemente del tiempo que haga, siempre que el viento no realice el trabajo del ventilador.

La presión de conexión es de unos 200 kPa a 350 kPa por encima de la presión de desconexión.

Por ejemplo, en un sistema con R-134a, el ventilador se puede desconectar cuando la presión descienda a 1.155 kPa (que corresponde a una temperatura de condensación de 32 °C) y volver a conectarse cuando llegue a 1.434 kPa (que corresponde a una temperatura de condensación de 40 °C). Estos ajustes están suficientemente separados, evitando que el ventilador realice demasiados ciclos cortos.

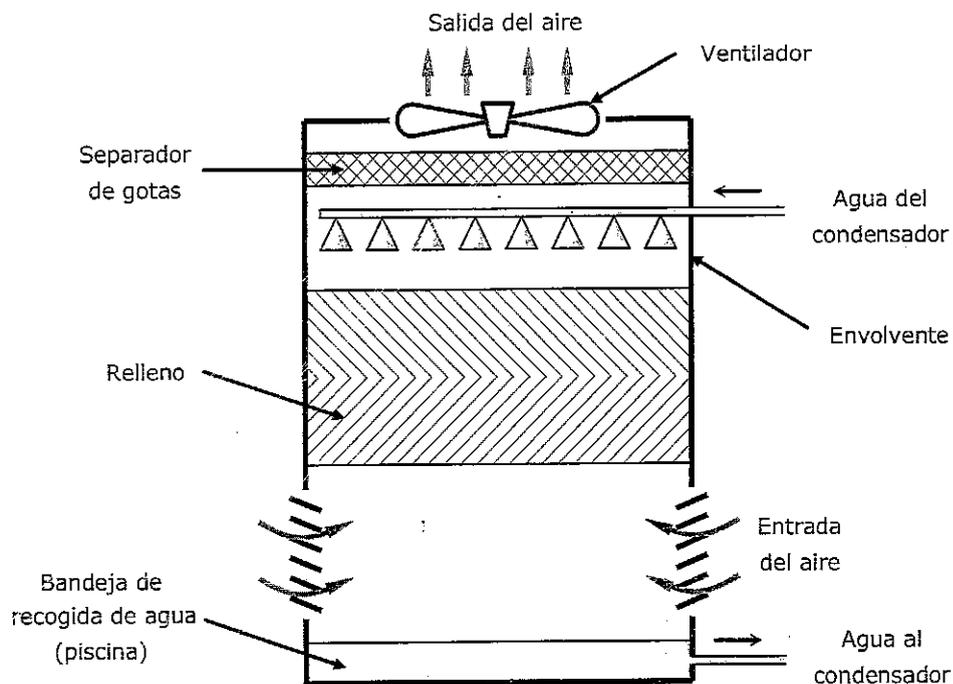
El inconveniente de este sistema es que la presión de condensación oscila bruscamente, a medida que el ventilador se apaga y se enciende. Esto puede afectar al funcionamiento del dispositivo de expansión.

Si el diferencial (diferencia entre los valores de conexión y desconexión) es menor de 200 kPa, el motor del ventilador tendrá un ciclo corto, acortando la vida del motor.

Si el diferencial es mayor de 350 kPa, el ventilador estará apagado demasiado tiempo; el ventilador del condensador proporciona el flujo de aire necesario para enfriar el motor del compresor enfriado por aire, por lo que se podría calentar en exceso.

Cuando se utiliza este tipo de regulador, hay que asegurarse de que el corte por alta presión del presostato de alta presión sea mayor que el punto de activación del regulador de condensación. Por ejemplo, si se ajusta el regulador de condensación de modo que mantenga la presión de condensación entre 1.155 kPa y 1.434 kPa, un ajuste de 1.704 kPa en el presostato de alta presión no interferirá con la configuración del regulador de condensación.

