

UNIDAD 23

Compresores

OBJETIVOS

Después de estudiar esta unidad, usted podrá:

- explicar cuál es la función del compresor en un sistema de refrigeración.
- analizar la relación de compresión.
- describir cuatro métodos diferentes de compresión.
- enumerar las condiciones específicas ante las cuales se espera que funcione un compresor.
- explicar las diferencias entre un compresor hermético y uno semi-hermético.
- describir las diversas piezas móviles de los compresores alternativos y rotatorios.

LISTA DE COMPROBACIÓN DE SEGURIDAD

- ✓ Utilice gafas protectoras y guantes al colocar o retirar dispositivos manométricos para transferir refrigerante o verificar presiones.
- ✓ Lleve ropa abrigadora cuando trabaje en una cámara frigorífica o congeladora.
- ✓ No toque el conducto de descarga del compresor con las manos sin protección.
- ✓ Tenga cuidado y procure que sus manos o ropa no queden atrapadas en la piezas móviles, como en las poleas, las bandas o los álabes de los ventiladores.
- ✓ Utilice un cinturón de soporte para la espalda aprobado al levantar objetos pesados y utilice sus piernas, no su espalda, manteniendo su espalda recta y en posición vertical.
- ✓ Siga todas las precauciones de seguridad con respecto a la electricidad. Tenga cuidado en todo momento y utilice su sentido común.

23.1 LA FUNCIÓN DEL COMPRESOR

Al *compresor* se le considera el corazón del sistema de refrigeración. El término que mejor lo describe es el de *bomba de vapor*. Lo que en realidad hace el compresor es aumentar la presión desde el nivel de la presión de aspiración hasta el nivel de la presión de descarga. Por ejemplo, en un sistema de baja temperatura con refrigerante R-12 la presión de aspiración puede ser de 3 psig y la de descarga de 169 psig. Así pues, el compresor incrementa la presión 166 psig ($169 - 3 = 166$), **figura 23-1**. Es posible que un sistema próximo al sistema de temperatura baja tenga un incremento de presión diferente. Por ejemplo, podría tratarse de un sistema de temperatura media con una presión de aspiración de 21 psig y una presión de descarga de 169 psig. Este sistema tendría un incremento de 148 psig ($169 - 21 = 148$), **figura 23-2**.

La relación de compresión es la expresión técnica que se utiliza para hacer referencia a la diferencia de presión; es la **presión absoluta** del lado de alta presión dividida entre la presión absoluta

del lado de baja presión. La relación de compresión se expresa en presiones absolutas. Las presiones absolutas se utilizan en vez de las presiones manométricas cuando se determina la relación de compresión, a fin de evitar que la relación de compresión dé un número negativo. Las presiones absolutas mantienen las relaciones de compresión positivas y les dan sentido.

Por ejemplo, cuando un compresor está trabajando con refrigerante R-12, con una presión de descarga de 169 psig (125°F) y una presión de aspiración de 2 psig (-16°F), la relación de compresión sería:

$$\begin{aligned}\text{Relación de compresión} &= \frac{\text{Descarga absoluta}}{\text{Aspiración absoluta}} \\ \text{CR} &= \frac{169 \text{ psig} + 14.7 \text{ atmósfera}}{2 \text{ psig} + 14.7 \text{ atmósfera}} \\ \text{CR} &= \frac{183.7}{16.7} \\ \text{CR} &= 11 \text{ a } 1 \text{ o } 11:1\end{aligned}$$

Una relación de compresión de 11:1 indica que la presión absoluta o de descarga real es 11 veces mayor que la presión de aspiración absoluta.

Supongamos que este mismo sistema de refrigeración funciona con refrigerante R-134a. Con la misma temperatura de condensación de 125°F (184.6 psig) y una temperatura de evaporación de -16°F (vacío de 0.7 in Hg), la relación de compresión sería:

$$\begin{aligned}\text{CR} &= \frac{184.6 \text{ psig} + 14.7 \text{ atmósferas}}{(29.92 \text{ in Hg} - 0.7 \text{ in Hg}) \div 2.036} \\ \text{CR} &= \frac{199.3}{14.35} \\ \text{CR} &= 13.89 \text{ a } 1 \text{ o } 13.89:1\end{aligned}$$

NOTA: Debido a que la presión de aspiración (evaporación) del sistema con R-134a estaba en un vacío de 0.7 in Hg, se tuvo que efectuar un cálculo diferente para convertir esta lectura de vacío en presión absoluta en psia. La medición de vacío del manómetro de 0.7 in Hg primero se tiene que convertir en in Hg absolutas. Esto se lleva a cabo restando la lectura del manómetro de vacío a la presión atmosférica estándar de 29.92 in Hg. Luego el resultado se divide entre 2.036 para convertir in Hg en psi. Hay 2.036 in Hg por cada 1 psi.

Observe que la relación de compresión para el sistema con R-134a es mayor que para el sistema con R-12, si bien los dos sistemas tienen las mismas temperaturas de condensación y evaporación de 125°F y -16°F , respectivamente. La relación de compresión para el sistema con R-134a es mayor debido a la presión de condensación mayor y a la presión de evaporación menor asociadas con el refrigerante 134a a estos rangos de temperatura.

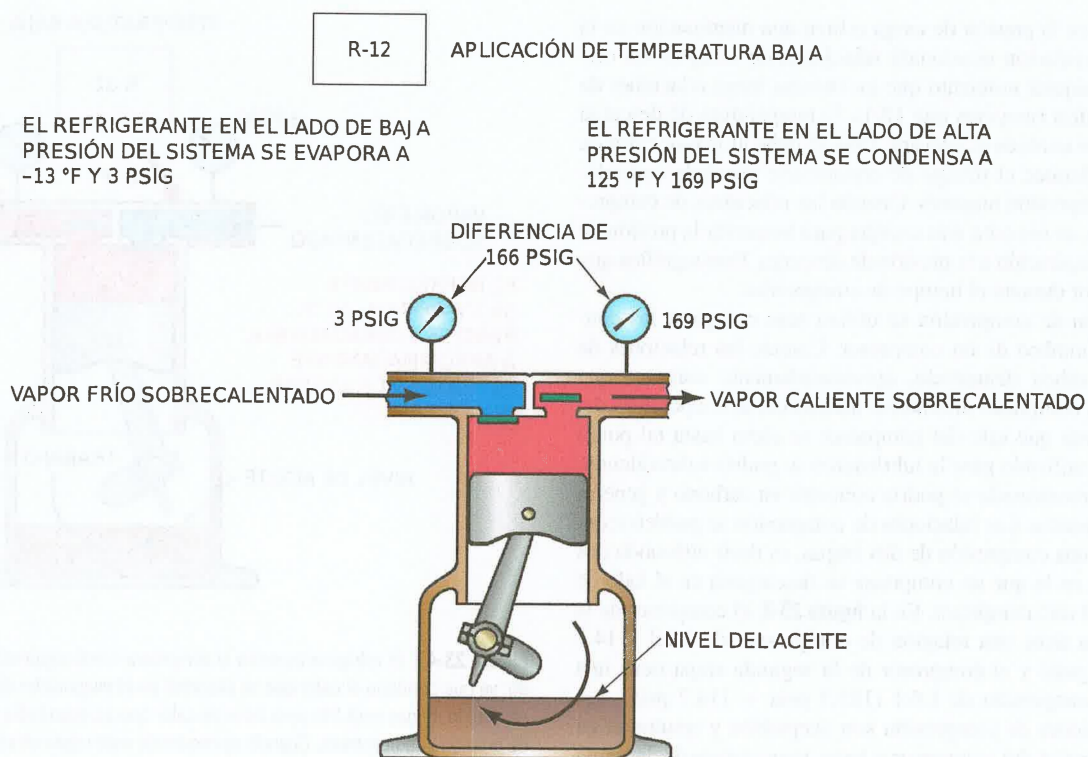


Figura 23-1 Diferencia de presión entre el lado de aspiración y el de descarga del compresor.

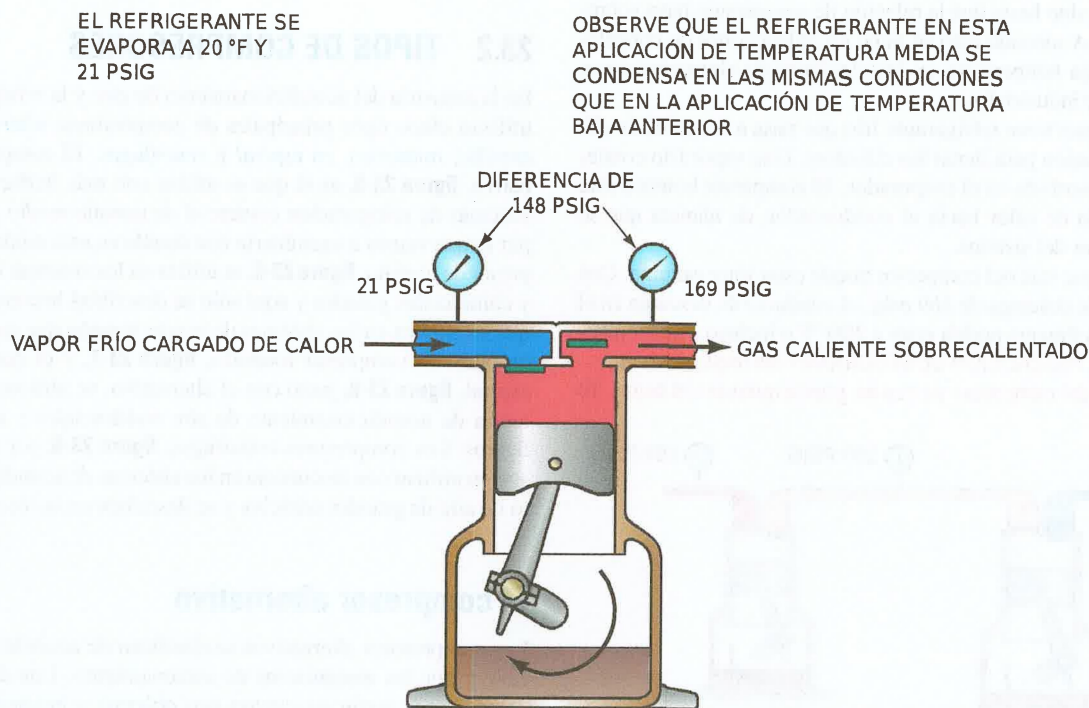


Figura 23-2 Combinación de la presión de aspiración y descarga. Este es refrigerante R-12 aplicado a un sistema de temperatura media. El compresor sólo tiene que subir el vapor de aspiración a 148 psi.

Un aumento en la presión de carga o bien una disminución en la presión de aspiración ocasionará relaciones de compresión mayores. En cualquier momento que un sistema tenga relaciones de compresión altas (mayores que 12:1), la temperatura de descarga del compresor también se elevará. Esto se debe al mayor calor de compresión durante el tiempo de compresión asociado con relaciones de compresión mayores. Cuando las relaciones de compresión son altas, se necesita más energía para aumentar la presión de los gases de aspiración a la presión de descarga. Esto significa que se genera calor durante el tiempo de compresión.

La relación de compresión se utiliza para comparar las condiciones de bombeo de un compresor. Cuando las relaciones de compresión suben demasiado, aproximadamente mayores que 12:1, para un compresor alternativo hermético, la temperatura del gas refrigerante que sale del compresor se eleva hasta tal punto que el aceite utilizado para la lubricación se podría sobrecalentar. El aceite sobrecalentado se podría convertir en carbono y generar ácido en el sistema. Las relaciones de compresión se pueden reducir mediante una compresión de dos etapas, es decir utilizando dos compresores, en la que un compresor se descargaría en el lado de aspiración del otro compresor. En la **figura 23-3**, el compresor de la primera etapa tiene una relación de compresión de 3.2:1 ($114.7 \text{ psia} \div 35.7 \text{ psia}$) y el compresor de la segunda etapa tiene una relación de compresión de 1.6:1 ($183.7 \text{ psia} \div 114.7 \text{ psia}$). Estas dos relaciones de compresión son aceptables y resultarán en buenas eficiencias del compresor y bajas temperatura de descarga del compresor. Sin embargo, si sólo se utilizara un compresor, la relación de compresión sería 5.14:1. Si bien una relación de compresión de 5.14:1 es aceptable, el compresor tendría eficiencias menores y mayores temperaturas de descarga que si se utilizaran dos compresores. Los ejemplos anteriores son sólo para fines de ilustración. La compresión de dos etapas o compuesta no es usual que se utilice sino hasta que la relación de compresión haya sobrepasado 10:1. A menudo esto se tiene en aplicaciones de congelamiento de baja temperatura en instalaciones de almacenamiento comerciales e industriales.

El compresor tiene refrigerante frío que pasa a través de la válvula de aspiración para llenar los cilindros. Este vapor frío contiene el calor absorbido en el evaporador. El compresor bombea este vapor cargado de calor hacia el condensador, de manera que se pueda expulsar del sistema.

El vapor que sale del compresor puede estar muy caliente. Con una presión de descarga de 169 psig, el conducto de descarga en el compresor fácilmente podría estar a 200 °F o incluso a una temperatura mayor. **PRECAUCIÓN DE SEGURIDAD: No toque el conducto de descarga del compresor ya que se puede quemar los dedos.** El

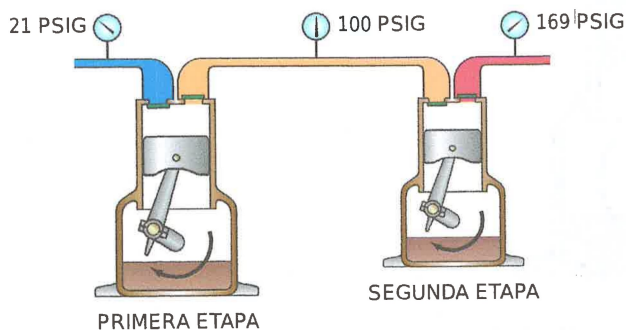


Figura 23-3 Compresión de dos etapas. Observe que la segunda etapa del compresor es menor que la primera.

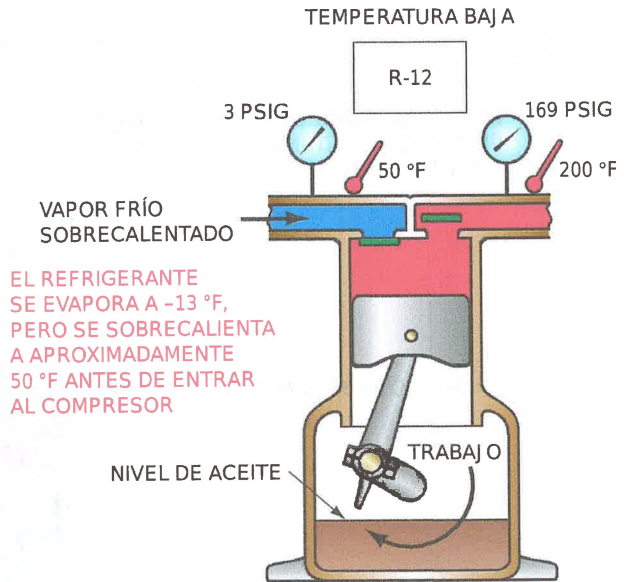


Figura 23-4 El refrigerante entra al compresor como vapor sobrecalentado, ya que contiene el calor que se absorbió en el evaporador del proceso de ebullición. El gas está frío pero lleno de calor que se absorbió a un nivel bajo de presión y temperatura. Cuando se comprime este vapor en el compresor, el calor aumenta. Además del calor que se absorbió en el evaporador, la acción de la compresión convierte parte de la energía en calor.

vapor se comprime y con esto aumenta el calor del vapor desde la aspiración hasta que sale del compresor, **figura 23-4**.

23.2 TIPOS DE COMPRESORES

En la industria del acondicionamiento de aire y la refrigeración se utilizan cinco tipos principales de compresores: *alternativos, de tornillo, rotatorios, en espiral y centrífugos*. El compresor alternativo, **figura 23-5**, es el que se utiliza con más frecuencia en los sistemas de refrigeración comercial de tamaño medio y pequeño, por lo que vamos a examinarlo con detalle en esta unidad. El compresor de tornillo, **figura 23-6**, se utiliza en los sistemas industriales y comerciales grandes y aquí sólo se describirá brevemente, dado que se emplea en los sistemas de mayor tamaño que analizaremos después. El compresor rotatorio, **figura 23-7**, y el compresor en espiral, **figura 23-8**, junto con el alternativo, se utilizan en los sistemas de acondicionamiento de aire residenciales y comerciales ligeros. Los compresores centrífugos, **figura 23-9**, por su parte, se suelen utilizar con frecuencia en los sistemas de acondicionamiento de aire de grandes edificios y se describen en la sección 48.7.

El compresor alternativo

Los compresores alternativos se clasifican de acuerdo con su carcasa y por los mecanismos de accionamiento. Los dos tipos de compresores según su carcasa son *abiertos y herméticos*, **figura 23-10**. Por hermético se refiere al tipo de carcasa en que está alojado el compresor y se divide en dos tipos: completamente soldado, **figura 23-11**, y reparables o semiherméticos, **figura 23-10(B)**. Los mecanismos de accionamiento pueden estar contenidos dentro de

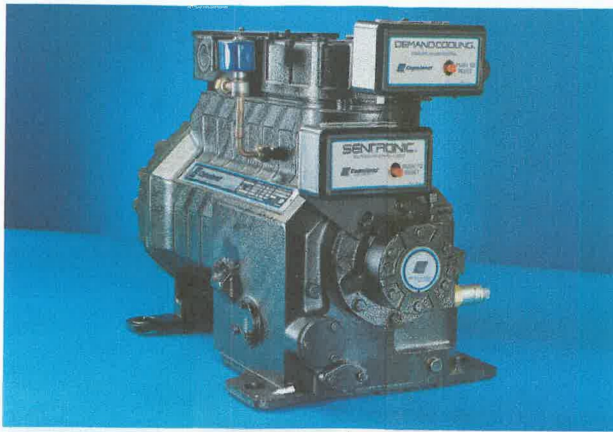


Figura 23-5 Compresor alternativo. Cortesía de Copeland Corporation

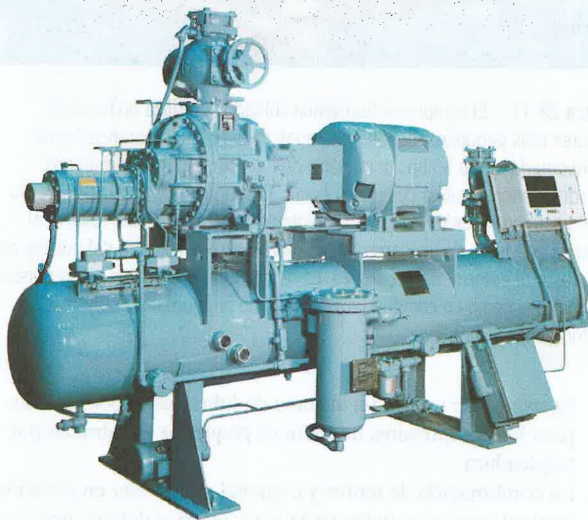


Figura 23-6 Compresor de tornillo. Cortesía de Frick Company

la coraza o en el exterior de ella. Cuando el compresor es hermético, el mecanismo de accionamiento es directo. El compresor y el eje del motor constituyen el mismo eje dentro de la carcasa del compresor.

