

Compresores frigoríficos



El ciclo de compresión de vapor con el que funcionan la mayoría de las máquinas frigoríficas debe su nombre a uno de los elementos que lo forman: el compresor. Podemos encontrar diferentes clasificaciones de los compresores dependiendo de la aplicación a la que sean destinados. Vamos a hacer una clasificación sencilla centrando el estudio en aquellos más empleados.

8

Contenidos

- 8.1. Compresores: funcionamiento y partes
- 8.2. Tipos de compresores
- 8.3. Compresores rotativos
- 8.4. Compresores alternativos: funcionamiento y componentes
- 8.5. Dimensionamiento de un compresor
- 8.6. Motor eléctrico del accionamiento
- Resumen
- Actividades finales

Objetivos

- Explicar la función del compresor en el circuito frigorífico.
- Clasificar los compresores atendiendo a la forma en la que se ha realizado el montaje y a la forma de realizar la compresión del refrigerante.
- Indicar las diferencias entre compresores alternativos y rotativos.
- Describir las distintas partes que tiene un compresor alternativo.
- Conocer los cálculos para realizar la selección del compresor.

8.1. Compresores: funcionamiento y partes

El compresor tiene como función principal la de hacer circular el refrigerante por todo el circuito, pero también es el encargado de generar el desequilibrio de presiones entre las dos partes de este. En relación con la posición de las tomas del compresor, el circuito se divide en: una zona de baja presión, por donde aspira el compresor, y otra zona de alta presión, que es la zona de descarga del compresor.

El compresor está formado por dos partes claramente diferenciadas:

- **El elemento motor.** Es el encargado de producir el movimiento giratorio que se transmite al compresor a través de un eje.
- **Elemento compresor.** Es donde se produce la compresión de los gases gracias a la compresión producida al aprovechar el movimiento del eje motor.

Estas dos partes pueden ser más o menos fáciles de delimitar dependiendo del tipo de compresor del que estemos hablando.

8.2. Tipos de compresores

En función del montaje, pueden clasificarse en:

- **Herméticos.** Estos compresores se caracterizan por no poder ser desmontables, el motor eléctrico y la zona de compresión van ubicados en la misma carcasa, no siendo accesibles. No permiten realizar ningún
- **Semiherméticos (herméticos accesible).** Son similares al compresor hermético, pero con la ventaja de que todas las partes son accesibles para su reparación. La zona del compresor y del motor se encuentra en el interior de una carcasa cerrada con tornillería y el acoplamiento se realiza de manera directa. Se utilizan en instalaciones de medianas y grandes potencias.
- **Abiertos.** En este caso, motor y compresor van montados por separado siendo accesibles en su totalidad. El área de compresión tiene un eje saliente y es ac-

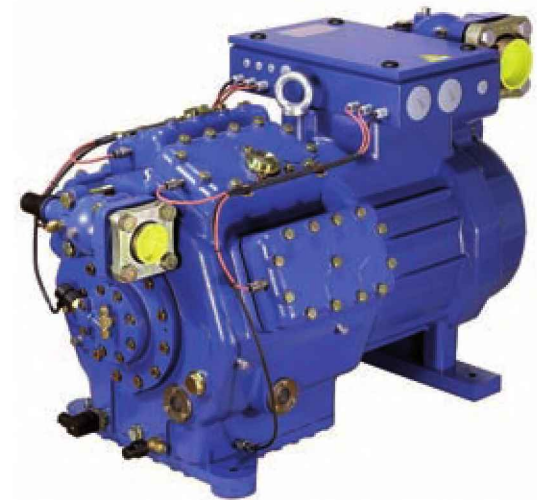


Figura 8.2. Compresor semihermético (cortesía de Gea Bock)



Figura 8.1. Compresores herméticos alternativos (cortesía de Danfoss)

cionada por el motor eléctrico. La transmisión entre una parte y otra se realiza por medio de un acoplamiento que permite transmitir toda la fuerza de la zona motora a la zona de compresión con las mínimas pérdidas posibles. Podemos diferenciar dos tipos de acoplamientos:

- **Directo.** En el que los dos ejes, el del motor y el del compresor, están unidos directamente manteniendo cierto grado de elasticidad.
- **Por correas.** Los ejes llevan unas poleas incorporadas, por lo que, en función de los diámetros de estas y de su velocidad, podemos conseguir una regulación de potencia.



Figura 8.3. Compresor abierto (cortesía de Gea Bock)

Tienen el inconveniente de que, debido al eje saliente de la zona de compresión, existe un *punto débil* por el que hay una gran posibilidad de fugas de refrigerante. El amoníaco se usa mucho como refrigerante (tener en cuenta la reacción corrosiva entre el amoníaco y el cobre) en este tipo de compresores porque no está en contacto con el bobinado del motor.

Los compresores, independientemente de que sean abiertos, herméticos o semiherméticos, pueden clasificarse de acuerdo a su principio de funcionamiento. Aquellos en los que se lleva a cabo una compresión por medio de elementos que consiguen una reducción volumétrica se llaman de *desplazamiento positivo* y aquellos en los que la compresión se consigue por medio de la fuerza centrífuga al hacer girar los vapores a alta velocidad se llaman de *desplazamiento cinético*.

8.3. Compresores rotativos

Se caracterizan por comprimir el fluido refrigerante mediante el movimiento circular continuo de un rotor.

8.3.1. Compresores de paletas

Están formados por un rotor que tiene unas ranuras en las que hay unas paletas comprimidas contra la pared del cilindro por medio de unos resortes. Concéntricamente a este y algo descentrado, se encuentra el cilindro. El número de paletas puede variar: una, dos, cuatro, seis, etc.

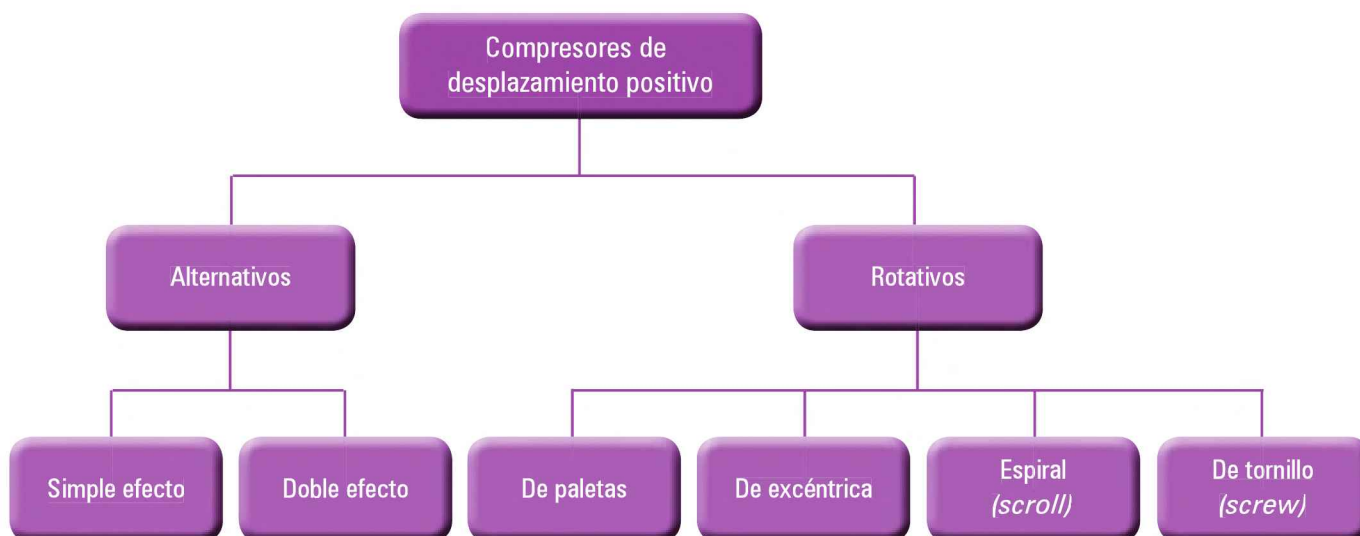


Figura 8.4. Diagrama clasificatorio de compresores

El refrigerante procedente del evaporador entra por el orificio de aspiración y llena el espacio que se encuentra entre dos paletas contiguas. Al girar el rotor, este espacio cada vez es más reducido y así se consigue la compresión del gas, que se expulsa por el orificio de descarga hacia el condensador. Existen compresores cuyos rotores no llevan resortes y las paletas se mantienen comprimidas por la acción de su propio peso y de la fuerza centrífuga. Se utilizan para potencias no muy elevadas.

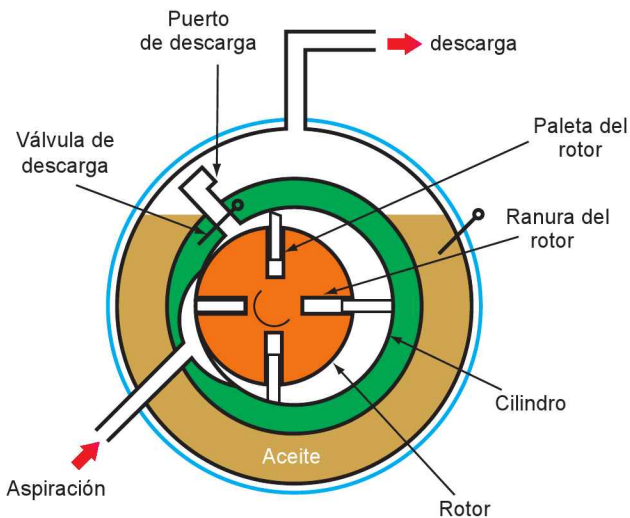


Figura 8.5. Compresor de paletas

8.3.2. Compresores de excéntrica

Están constituidos por un cilindro de acero hueco, llamado rotor, que gira sobre un eje excéntrico común al estátor. El estátor, por su parte, es un cilindro donde se encuentran las válvulas de aspiración y de descarga.