El control del ciclo del ventilador es un sistema efectivo en lugares donde las temperaturas están por encima de la temperatura de congelación. Además, este sistema no se recomienda con unidades de condensación con compresores



### 4.3 DISPOSITIVOS DE REGULACIÓN DE LA PRESIÓN DE CONDENSACIÓN

Los condensadores están diseñados para funcionar de forma correcta en condiciones de temperatura ambiente entre 15 °C y 38 °C. Por debajo de 15 °C, la presión de condensación disminuye de manera notable, ocasionando la mala alimentación del dispositivo de control.

Al disminuirse el caudal másico de fluido inyectado al evaporador, aumenta el sobrecalentamiento y desciende la presión de vaporización, pudiendo ocasionar el corte del presostato de baja presión. La válvula de expansión reacciona abriendo el paso de refrigerante, e inundando el evaporador. Esto hace que la válvula fluctúe buscando su punto de equilibrio, estrangulando el evaporador durante un minuto e inundándolo durante el siguiente.

Para que el dispositivo de control funcione correctamente, la presión de condensación debe estar unos 5 bar o 7 bar por encima de la presión de vaporización. Hay que tener en cuenta que, cuando la instalación se encuentra en régimen estable, el caudal másico de fluido aspirado por el compresor es el mismo que el inyectado por la válvula de expansión.

Es inútil ajustar del sobrecalentamiento de la válvula de expansión. Esto no mejora el funcionamiento en invierno, en cambio conducirá a golpes de líquido en las otras estaciones.

Para mantener la presión de condensación a un valor compatible con el funcionamiento normal de la instalación, pueden emplearse varios procedimientos:

En los sistemas por compresión, la torre de refrigeración debe expulsar más calor del que absorbe el evaporador. En un sistema de acondicionamiento de aire, la torre de refrigeración expulsa un 25% más de calor (calor de compresión) que el correspondiente a la capacidad del evaporador.

En los procesos de enfriamiento por aire, la extracción de calor se efectúa prácticamente en su totalidad bajo la forma de calor sensible.

En cambio, en los procesos de enfriamiento evaporativo puede haber una pequeña transferencia en forma de calor sensible (hasta un 10% ó 15%) y fundamentalmente una gran transformación en calor latente (85% a 90%), que es función de la evaporación de una reducida porción del agua en circulación.

En los procesos de enfriamiento evaporativo se aprovecha el calor latente de vaporización del agua, calor que ha de absorber para realizar su cambio de estado pasando de líquido a vapor. El calor latente varía según la temperatura en la que se realiza el cambio de estado, pero para los márgenes normales entre los que trabajan las torres de refrigeración, puede considerarse un valor medio de entre 2.500 kJ/kg y 2.600 kJ/kg.

Los equipos de enfriamiento evaporativo utilizables representan numerosas ventajas y algunos inconvenientes en comparación con los de solo aire:

- a) Requieren menor espacio en planta (50% a 30% menos).
- b) Reducen el consumo de energía eléctrica (hasta un 30% a 50%).

Pero, en contrapartida, los sistemas de enfriamiento evaporativo requieren un cierto consumo de agua y un control de sus vertidos. Además se requiere de un tratamiento del agua (limpieza y desinfección), siendo las operaciones de limpieza laboriosas. Por último, estos sistemas están sujetos a una estricta reglamentación sanitaria.

Los principales elementos de que se compone una torre de refrigeración son:

- Envoltente.
- Material de relleno.
- Sistema de circulación del aire.
- Sistema de distribución de agua.
- Separador de gotas.
- Bandeja de recogida.

## 7.4 | ACEITE

---

Toda instalación frigorífica y/o de aire acondicionado incorpora un compresor que es el "corazón" de la instalación, y que necesita lubricar sus partes móviles.

La lubricación tiene por objeto intercalar entre los elementos móviles una finísima película de un material (lubricante), que disminuye el coeficiente de rozamiento, y al mismo tiempo cumple la función de sellar las camisas de los cilindros.