COMPRESORES HERMÉTICOS COMPLETAMENTE SOLDADOS. El motor y el compresor están contenidos dentro de una sola carcasa que está soldada cuando se fabrica un compresor hermético soldado, figura 23-11. A esta unidad en ocasiones se le denomina compresor *enlatado* dado que no se le puede dar mantenimiento sin tener que cortar la carcasa. Las características de los compresores herméticos completamente soldados son las siguientes:

1. El único modo de tener acceso a su interior es cortando la carcasa.
2. Estas carcasas sólo las pueden abrir unas pocas empresas especializadas en este tipo de trabajo. De lo contrario, a menos que el fabricante quiera que le devuelva el compresor para examinarlo, es un compresor desechable.
3. El eje del motor y el cigüeñal del compresor constituyen un eje.

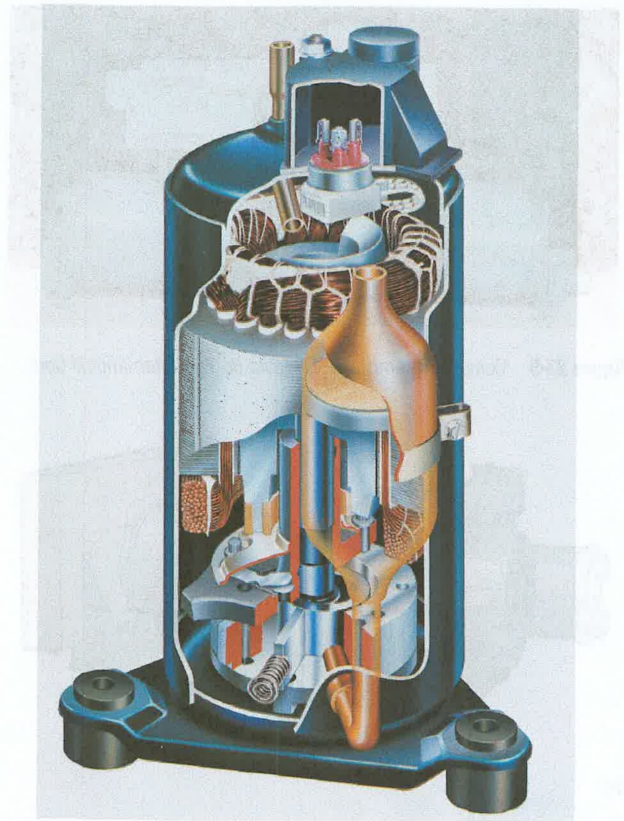


Figura 23-7 Compresor rotatorio. Reimpresa con permiso de Motors and Armatures, Inc.

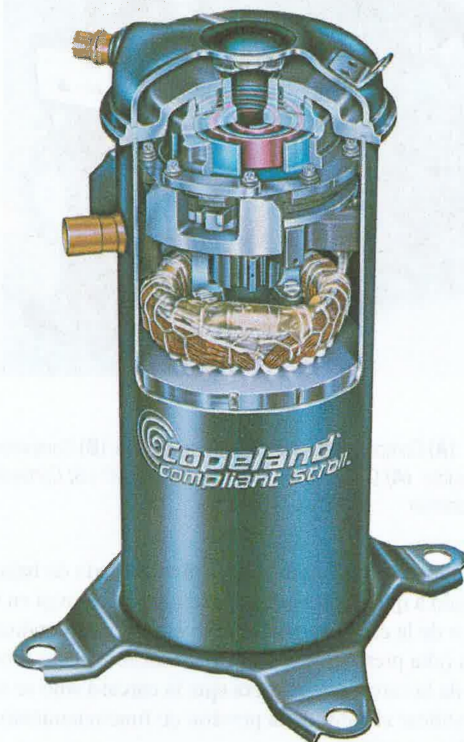


Figura 23-8 Compresor en espiral. Cortesía de Copeland Corporation

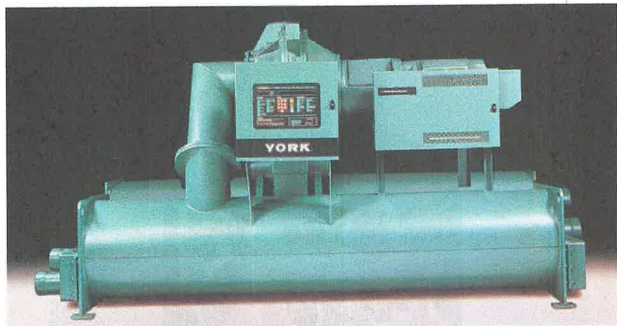
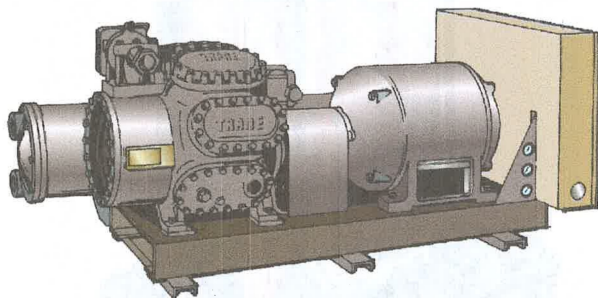
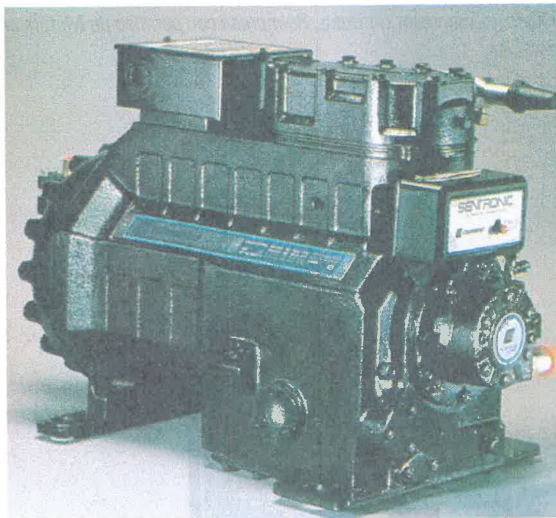


Figura 23-9 Compresor centrífugo. *Cortesía de York International Corp.*



(A)



(B)

Figura 23-10 (A) Compresor de accionamiento abierto. (B) Compresor hermético reparable. (A) *Cortesía de Trane Company 2000.* (B) *Cortesía de Copeland Corporation*

4. Usualmente se considera un dispositivo del lado de baja presión debido a que el vapor de aspiración se descarga en todo el interior de la carcasa, que incluye el cárter. El conducto de descarga (alta presión) normalmente está conectado con el exterior de la carcasa de manera que la carcasa sólo se tiene que especificar al valor de la presión de funcionamiento en el lado de baja presión.
5. Generalmente se enfrían con vapor de aspiración.



Figura 23-11 El compresor hermético soldado se utiliza en los compresores más pequeños, desde fracciones de caballo de potencia hasta a aproximadamente 50 hp. La mayoría de los compresores herméticos soldados tienen algunas cosas en común. El conducto de aspiración por lo común está conectado de manera directa en la carcasa y está abierto al cárter. El conducto de descarga normalmente está conectado del interior del compresor al exterior de la carcasa. La carcasa del compresor por lo general se considera como un componente del lado de baja presión. *Cortesía de Bristol Compressors, Inc.*

6. Es usual que tengan un sistema de lubricación por presión, pero los compresores herméticos pequeños se lubrican por salpicadura.
7. La combinación de motor y cigüeñal suele estar en posición vertical, con un cojinete en la parte inferior del eje, junto a la bomba de aceite. El segundo cojinete se ubica aproximadamente a la mitad del eje entre el compresor y el motor.
8. Los pistones y las bielas se mueven hacia fuera del cigüeñal, por lo que trabajan en un ángulo de 90° en relación con el cigüeñal, **figura 23-12**.

COMPRESORES HERMÉTICOS REPARABLES. Cuando un compresor hermético reparable (semihermético) se fabrica, el motor y el compresor se encuentran dentro de una única carcasa que está unida con pernos. Esta unidad se puede reparar quitando los pernos y abriendo la carcasa en el lugar adecuado, **figura 23-13**. Las siguientes son las características de los compresores herméticos reparables:

1. La unidad está fijada con pernos en ubicaciones que facilitan su reparación y mantenimiento. Con empaques se separan las partes acopladas conectadas con pernos.
2. La carcasa suele estar hecha de hierro fundido y puede tener una carcasa de acero sujeta al compresor de hierro fundido. Por lo común estos compresores son más pesados que el compresor de tipo completamente soldado.
3. El conjunto del motor y el cigüeñal son similares al motor y el cigüeñal en el compresor de tipo completamente soldado, excepto que es usual que el cigüeñal esté horizontal.

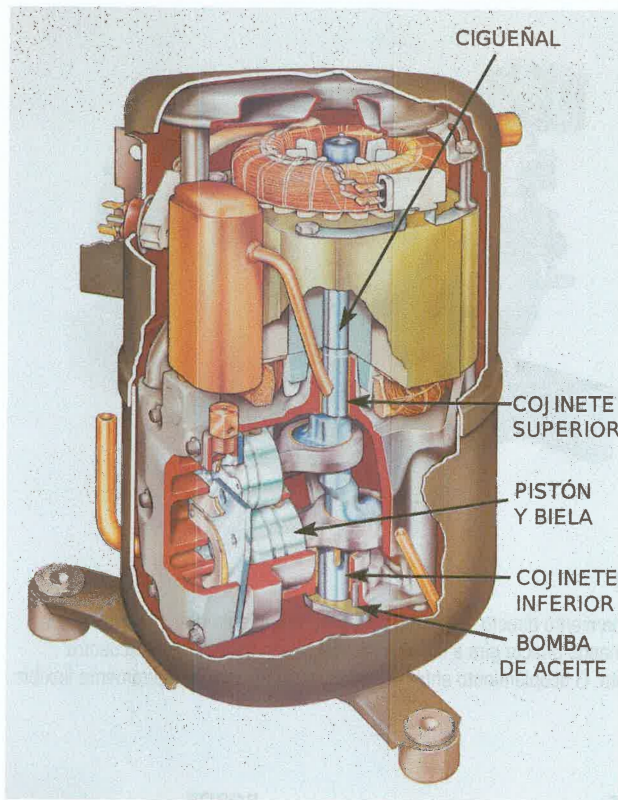


Figura 23-12 Partes internas de un compresor hermético soldado. *Cortesía de Tecumseh Products Company*

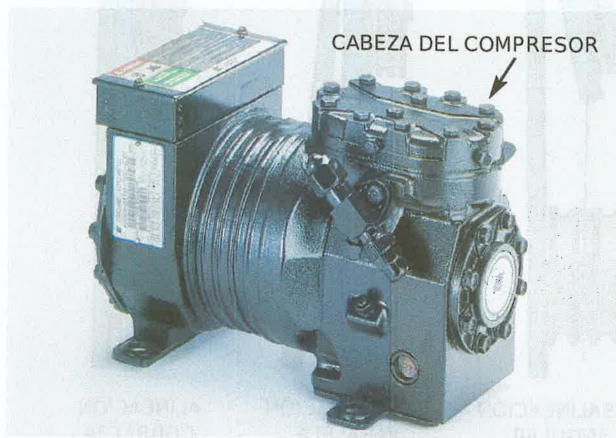


Figura 23-13 Compresor reparable hermético (semihermético) diseñado de tal manera que se puede reparar en el lugar de trabajo. *Cortesía de Copeland Corporation*

4. Los compresores más pequeños suelen utilizar un sistema de lubricación por salpicadura y los más grandes un sistema de lubricación por presión.
5. Con frecuencia se enfrían por aire y se distinguen por las aletas situadas en la pieza de fundición o lámina de metal adicional que hay en la parte externa del compresor y que sirve para que la coraza disponga de más área de superficie.

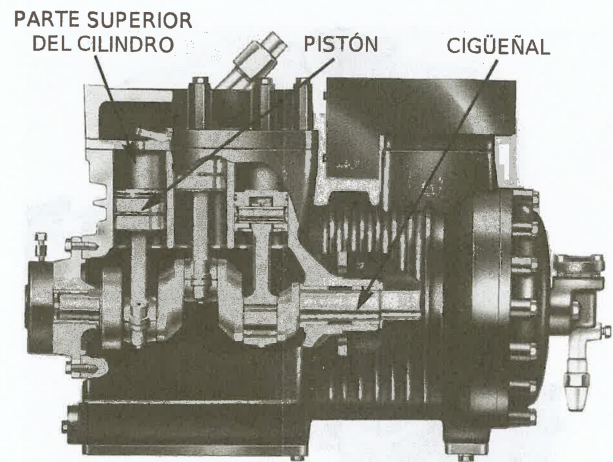


Figura 23-14 Partes móviles de un compresor hermético reparable. El cigüeñal está en posición horizontal y las bielas y pistones se mueven hacia arriba y hacia abajo desde el centro del eje. La bomba de aceite se encuentra en el extremo del eje y aspira el aceite del cárter en la parte inferior del compresor. *Cortesía de Copeland Corporation*

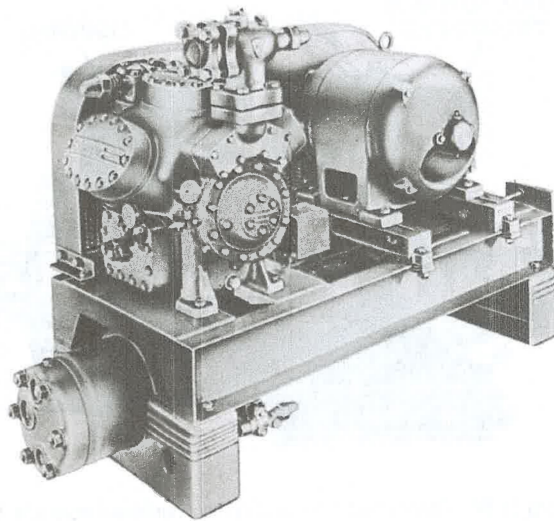
6. Las cabezas de los pistones se encuentran normalmente en la parte superior del compresor o cerca de ella, y suben y bajan desde el centro del cigüeñal, **figura 23-14**.

COMPRESORES DE ACOPLAMIENTO ABIERTO. Los compresores de acoplamiento abierto se fabrican en dos estilos: los de accionamiento por banda y los de accionamiento directo, **figura 23-15**. Cualquier compresor con el acoplamiento en el exterior de la carcasa debe tener un sello en el eje para evitar que se escape el refrigerante a la atmósfera. Esta configuración del sello no ha cambiado en muchos años. Los compresores de acoplamiento abierto están unidos con pernos y se pueden desensamblar para dar mantenimiento a las partes internas.

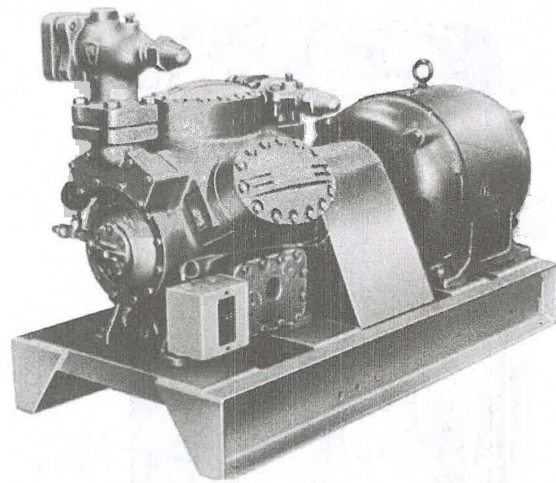
COMPRESORES DE ACCIONAMIENTO POR BANDA. El compresor de accionamiento por banda fue el primer tipo de compresor que se fabricó y aún se emplea en algunas aplicaciones. En la unidad de accionamiento por banda el motor y el eje están dispuestos paralelos con el eje del compresor. El motor se encuentra detrás del compresor. Observe que dado que el compresor y el eje del motor están paralelos, existe un empuje lateral en los dos ejes para apretar las bandas. Esto produce esfuerzo en los ejes y requiere que el fabricante haga una compensación por esto en los cojinetes del eje. La **figura 23-16** indica las alineaciones correcta e incorrecta de los compresores y motores de accionamiento por banda.

COMPRESORES DE ACCIONAMIENTO DIRECTO. El compresor de accionamiento directo difiere del de accionamiento por banda en que el eje del compresor se encuentra conectado extremo con extremo con el eje del motor. Estos ejes tienen un acoplamiento entre ellos con un grado pequeño de flexibilidad. Los dos ejes tienen que estar bien alineados a fin de que funcionen de manera correcta, **figura 23-17**.