El rotor está siempre en contacto con la paleta que se encuentra montada sobre la pared del cilindro y sirve para separar la parte de aspiración de la de descarga.

La aspiración se hace de manera continua y, cuando el gas ha accedido, se realiza la compresión por la disminución del espacio entre el cilindro y el rotor. La descarga se realiza cuando el rotor está en contacto con la parte superior del estátor. Se utilizan para potencias no muy elevadas.

8.3.3. Compresores de espiral (*scroll*)

Estos compresores están formados por dos discos que llevan una estructura con forma de espiral sobre su superficie, como puede observarse en la Figura 8.7. Uno de los discos es fijo y el otro es móvil y está en contacto con el fijo. Hasta el momento, todos los compresores *scroll* comercializados son verticales, pero se anuncia ya la posibilidad de construirlos de manera horizontal.

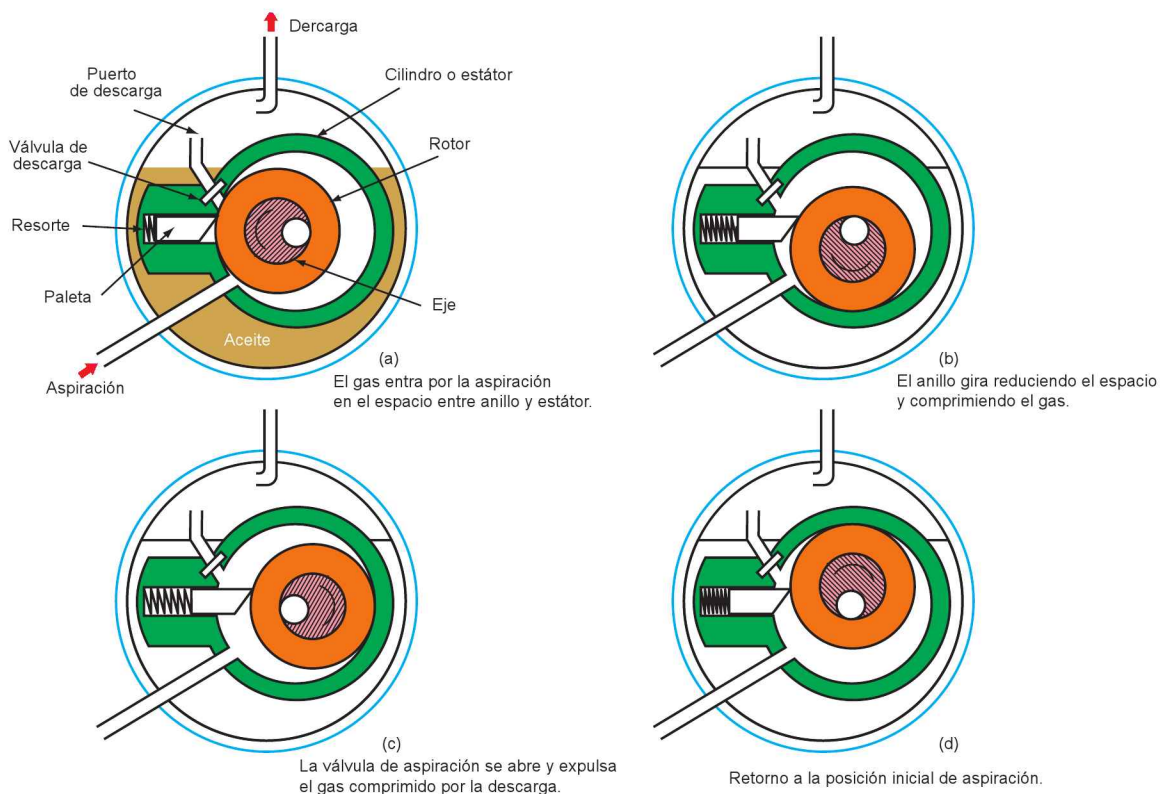


Figura 8.6. Funcionamiento de compresor de excéntrica



Hélices o discos superior e inferior del compresor scroll



Sección de compresor de scroll

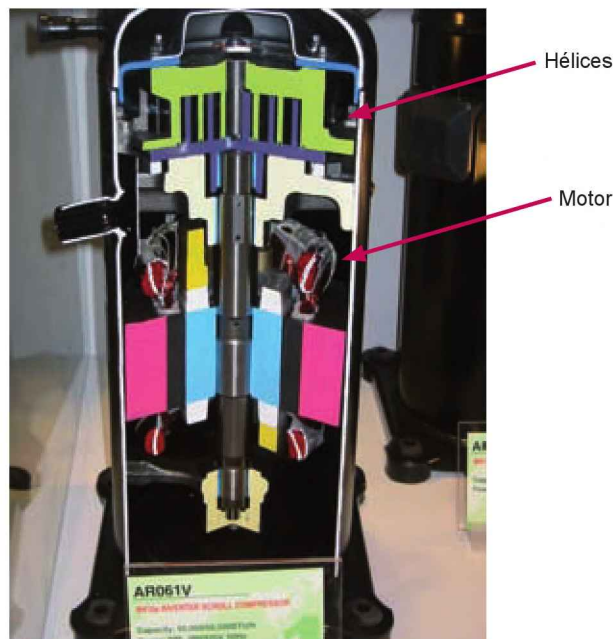


Figura 8.7. Compresor scroll

En principio, el funcionamiento es el siguiente: el fluido entra y ocupa el espacio libre entre las espirales, que, durante su movimiento, van comprimiéndolo en las zonas en contacto. Una pieza intermedia entre el eje del motor y la hélice produce un desplazamiento de ejes, generando el movimiento excéntrico. Se utilizan en muy bajas potencias y tienen la ventaja de tener un nivel sonoro muy bajo.

8.3.4. Compresores de tornillo

Están formados por dos rotores con forma de hélice, como puede observarse en la Figura 8.8., una hembra y otra macho, que engranan entre sí. Uno de los rotores, llamado rotor primario, de cuatro lóbulos o helicoides, es accionado directamente por el motor eléctrico y gira a la misma velocidad que este. Mediante un sistema de rodamientos, el rotor primario transmite el movimiento al rotor secundario, que es del mismo diámetro, pero gira a menor velocidad y en sentido contrario.

El fluido entra en el compresor por un orificio que carece de partes móviles y ocupa inicialmente todo el espacio entre las hélices y el cárter, para después ser guiado por los surcos. Las dos hélices no llegan a estar pegadas entre sí porque existe un espacio muy pequeño entre ambas. Con el giro, ese espacio de separación va disminuyendo comprimiendo a su vez el fluido, que va dirigiéndose a la descarga.

En estos compresores, es de gran importancia el aceite porque además de lubricación también realiza la función de cierre.



Figura 8.8. Sección de compresor de tornillo de dos rotores

Se utiliza para potencias medias y altas. El número de compresores utilizados para producir una misma potencia es

menor que el número de compresores alternativos. Regulan la potencia utilizando una válvula corredera que cambia el comienzo de la compresión. Varía de un 10 a un 100 % de la producción total.

SABÍAS QUE...

En 1957 se inicia la aparición de los compresores rotativos de tornillo en el campo de la refrigeración, aunque la primera patente del dispositivo data de 1878. Alf Lysholm fue quien los retomó al estudiar sus diferentes configuraciones y, posteriormente, surgirán los compresores monotornillo.



Figura 8.9. Sección de compresor alternativo

8.4. Compresores alternativos: funcionamiento y componentes

Vamos a estudiar con más detalle este tipo de compresor por ser el que se utiliza con mayor frecuencia. Los compresores alternativos pueden ser de dos tipos: de simple efecto, cuando la compresión del fluido se produce en un solo lado del pistón, o de doble efecto, cuando la compresión del fluido se realiza en los dos lados del pistón.

SABÍAS QUE...

Cuando el cilindro está lleno de líquido, teniendo en cuenta que los líquidos no pueden comprimirse, pueden producirse efectos nefastos para la instalación que provoquen la rotura del pistón, de la válvula y de la varilla dependiendo del líquido que se introduzca en el cilindro, lo que se llama golpe de líquido.