Un buen lubricante deberá tener dos características fundamentales:

- Disminuir el rozamiento de los componentes mecánicos que configuran el compresor
- Disminuir el desgaste de los mecanismos en movimiento

Las averías provocadas por falta de lubricación son las más costosas de reparar de todos los elementos de la instalación, es por ello que debe preverse un buen sistema de lubricación.

El aceite es una sustancia compuesta de varios elementos donde el aceite, propiamente dicho, es un simple transmisor de los mismos. En ella se incluyen una serie de aditivos que son los verdaderos artífices de la lubricación.

### 7.4.1 VISCOSIDAD

La textura de un lubricante no se mide por la densidad sino por su viscosidad. Esta representa la resistencia a fluir, es decir, un aceite que fluye con facilidad es poco viscoso. La viscosidad varía con la temperatura, aumentando con el frío y disminuyendo con el calor.

Si el aceite es demasiado ligero, no permanece entre las superficies rozantes sino que es expulsado de ellas, quedando éstas sin la película protectora. Por el contrario, si el aceite es demasiado espeso es causa de rozamiento y de pérdida de potencia.

La viscosidad se suele medir en escala Saybolt Seconds Universal (SSU). En condiciones normalizadas de temperatura, se deja que el aceite fluya por un orificio cuidadosamente calibrado hasta que ha pasado un volumen determinado. El número de segundos necesarios para que fluya dicho volumen de aceite por el orificio es la viscosidad del aceite en grados Saybolt Seconds Universal.

El lubricante dentro de una instalación frigorífica se expone a grandes variaciones de temperatura. Por ejemplo, para una instalación de R-22 equipada con un compresor hermético y evaporando a 0 °C, la temperatura de descarga puede rondar los 85 °C. El aceite en circulación sufre entonces una diferencia de temperatura importante en un periodo que puede ser sólo de unos pocos minutos.

Además del efecto de la temperatura sobre la viscosidad, también le afecta el refrigerante. Al disolverse el refrigerante en el aceite, la mezcla refrigerante-aceite

tiene menor viscosidad que el aceite sólo. La viscosidad de la mezcla refrigerante/lubricante, pues, afecta a la facilidad de retorno al compresor del lubricante.

#### **7.4.2 PUNTO DE CONGELACIÓN**

El punto de congelación de un lubricante es la temperatura que deja de fluir. En todo circuito frigorífico, parte del aceite es transportado hasta el evaporador, independientemente de lo pequeña que sea la cantidad, este aceite debe poder fluir o circular a través del sistema.

#### **7.4.3 CONTENIDO DE HUMEDAD**

La humedad en cualquier instalación es nociva, contribuyendo a formar una película de cobre, y también a la formación de lodos y ácidos, así como a congelarse. Ningún aceite de refrigeración debe contener suficiente humedad para afectar al sistema de refrigeración. Especialmente en los lubricantes de base de ester.

#### **7.4.4 MISCIBILIDAD**

La miscibilidad es la capacidad del aceite para absorber refrigerante. Se debe favorecer la miscibilidad de un refrigerante con el aceite del compresor, ya que favorece el retorno del aceite desde el evaporador hasta el compresor.

La miscibilidad asegura que no habrá separación de fases líquida en el evaporador o en el condensador, con lo que tendremos asegurada la circulación de aceite por dichos elementos, sin interferencias importantes en la transmisión de calor. Así mismo, la válvula de expansión no verá alterado su normal funcionamiento por tapones o columnas de aceite insoluble que atravesarían dicha válvula sin posibilidad de expansión, y con suma dificultado, debida a la gran diferencia de viscosidad comparada con el refrigerante. Se trata de asegurar una circulación fluida del binomio refrigerante/aceite que evite peligrosas faltas de lubricante en el compresor.

Aún en el caso de refrigerantes/lubricantes inmiscibles, el refrigerante puede ser parcialmente soluble en el lubricante. La solubilidad del refrigerante en el lubricante ayuda a reducir la viscosidad del lubricante haciéndole más fácil fluir a lo largo de la instalación.