COMPRESOR ROTATORIO DE TORNILLO. El compresor rotatorio de tornillo es otro medio mecánico para comprimir vapor refrigerante utilizado en instalaciones grandes. En lugar de un pistón y un



(A)



(B)

Figura 23-15 (A) Compresor de accionamiento por banda. (B) Compresor de accionamiento directo. El compresor de accionamiento directo puede tener velocidades diferentes, dependiendo de los tamaños de las poleas. El compresor de mando directo gira a la velocidad del motor, dado que se encuentra acoplado directamente al motor. Las velocidades comunes son de 1750 rpm y 3450 rpm. El acoplamiento entre el motor y el compresor es ligeramente flexible. Reproducida por cortesía de Carrier Corporation

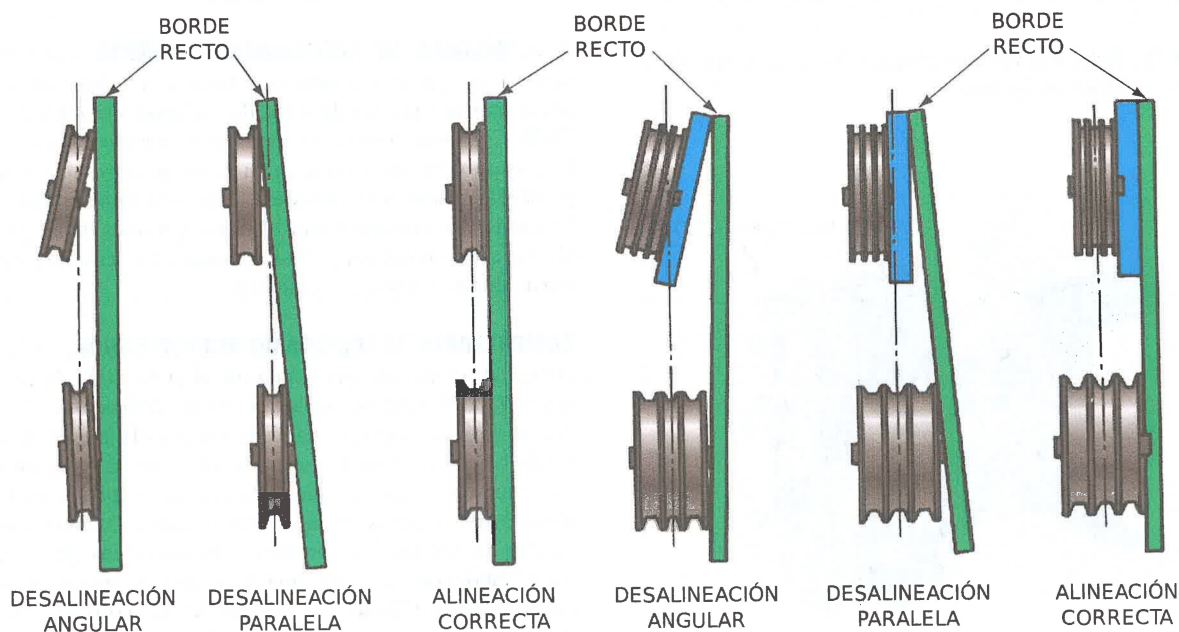


Figura 23-16 Alineaciones correcta e incorrecta de un compresor de accionamiento por banda y su motor. Las bandas utilizadas en una instalación de múltiples bandas se equilibran en la fábrica para asegurar que tengan la longitud correcta.

cilindro, este compresor utiliza dos engranajes acoplados de tipo de tornillo, maquinados y ahusados que presionan el vapor refrigerante desde la entrada hasta la salida, **figura 23-18**.

El compresor rotatorio de tornillo utiliza un motor abierto en lugar del diseño hermético. Un sello en el eje atrapa el refrigerante en la carcasa del compresor en la parte donde el eje sale de la carcasa del compresor. Se emplea un acoplamiento flexible para

conectar el eje del motor con el eje del compresor a fin de evitar que una desalineación pequeña dañe el sello o el cojinete.

Las aplicaciones de los compresores de tornillo son para sistemas grandes (consulte la **figura 23-6**). El refrigerante puede ser cualquiera de uso común. La presión de funcionamiento en los lados de baja y alta presión del sistema son las mismas que para el sistema alternativo en una aplicación similar.

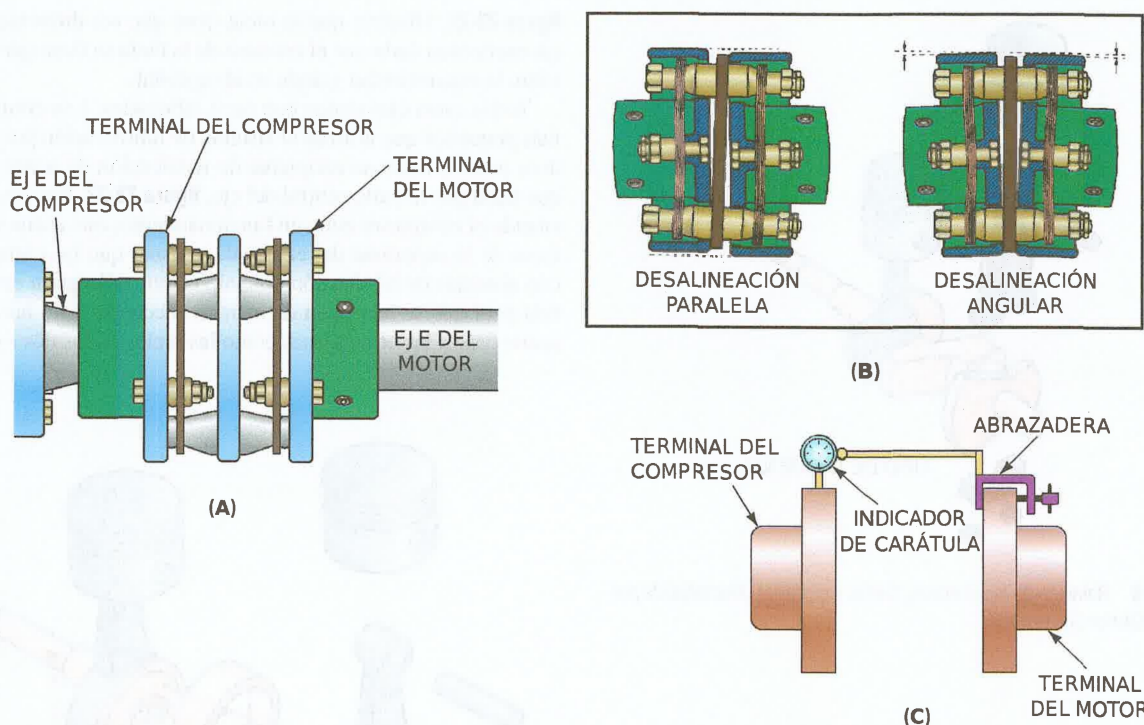
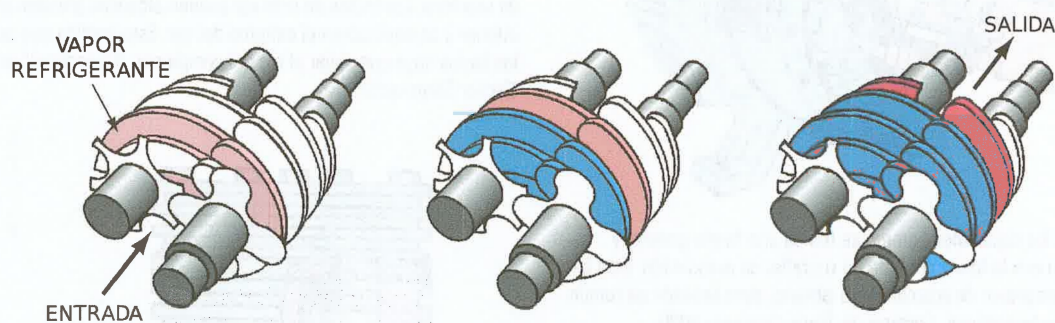


Figura 23-17 (A) y (C) Alineación de un motor y compresor de mando directo. La alineación deberá ser la que se indique en las especificaciones del fabricante. (B) Estos compresores giran tan rápido que, si la alineación no es correcta, cualquier sello o cojinete fallaría enseguida. Cuando se consigue la alineación correcta, el compresor y el motor se aseguran de manera permanente a la base en la que están instalados. En las instalaciones de mayor tamaño el motor y el compresor se pueden reconstruir en el sitio de trabajo. *Cortesía de Trane Company*



UNA ETAPA DE COMPRESIÓN, DONDE SE MUESTRA CÓMO EL REFRIGERANTE SE MUEVE POR EL COMPRESOR DE TORNILLO

Figura 23-18 Engranajes de tipo tornillo ahusados y maquinados, en un compresor de tornillo.

23.3 COMPONENTES DEL COMPRESOR ALTERNATIVO

Los compresores alternativos albergan una variedad de partes móviles. La mayoría de estos componentes se maquinan con mucha precisión con tolerancias muy estrictas para tener una eficiencia y un funcionamiento correcto del compresor.

A continuación se enlistan y describen los principales componentes del compresor alternativo.

El cigüeñal

El *cigüeñal* de un compresor alternativo transmite el movimiento rotatorio a las bielas y este movimiento se convierte en un desplazamiento hacia arriba y hacia abajo (alternativo) de los pistones, **figura 23-19**. Los cigüeñales suelen estar hechos de hierro fundido o de acero dulce. El cigüeñal se puede moldear (con metal fundido que se vierte en un molde) con una forma general que luego se maquina para obtener la forma y el tamaño exactos. En este caso

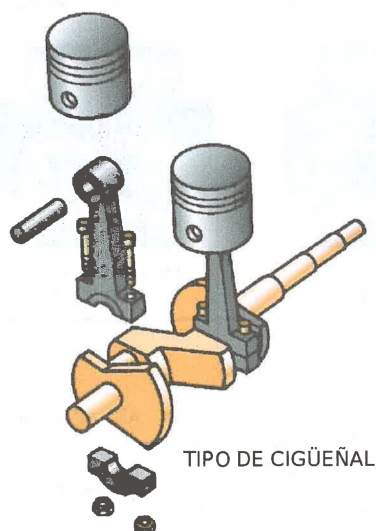


Figura 23-19 Relación de los pistones, bielas y cigüeñal. *Reproducida por cortesía de Carrier Corporation*

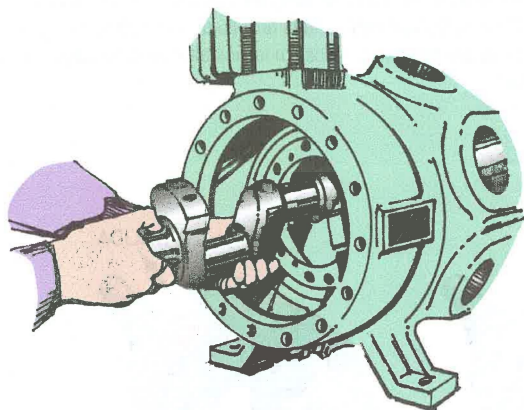


Figura 23-20 A los cigüeñales primero se les da una forma general y luego se maquinan con la forma correcta en un taller de maquinado. Este cigüeñal es de un compresor de acoplamiento abierto, pero también es común en los compresores herméticos. *Cortesía de Trane Company 2000*

el eje está hecho de hierro fundido, **figura 23.20**. Este proceso de maquinado es muy importante, debido a que el alcance (la parte excéntrica a la que está sujeta la biela) no gira en círculo (con relación al centro del eje) cuando se coloca en un torno. El tornero tiene que saber cómo trabajar con este tipo de configuración.

Estos ejes excéntricos normalmente disponen de dos superficies de cojinetes principales, además de las superficies excéntricas de los cojinetes; una en el lado del eje del motor y la otra en el otro extremo. El cojinete en el lado del motor suele ser el más grande, ya que es el que tiene que soportar mayor carga.

Algunos ejes son rectos y tienen una disposición de tipo leva que se denomina *excéntrica*. Esto permite que el eje sea de acero y recto. Es posible que este eje no sea más duradero, pero es fácil de maquinar. Los ejes excéntricos se pueden maquinar descentrados para que el eje pueda efectuar la acción de movimiento alternativo,

figura 23-21. Observe que la biela tiene que ser diferente para el eje excéntrico dado que el extremo de la biela se tiene que acoplar sobre la excentricidad grande en el cigüeñal.

Todos estos ejes tienen que estar lubricados. Los compresores más pequeños que utilizan el sistema de lubricación por salpicadura pueden tener un recipiente de recolección de aceite y hacer que fluya por la parte central del eje, **figura 23-22**. Posteriormente, cuando el compresor entra en funcionamiento, este aceite se arroja fuera de la superficie del cigüeñal, es usual que los compresores con sistemas de lubricación por salpicadura sólo giren en un sentido para que se lubriquen de manera adecuada. Esto hace que el aceite pase a las otras partes, como las bielas en los dos extremos.

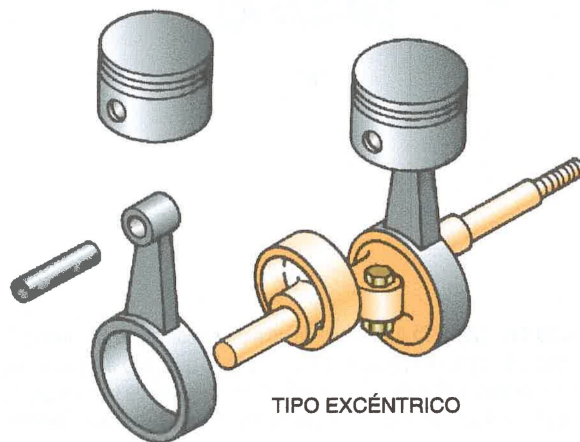


Figura 23-21 Este cigüeñal consigue la acción descentrada con un eje recto y una parte excéntrica. La parte excéntrica es muy similar a un lóbulo de una leva. Las bielas de este eje poseen alcances grandes en su parte inferior y se deslizan en el extremo del eje. Esto implica que para retirar las bielas haya que sacar el eje del compresor. *Reproducido por cortesía de Carrier Corporation*

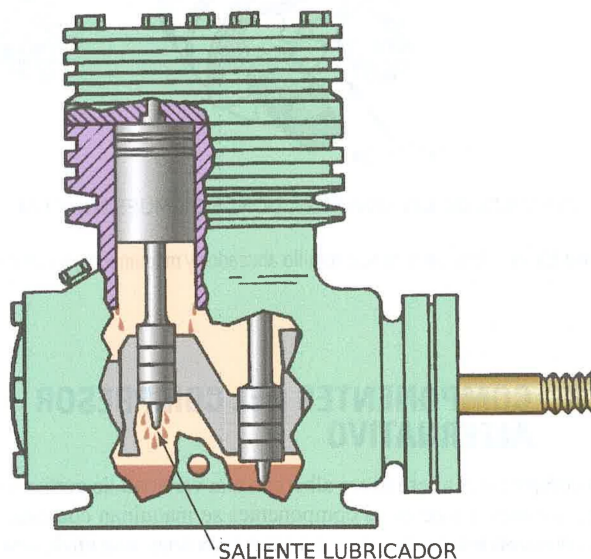


Figura 23-22 Sistema de lubricación por salpicadura que esparce el aceite por todas las piezas. *Reproducido por cortesía de Carrier Corporation*

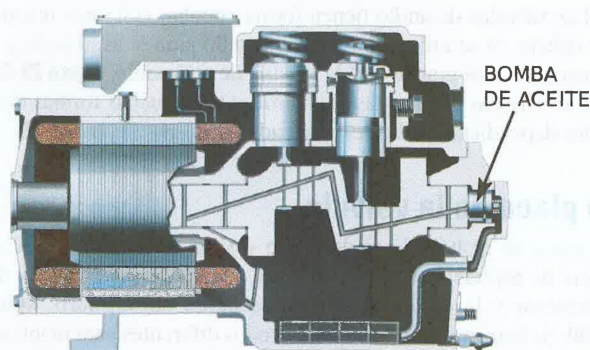


Figura 23-23 Cigüeñal perforado para que la bomba de aceite haga subir el aceite por el eje hasta las bielas y luego desde las bielas hasta los pasadores del pistón. En ocasiones se colocan elementos magnéticos a lo largo de la abertura para capturar todas las limaduras de hierro. *Cortesía de Trane Company 2000*

Algunos de estos ejes se perforan y lubrican con un sistema de lubricación a presión. Estos compresores disponen de una bomba de aceite montada en el extremo del cigüeñal que la hace girar, **figura 23-23**.

NOTA: Al arrancar el compresor, no hay lubricación a presión. Para que este sistema de lubricación sea plenamente efectivo, el compresor deberá funcionar a plena velocidad.

Dado que algunos compresores tienen ejes verticales y otros tienen ejes horizontales, los fabricantes han enfrentado este reto con el fin de proporcionar la lubricación apropiada para cada uno. Si tiene alguna duda sobre una aplicación específica consulte al fabricante del compresor.

Bielas

Las **bielas** sirven para conectar el cigüeñal al pistón. Estas bielas suelen ser de dos tipos: uno que se ajusta en el cigüeñal con alcanes descentrados y el tipo que se ajusta en el cigüeñal excéntrica-mente, **figuras 23-19** y **figura 23-21**. Las bielas pueden estar hechas de muchos materiales diferentes como, por ejemplo, hierro, latón y aluminio. El diseño de la biela es importante porque va a soportar mucha carga en el compresor. Si el cigüeñal se conecta directamente con el motor y el motor funciona a 3450 rpm, el pistón que se encuentra en la parte superior de la biela cambia de dirección 6900 veces por minuto. La biela es la conexión entre el pistón y el cigüeñal y es el vínculo para este cambio de dirección.

Las bielas que tienen grandes orificios en el extremo correspondiente al eje se utilizan en los ejes excéntricos. No se pueden retirar con el eje conectado, por lo que el eje se tiene que remover para sacar el pistón del cilindro. Las bielas con pequeños orificios, por su parte, se utilizan en los ejes descentrados, están divididas y se fijan mediante pernos, **figura 23-24**. Estas bielas se pueden desconectar del cigüeñal y la biela y el pistón se pueden extraer dejando en su lugar el cigüeñal.

La biela es pequeña en el extremo del pistón y se conecta al pistón utilizando un método diferente. Normalmente la biela posee un conector, que se denomina **pasador del pistón**, que se desliza a través del pistón y del extremo superior de la biela. Casi siempre suele tener un **anillo de retención** para evitar que el pasador del pistón se deslice hasta la pared del cilindro, **figura 23-25**.