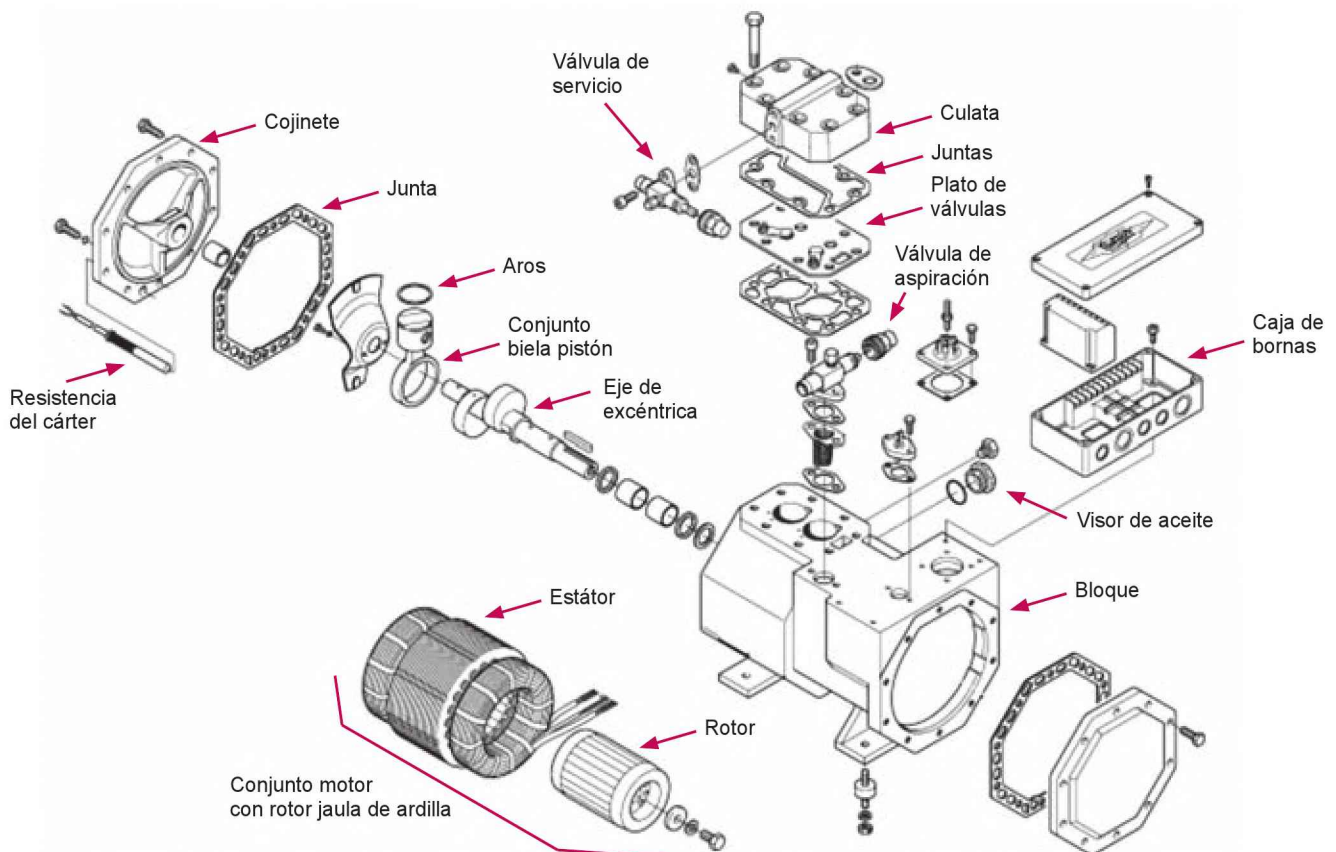


Figura 8.10. Despiece de un compresor alternativo

8.4.1. Forma constructiva: componentes

En la Figura 8.10. encontramos todos los elementos por los que está formado un compresor. A continuación, vamos a estudiarlos en detalle analizando su función:

- **Bloque.** Además de ser la carcasa del compresor también ejerce la función de soporte de todos sus elementos. En él podemos diferenciar dos partes: una superior llamada culata y una inferior por su interior llamada cárter.

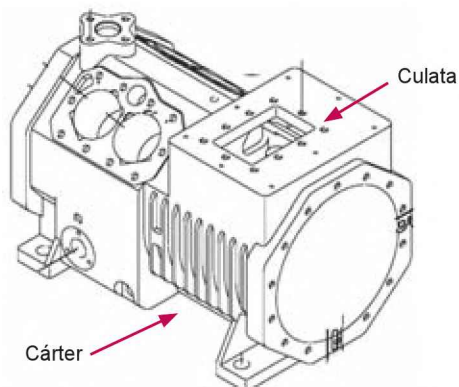


Figura 8.11. Bloque de un compresor

- **Cárter.** Como hemos visto en unidades didácticas anteriores, el compresor es un equipo lubricado con aceite. El espacio destinado a almacenar dicho aceite se llama cárter y se encuentra situado entre el eje cigüeñal y el fondo del bloque.

Algunos compresores llevan incorporada una bomba de aceite que se encarga de la lubricación de las par-

tes móviles del compresor aspirando el aceite del cárter y distribuyéndolo entre las distintas partes.

Después de largos periodos de parada, el refrigerante que está contenido en el cárter ha podido pasar a estado líquido, por lo que se utiliza la resistencia calefactora del mismo para calentarlo de nuevo y garantizar que se encuentre en estado vapor. Otro factor a tener en cuenta es la variación de la viscosidad de aceite según su temperatura. Para temperaturas más bajas, tendrá una mayor viscosidad, por lo que la resistencia a vencer en el arranque del compresor será mayor.

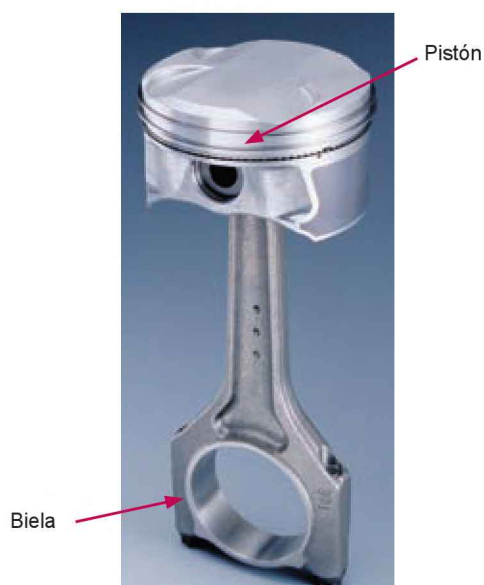


Figura 8.12. Dibujo de biela, pistón, aros y cilindros

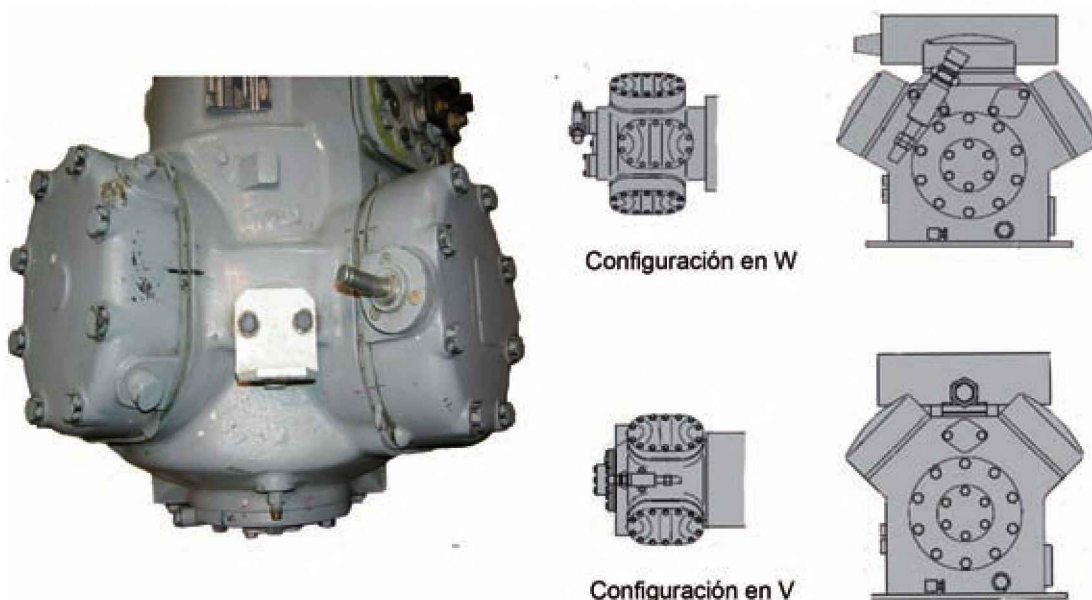


Figura 8.13. Configuración de cilindros en W y V, respectivamente

- **Pistón, cilindro, biela y anillos o aros.** El **pistón** es el elemento que está en contacto con el gas y que provoca la aspiración, la compresión y la descarga del fluido refrigerante con su movimiento alternativo, hacia arriba y hacia abajo, en el interior del cilindro. El **cilindro** es la cavidad donde va alojado el pistón. En algunos compresores, sobre todo en los de mediana y gran potencia, lleva una pieza que lo protege y que se denomina *camisa*. Los cilindros, según su número, pueden tener distintas configuraciones, las más utilizadas son en V, W y VV.

La **biela** es el elemento que une el pistón con el eje del cigüeñal. Por ello, son resistentes y ligeras. La parte superior de la biela, llamada *pie de biela*, se une al pistón por medio de un pasador llamado *bulón*. La parte inferior de la biela que se une al eje del cigüeñal se llama *cabeza de biela*. Para que el gas no se desplace hasta el cárter del cigüeñal, se utilizan **anillos o aros**. Estos pueden ser: de engrase, que permiten la lubricación del cilindro, o de compresión, que impiden que el fluido refrigerante se escape entre el pistón y el cilindro.