En un equipo frigorífico, un lubricante inmiscible con el refrigerante formará una fase aparte que se va almacenando en el evaporador y/o puntos bajos y sifones de la instalación.

#### **7.4.5 CLASIFICACIÓN**

Los lubricantes por su naturaleza se clasifican en:

- Mineral.
- Alquibencenico, son lubricantes estables térmicamente, deben tener una alta calidad para evitar problemas con ceras insolubles, son utilizados en refrigerantes CFC, HCFC.
- Poliolester,(POE) altamente solubles en los nuevos refrigerantes sin

cloro, excelente estabilidad térmica, evitan depósitos en el condensador y evaporador, esta recomendado para usar con los nuevos refrigerantes que sustituyen al R-22.

- Polialfaolefina,(PAO) poseen alta estabilidad térmica, buena relación viscosidad-temperatura, buena fluidez a baja temperatura, se utiliza en compresores de tornillo y pistón en compresores de  $\text{NH}_3$ .

Los aceites animales y vegetales se llaman aceites fijos a causa de que no pueden ser refinados sin descomposición. Son inestables y tienden a formar ácidos que los hacen inadecuados para los fines de climatización.

Los lubricantes que se han usado hasta la actualidad son lubricantes minerales, llamados así por obtenerse de derivados del crudo petrolífero. Dan una buena miscibilidad con los refrigerantes actuales, y son económicos.

Un lubricante mineral se compone fundamentalmente de una mezcla de muchas clases de hidrocarburos, tanto saturados como insaturados, y algunas sustancias con heteroátomos (átomos distintos al carbono e hidrógeno como el oxígeno, nitrógeno, azufre, etc), que son eliminadas casi totalmente durante el proceso de refinado.

Los aceites minerales, para poderlos tipificarlos, al ser su composición tan variable y distinta, se habla de tres fracciones básicas: fracción parafínica, nafténica y aromática. Un lubricante con alto contenido de naftalenos y aromáticos, tendrá buena miscibilidad en estado líquido, pero bajará su viscosidad con la temperatura proporcionalmente más que un aceite parafínico. El aceite parafínico, en cambio, mejora el engrase límite en el sistema.

## **7.5 | LUBRICANTES PARA CLIMATIZACIÓN**

Para el engrase de los equipos frigoríficos, se deben utilizar unos aceites muy especiales que cumplan:

- Tener un punto de congelación suficiente bajo para que fluya en cualquier parte del sistema
- Contener poco o ningún ácido.
- No contener compuestos de azufre.
- No contener humedad.
- Conservar la consistencia suficiente para lubricar a alta temperatura y ser suficientemente fluido para que fluya a baja temperatura.

En casi todos los casos los aceites minerales usados previamente con los refrigerantes CFC no deben emplearse con los nuevos refrigerantes que contienen HFC y HCFC. Esto es debido a que los nuevos refrigerantes tienen diferentes propiedades disolventes que los CFC.

Los aceites sintéticos más usados actualmente son:

- Alquibencenicos (AB): Estos lubricantes han sido empleados en la industria frigorífica durante más de 25 años, por su alta miscibilidad con refrigerantes HCFC (y con CFC), y por su excelente estabilidad térmica. Usados en ciertos

casos con HFC. Los lubricantes AB son la primera elección donde se empleaba un aceite mineral antes de cambiar de refrigerante

- Poliolester (POE): Los lubricantes POE son compatibles con todos los nuevos refrigerantes, deben ser manipulados cuidadosamente pues absorben humedad del aire, lo que es perjudicial para la instalación.