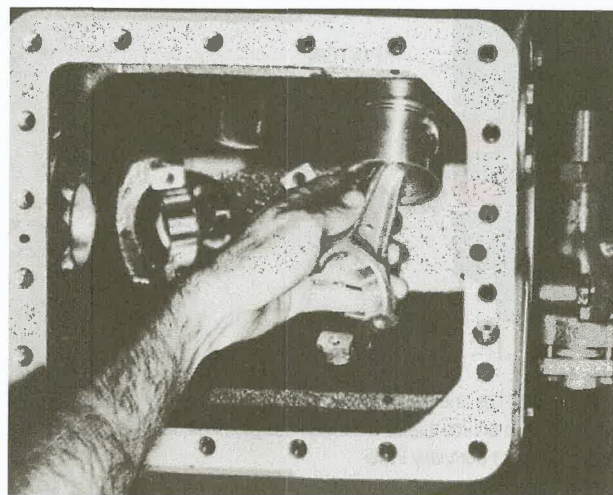


Figura 23-24 El técnico de mantenimiento está retirando las bielas de un compresor. Las bielas tienen su parte inferior dividida. *Cortesía de Trane Company 2000*



Figura 23-25 El extremo de la biela se acopla en el pistón. El pasador del pistón mantiene la biela en el pistón al tiempo que permite la acción de pivote que tiene lugar en la parte superior de la carrera. El pasador del pistón se asegura en el pistón con anillos de retención. *Cortesía de Trane Company 2000*

El pistón

El **pistón** es la pieza del conjunto del cilindro que se expone al vapor de alta presión durante la compresión. Durante la carrera ascendente los pistones tienen vapor a alta presión en la parte superior y vapor a baja presión o de aspiración en la parte inferior. Para efectuar la acción de bombeo tienen que deslizarse hacia arriba y hacia abajo en el cilindro. Deben emplear algún método para evitar que el gas de alta presión se filtre hasta el cárter del cigüeñal. En los pistones de mayor tamaño se utilizan anillos como los que se emplean en los motores de los automóviles. Estos anillos son de dos tipos: de compresión y de aceite. Los compresores de menor tamaño utilizan el aceite de las paredes del cilindro como un sello. La **figura 23-26** muestra una vista en corte de estos anillos.

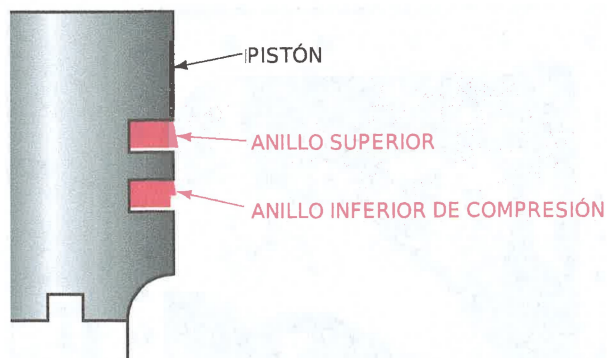


Figura 23-26 Los anillos de los pistones de un compresor de refrigeración se parecen a los anillos que se utilizan en los pistones de los automóviles. Cortesía de Trane Company 2000

Válvulas del cilindro de refrigerante

Las válvulas que hay en la parte superior del compresor son las que determinan la dirección hacia la que va a fluir el vapor que entra en el compresor. En la **figura 23-27** se muestra una vista en corte de un cilindro de compresor. Estas válvulas están hechas de un acero muy duro. Los dos tipos de válvulas a los que pertenecen la mayoría de las que hay actualmente en el mercado son las *válvulas de anillo* y las *válvulas de charnela o chapaleta (o de lámina)*. Estas válvulas se utilizan tanto en los orificios de descarga como en los de aspiración del compresor.

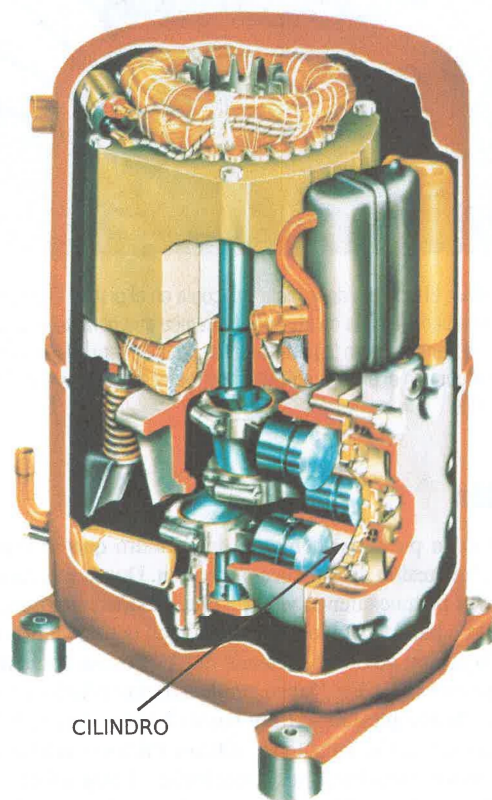


Figura 23-27 Esta vista en corte de un compresor muestra un cilindro común. Cortesía de Tecumseh Products Company

Las válvulas de anillo tienen forma circular, con unos resortes por debajo. Si se utilizan válvulas de anillo para la aspiración y la descarga, la más grande será la válvula de aspiración, **figura 23-28**.

Las válvulas de chapaleta se fabrican con muchas formas diferentes dependiendo del diseño de cada fabricante, **figura 23-29**.

La placa de la válvula

La *placa de la válvula* es donde se sujetan las válvulas de chapaleta de aspiración y descarga. Está situada entre la cabeza del compresor y la parte superior de la pared del cilindro, **figura 23-30**. Se han empleado muchos métodos diferentes para mantener las válvulas en su lugar sin ocupar más espacio del necesario. De hecho, la parte inferior de la placa sobresale hacia el interior del cilindro. Cualquier volumen de vapor que no pueda ser bombeado fuera del cilindro a causa del diseño de la válvula se volverá a expandir durante la carrera descendente del pistón, lo que hace que el compresor sea menos eficiente.

Existen otras versiones de las configuraciones de cigüeñales y ejes además de las que hemos mencionado aquí. Sin embargo, estas otras configuraciones no se utilizan con mucha frecuencia en la industria de la refrigeración para justificar su análisis. Si necesita más información, póngase en contacto con el fabricante específico.

La cabeza del compresor

El componente que se encarga de mantener juntos la parte superior del cilindro y su conjunto es la *cabeza*. Esta cabeza está situada en la parte superior del cilindro y contiene el gas de alta presión del cilindro hasta que se traslada al conducto de descarga. Con frecuencia esta cabeza contiene la cámara de aspiración, que está separada por la cámara de descarga mediante una división y empaques. Estas cabezas tienen muchas configuraciones de diseño y deben efectuar dos tareas. Mantienen la presión dentro y conservan la placa de la válvula en el cilindro. Están hechas de acero en algunos compresores herméticos soldados y de hierro fundido en el de tipo hermético reparable. Las cabezas de hierro fundido pueden estar en la corriente de aire en movimiento y disponer de aletas para que disipen el calor de la parte superior del cilindro, **figura 23-31**.

Silenciadores

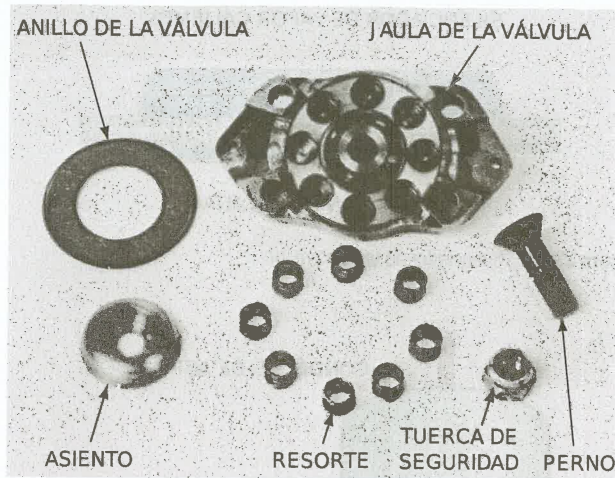
Los *silenciadores* se utilizan en muchos compresores completamente herméticos para disminuir el ruido pulsante del compresor. Las pulsaciones audibles de aspiración y descarga se pueden transmitir hacia las tuberías si no se silencian. Los silenciadores se deben diseñar de manera que no tengan una caída de presión considerable, pero que aún silencien las pulsaciones de descarga, **figura 23-32**.

La carcasa del compresor

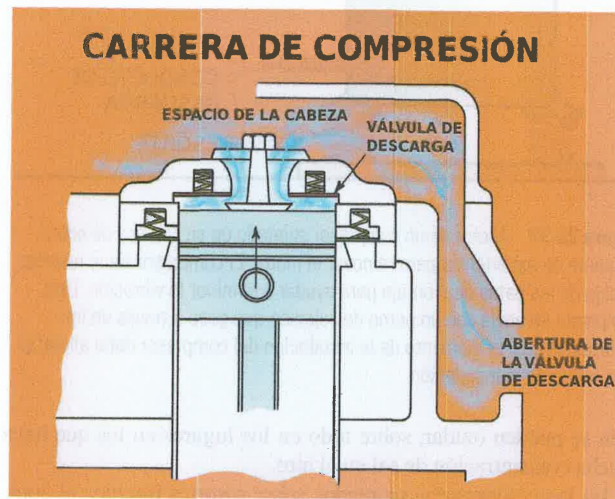
La *carcasa* contiene el compresor y en ocasiones al motor. En los compresores herméticos soldados está hecha de acero conformado y de hierro fundido para el de tipo hermético reparable.

El compresor hermético reparable está diseñado de manera que su carcasa está ante presión baja y a menudo tendrá una presión de funcionamiento de 150 psig. Muchos compresores fabricados en la actualidad deben utilizar los refrigerantes recientes que funcionan ante una presión mucho mayor; por lo tanto, las presiones de funcionamiento de la carcasa del compresor son mucho mayores.

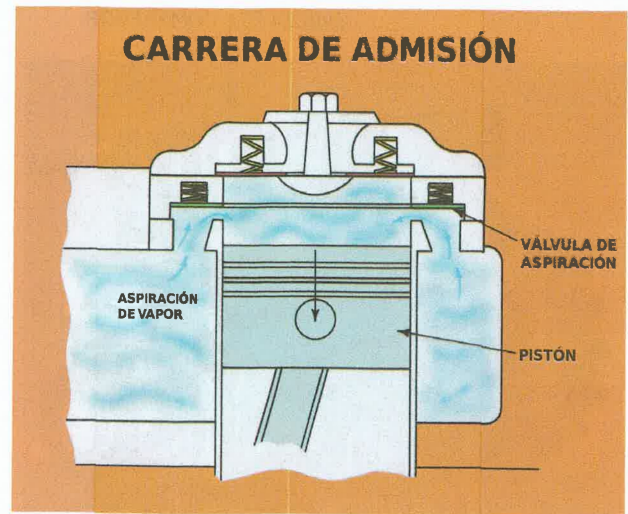
PRECAUCIÓN DE SEGURIDAD: El técnico siempre debe de verificar



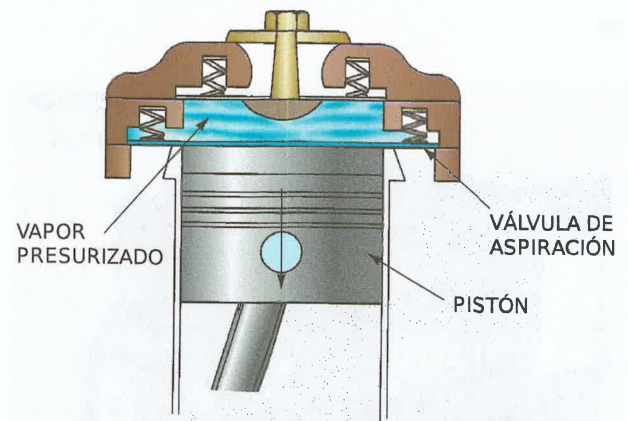
(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 23-28 (A) Válvulas de anillo. (B)-(D) Normalmente tienen un conjunto de pequeños resortes para cerrarlas. *Cortesía de Trane Company 2000*

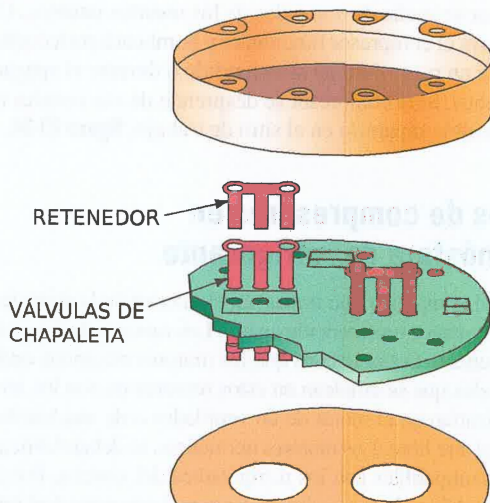


Figura 23-29 Válvulas de chapaleta o de lámina sujetas en un extremo. Esto proporciona suficiente acción de resorte para cerrar la válvula cuando cambia la dirección del flujo. *Reproducida por cortesía de Carrier Corporation*

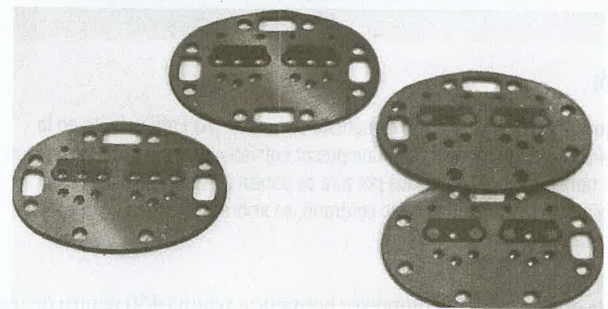
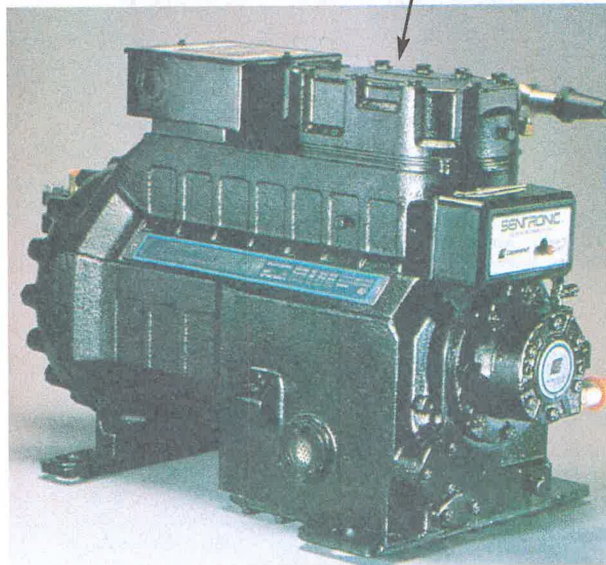


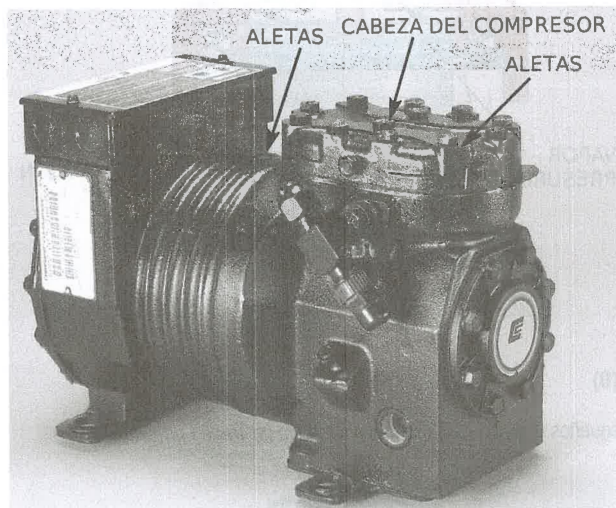
Figura 23-30 Placas de válvulas comunes que se utilizan para sujetar las válvulas. Se pueden sustituir o reconstruir, si no están muy dañadas. Hay un empaque en ambos lados. *Reproducida por cortesía de Carrier Corporation*

las presiones de funcionamiento de todas las partes antes de aplicar presiones altas para detección de fugas. El compresor está montado dentro de la carcasa y el conducto de descarga normalmente se encuentra conectado al exterior de la carcasa. Esto significa que la carcasa no requiere tener una presión de prueba tan elevada como la presión del lado a alta presión. En la figura 23-27 se muestra una

CABEZA DEL COMPRESOR



(A)



(A)

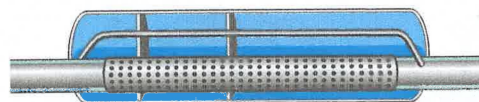
Figura 23-31 Cabezas de compresor comunes. (A) Enfriamiento en la aspiración del compresor. (B) Compresor enfriado por aire. Los compresores que tienen motores enfriados por aire se deben ubicar en una corriente de aire en movimiento, o de lo contrario, se sobrecalentarán. *Cortesía de Copeland Corporation*

vista en corte de un compresor hermético página 460 dentro de una carcasa soldada y el método empleado para soldar la carcasa.

Dos métodos utilizados para montar el compresor dentro de la carcasa son: el *montaje rígido* y el *montaje elástico*.

Los compresores de montaje rígido se emplearon durante muchos años. La carcasa del compresor se instalaba sobre unos resortes externos que había que sujetar fuertemente con pernos para su transporte. Se suponía que había que aflojar estos resortes durante la instalación, **figura 23-33**, pero a veces no se aflojaban y el compresor vibraba porque, sin los resortes, estaba instalado de manera rígida en la carcasa del condensador. Los resortes externos tam-

SILENCIADOR DE VAPOR CALIENTE



(INSTALACIÓN HORIZONTAL)

Figura 23-32 Silenciador de un compresor.