- **Eje del cigüeñal o excéntrica.** Tiene la doble función de transmitir el movimiento del motor y transformarlo de giratorio en alternativo (movimiento hacia arriba y hacia abajo de los pistones). Tendrá diferentes formas dependiendo del número de cilindros. El eje de excéntrica de la Figura 8.14. (a) se utiliza sobre todo en compresores de pequeñas potencias.

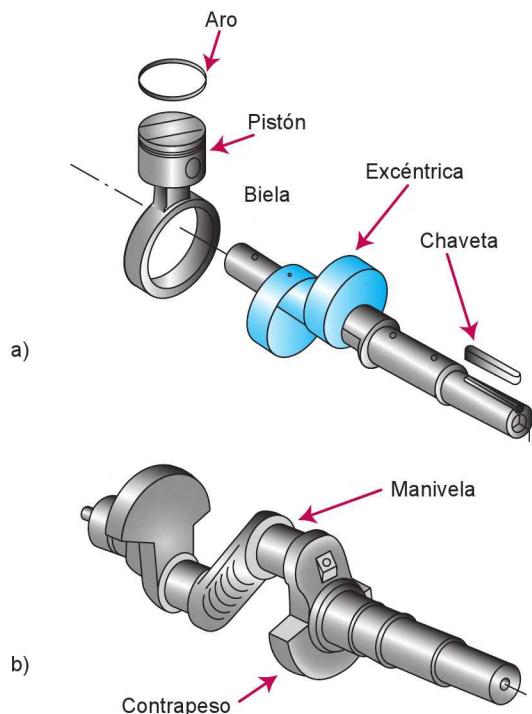


Figura 8.14. Eje de excéntrica (a) y eje de cigüeñal (b)

En el eje del cigüeñal, las partes que se conectan a la biela se llaman *manivelas*. A ambos lados opuestos de las manivelas, se disponen unos contrapesos de equilibrado, como puedes observar en la Figura 8.14. (b).

- **Culata.** Es el elemento que cierra el cilindro por la parte superior. En ella, se alojan las válvulas de aspiración y de descarga. Al estar sometida a altas temperaturas, debe ser refrigerada por aire o por agua.
- **Válvulas de aspiración y de descarga.** Están situadas en la parte superior del cilindro y lo comunican con los conductos de aspiración y de descarga. La apertura y el cierre de las válvulas se producen por la diferencia entre la presión del interior del cilindro y la presión de los conductos respectivos del fluido.



Figura 8.15. Plato de válvulas

- **Lubricación.** El aceite realiza una doble función: disminuir el rozamiento entre partes mecánicas y de refrigeración. Por lo tanto, el aceite durante su recorrido aumenta su temperatura y por ello es necesario instalar un enfriador, para mantenerle a un nivel adecuado.

8.4.2. Funcionamiento de los compresores alternativos. Ciclo de compresión

A continuación, vamos a estudiar el ciclo de compresión teórico y, para ello, vamos a fijarnos en las fases que tienen lugar en la Figura 8.16. y en cómo se posiciona el émbolo en cada caso:

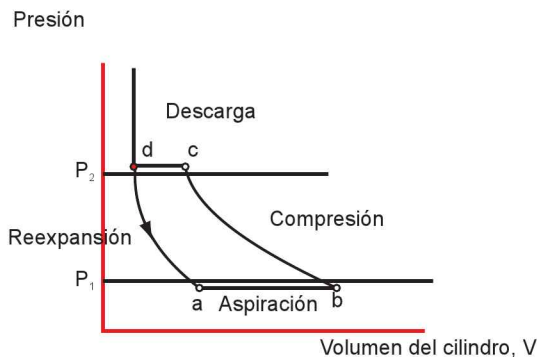


Figura 8.16. Diagrama de émbolo de las fases y diagrama de presión de las transformaciones

• Carrera descendente de reexpansión (camino d-a).

El pistón se encuentra en la parte superior de la carrera y empieza a descender. Cuando el pistón ha descendido lo suficiente como para que la presión que hay en el cilindro sea menor que la que hay en el conducto de aspiración, se abre una válvula de admisión y el cilindro comienza a llenarse de gas, tal y como muestra la Figura 8.18., y comenzaríamos la aspiración con el camino a-b.

El pistón continúa descendiendo hasta la parte inferior de la carrera, llamado *punto muerto inferior*. Llegados a este punto, el cilindro está prácticamente lleno. Hay un ligero retardo de tiempo a medida que el cigüeñal dirige la varilla alrededor de la parte inferior de la carrera.

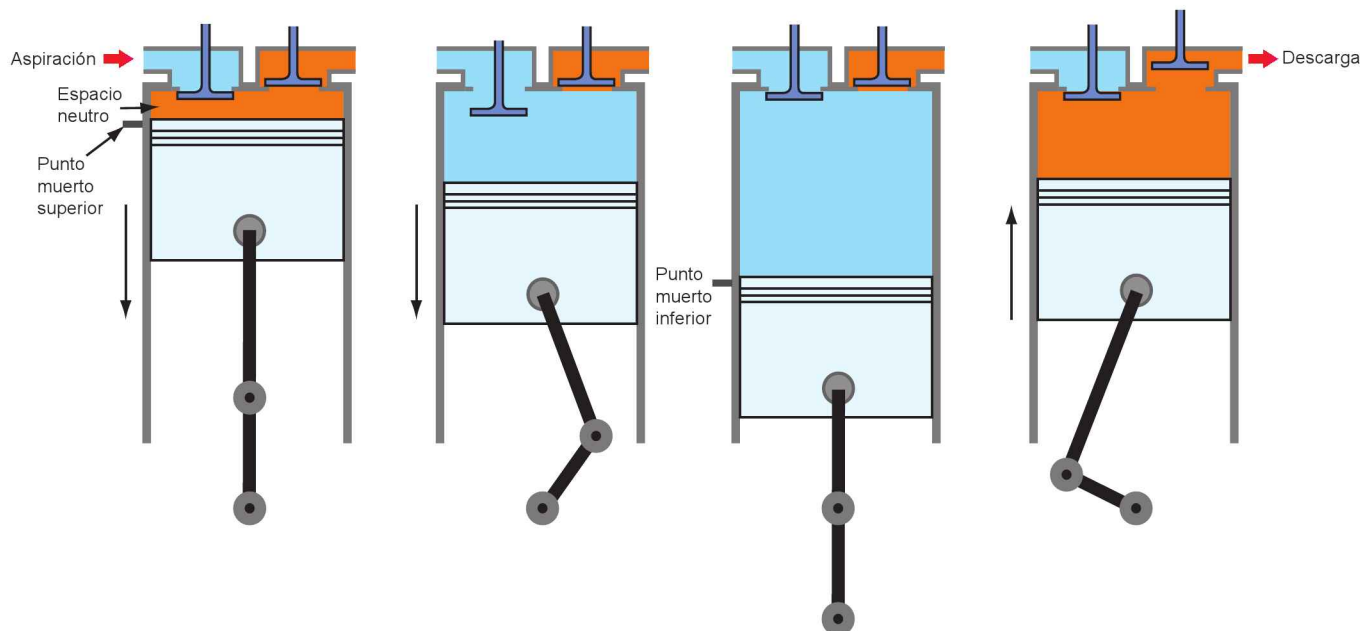


Figura 8.17. El pistón está en el punto muerto superior preparado para descender

Figura 8.18. El pistón empieza a descender y a aspirar gas

Figura 8.19. El pistón ha llegado al punto muerto inferior

Figura 8.20. El pistón comienza a subir

• Carrera ascendente de compresión (camino b-c).

El pistón comienza a ascender y la válvula de aspiración se cierra debido a que la presión en el interior del cilindro es superior a la de aspiración, con lo que aumenta más la presión del cilindro.

Cuando el pistón se aproxima al punto muerto superior, como muestra la Figura 8.20, se abre la válvula de descarga (ejemplo: la presión del cilindro tendrá que alcanzar los 1.300 kPa si tenemos una presión de descarga de 1.250 kPa para contrarrestar las fuerzas ejercidas por las válvulas de descarga) y el gas empieza a descargarse hasta que llega al punto muerto superior cuando se cierra la válvula de descarga y se reinicia el ciclo.

Es necesario que exista cierta separación entre las válvulas y el pistón para que no puedan contactar, esta distancia se llama *espacio neutro*. En este espacio, queda una pequeña cantidad de gas que volverá a expandirse.

8.5. Dimensionamiento de un compresor

Para la selección del compresor, deben tenerse en cuenta los siguientes parámetros:

- La capacidad de refrigerante requerida (kcal/h) y su evolución en función del tiempo durante el funcionamiento previsible de la instalación.

- La temperatura de evaporación (°C).
- La temperatura de condensación (°C).

También tendremos que tener claros los siguientes conceptos:

- **El efecto refrigerante (Er).** Es la cantidad de calor que absorbe el evaporador desde la entrada del mismo hasta la aspiración del compresor. Es la diferencia de entalpías entre estos dos puntos.
- **Potencia frigorífica.** Puede ser neta o bruta. En caso de ser neta, tan solo estamos considerando el calor que absorbe el evaporador del espacio a refrigerar, mientras que, si es bruta, se considera el calor hasta la aspiración del compresor, es decir, teniendo en cuenta el recalentamiento.

$$Q_{\text{frigorífica}} = V_d \times Er \times \eta_v \times d \text{ (kW, kJ/s, kcal/h)}$$

Donde V_d es el volumen desplazado (m^3/h), Er es el efecto refrigerante o producción frigorífica (kJ/kg), η_v es el rendimiento volumétrico y d es la densidad del refrigerante a la entrada del compresor.