Refrigerante	Aceite mineral	Aceite mineral + alquilbencénico	Aceite alquilbencénico	Aceite poliolester
R134a	No	No	No	Sí
DIR6	Sí	Sí	Sí	Sí
R401A	No	Sí	Sí	Sí
R401B	No	Sí	Sí	Sí
R404A	No	No	No	Sí
DI44	No	Sí	Sí	Sí
R403B	Sí	Sí	Sí	Sí
R402A	No	Sí	Sí	Sí
R402B	No	Sí	Si	Sí
R22	Sí	Sí	Sí	Sí
R407C	No	No	No	Sí
R417A	Sí	Sí	Sí	Sí
R123	Sí	Sí	Si	Sí
R507	No	No	No	Sí
R413A	Sí	Sí	Sí	Sí
R409A	Sí	Sí	Sí	Sí
R408A	No	Sí	Sí	Sí
R410A	No	No	No	Sí
R422A	Sí	Sí	Si	Sí
R422D	Sí	Si	Si	Sí
R423A	Sí	Si	Si	Sí

**Tabla. Compatibilidad y miscibilidad de lubricantes con refrigerantes**

## 7.6 RETORNO DE ACEITE AL COMPRESOR

En una instalación que funcione correctamente, todo el aceite que deja el compresor se mueve a lo largo del circuito con el refrigerante, y retorna al compresor, donde actúa de nuevo como lubricante.

Esto no sucede siempre, y el aceite puede acumularse en el circuito. Los dos efectos principales de esto son la falta de aceite en el compresor, que puede ocasionar problemas de lubricación, y la obstrucción del circuito frigorífico, con la consiguiente pérdida de eficiencia.

Una posible razón para un bajo retorno de aceite puede ser el empleo de un lubricante de viscosidad demasiado alta. Como se indicó anteriormente, los fabricantes de compresores especifican la viscosidad del lubricante, pero puede sugerir un rango de viscosidades. Si el retorno de aceite es un problema, podría ser útil probar con el más bajo de los recomendados por el fabricante.

Como el evaporador es el punto más frío del circuito, podría decirse que la viscosidad del lubricante es la más alta allí. Debido al efecto de disolución por el refrigerante disuelto, las viscosidades más altas se encuentran en la línea de aspiración, en el punto donde el recalentamiento es sobre 20-25 °C.

La geometría y las velocidades por tubería pueden ayudar a mover físicamente el aceite a través de la instalación y devolverlo al compresor, incluso con lubricantes/refrigerantes inmiscibles. La línea de succión deberá tener suficiente velocidad de paso de gas. Las velocidades recomendadas son de aproximadamente 3,5 m/s en líneas horizontales y 7,5 m/s en verticales. La velocidad no debe superar los 15 m/s para reducir el ruido y para evitar excesiva caída de presión. En el tema 1 de conocimientos técnicos se aplica un método para dimensionar las redes de tuberías correctamente.

### **7.6.1 FILTROS DE ACEITE**

La función del filtro de aceite es atrapar las virutas de metal desprendidas por acción del movimiento de las distintas piezas del compresor. Es preciso que estos fragmentos sean retenidos en el filtro, pues de lo contrario provocarían un efecto esmeril muy perjudicial sobre los conjuntos en movimiento, causando un desgaste considerable de las partes móviles. Un filtro obstruido por excesiva suciedad puede provocar una avería peligrosa y cara.

### **7.6.2 SEPARADOR DE ACEITE**

Un separador de aceite es un dispositivo que separa pequeñas gotas de aceite de la corriente de refrigerante, y normalmente se coloca a la salida de gas inmediatamente después del compresor. El aceite retorna directamente al compresor, lo que elimina problemas de circulación de aceite por la instalación.

Un separador de aceite es esencial en un compresor de tornillo, el cual emplea grandes cantidades de aceite. Es muy útil en instalaciones de baja temperatura que utilizan compresores cuyo aceite es de alta viscosidad. Cuando la instalación es de evaporador inundado debe emplearse separador siempre, y se recomienda en cualquier instalación con largas o complicadas tiradas de tubería, y/o baja velocidad de gas.