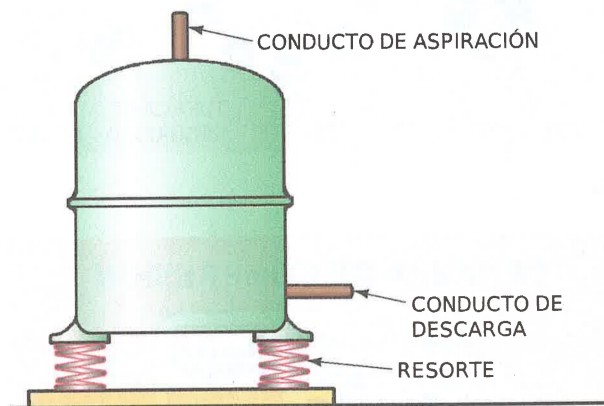


Figura 23-33 Motor de un compresor sujeto en su carcasa de acero. Requiere de experiencia para remover el motor. El compresor tiene resortes debajo de las patas de montaje para ayudar a eliminar la vibración. Este compresor se envía con un perno de sujeción que pasa a través de los resortes, el cual al momento de la instalación del compresor debe aflojar el contratista de la instalación.

bién se pueden oxidar, sobre todo en los lugares en los que haya mucha concentración de sal en el aire.

En los compresores montados sobre resortes internos el compresor se encuentra en realidad suspendido sobre unos resortes dentro de la carcasa. Los compresores montados de esta manera disponen de ciertos métodos para evitar que el compresor se mueva demasiado durante el transporte. Es posible que, en ocasiones, el compresor se suelte de uno o dos de los resortes internos. Cuando esto ocurra el compresor funcionará y bombeará correctamente, pero emitirá un ruido durante el encendido o durante el apagado, o durante ambos. Si el compresor se desprende de sus resortes internos es imposible repararlo en el sitio de trabajo, **figura 23-34**.

Motores de compresores en una atmósfera de refrigerante

El motor del compresor que trabaja en el interior de la atmósfera de refrigerante merece una mención aparte. Los motores de los compresores herméticos no son iguales que los motores eléctricos estándar. Los materiales que se emplean en estos motores no son los mismos que se utilizarían en el motor de un ventilador o de una bomba que funcionen al aire libre. Los motores herméticos se deben fabricar con materiales compatibles con los refrigerantes del sistema. Por ejemplo, no se podría utilizar caucho en estos motores porque el refrigerante acabaría por disolverlo. Los motores se ensamblan en una atmósfera muy limpia y hay que mantenerlos secos. Cuando un motor hermético se estropea, no se puede reparar en el sitio de trabajo.

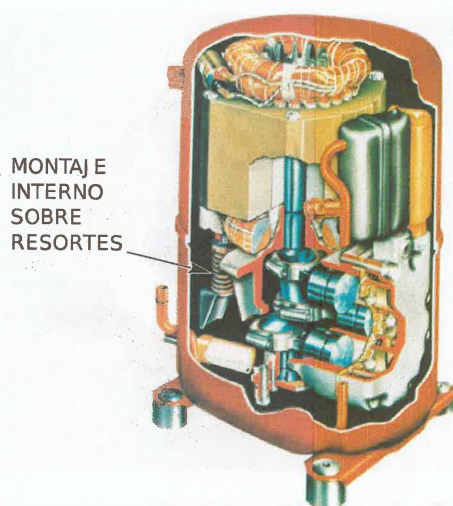


Figura 23-34 Compresor montado dentro de una carcasa hermética soldada sobre resortes. Los resortes disponen de guías que sólo les permiten que tengan una cierta cantidad de movimiento durante su envío. *Cortesía de Tecumseh Products Company*

TERMINALES ELÉCTRICAS DEL MOTOR. Siempre debe haber algún tipo de conductor que se encargue de llevar la energía desde la fuente de alimentación externa hasta el motor interno. La energía necesaria para hacer funcionar el compresor se debe llevar a través de la carcasa del compresor sin que se fugue refrigerante. La conexión también tiene que aislar la corriente eléctrica de la carcasa del compresor. Estas terminales en ocasiones son de cristal fundido con una clavija de conexión a través de la parte media en los compresores más pequeños. Cuando se requieren terminales grandes, éstas algunas veces se colocan en un bloque de fibra con un obturador de anillo en O, **figura 23-35**.

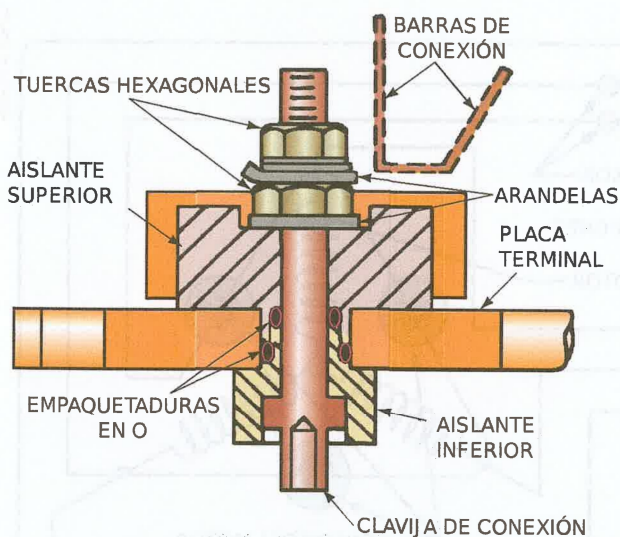


Figura 23-35 Terminales de un motor. La energía para hacer funcionar el compresor se lleva a través de la carcasa del compresor, pero debe estar aislada de la carcasa. En la figura se muestra un bloque de fibra utilizado como aislante. Los anillos en O evitan que salga el refrigerante.

NOTA: Se debe tener cuidado con estas terminales (por posibles conexiones eléctricas sueltas) para evitar un sobrecalentamiento. Si la terminal se sobrecalienta, se podría presentar una fuga.

Si el bloque de la terminal es de cristal fundido, va a ser bastante difícil repararlo. Los terminales de cristal fundido soportan más calor, pero tienen un límite en cuanto al calor que pueden soportar. Las placas de terminales de fibra y con empaquetaduras en O soportan menos calor pero, cuando se estropean, se pueden reemplazar con piezas nuevas. No obstante, es posible que haya una fuga de refrigerante antes de que se llegue a descubrir el problema.

DISPOSITIVOS INTERNOS DE PROTECCIÓN DEL MOTOR. Los dispositivos internos de protección contra sobrecargas de los motores herméticos sirven para evitar que el motor se sobrecaliente. Estos mecanismos están empotrados en o cerca de los devanados y están conectados de dos maneras diferentes. El primer tipo de dispositivo interrumpe el circuito de alimentación en el interior del compresor. Dado que este tipo de dispositivo es interno y conduce la corriente de línea, está limitado a los compresores de menor tamaño. Además, tiene que estar cerrado para evitar que el arco eléctrico afecte al refrigerante, **figura 23-36(A)**. Si un contacto de este tipo de línea permaneciera abierto, no se podría volver a poner en marcha el compresor, por lo que habría que reemplazarlo. La **figura 23-36(B)** ilustra un dispositivo trifásico interno contra sobrecargas térmicas. Los tres contactos contra sobrecargas se abrirían al mismo tiempo si un motor tiene problemas de sobrecalentamiento. Esto evita que el motor trifásico trate de funcionar con una fase. Este dispositivo contra sobrecargas se ubica en la carcasa del compresor, usualmente en el compartimento del barril del motor sobre los devanados del motor. La **figura 23-36(C)** es una fotografía de un protector trifásico contra sobrecargas que se sacó de un motor trifásico que estaba funcionando. La **figura 23-36(D)**

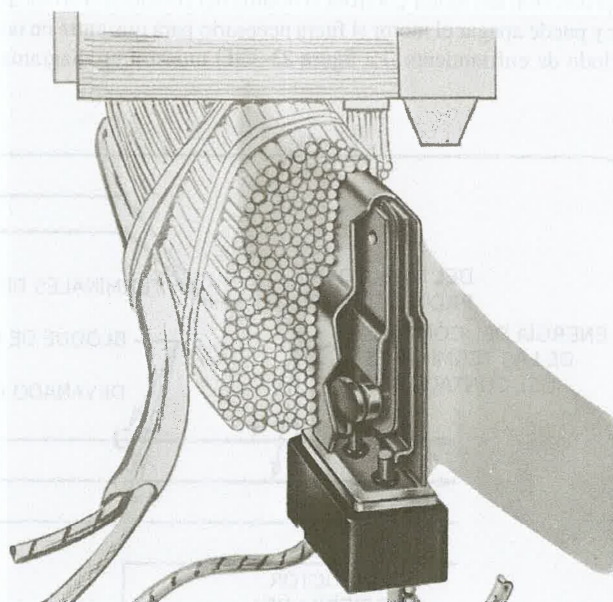


Figura 23-36(A) Dispositivo interno de protección contra sobrecargas de un compresor que interrumpe el circuito de línea. Este conjunto de contactos eléctricos se encuentra en el interior de la atmósfera de refrigerante y están dentro de un contenedor hermético propio. Si el arco eléctrico se permitiera que ocurriera dentro de la atmósfera de refrigerante, éste se deterioraría en la vecindad del arco. *Cortesía de Tecumseh Products Company*

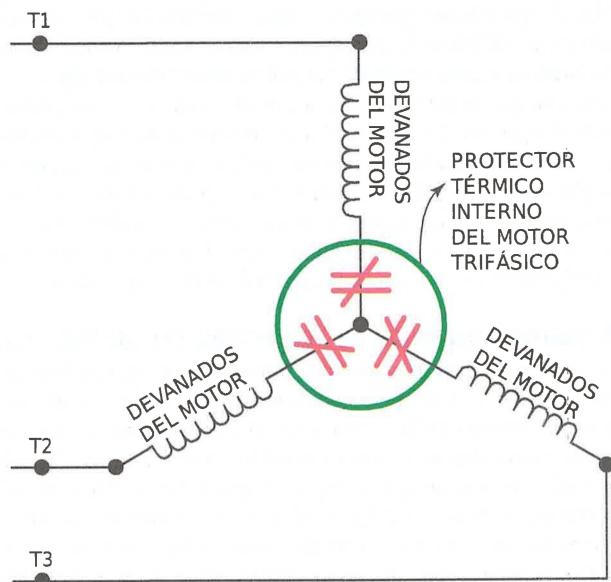


Figura 23-36(B) Motor trifásico con devanados en estrella con protección interna contra sobrecargas térmicas. Los tres contactos internos de sobrecarga se abrirán al mismo tiempo para evitar que el motor trifásico trate de funcionar con una sola fase.

muestra un motor trifásico con protección interna con un termistor. Los termistores son resistores que varían su resistencia de acuerdo con su temperatura. Si se tiene un problema de sobrecalentamiento de un motor, los termistores detectarán el calor, cambiarán su resistencia y transmitirán este cambio en resistencia a un módulo de protección de estado sólido del motor. El circuito del termistor usualmente consiste en un circuito de control de 24 V. El módulo de protección del motor controla la bobina del contactor o arrancador y puede apagar el motor si fuera necesario para que entre en un periodo de enfriamiento. La **figura 23-36(E)** muestra un diagrama



Figura 23-36(C) Protector trifásico interno contra sobrecargas. Cortesía de la Ferris State University. Fotografía de John Tomczyk

de cableado de una unidad de protección electrónica común de un motor, que ilustra el contactor del motor y el módulo de protección electrónica.

Otro tipo de dispositivo de protección contra sobrecargas del motor interrumpe el circuito de control. Este dispositivo se cablea desde el exterior del compresor hasta el circuito de control. Si el tipo de servicio piloto cableado al exterior del compresor permaneciera abierto, se podría sustituir con un dispositivo contra sobrecarga externo.

EL COMPRESOR HERMÉTICO REPARABLE. Este tipo de compresor normalmente tiene una carcasa de hierro fundido y se considera un dispositivo del lado de baja presión, **figura 23-37**. Dada la disposición de las tuberías en su cabeza, el vapor de descarga está contenido bajo la cabeza o bien fuera del conducto de descarga. El motor está montado rígidamente en la carcasa y el compresor debe

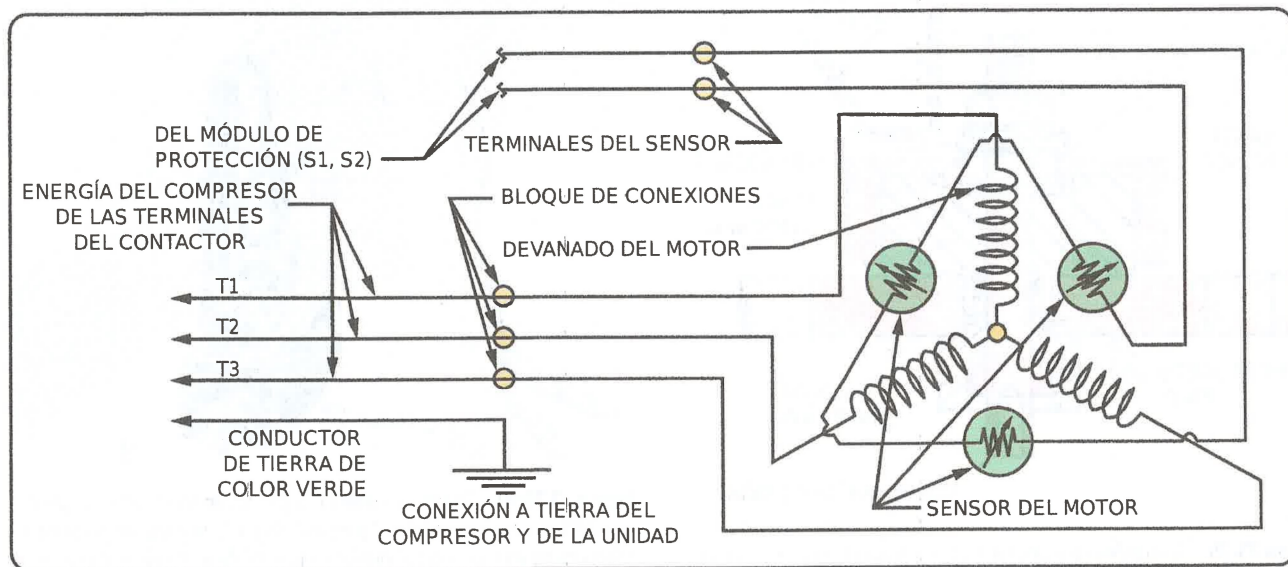


Figura 23-36(D) Motor trifásico con devanados en estrella con protección interna por un termistor enlazado a un módulo de protección de estado sólido del motor. Los sensores del motor son termistores. Cortesía de Tecumseh Products Company

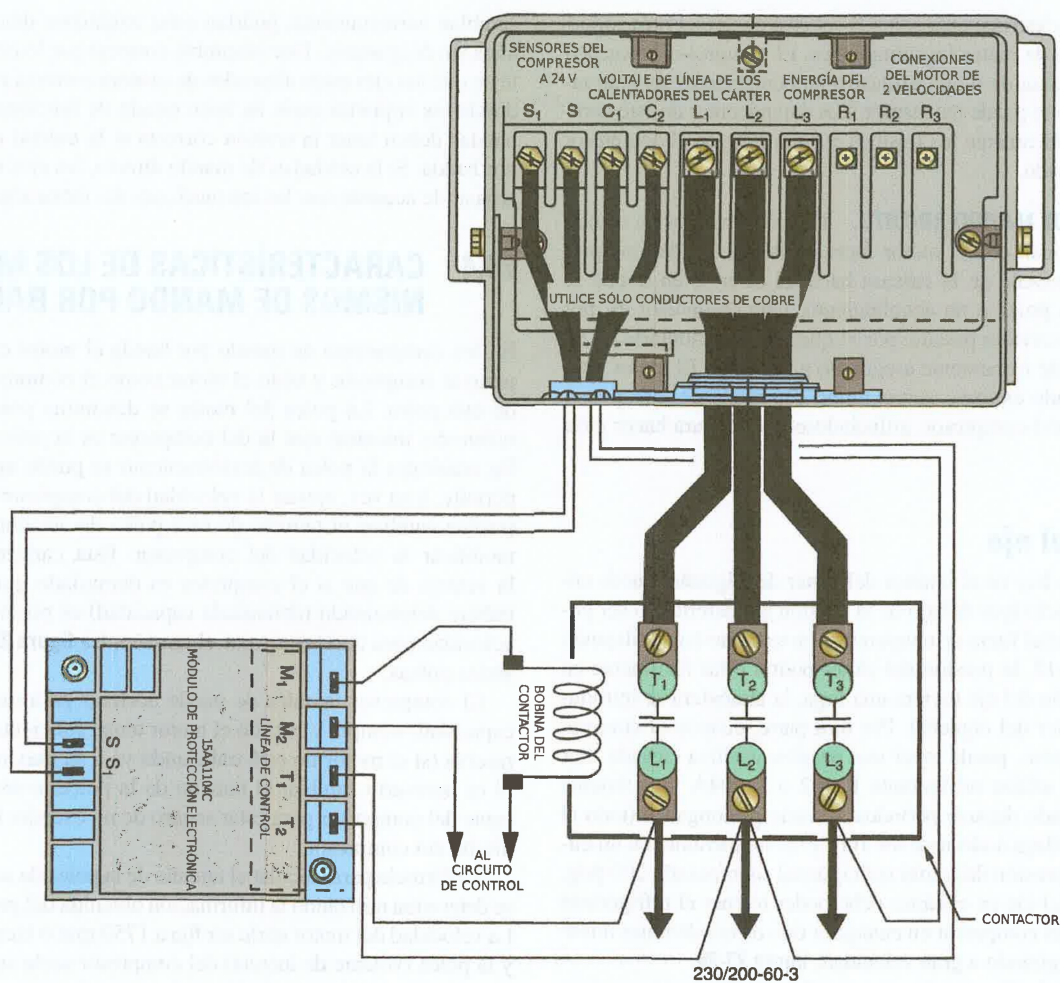
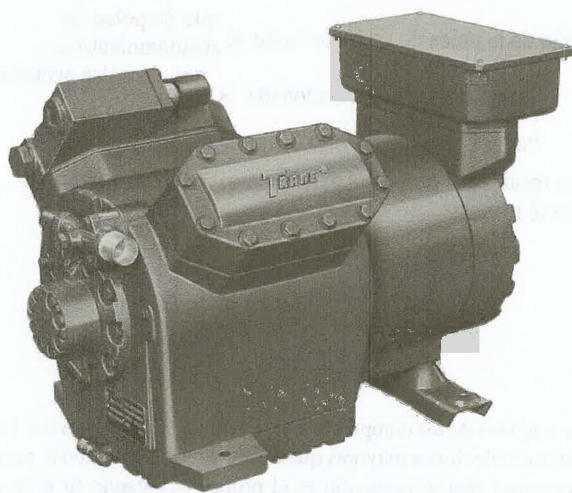
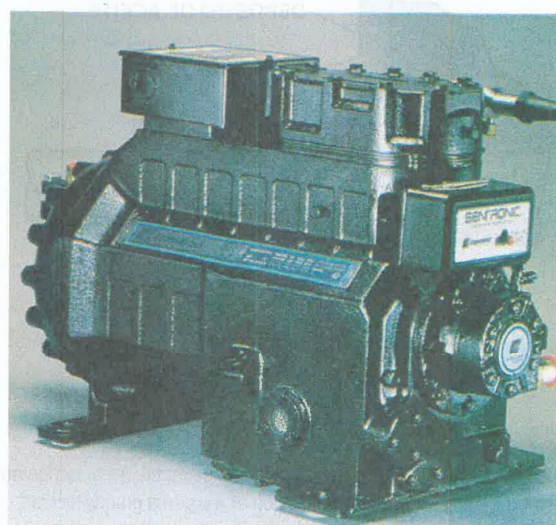


Figura 23-36(E) Diagrama de cableado de una unidad de protección electrónica común de un motor trifásico. *Cortesía de Tecumseh Products Company*



(A)



(B)

Figura 23-37 Compresores herméticos reparables. (A) *Cortesía de Trane Company*. (B) *Cortesía de Copeland Corporation*

estar instalado externamente sobre resortes o cualquier otro soporte flexible a fin de evitar las vibraciones. El compresor hermetico reparable se utiliza de modo exclusivo en compresores de gran tamaño dado que se puede reconstruir. Los componentes de este compresor son prácticamente los mismos que constituyen el compresor hermético soldado.