- **Caudal másico de refrigerante.** Es la relación entre la potencia frigorífica y el efecto refrigerante o producción frigorífica.

$$\dot{m} = \frac{Q_{\text{frigorífica}}}{E_{rb}} \text{ (kg/h)}$$

- **Volumen aspirado.** Es el volumen de refrigerante que entra al compresor.

$$V_r = V_{\text{esp}} \times \dot{m} \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Como podemos deducir, cuanto mayor sea el volumen específico (V_{esp}) del vapor refrigerante, la cilindrada del compresor será mayor para comprimir el mismo caudal de refrigerante.

- **Rendimiento volumétrico.** Es la relación entre el volumen aspirado y el volumen desplazado por el compresor.

$$\eta_v = \frac{V_r}{V_d}$$

- **Potencia teórica del compresor.** Es el producto de la diferencia de entalpías entre la descarga y la aspiración del compresor y el caudal.

$$P_c = \dot{m} \times \Delta h \text{ (kW, kJ/s, kcal/h)}$$

Considerando las pérdidas de un compresor, obtendremos el **rendimiento volumétrico real**.

$$\eta_{vr} = \eta_v \eta_p$$

- **Volumen desplazado por un compresor.** Es el volumen que desplaza el pistón.

$$V_d = \frac{\pi D^2}{4} \times N \times L \times n \times 60 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

RECUERDA

Con el coeficiente de prestaciones (COP), podemos conocer la eficiencia de la instalación.

$$COP = \frac{\text{Potencia frigorífica del evaporador}}{\text{Potencia del compresor}}$$

- **Potencia del motor eléctrico del compresor (P).** Es la potencia que tiene que transmitir al compresor para proporcionar una determinada potencia frigorífica. Para calcularla, no debemos quedarnos con la potencia teórica necesaria, sino que es importante tener en cuenta las pérdidas dadas por el fabricante.

Las pérdidas pueden ser **mecánicas**, debido al rozamiento y a las transmisiones, que suelen ser entre el 10 y el 15 %, o pueden ser **eléctricas**, debido al motor, que suelen ser en torno al 5 % dependiendo del fabricante.

- **Relación de compresión.** R_c = presión de descarga (alta)/presión de aspiración (baja).

SABÍAS QUE...

Se dice que el compresor trabaja en régimen húmedo cuando entra líquido en forma de gotitas no evaporadas en el cilindro. En estas condiciones, la tubería de aspiración se escarcharía si la temperatura de evaporación estuviese por debajo de 0 °C.

Es interesante trabajar en régimen seco o recalentado (vapor en el punto valor saturado seco) pues se consigue un aumento en el rendimiento de la instalación.

Actividad propuesta

8.1. Determina el compresor para una instalación de 2 kW de potencia frigorífica si la temperatura de evaporación es de -10 °C, la de condensación es de 35 °C, el recalentamiento es de 5 °C, el subenfriamiento es de 5 °C, el refrigerante utilizado es R134a y el rendimiento volumétrico es 0,85. Para ello, calcula:

- Cantidad de calor absorbido o efecto refrigerante.
- Caudal másico de refrigerante.
- Volumen de refrigerante aspirado por el compresor.
- Potencia teórica para la compresión.

Actividad resuelta

8.1. Determina el compresor para una instalación de 5 kW de potencia frigorífica si la temperatura de evaporación es de -10 °C, la de condensación es de 40 °C, el recalentamiento es de 5 °C, el subenfriamiento es de 10 °C, el refrigerante utilizado es R134a y el rendimiento volumétrico es 0,75. Para ello, calcula:

- Cantidad de calor absorbido o efecto refrigerante.
- Caudal másico de refrigerante.
- Volumen de refrigerante aspirado por el compresor.
- Potencia teórica para la compresión.

Solución:

Lo primero que haremos es dibujar el diagrama:

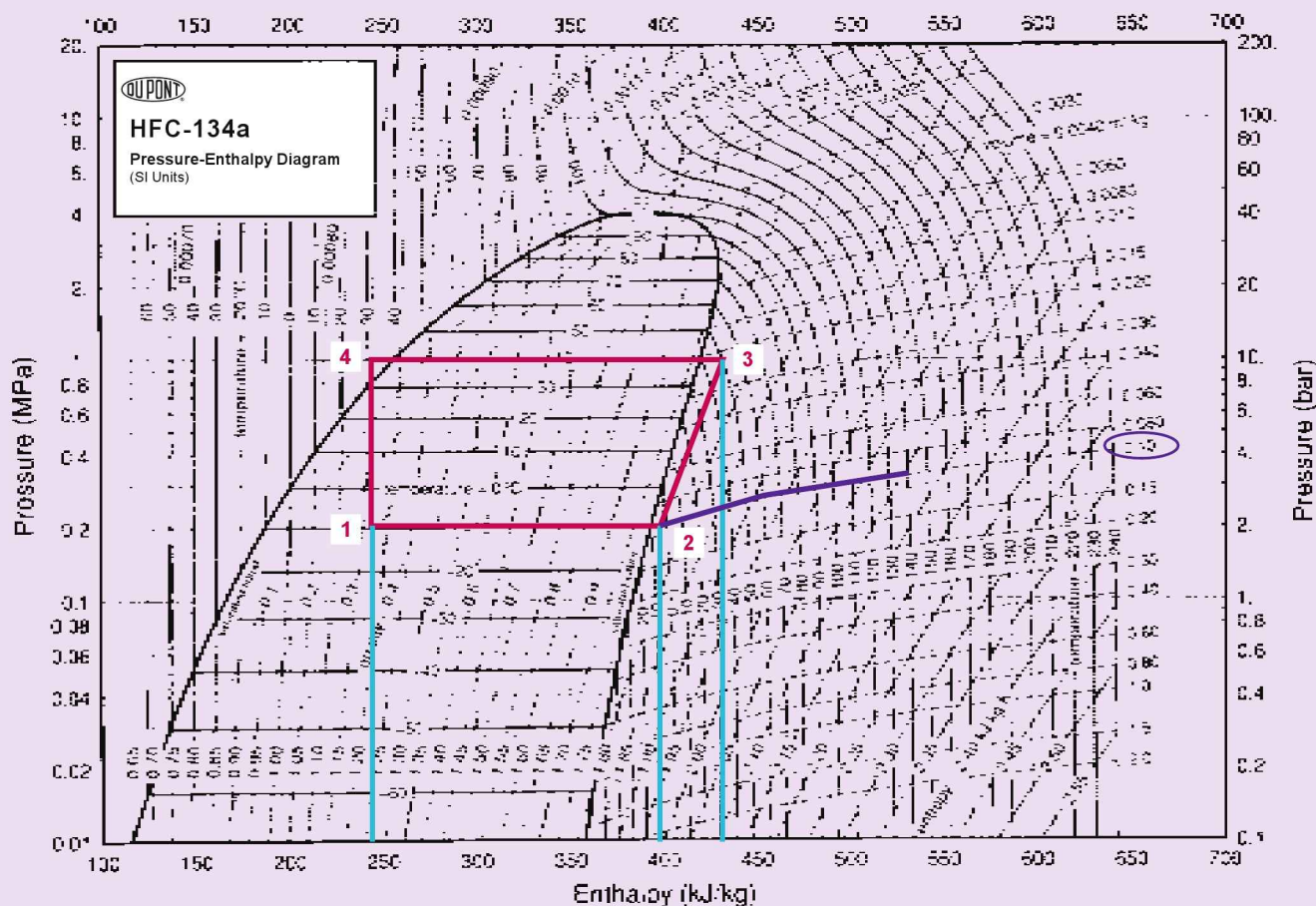


Figura 8.21. Representación del ciclo sobre el diagrama (cortesía de Dupont)

- Cantidad de calor absorbido o efecto refrigerante. Es la diferencia de entalpías entre los puntos de salida y de entrada del refrigerante al evaporador, es decir, los puntos 2 y 1 del diagrama.

$$E_r = h_2 - h_1 = 400 - 240 = 160 \text{ kJ/kg}$$

- Caudal másico de refrigerante:

$$\dot{m} = \frac{Q_{\text{frigorífica}}}{E_r} = [(5 \text{ kJ/s}) \times (3.600 \text{ s/h})] / 160 \text{ kJ/kg} = 112,5 \text{ kg/h}$$

(continúa)

(continuación)

- Volumen de refrigerante aspirado por el compresor. Depende del volumen específico que tenga el refrigerante en la aspiración (punto 2 del diagrama).

$$V_{esp} = 0,10 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Para conocer el volumen aspirado, debemos tomar el dato del volumen específico del vapor en el punto de aspiración (punto 2).

$$V_r = 0,1 \text{ m}^3/\text{kg} \times 112,5 \text{ kg/h} = 11,25 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Potencia teórica para la compresión:

$$P_c = \Delta h \times \dot{m} = (440 - 400) \text{ kJ/kg} \times 112,5 \text{ kg/h} = 4.500 \text{ kJ/h}$$

Actividad resuelta

8.2. Una instalación frigorífica funciona con refrigerante R134a a una temperatura de condensación de 50 °C y a una temperatura de evaporación de -10 °C. Sabemos que el recalentamiento es de 5 °C, el subenfriamiento es de 2 °C y el caudal másico es 0,05 kg/s.