### **7.6.3 EXTRACCIÓN Y CARGA DE LUBRICANTE**

Si el aceite no se manipula correctamente, la humedad y el aire pueden entrar en la instalación, ya sea directamente o en el lubricante. Deben mantenerse los envases de aceite sellados hasta el momento de su utilización. Existen en el mercado sistemas de conservación y dosificación de aceites que permiten mantener el lubricante en atmósfera de refrigerante exenta de aire, y su introducción a presión en el circuito está especialmente indicado para los lubricantes POE.

#### **7.6.4 PROCEDIMIENTO DE CARGA DIRECTA**

La mayoría de los compresores nuevos se suministran precargados con lubricante, hay excepciones donde la carga inicial se lleva a cabo por parte de los técnicos de la instalación o del servicio. Es habitual rellenar el compresor para compensar la parte de del lubricante que está circulando por la instalación.

Deben seguirse las instrucciones del fabricante del compresor sobre la correcta carga de lubricante ya que puede variar de un modelo a otro.

A continuación se indican los pasos a seguir para cargar lubricante:

- Recoger el refrigerante en el calderín para minimizar las pérdidas. Aislar el compresor con sus válvulas de servicio de alta y baja. Conectar la bomba de vacío a una de las dos válvulas de servicio. Reducir la presión en el compresor hasta una presión ligeramente positiva (aprox 0,1 bar) y para la bomba. Desenroscar el tornillo de acceso a cárter y roscar la manguera de carga con la válvula cerrada.
- Abrir cuidadosamente la válvula de servicio de aspiración. Dejar entrar un poco de vapor, sólo el suficiente para tener presión positiva, y cerrar de nuevo. Abrir la válvula de la manguera para purgar aire, abrir el envase de aceite, cerrar la válvula de la manguera e introducirla en el aceite.
- Arrancar de nuevo la bomba de vacío. Cuando la presión en el compresor esté ligeramente por debajo de la atmosférica, abrir la válvula de corte cuidadosamente. Llenar el lubricante hasta el nivel correcto, mirando la mirilla del compresor, y cerrar entonces la válvula de corte.
- Parar la bomba de vacío, abrir la válvula de servicio de aspiración hasta tener una presión ligeramente positiva y desconectar la manguera de carga, colocando el tornillo de acceso a cárter en su sitio.

#### **7.6.5 EXTRACCIÓN DE LUBRICANTE**

La extracción del lubricante es necesaria:

- cuando se sustituye el refrigerante por otro de propiedades diferentes,
- si el aceite se ha degradado y vuelto ácido durante el funcionamiento,
- si se notase la presencia de agua.

#### **7.6.6 RECOMENDACIONES PARA EL MANEJO DEL LUBRICANTE**

- Se recomienda el uso de los EPIs (Equipo de Protección Individual) como:
- Guantes.
- Gafas de protección.
- Ropa adecuada.
- Evitar respirar vapores generados por el lubricante caliente.
- Trabajar en lugar bien ventilado.

# TABLA DE PRESIÓN-TEMPERATURA DE ALGUNOS REFRIGERANTES

# ANEXO

Temperatura (°C)	Presión (kPa)					
	R-22	R-123	R-134a	R-404A	R-410A	R-507
-40	105	4	51	135	176	139
-39	110	4	54	141	184	145
-38	115	4	57	148	192	152
-37	121	4	60	155	201	158
-36	126	5	63	161	210	165
-35	132	5	66	169	219	173
-34	138	5	70	176	229	180
-33	144	6	73	183	238	188
-32	151	6	77	191	249	196
-31	157	6	80	199	259	204
-30	164	7	84	208	270	213
-29	171	7	88	216	282	222
-28	178	8	93	225	293	231
-27	186	8	97	235	305	240
-26	193	9	102	244	318	250
-25	201	9	106	254	331	260
-24	210	10	111	264	344	270
-23	218	10	116	274	357	281
-22	227	11	122	285	371	292
-21	236	11	127	296	386	303
-20	245	12	133	307	401	315
-19	255	13	139	319	416	326
-18	265	13	145	331	432	339
-17	275	14	151	343	448	351
-16	285	15	157	356	465	364
-15	296	16	164	369	482	377
-14	307	17	171	382	499	391
-13	319	17	178	396	517	405
-12	330	18	185	410	536	420
-11	342	19	193	424	555	434
-10	355	20	201	439	575	450
-9	367	21	209	454	595	465
-8	381	22	217	470	615	481