COMPRESOR DE MANDO ABIERTO. Los compresores de mando abierto se fabrican con el motor fuera de la carcasa del compresor. El eje sobresale de la carcasa hacia el exterior en donde se le conecta una polea o un acoplamiento. Este compresor es, por naturaleza, de servicio pesado, por lo que hay que montarlo de tal forma que quede firmemente asegurado a una base. El motor puede estar montado extremo con extremo con el eje del compresor o bien al lado del compresor, utilizándose bandas para hacer girar el compresor.

El sello del eje

La presión que hay en el interior del cárter del cigüeñal puede encontrarse en vacío (por debajo de la presión atmosférica) o ser positiva. Si la unidad fuera de temperatura en extremo baja utilizando refrigerante R-12, la presión del cárter podría estar fácilmente en vacío. Si el sello del eje tuviera una fuga, la atmósfera se introduciría en el cárter del cigüeñal. Por otra parte, cuando el compresor está en reposo, puede tener una presión positiva elevada. Por ejemplo, si se utiliza refrigerante R-502 o R-404A y el sistema estuviera apagado durante periodos bastante prolongados (todo el sistema puede llegar a alcanzar los 100 °F de temperatura en un clima cálido), la presión del cárter del cigüeñal sobrepasaría 200 psig. El obturador del eje en el cárter debe poder retener el refrigerante en el interior del compresor en cualquier tipo de condiciones mientras el eje está girando a gran velocidad, **figura 23-38**.

El sello del eje dispone de una superficie de fricción que sirve para separar el refrigerante de la atmósfera. Esta superficie está hecha, normalmente, de un material de carbón o de cerámica que roza contra una superficie de acero. Si estas dos superficies se en-

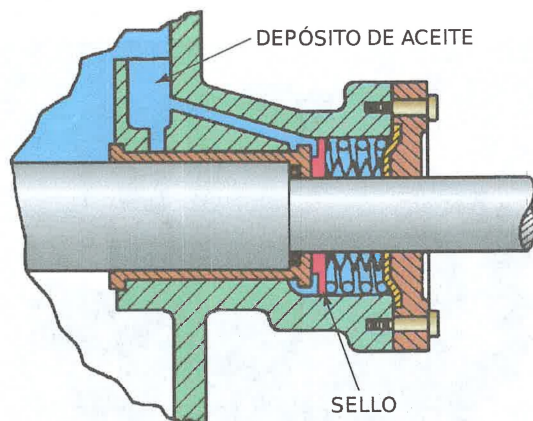


Figura 23-38 El sello del eje tiene la función de mantener el refrigerante en el interior del cárter y de permitir que el eje gire a gran velocidad. Este sello se debe instalar de manera correcta. Si el sello se instala en un compresor de mando por banda, la tensión de la banda es importante. Si se instala en un compresor de accionamiento directo, el alineamiento del eje es importante. Reproducida por cortesía de Carrier Corporation

samblan correctamente, podrían estar rozándose durante muchos años sin desgastarse. Este ensamble correcto por lo común consiste en que los ejes estén alineados de manera correcta en un sistema donde los cojinetes estén en buen estado de funcionamiento. Las bandas deben tener la tensión correcta si la unidad es de mando por banda. Si la unidad es de mando directo, los ejes se tienen que alinear de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

23.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS MECANISMOS DE MANDO POR BANDA

En los compresores de mando por banda el motor está instalado junto al compresor y tanto el motor como el compresor disponen de una polea. La polea del motor se denomina *polea de accionamiento*, mientras que la del compresor es la *polea accionada*. En ocasiones la polea de accionamiento se puede ajustar, lo que permite, a su vez, ajustar la velocidad del compresor. También es posible cambiar el tamaño de esta polea de accionamiento para modificar la velocidad del compresor. Esta característica tiene la ventaja de que si el compresor es demasiado grande para un trabajo determinado (demasiada capacidad) es posible reducir su velocidad para compensar por el tamaño. La **figura 23-39** muestra varias poleas.

El compresor también se puede acelerar para que tenga más capacidad, siempre y cuando el motor tenga suficiente potencia de reserva (si el motor no está trabajando ya a su máxima potencia). Si es necesario cambiar el tamaño de la polea, consulte al fabricante del compresor para estar seguro de no exceder los límites de diseño del compresor.

La fórmula para calcular el tamaño de la polea de accionamiento se determina utilizando la información obtenida del propio sistema. La velocidad del motor suele ser fija a 1750 rpm o bien a 3450 rpm, y la polea (volante de inercia) del compresor suele ser también de tamaño fijo. La única variable es la polea de accionamiento. Un problema común sería cuando se está utilizando un motor de 1725 rpm y una polea de 4 in para accionar un compresor de 575 rpm, con un tamaño de polea de 12 in. Si se quiere disminuir la velocidad del compresor hasta 500 rpm para reducir la capacidad, ¿cuál sería el tamaño de la nueva polea de accionamiento? La fórmula es:

$$\text{Tamaño de la polea de accionamiento} \times \frac{\text{rpm de polea de accionamiento}}{\text{Tamaño de la polea accionada} \times \frac{\text{rpm de polea accionada}}{\text{o bien}} =$$

$$\text{Polea 1} \times \text{rpm 1} = \text{Polea 2} \times \text{rpm 2}$$

Ahora resuelva el problema para la polea 1, replanteado de la siguiente manera:

$$\text{Polea 1} = \frac{\text{Polea 2} \times \text{rpm 2}}{\text{rpm 1}}$$

$$\text{Polea 1} = \frac{12 \text{ in} \times 500 \text{ rpm}}{1725 \text{ rpm}}$$

$$\text{Polea 1} = 3.48 \text{ o } 3 \frac{1}{2} \text{ in}$$

La mayoría de los compresores no están diseñados para que funcionen a revoluciones mayores que un cierto límite y quien le puede proporcionar esta información es el propio fabricante. Si necesita utilizar una polea de determinado tamaño, el proveedor de poleas le ayudará a elegir la adecuada. También se debe calcular el tamaño de las bandas. La elección correcta de las poleas y bandas es muy importante, por lo que la debe hacer una persona experimentada.

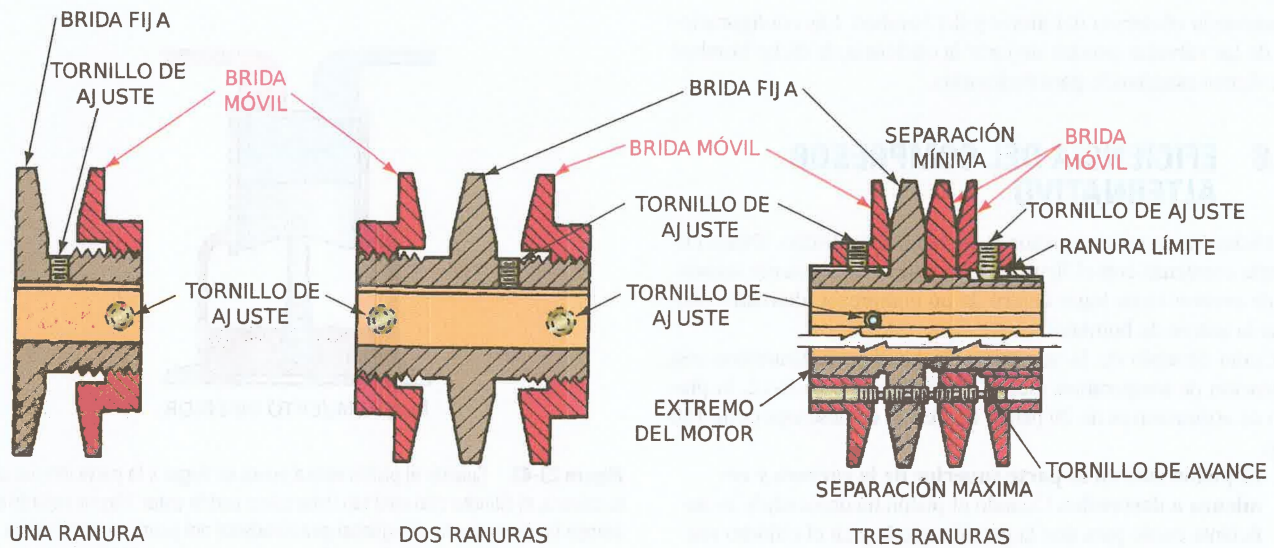


Figura 23-39 Varias poleas utilizadas en compresores de mando por banda. Pueden ser de una o múltiples ranuras y con diferentes anchos de banda. Algunas poleas se pueden ajustar para cambiar la velocidad del compresor.

Los ejes del motor y del compresor deben estar alineados de manera correcta y hay que aplicar la tensión adecuada a las bandas. Tanto la base del motor como la del compresor deberán estar sujetas firmemente, de tal manera que ninguna dimensión varíe durante el funcionamiento. Se pueden considerar varias combinaciones de las bandas. El mecanismo de accionamiento del compresor puede disponer de múltiples bandas, **figura 23-40**, o sólo una banda si el compresor es de tamaño pequeño. Las bandas también están disponibles en tamaños diferentes. Hay que tener en cuenta aspectos como el ancho de la banda, el tipo de agarre y el material con el que está fabricada.

Si se utilizan varias bandas se deben comprar en juegos equilibrados. Por ejemplo, si un compresor y motor en particular dispusieran de cuatro correas en V de un ancho B y de 88 in de longitud, habría que pedir cuatro bandas de 88 in de ancho B que hayan sido equilibradas en la fábrica para que tengan la longitud exacta. A estas bandas se les denomina *bandas equilibradas* y se deben utilizar en las instalaciones de bandas múltiples.

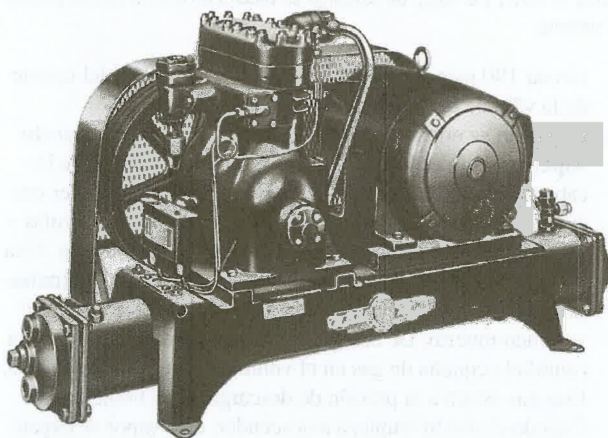


Figura 23-40 Compresor de bandas múltiples. Cortesía de Tecumseh Products Company

23.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPRESORES DE MANDO DIRECTO

El compresor de mando directo está limitado a la velocidad a la que gira el motor de accionamiento. En este tipo de instalaciones los extremos de los ejes del compresor y del motor están dispuestos extremo con extremo. Estos ejes poseen un acoplamiento ligeramente flexible entre ellos y deben estar bien alineados porque, de lo contrario, los cojinetes y el sello fallarían de manera prematura, **figura 23-41**. Esta combinación de motor y compresor se montan sobre una base rígida común.

Tanto el motor como el compresor suelen estar contruidos de tal forma que se pueden reparar en el lugar de trabajo. Así pues, una vez que los ejes están alineados, la carcasa del motor y la carcasa del compresor se pueden unir, pudiendo permanecer siempre en su lugar. Si el motor o el compresor se tienen que reconstruir, se pueden retirar las piezas internas para tal efecto y, al momento de volverlas a montar, los ejes se alinearían de nuevo automáticamente.

El compresor alternativo no ha cambiado de manera apreciable en muchos años. Los fabricantes están intentando mejorar conti-

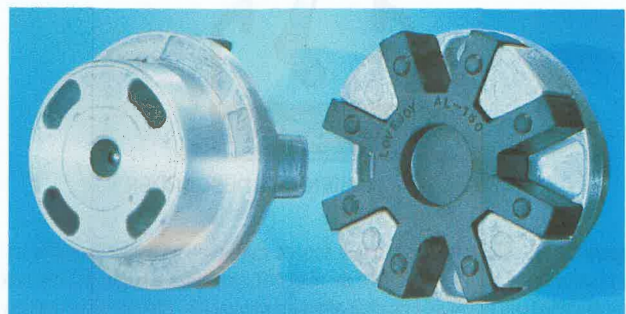


Figura 23-41 Acoplamiento flexible. Para obtener la alineación correcta del eje se sigue un procedimiento laborioso, pero que se debe hacer o los cojinetes y el sello fallarán de manera prematura. Cortesía de Lovejoy, Inc.

nuamente la eficiencia del motor y del bombeo. Las configuraciones de las válvulas pueden mejorar la eficiencia de dicho bombeo y se siguen estudiando para mejorarlas.

23.6 EFICIENCIA DEL COMPRESOR ALTERNATIVO

La eficiencia de un compresor la determina su diseño. Dicha eficiencia comienza con el llenado del cilindro. La siguiente secuencia de eventos tiene lugar dentro de un compresor alternativo durante la acción de bombeo.

Como ejemplo de la secuencia de bombeo utilizaremos una aplicación de temperatura media. El refrigerante es R-12, la presión de aspiración es de 20 psig y la presión de descarga es de 180 psig.

1. **El pistón está en la parte superior de la carrera y comienza 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 la válvula de chapaleta de admisión y el cilindro comienza a llenarse de vapor, **figura 23-42**.
2. **El pistón continúa descendiendo hasta la parte inferior de la carrera.** En este punto el cilindro está tan lleno como puede estar. Hay un ligero retardo de tiempo en la parte inferior de la carrera, cuando el cigüeñal mueve la biela alrededor de la parte inferior de la carrera, **figura 23-43**.
3. **El pistón comienza a subir.** El alcance de la biela ha sobrepasado el punto muerto inferior y el pistón comienza a ascender. Cuando el cilindro está tan lleno como puede estar, la válvula de chapaleta de aspiración se cierra.
4. **El pistón continúa subiendo hasta la parte superior de la carrera.** Cuando el pistón llega casi al punto próximo a la parte superior, la presión del cilindro se hace mayor que la presión en el conducto de descarga. Si la presión de descarga es de 180 psig, la presión dentro del cilindro tendrá que al-

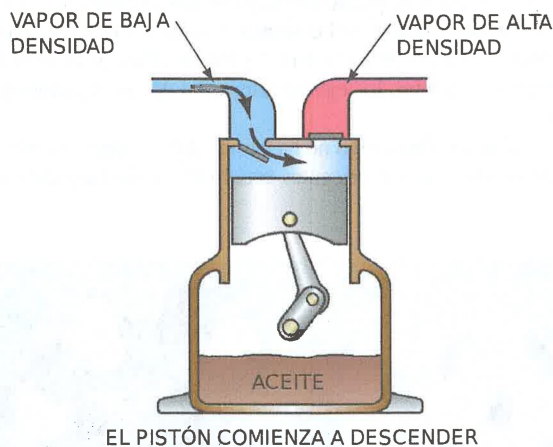


Figura 23-42 Ilustración de lo que sucede dentro de un compresor alternativo cuando está bombeando. Cuando el pistón comienza a bajar, se crea una baja presión bajo la válvula de chapaleta de aspiración. Cuando esta presión se hace menor que la presión de aspiración y que la tensión del resorte de la válvula, el cilindro empezará a llenarse. El gas entrará en el cilindro a través de la válvula de chapaleta de aspiración.

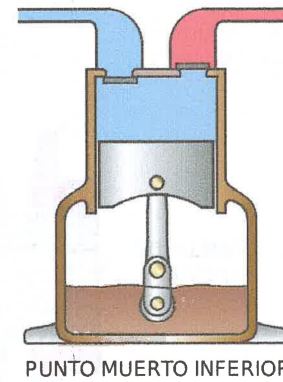


Figura 23-43 Cuando el pistón está a punto de llegar a la parte inferior de la carrera, el cilindro casi está tan lleno como podría estar. Hay un retardo de tiempo breve conforme el cigüeñal gira alrededor del punto muerto inferior, durante el cual una cantidad pequeña de vapor aún puede fluir hacia el cilindro.