- Dibuja los puntos en el diagrama.
- Calcula el calor absorbido por el refrigerante.
- Determina el calor eliminado en el condensador.
- Aporta la potencia frigorífica dando el resultado en kW y en kcal/h.
- Averigua el trabajo total de compresión.
- Establece el COP.

Solución:

- Dibujar los puntos en el diagrama.

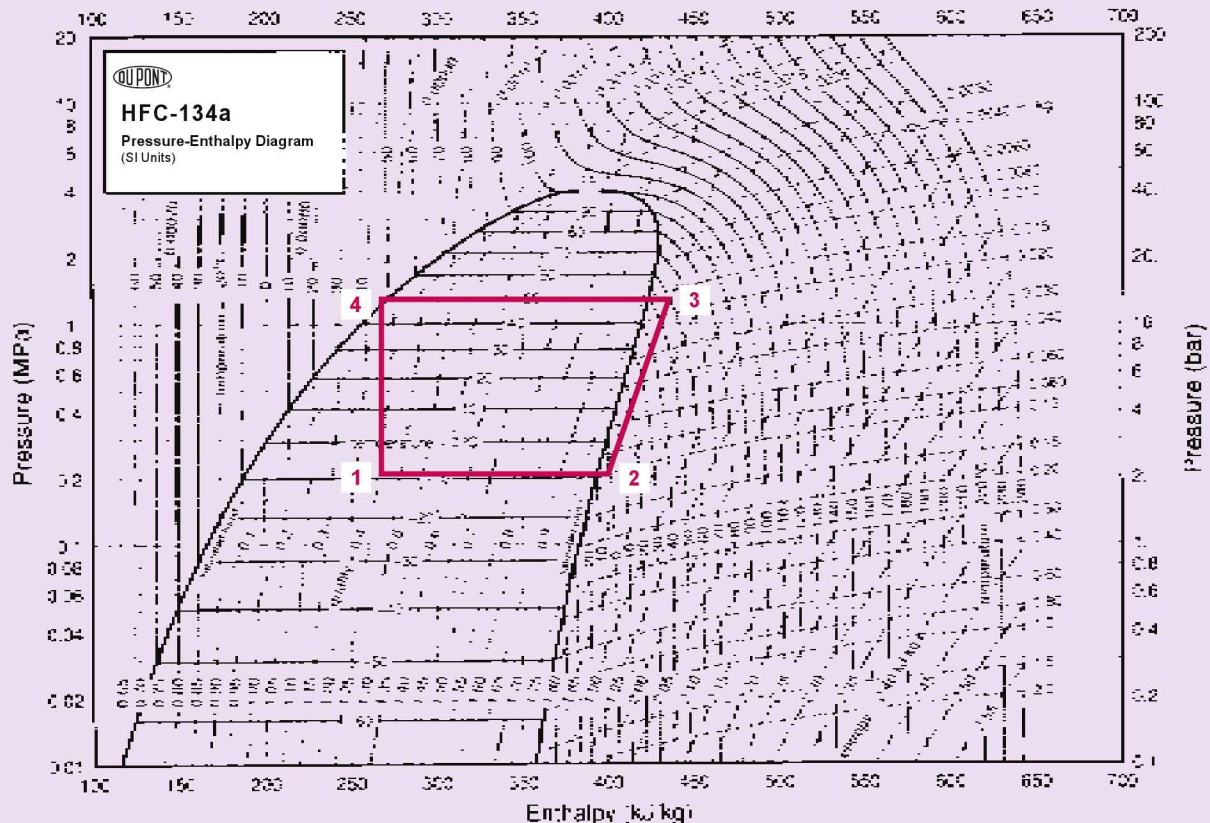


Figura 8.22. Representación del ciclo sobre el diagrama (cortesía de Dupont)

- El calor absorbido por el refrigerante: $h_2 - h_1 = 400 - 265 = 135 \text{ kJ/kg}$
- El calor eliminado en el condensador: $h_3 - h_4 = 440 - 265 = 175 \text{ kJ/kg}$
- La potencia frigorífica: $(h_2 - h_1) \times \dot{m} = 135 \times 0,05 = 6,75 \text{ kg/s}$
- Equivalente térmico del trabajo de compresión: $(h_3 - h_2) = 440 - 400 = 40 \text{ kJ/kg}$
- El COP: $\text{COP} = 135/40 = 3,38$

Actividad propuesta

8.2. Una instalación frigorífica funciona con refrigerante R134a a una temperatura de condensación de 40 °C y a una temperatura de evaporación de -5 °C. Sabemos que el recalentamiento es de 10 °C, el subenfriamiento es de 5 °C y el caudal másico es 0,1 kg/s.

- Dibuja los puntos en el diagrama.
- Calcula el calor absorbido por el refrigerante.
- Determina el calor eliminado en el condensador.
- Aporta la potencia frigorífica dando el resultado en kW.
- Averigua el equivalente térmico del trabajo total de compresión.
- Establece el COP.

Actividad resuelta

8.3. Calcula el volumen desplazado sabiendo que el compresor alternativo tiene las siguientes características:

- Diámetro del pistón: 60 mm.
- Carrera: 100 mm.
- Velocidad de rotación: 1.275 r.p.m.
- Número de cilindros: 8.

Solución:

$$V_d = \frac{\pi D^2}{4} \times N \times L \times n \times 60 =$$

$$= \frac{\pi (0,06)^2}{4} \times 8 \times 0,1 \times 1.275 \times 60 = 173 \text{ m}^3/\text{h}$$

Actividad propuesta

8.3. Calcula el diámetro del pistón sabiendo que el compresor alternativo tiene las siguientes características:

- Volumen desplazado: 300 m³/h.
- Carrera: 100 mm.
- Velocidad de rotación: 1.275 r.p.m.
- Número de cilindros: 6.

8.6. Motor eléctrico del accionamiento

Como vimos anteriormente, el movimiento del eje es accionado por un motor. La conexión del motor a la red eléctrica se realiza por medio de la caja de bornas que puedes ver en la Figura 8.23., los terminales mostrados están directamente unidos con los arrollamientos del motor.

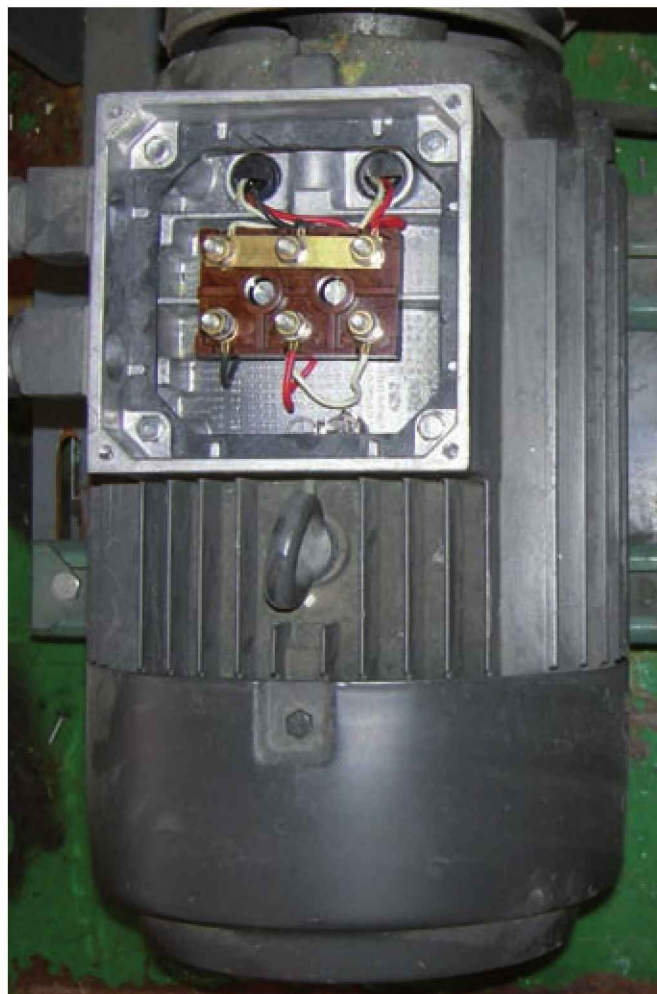


Figura 8.23. Caja de bornas en compresor abierto

Los motores empleados en los compresores utilizan corriente alterna y pueden ser, en función de la potencia que necesitemos en nuestra aplicación, monofásicos (utilizados para pequeñas potencias) o trifásicos (para mayores potencias). Los motores trifásicos están formados por tres devanados desfasados 120° y con el rotor en configuración de jaula de ardilla y estátor bobinado, no llevan carcasa y tampoco ventilador ni cojinetes.

Los métodos de arranque utilizados para estos motores son: *part-winding*, resistencias estatóricas o arranque estrella-triángulo (la más frecuente).

En los motores monofásicos, el arranque no es sencillo y, para ello, se dispone de un devanado auxiliar. Para ver el tipo de arranque requerido por el compresor, deberás consultar el folleto técnico y encontrarás que pueden ser:

- **LST (Low Starting Torque, «Bajo Par de Arranque»)** en sistemas de refrigeración con dispositivo reductor de tubo capilar. Para conseguir un bajo par de arran-

que, utilizaremos un devanado resistivo que puede ser en alguna de estas configuraciones:

- **RSIR (Resistant Start Induction Run)**. Motor de arranque por resistencias.
- **RSCR (Resistant Start Capacitor Run)**. Motor de arranque por resistencias y condensador.
- **HST (High Starting Torque, «Alto Par de Arranque»)** en sistemas de refrigeración con válvula de expansión y en sistemas de tubo capilar sin igualación total de presión antes de cada arranque. Para conseguir un alto par de arranque, utilizaremos un condensador en serie con el devanado, entonces tendremos:
 - **CSIR (Capacitor Start Induction Run)**. Motor de arranque con condensador.
 - **CSR (Capacitor Start Run)**. Motor con un condensador para el arranque y otro condensador de marcha.