ANEXO. TABLA DE PRESIÓN-TEMPERATURA

Temperatura (°C)	Presión (kPa)					
	R-22	R-123	R-134a	R-404A	R-410A	R-507
-7	394	23	225	486	637	498
-6	408	25	234	503	658	514
-5	422	26	243	519	681	532
-4	436	27	253	537	703	549
-3	451	28	262	554	727	567
-2	466	30	272	573	751	586
-1	482	31	282	591	775	605
0	498	33	293	610	801	624
1	514	34	304	630	827	644
2	531	36	315	650	853	665
3	548	37	326	670	880	686
4	566	39	338	691	908	707
5	584	41	350	712	936	729
6	603	43	362	734	965	751
7	622	45	375	757	995	774
8	641	46	388	780	1025	798
9	661	48	401	803	1057	822
10	681	51	415	827	1088	846
11	702	53	429	852	1121	871
12	723	55	443	877	1154	897
13	745	57	458	902	1188	923
14	767	60	473	928	1223	949
15	789	62	488	955	1258	977
16	812	65	504	982	1295	1005
17	836	67	521	1010	1332	1033
18	860	70	537	1039	1370	1062
19	885	73	554	1068	1408	1092
20	910	76	572	1097	1448	1122
21	936	79	590	1127	1488	1153
22	962	82	608	1158	1529	1184
23	989	85	627	1190	1571	1216
24	1016	88	646	1222	1614	1249
25	1044	91	665	1255	1657	1283
26	1072	95	685	1288	1702	1317
27	1101	98	706	1322	1748	1352
28	1131	102	727	1357	1794	1387
29	1161	106	748	1392	1841	1423

Temperatura (°C)	Presión (kPa)					
	R-22	R-123	R-134a	R-404A	R-410A	R-507
30	1192	110	770	1428	1889	1460
31	1223	114	793	1465	1939	1498
32	1255	118	815	1503	1989	1536
33	1288	122	839	1541	2040	1575
34	1321	126	863	1580	2092	1615
35	1355	131	887	1620	2145	1655
36	1389	135	912	1660	2199	1697
37	1424	140	937	1701	2254	1739
38	1460	145	963	1743	2310	1782
39	1497	149	990	1786	2367	1825
40	1534	154	1017	1829	2426	1870
41	1571	160	1044	1874	2485	1915
42	1610	165	1072	1919	2545	1961
43	1649	170	1101	1965	2607	2008
44	1689	176	1130	2012	2670	2056
45	1729	182	1160	2059	2734	2104
46	1770	188	1190	2108	2799	2154
47	1812	194	1221	2157	2865	2204
48	1855	200	1253	2207	2932	2256
49	1899	206	1285	2259	3001	2308
50	1943	212	1318	2311	3071	2361
51	1988	219	1351	2364	3142	2415
52	2033	226	1385	2418	3214	2471
53	2080	233	1420	2472	3288	2527
54	2127	240	1456	2528	3363	2584
55	2175	247	1492	2585	3439	2642
56	2224	255	1528	2643	3517	2701
57	2274	262	1566	2702	3596	2761
58	2324	270	1604	2762	3676	2823
59	2375	278	1642	2823	3758	2885
60	2428	286	1682	2885	3842	2949
61	2481	294	1722	2948	3927	3013
62	2534	303	1763	3012	4013	3079
63	2589	311	1804	3078	4101	3147
64	2645	320	1847	3145	4191	3215
65	2701	329	1890	3213	4282	3285