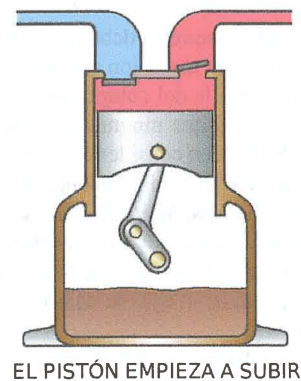


Figura 23-44 Cuando el pistón comienza a subir y se encuentra apenas arriba del fondo del cilindro, la válvula de aspiración se habrá cerrado y la presión comenzará a acumularse en el cilindro. Cuando el pistón se acerca a la parte superior del cilindro, la presión iniciará a aproximarse a la presión en el conducto de descarga. Cuando la presión dentro del cilindro es mayor que la presión en el lado superior de la válvula de chapaleta de descarga, la válvula se abrirá y el vapor de descarga se vaciará en el lado de alta presión del sistema.

canzar 190 psig para superar el peso y la tensión del resorte de la válvula de descarga, **figura 23-44**.

5. **El pistón se encuentra exactamente en el punto muerto superior.** Esto es lo más cercano a la parte superior de la cabeza del cilindro que puede llegar, ya que debe haber una cierta cantidad de holgura en los conjuntos de las válvulas y entre el pistón y la cabeza o podrían entrar en contacto. Esta holgura se conoce como **volumen muerto**. El pistón expulsará tanto vapor del cilindro como lo permitan el tiempo y el volumen muerto. De cualquier manera siempre quedará una cantidad pequeña de gas en el volumen muerto, **figura 23-45**. Este gas estará a la presión de descarga antes mencionada. Cuando el pistón empieza a descender, este vapor se expandirá y el cilindro no empezará a llenarse hasta que la presión del cilindro sea menor que la presión de aspiración de 20

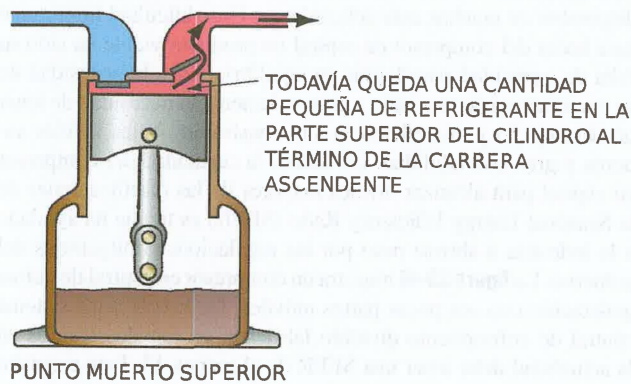


Figura 23-45 El cilindro de un compresor alternativo no se puede vaciar por completo debido al volumen muerto en su parte superior. En sus diseños los fabricantes tratan de mantener este volumen muerto en un mínimo, pero no pueden eliminarlo por completo.

psig. Este refrigerante que se vuelve a expandir es el motivo por el que el compresor no es 100% eficiente. El diseño de la válvula y el periodo breve en el que el cilindro se tiene que llenar en el fondo de la carrera son otras razones por las que el compresor no es 100% eficiente.

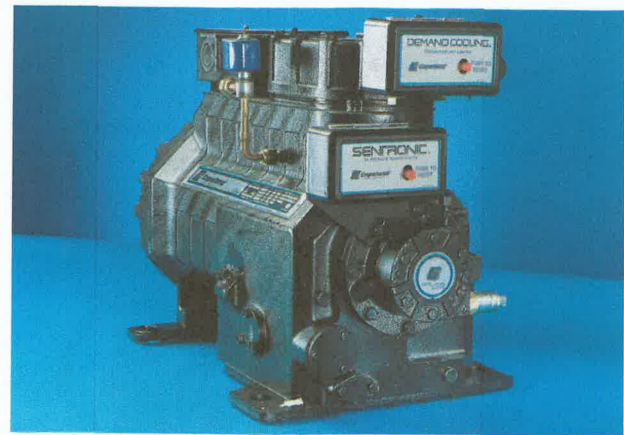
23.7 DISEÑO DE LA VÁLVULA DE DISCO

El diseño de la válvula de disco permite tener una tolerancia más estrecha dentro del cilindro del compresor en el punto muerto superior. Esta tolerancia más estrecha hace que el compresor tenga mayor eficiencia dado que hay menos volumen muerto. La válvula de disco también posee un diámetro mayor y permite que fluya más gas a través del orificio en un periodo muy corto. La **figura 23-46** muestra un compresor de disco, una válvula de diseño convencional, un diseño de una válvula de disco y una vista en corte de un compresor de disco. Los compresores de disco son compresores de refrigeración que se utilizan en supermercados, en cámaras frigoríficas, en congeladores y en aplicaciones industriales. Su potencia varía de 5 a 60 hp.

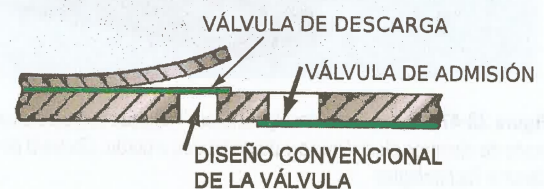
Los compresores de disco se pueden obtener con modulación de su capacidad, la que varía de 10% a 100%. Esto hace que se pueda igualar la capacidad del compresor con la carga deseada para el equipo de refrigeración. La modulación de la capacidad reduce la presión de aspiración y la variación de la temperatura del espacio refrigerado y también disminuye la frecuencia de los ciclos del compresor. La frecuencia reducida de los ciclos del compresor aumenta su confiabilidad. La modulación se logra mediante una tecnología de bloqueo de la aspiración, que se efectúa al suministrar un voltaje variable a un solenoide para sus intervalos abiertos y cerrados.

23.8 NUEVA TECNOLOGÍA EN COMPRESORES

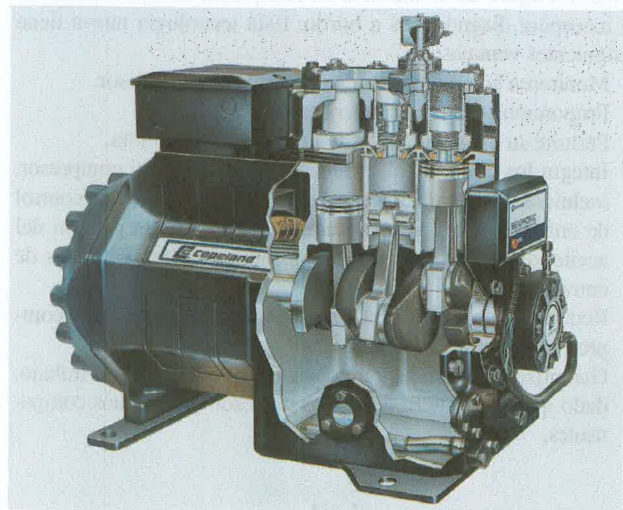
La tecnología del compresor de disco también ofrece diagnósticos a bordo. Esta tecnología tiene la capacidad de monitoreo de inteligencia en tiempo real, que le permite al técnico de mantenimiento saber el estado de lo que sucede dentro del compresor antes de que se desarrollen problemas serios. En la actualidad se pueden centra-



(A)



(B)



(C)

Figura 23-46 (A) Compresor de disco. (B) Diseño de una válvula de disco. (C) Vista en corte de un compresor de disco. *Cortesía de Copeland Corporation*



Figura 23-47 Compresor Intelligent Store™ Discus con un sistema integrado de circuitos electrónicos y diagnósticos a bordo. *Cortesía de Emerson Climate Technologies*

lizar las operaciones de monitoreo del compresor. Esta tecnología permite que el técnico de mantenimiento diagnostique de manera sistemática los problemas del compresor antes de que llegue al sitio de trabajo donde se encuentra el compresor. También mejora la precisión del diagnóstico y la rapidez del servicio. La tecnología de monitoreo centralizado puede recolectar datos, transmitir información de funcionamiento del compresor y presentar visualmente el estado del compresor y los códigos de alarma en la caja de control frontal. También puede registrar y guardar un historial de la información del funcionamiento del compresor y de alarmas pasadas. Esta tecnología permite que el técnico de mantenimiento sea enviado de manera automática si se presenta un problema de alarma. La **figura 23-47** muestra un compresor de disco moderno que incorpora diagnósticos a bordo. Esta tecnología nueva tiene las siguientes ventajas:

- Monitorea la temperatura de descarga del compresor.
- Proporciona protección al contactor.
- Permite su diagnóstico desde una ubicación remota.
- Integra los circuitos electrónicos del sistema del compresor, incluidos los reguladores de alta y baja presión, el control de enfriamiento y temperatura, monitoreo de la presión del aceite, dispositivos de protección del motor y las tarjetas de entrada y salida.
- Reduce el número de uniones con soldadura suave en el compresor que pudieran tener fugas.
- Garantiza una instalación consistente en el lugar de trabajo, dado que se requiere de menos cableado para menos componentes.

El compresor en espiral

El proceso de comprimir gas al hacer girar una espiral contra otra alrededor de un eje común no es nuevo. La tecnología de los compresores en espiral ha estado vigente durante 100 años, pero no estuvo disponible comercialmente y no fue asequible hasta mediados

de la década de 1980. En la actualidad se está refinando más y está disponible en muchas más aplicaciones. Una dificultad importante para hacer del compresor en espiral un producto viable ha sido su falta de capacidad para lograr un equilibrio entre la necesidad de su manufactura de precisión a gran volumen y la necesidad de tener un desempeño y una eficiencia alta consistente, bajos niveles sonoros y gran confiabilidad. De hecho, la capacidad del compresor en espiral para alcanzar niveles mayores de las clasificaciones de la Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER) es la que ha ayudado a la industria a abrirse paso por las regulaciones obligatorias del gobierno. La **figura 23-48** muestra un compresor en espiral de quinta generación con sus pocas partes móviles. De hecho, cada sistema central de enfriamiento dividido fabricado en Estados Unidos en la actualidad debe tener una SEER de al menos 13. Este requisito de energía fue obligatorio por una ley federal desde el 23 de enero de 2006. Además, con la eliminación del refrigerante R-22 justo a la vuelta de la esquina, los fabricantes de equipo HVACR están investigando y desarrollando métodos para aplicar a su equipo a fin de cumplir con estos requisitos de energía nuevos.

La SEER se calcula con base en la cantidad total de enfriamiento (en Btu) que suministrará el sistema durante toda la temporada, dividida entre el número total de watts-hora que consumirá. Las clasificaciones SEER mayores reflejan un sistema de enfriamiento más eficiente. Este mandato federal tendrá impacto en 95% del mercado unitario en Estados Unidos, lo que significa aproximadamente 8 millones de unidades al momento de escribir este libro. Para cumplir con este requisito nuevo de eficiencia energética de 13 SEER, la mayoría de los fabricantes de acondicionadores de aire y bombas de calor están desarrollando diseños más eficientes del evaporador

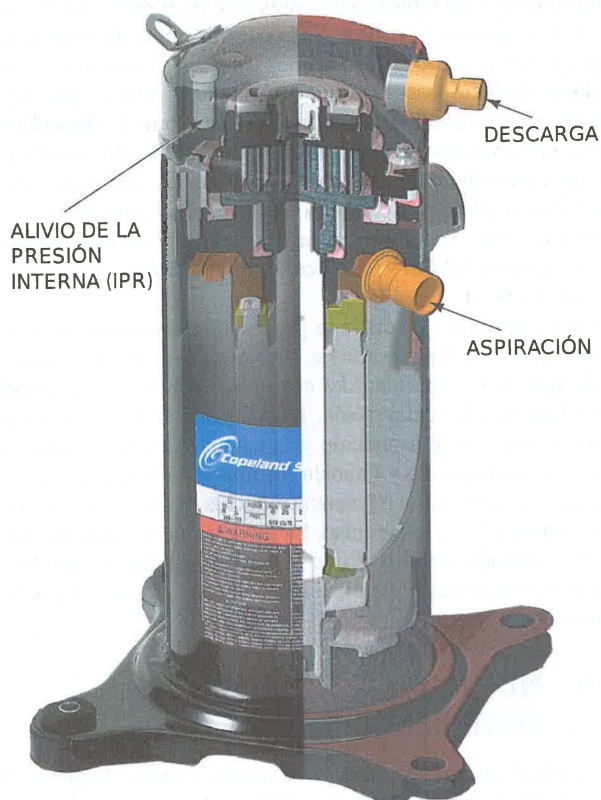


Figura 23-48 Compresor en espiral Copeland de quinta generación que muestra las muy pocas partes móviles que tiene. *Cortesía de Emerson Climate Technologies*

y del condensador, compresores más eficientes (como el compresor en espiral) y motores de ventiladores más eficientes, junto con mejores sistemas de control. Consulte la información más detallada de la unidad 21, “Evaporadores y el sistema de refrigeración” y de la unidad 22, “Condensadores,” sobre los diseños del evaporador y condensador.

Debido a que el compresor en espiral tiene muy pocas partes móviles, funciona mucho más silenciosamente que otros diseños y tecnologías de compresores. Menos ruido y mayores eficiencias se han convertido en dos puntos de venta claves para la instalación del compresor en espiral en unidades residenciales de aire acondicionado.

El siguiente uso del compresor en espiral fue en equipo de enfriamiento comercial. Un desarrollo importante de los compresores en espiral ha sido la incorporación de la tecnología de modulación, la cual permite mantener niveles de comodidad ideales en edificios como iglesias, donde los espacios pueden estar vacíos durante horas y de repente se pueden llenar hasta toda su capacidad. La tecnología de modulación funciona de varias maneras que se analizan más adelante en esta unidad. Algunos sistemas de tecnología de punta en la actualidad disponen de sistemas de comunicación a bordo que permiten que los componentes se comuniquen unos con otros, **figura 23-47**.

La siguiente aplicación importante del compresor en espiral ha sido en la refrigeración. La confiabilidad y durabilidad del compresor en espiral se han comprobado en aplicaciones de refrigeración. Se utiliza en cámaras frigoríficas, vitrinas y sistemas de refrigeración distribuida. Además de enfriadores y congeladores, el compresor de espiral se ha abierto paso hacia las máquinas de helados, de bebidas carbonatadas congeladas y otros tipos de máquinas. Los compresores en espiral también se utilizan en equipo criogénico, en máquinas de imágenes por resonancia magnética (MRI) e incluso en algunos equipos dentales.

Funcionamiento del compresor en espiral

El funcionamiento del compresor en espiral es relativamente simple. Consiste en dos involutas en forma de espiral que se acoplan una dentro de la otra, **figura 23-49**. A las dos partes acopladas con frecuencia se les refiere como *espirales involutas*. Una de las partes con forma de espiral permanece estacionaria, mientras que la otra gira alrededor del elemento estacionario. El movimiento orbital se crea desde los centros de las chumaceras y dado que el motor está descentrado, **figura 23-50**.

Se trata de un movimiento orbital real, no de uno rotacional. Este movimiento orbitante hace que se formen bolsas de gas con forma de luna creciente de manera continua, **figura 23-51**. El movimiento orbitante aspira gas hacia la bolsa exterior y la sella conforme continúa este movimiento. Este movimiento orbitante continuo hace que la bolsa de gas con forma de luna creciente disminuya cada vez más en volumen cuando se acerca al centro de la forma de espiral. La bolsa de gas está completamente comprimida y se descarga por un orificio del elemento espiral no orbitante (fijo), **figura 23-52**.

Varias bolsas de gas con forma de luna creciente se comprimen al mismo tiempo, lo que proporciona un ciclo de compresión uniforme y continuo. Así pues, el compresor en espiral conduce sus fases de entrada, compresión y descarga de manera simultánea.

El compresor en espiral siempre toma un volumen fijo de gas a la presión de aspiración y luego disminuye el mismo volumen



Figura 23-49 Dos involutas con forma de espiral acopladas una dentro de la otra. Cortesía de Emerson Climate Technologies

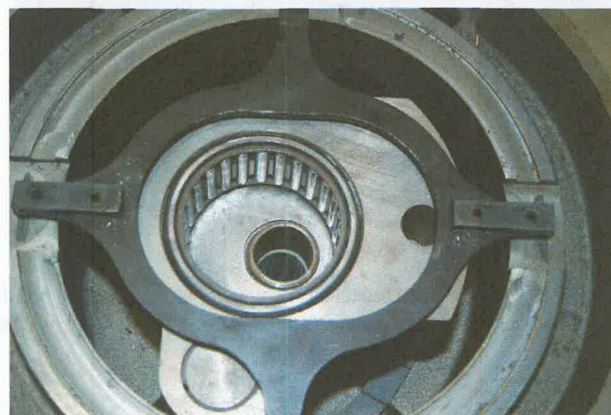


Figura 23-50 Tren de accionamiento de un compresor en espiral que muestra el cojinete central y el eje del motor descentrado. Cortesía de la Ferris State University. Fotografía de John Tomczyk

de gas, lo cual incrementa su presión. De hecho, durante la fase de descarga, el compresor en espiral comprime el gas de descarga a un volumen cero, eliminando cualquier arrastre de gas de descarga atrapado en el volumen muerto que es característico de los compresores de pistones. Debido a esto, al compresor en espiral a menudo se le refiere como compresor de “relación de compresión fija”.

A diferencia de los compresores de pistones, el compresor en espiral no tiene el efecto de volver a expandir el gas de descarga que queda atrapado en el volumen muerto. Esta es la razón por la cual a los compresores de pistones a menudo se les refiere como compresores de “relación de compresión variable”. La reexpansión del gas de descarga contribuye a bajas eficiencias volumétricas en los compresores de tipo pistón.