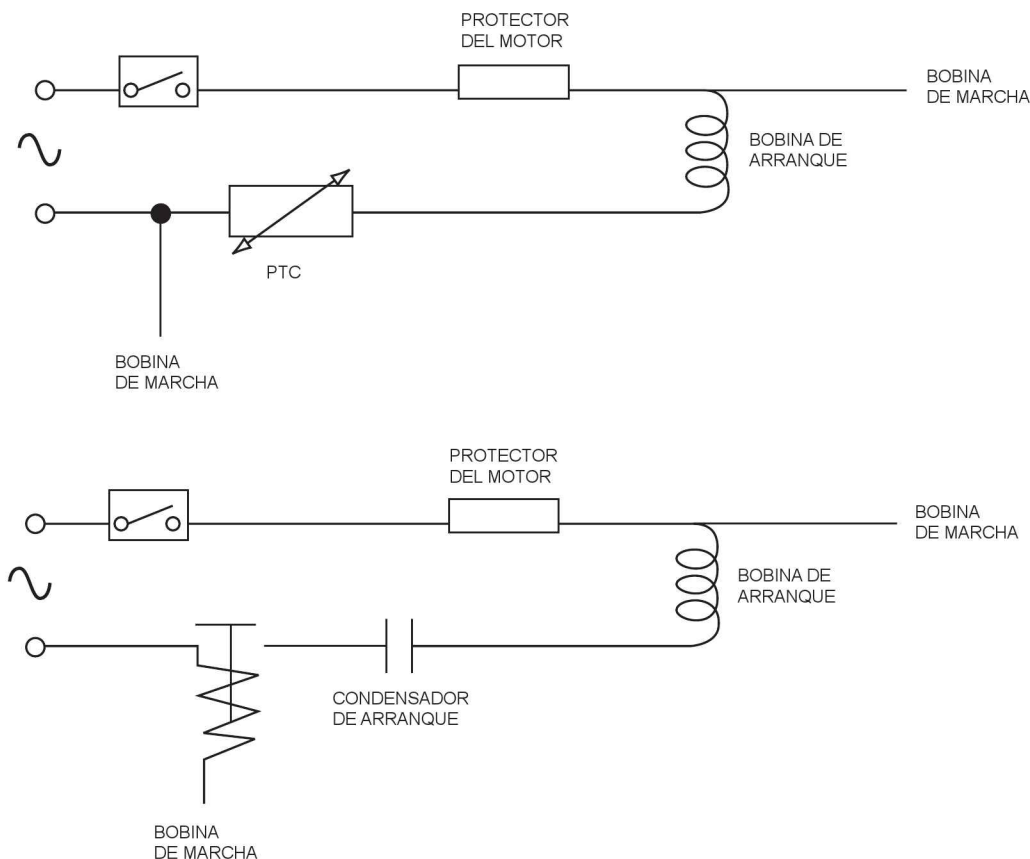


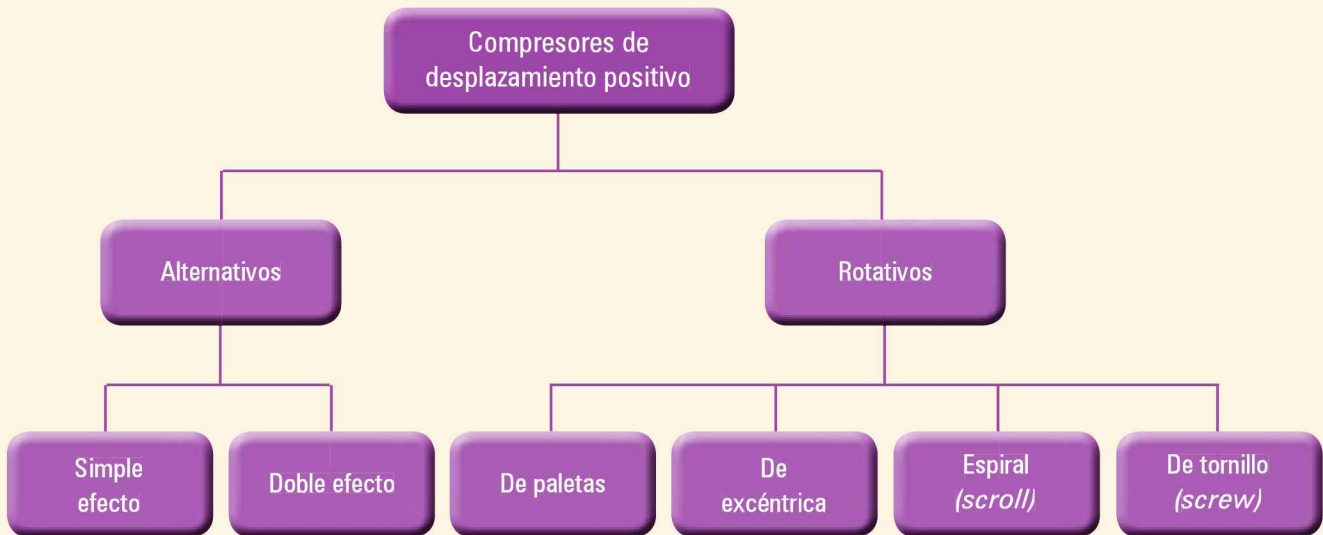
Figura 8.24. Arranque para RSIR con PTC y arranque para CSIR con condensador

Enlaces web de interés

<http://www.danfoss.com/Spain>

<http://www.bitzer.de/eng/Intro>

- La función del compresor es la de hacer circular el refrigerante por todo el circuito, pero también es el encargado de generar el desequilibrio de presiones entre las dos partes del mismo.
- El compresor está formado por el elemento motor, que es el encargado de mover el eje motor, y por el elemento compresor, que es donde se produce la compresión de los gases.
- En función del montaje, podemos clasificar los compresores en herméticos, semiherméticos y abiertos.
- Según su principio de funcionamiento, podemos clasificarlos en los de desplazamiento positivo, donde la compresión se consigue por una reducción volumétrica, y en los de desplazamiento cinético, en los que la compresión se consigue por medio de la fuerza centrífuga.



- Un compresor alternativo está formado por el bloque, la culata, el cárter, el cigüeñal, la biela, el pistón, el cilindro y las válvulas de aspiración y de descarga.
- Las fases del ciclo teórico de compresión son reexpansión, aspiración, compresión y descarga.
- Para la selección del compresor, deben tenerse en cuenta los siguientes parámetros: la capacidad de refrigerante requerida (kcal/h) y su evolución en función del tiempo durante el funcionamiento previsible de la instalación, la temperatura de evaporación (°C) y la temperatura de condensación (°C).

■ Actividades de comprobación

- 8.1.** El elemento motor del compresor es el encargado de:
- a) Producir la compresión de los gases refrigerantes.
 - b) Producir el movimiento giratorio que se transmite para realizar la compresión a través de un eje.
 - c) Producir la evaporación de refrigerante.
 - d) Ninguna de las anteriores es correcta.
- 8.2.** Indica la afirmación correcta:
- a) Los compresores de excéntrica constan de un rotor con paletas montado en el interior de un cilindro cuyos centros están ligeramente desplazados.
 - b) Los compresores de tornillo regulan la potencia utilizando una válvula corredera.
 - c) Los compresores de scroll constan de un rotor excéntrico respecto al cilindro donde se aloja.
 - d) Los compresores de paletas constan de dos discos horizontales enfrentados que llevan soldadas sendas pletinas dispuestas en forma de hélice o espiral sobre su superficie.
- 8.3.** ¿Cuáles son los elementos de los que constan los compresores de tornillo?
- a) Rotor primario y secundario.
 - b) Disco horizontal y vertical.
 - c) Resortes y paletas.
 - d) Bloque y pistones.
- 8.4.** Qué compresor usa un acoplamiento:
- a) Hermético.
 - b) Abierto.
 - c) Scroll.
 - d) Semihermético.
- 8.5.** En el lado de alta presión del compresor, es habitual encontrar:
- a) Condensador.
 - b) Línea de líquido.
 - c) Recipiente de líquido.
 - d) Motor.
- 8.6.** La biela es:
- a) Un elemento que está en contacto con el gas y que provoca la aspiración, la compresión y la descarga del fluido refrigerante con su movimiento alternativo.
 - b) Un elemento que une el pistón con el eje del cigüeñal.
 - c) Un elemento que cierra el cilindro por la parte superior.
 - d) Un elemento que transmite el movimiento del motor para transformarlo de giratorio en alternativo.
- 8.7.** Señala la respuesta correcta:
- a) Los compresores semiherméticos son desmontables solo para reparaciones.
 - b) Los compresores herméticos son desmontables solo para reparaciones.
 - c) Los compresores scroll utilizan acoplamientos.
 - d) Los compresores abiertos son desmontables solo para reparaciones.
- 8.8.** El refrigerante en estado líquido no puede llegar a:
- a) La válvula de expansión.
 - b) El filtro deshidratador.
 - c) El visor de líquido.
 - d) El compresor.
- 8.9.** Un compresor de paletas tiene que tener como mínimo:
- a) Una paleta.
 - b) Dos paletas.
 - c) Tres paletas.
 - d) No es necesario que tenga paletas.
- 8.10.** Los compresores que permiten solamente el acceso a los elementos que componen la zona de compresión se denominan:
- a) Compresores herméticos.
 - b) Compresores abiertos.
 - c) Compresores semiherméticos.
 - d) Ninguna es correcta.
- 8.11.** La resistencia del cárter sirve para:
- a) Se utiliza para calentar el metal del motor porque el calor facilita la fricción de piezas internas.
 - b) Se encarga de calentar el aceite para que se desprenda del refrigerante que tenga disuelto en su interior.
 - c) Se utiliza para calentar el refrigerante cuando la máquina está en marcha para que luego genere más frío al llegar al evaporador.

Actividades de aplicación

8.12. Tenemos un compresor alternativo con 4 cilindros que giran a 1.200 r.p.m. El radio de los cilindros es de 3 cm y la carrera del pistón es de 60 cm. La presión de aspiración es de 2 bar y la presión de descarga es de 10 bar. Calcula:

- El volumen teórico desplazado por el compresor expresado en m^3/h .
- El volumen real desplazado por el compresor expresado en m^3/h si el rendimiento volumétrico es de 0,87.
- La relación de compresión.

8.13. Indica la diferencia entre compresores de desplazamiento positivo y centrífugo.

8.14. Explica las partes principales de un compresor de tornillo abierto e indica en qué tipo de instalaciones suele utilizarse.

8.15. Clasifica los siguientes compresores:

- Scroll.
- De tornillo.
- De paletas.
- Hermético.

8.16. En la figura siguiente, está representado un ciclo frigorífico sobre el diagrama p-h del refrigerante R404A. Obtén los siguientes valores aproximados interpretando el gráfico:

- Temperatura de evaporación.
- Temperatura de condensación.
- Temperatura de líquido y entalpía específica en la entrada de la válvula de expansión.
- Presión de evaporación.
- Temperatura, entalpía específica y volumen específico del gas de aspiración.
- Temperatura y entalpía específica del gas de descarga.
- Presión de condensación.
- Calor absorbido.
- Equivalente térmico del trabajo del compresor.
- Relación de compresión.
- Densidad del gas de aspiración.

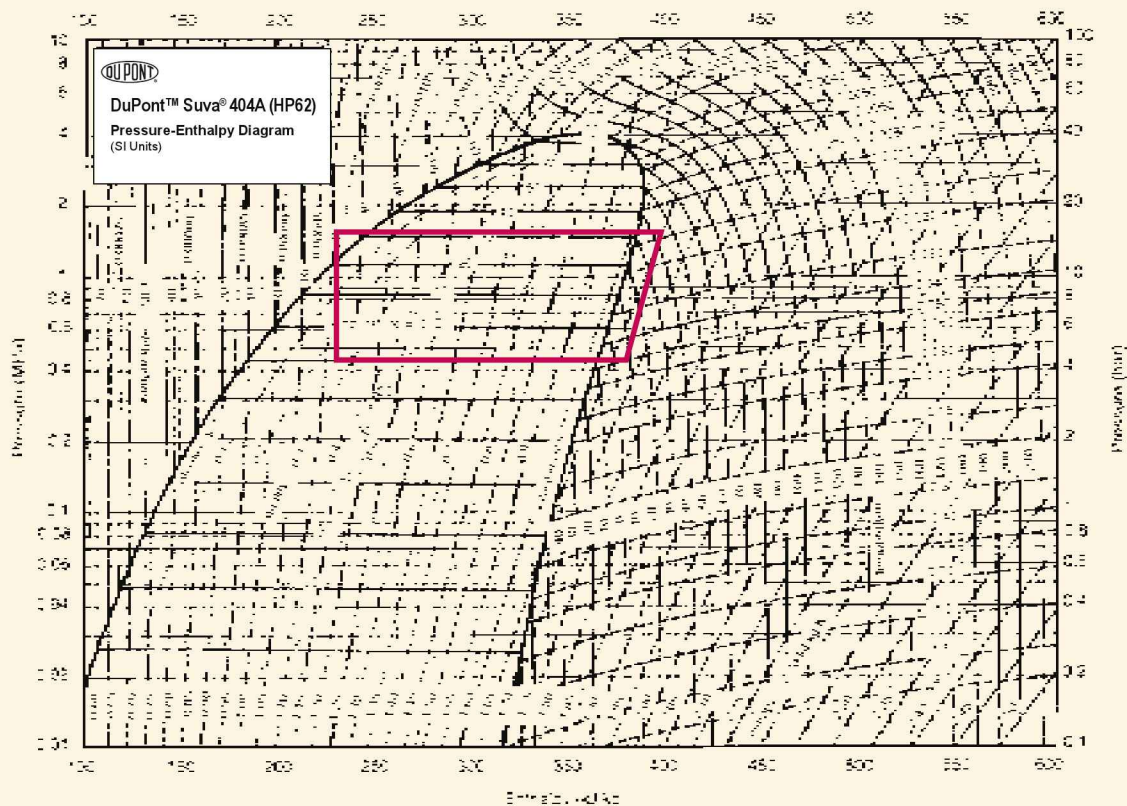


Figura 8.25. Ciclo frigorífico sobre diagrama p-h de R404A

8.17. Indica qué tipo de compresores utilizan los siguientes elementos:

- Pistones.
- Engranajes.
- Correas.

8.18. Explica cómo se produce la compresión e indica qué ocurre en la carrera ascendente y descendente del pistón. Realiza un dibujo para explicarlo y señala todas las partes importantes, como pueden ser las válvulas, los volúmenes, la carrera, etc.

8.19. Para una instalación de R717 con las siguientes características: temperatura de evaporación de $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura de condensación de $32\text{ }^{\circ}\text{C}$, recalentamiento de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y potencia frigorífica de 200.000 kcal/h . Calcula:

- Producción frigorífica.
- Caudal de refrigerante.
- Equivalente de trabajo de compresión.
- Relación de compresión.

8.20. Calcula el volumen desplazado sabiendo que un compresor alternativo tiene las siguientes características:

- Diámetro del pistón: 100 mm .
- Carrera: 100 mm .
- Velocidad de rotación: 1.300 r.p.m.
- Número de cilindros: 6 .

8.21. Argumenta por qué es importante regular la capacidad de un compresor.

8.22. Explica las partes en las que se divide el motor eléctrico de un compresor.

8.23. Cuando se emplean mezclas de refrigerantes zeotrópicos, la carga se realizará en fase líquida, de tal forma que el fluido se expanda en el dispositivo que incorpora el evaporador.

Indica por qué se realiza la carga en estado líquido y qué ocurriría en caso de que llegara refrigerante en estado líquido al compresor.

8.24. Según el reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas en el caso de compresores herméticos o semiherméticos, la potencia instalada será la máxima potencia consumida por el motor en el rango de condiciones de aspiración y descarga permitidos por el

fabricante en su catálogo. Busca los valores de potencia que suelen dar los fabricantes para el compresor y haz una tabla resumen con los datos obtenidos.

8.25. El refrigerante R717, es decir, el amoníaco, se emplea en compresores abiertos ya que es corrosivo y puede producir daños en el motor. Describe cómo se realiza el acoplamiento entre la zona del motor y la de compresión en los compresores abiertos.

8.26. En un compresor alternativo de pistones, conocemos los datos técnicos facilitados por el fabricante, que se recogen en la tabla siguiente.

Datos técnicos	
Volumen desplazado (1.450 r.p.m. a 50 Hz)	$5,21\text{ m}^3/\text{h}$
N.º de cilindros x diámetro x carrera	$2 \times 34\text{ mm} \times \text{-----}$
Código del motor	40S
Tensión del motor (otro bajo demanda)	$220\text{--}240\text{ V } \Delta/3/50\text{ Hz}$ $380\text{--}420\text{ V } Y/3/50\text{ Hz}$
Intensidad máxima en funcionamiento	$3,5\text{ A (Y)}$
Consumo de potencia máximo	$1,9\text{ kW}$
Intensidad en arranque (rotor bloqueado)	$25,6\text{ A} / 14,8\text{ A } (\Delta/Y)$
Clase de protección	IP65
Peso	43 kg
Presión máxima (BP/AP)	$19 / 28\text{ bar}$
Conexión línea aspiración	16 mm
Conexión línea descarga	12 mm
Carga de aceite	$1,00\text{ dm}^3$
Resistencia del cárter (autorreguladora)	Max. 60 W
Tipo de aceite R134a // R407A/C/F // R404A // R507A	$t_c < 55\text{ }^{\circ}\text{C}$: BSE32 $t_c > 55\text{ }^{\circ}\text{C}$: BSE55

A partir de los datos anteriores, calcula:

- El dato técnico de la carrera que no aparece en la tabla.
- El volumen desplazado cuando la velocidad cambia a 1.750 r.p.m. a 60 Hz .

Actividades de ampliación

8.27. Investiga cómo puede llevarse a cabo la regulación de capacidad de los compresores de pistones y de tornillo. Puedes encontrar información en: <http://www.danfoss.com/Spain> y <http://www.bitzer.de/eng/Intro>.