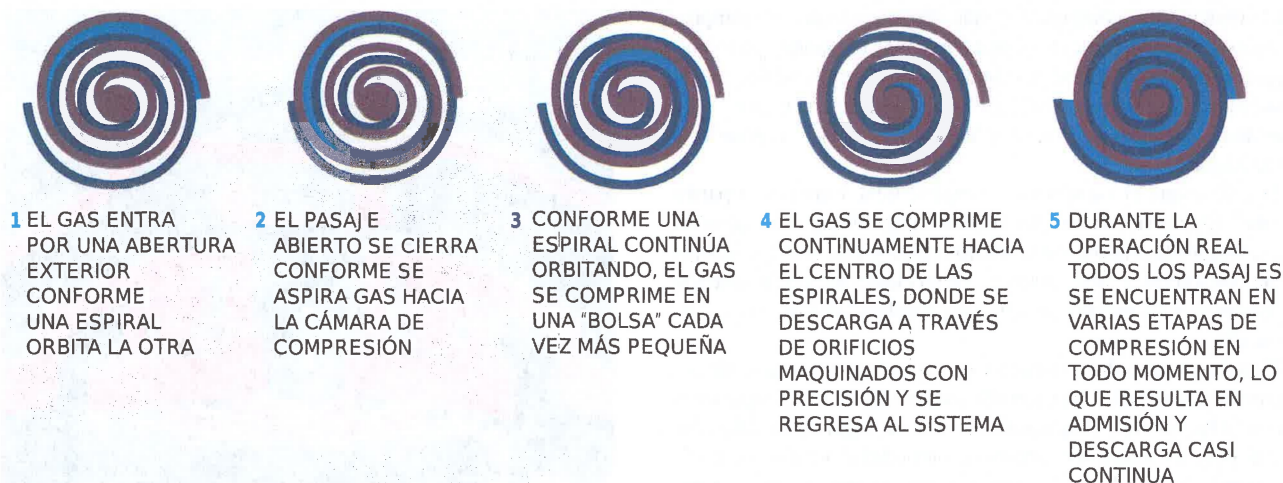
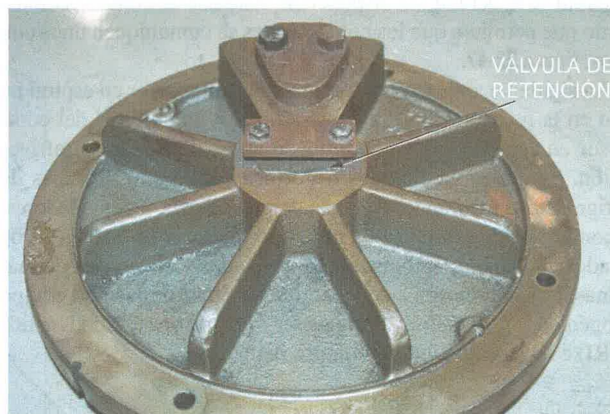


Figura 23-51 Bolsas de gas en forma de luna creciente que se forman en la espiral. *Cortesía de Emerson Climate Technologies*



(A)



(B)

Figura 23-52 (A) Elemento espiral no orbitante o "fijo" que muestra el orificio de descarga. (B) Parte superior del elemento espiral no orbitante o "fijo" que muestra la válvula de descarga. *Cortesía de la Ferris State University. Fotografía de John Tomczyk*

Ventajas del compresor en espiral

Hay varias ventajas de las formas en las que los dos elementos espirales interactúan y funcionan. Cuando el refrigerante líquido, aceite o partículas sólidas pequeñas entran entre las dos espirales, las partes espirales acopladas en realidad se pueden separar en una dirección lateral. A esto se le refiere como movimiento "radial". Este movimiento radial elimina situaciones de esfuerzo alto y sólo permite la cantidad correcta de fuerza de contacto entre las superficies de acoplamiento de las espirales.

Esta acción hace que el compresor maneje cierta cantidad de líquido. Cuando en el compresor entra una cantidad de líquido, las partes acopladas del compresor en espiral se separarán ligeramente y permitirán que el gas presurizado se ventile a la presión de aspiración. Esto permite que el líquido se expulse desde las superficies acopladas del compresor en espiral hacia la presión de aspiración y se vaporice. Durante este proceso se puede escuchar un ruido de borboteo. Incluso el compresor puede dejar de bombear brevemente y luego vuelve a arrancar cuando el líquido en exceso se purga de las espirales. Los compresores en espiral manejan líquido

mejor que otros compresores, pero aún pueden requerir accesorios adicionales como calentadores del cárter y acumuladores en el conducto de aspiración para tener mayor protección.

Conforme las espirales orbitan, las fuerzas centrífugas en los lados de las espirales de acoplamiento, junto con una cantidad de aceite de lubricación, forman un sello que evita la fuga de la bolsa de gas. A esto con frecuencia se le denomina "sellado por el flanco," que es uno de los contribuyentes importantes de la alta eficiencia del compresor en espiral. Usualmente una cantidad pequeña de aceite lubricante queda atrapada en los gases de aspiración y junto con las fuerzas centrífugas, proporcionan el sellado por el flanco.

El acoplamiento firme arriba y abajo o el sellado de las puntas de la espiral evitan cualquier fuga de la bolsa de gas y aumentan a su eficiencia. A este sellado hacia arriba y abajo a menudo se le refiere como sellado "axial". Algunos fabricantes de compresores en espiral utilizan sellos de borde para el sello axial, **figura 23-53**.

Los sellos de los bordes de las espirales sirven para el mismo fin que los anillos de pistones en un compresor alternativo de pistón. Estos sellos de los bordes se encuentran en la superficie de la



Figura 23-53 Elemento espiral que muestra un sello de borde para el sellado axial. Cortesía de la Ferris State University. Fotografía de John Tomczyk

espiral opuesta y proporcionan un sello de manera que los gases no pueden escapar entre las partes espirales de acoplamiento y los bordes de las espirales.

El compresor en espiral no requiere de válvulas de chapaleta, por lo que no tiene pérdidas por válvulas que contribuyan a ineficiencias como en el caso de los compresores de pistones. Como se mencionó antes, el compresor en espiral no causa la reexpansión de los gases de descarga, que se pueden atrapar en el volumen muerto y causar eficiencias volumétricas bajas. Esta es la razón por la que el compresor en espiral tiene alta capacidad en aplicaciones de relaciones de compresión altas.

Una distancia considerable separa los orificios o ubicaciones de aspiración y descarga del compresor en espiral. Esto reduce en gran medida la transferencia de calor entre los gases de aspiración y descarga. Debido a esto, los gases de aspiración experimentarán menos calor transferido a ellos y tendrán mayor densidad. Esto aumentará el flujo másico de refrigerante a través del compresor en espiral.

Debido al proceso de compresión continuo de la espiral y al hecho de que no tiene válvulas de chapaleta que emitan ruido, el compresor en espiral produce ruidos de pulsación del gas muy suaves y muy poca vibración cuando se compara con los compresores de pistones.

Los compresores en espiral tienen una válvula de retención en la cámara de descarga, que evita que el gas en el lado a alta presión fluya hacia el lado a baja presión cuando el compresor se para. Esta válvula se abre por diferencia de presión cuando el compresor se vuelve a poner en marcha.

Por último, la simplicidad del compresor en espiral para comprimir gas sólo requiere de las espirales estacionaria y orbitante. Los compresores de pistones requieren aproximadamente 15 piezas para realizar la misma tarea.

Las razones principales por las que los compresores en espiral se están popularizando más que los compresores de pistones en eficiencia energética, confiabilidad y operación más silenciosa se resumen a continuación:

- No hay pérdidas volumétricas mediante la reexpansión de gas como en los compresores de pistones.
- El compresor en espiral no requiere de válvulas de chapaleta, por lo que no tiene pérdidas por válvulas que contribuyan a ineficiencias como en el caso de los compresores de pistones.
- La separación de los gases de aspiración y descarga reduce las pérdidas por transferencia de calor.

- Las fuerzas centrífugas dentro de las espirales acopladas mantienen una compresión casi continua y un contacto constante a prueba de fugas.
- El movimiento radial elimina situaciones de esfuerzo alto y permite sólo la cantidad correcta de fuerza de contacto entre las superficies de las espirales de acoplamiento. Esta acción permite que el compresor maneje cierta cantidad de líquido.
- Los compresores en espiral mantienen un proceso de compresión continuo y no tienen válvulas de chapaleta que son ruidosas. Los ruidos que emite son suaves, producto de la pulsación del gas y muy poca vibración cuando se comparan con los compresores de pistones.

Control de la capacidad en dos etapas para compresores en espiral

Un sistema de enfriamiento que tenga la habilidad de controlar la modulación de la capacidad dentro del compresor y un motor de ventilador de velocidad variable para el aire acondicionado, suministrará un control de temperatura mucho más preciso y un nivel de humedad reducido dentro del espacio acondicionado que un sistema de enfriamiento estándar. El nivel de comodidad global para los ocupantes será mucho mayor debido a que el compresor funcionará durante más tiempo a carga parcial para reducir los niveles de humedad y mantener niveles de temperatura muy precisos.

La nueva tecnología en el diseño de compresores en espiral hace que el compresor disponga de una capacidad de dos etapas ya sea de 67% o bien de 100%. En la **figura 23-54** se muestra un compresor en espiral de dos etapas moderno. Un mecanismo interno de descarga en el compresor en espiral abre un orificio o ventila de derivación que se encuentra en el extremo de la primera bolsa de compresión. Este mecanismo interno de descarga es un solenoide de corriente directa controlado por la segunda etapa de un termostato de espacio acondicionado ya sea en modo de calefacción o bien de enfriamiento. El solenoide de corriente directa, que se controla por una señal externa de corriente alterna de 24 volts iniciada por el termostato del espacio acondicionado, mueve una corredera que tapa y destapa los orificios o ventilas de derivación, **figura 23-55(A y B)**. Luego el gas comprimido se ventila en el inicio de una bolsa de aspiración dentro de la espiral. Cuando se abre el orificio de derivación o ventilación desenergizando el solenoide de corriente directa, el desplazamiento efectivo de la espiral se reduce a 67%. Cuando el solenoide de corriente directa es energizado por la segunda etapa del termostato del espacio acondicionado, los orificios de derivación estarán bloqueados o cerrados y el compresor en espiral se encuentra a 100% de su capacidad. Una vez más, esta apertura o cierre de los orificios o ventilas de derivación se controla mediante un solenoide de corriente directa operado eléctricamente. La descarga y carga del compresor en espiral de dos etapas se efectúa mientras el motor del compresor está funcionando y sin hacer que el motor entre en ciclos activos e inactivos.

El motor del compresor es de alta eficiencia de una sola velocidad que continuará funcionando mientras la espiral alterna entre las dos etapas de capacidad. Ya sea que se encuentre en el modo de alta capacidad (100%) o en el de baja capacidad (67%), el compresor en espiral de dos etapas funciona como un compresor en espiral estándar.

Como se mencionó antes, el solenoide de corriente directa interno en el compresor que opera el mecanismo interno de descarga se energiza por la segunda etapa de un termostato de espacio acon-

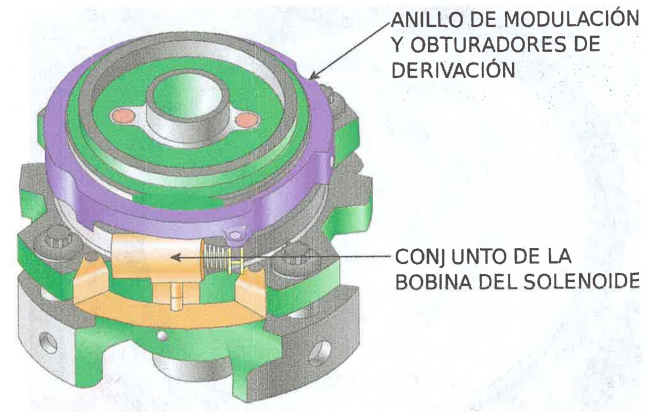


Figura 23-54 Compresor en espiral moderno de dos etapas con capacidad de modulación a 100% o bien a 67%. Cortesía de Emerson Climate Technologies

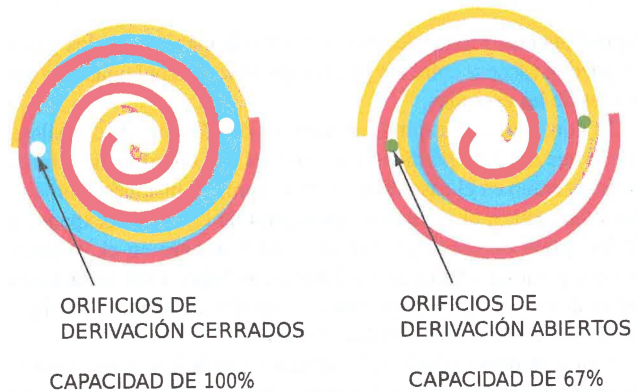
dicionado. Se espera que la mayoría de las horas de funcionamiento sea de baja capacidad (descargado a 67%). Es en este modo que el solenoide se desenergiza. Esto permite que el termostato de dos etapas controle la capacidad mediante la segunda etapa del termostato tanto en enfriamiento como en calefacción, **figura 23-55(C)**. Para suministrar corriente directa a la bobina descargada del solenoide se hace una conexión eléctrica externa adicional con un conjunto de un enchufe moldeado que contiene un rectificador de onda completa, **figura 23-54**. En realidad el rectificador se ubica en el enchufe de energía externo en el compresor.

Control digital de la capacidad para compresores en espiral

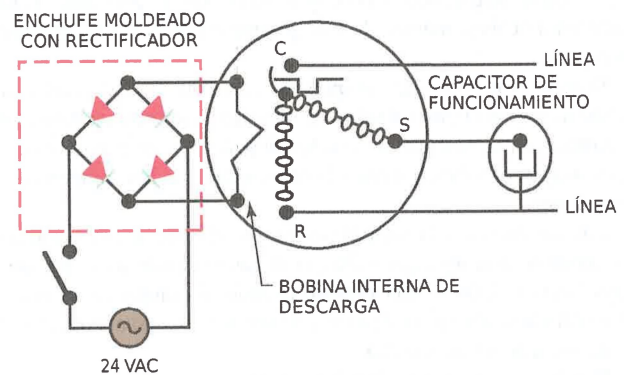
Como se mencionó en los párrafos anteriores, para tener un desempeño óptimo del sistema es deseable disponer de un control de la capacidad del compresor cuando las cargas varían en un rango amplio. El control de la capacidad del compresor mediante modulación puede reducir el consumo de energía, producir mejor control de la deshumidificación y reducir los ciclos del compresor junto con corrientes de arranque del compresor menores. Esto es de importancia especial si se trata de enfriar un área que tenga necesidades de enfriamiento diferentes durante el día. Con un compresor en espiral con capacidad digital haciendo el enfriamiento, se pueden lograr temperaturas constantes de ± 0.5 °F en cada habitación, a cualquier hora del día, ya sea que la habitación este mayormente vacía o llena a toda su capacidad.



(A)



(B)

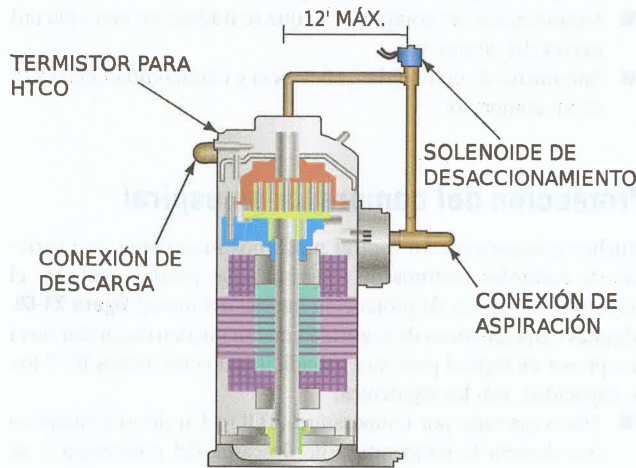


(C)

Figura 23-55 (A) Mecanismo interno de descarga que muestra el conjunto del anillo de modulación y la bobina del solenoide. (B) Orificios de derivación abiertos y cerrados. (C) Diagrama eléctrico del circuito interno de descarga del motor del compresor. (A-C) Cortesía de Emerson Climate Technologies

Si los elementos espirales de acoplamiento de un compresor en espiral están separados axialmente, no habrá gas refrigerante comprimido y sólo se logrará un uso de la energía de 10%. Si se puede efectuar la separación axial de las espirales de acoplamiento, variando la cantidad de tiempo en que estén separadas, se puede lograr el control de la capacidad a porcentajes entre 10% y 100%. La

separación de las espirales acopladas se logra derivando una cantidad controlada de gas de descarga hacia el lado de aspiración del compresor a través de una válvula solenoide, **figura 23-56**. Cuando la presión en la cámara de modulación se disminuye energizando la válvula solenoide, se dosificará el gas de descarga a través del orificio de purga.



(A)



(B)

Figura 23-56 (A) Compresor en espiral digital que ilustra una válvula solenoide de desaccionamiento para derivar gas de descarga hacia el lado de aspiración del compresor. (B) Compresor en espiral digital con tuberías internas y solenoide contenido. (A) y (B) Cortesía de Emerson Climate Technologies

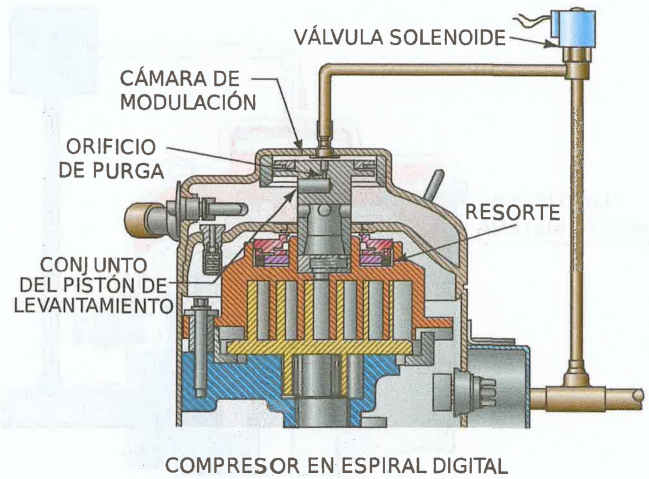


Figura 23-57 Vista en corte de la cabeza de un compresor en espiral digital que muestra la cámara de modulación, el orificio de purga, el conjunto del pistón de levantamiento, el resorte y la válvula solenoide. Cortesía de Emerson Climate Technologies

cio de purga y las espirales se separarán axialmente, **figura 23-57**. No habrá flujo de refrigerante cuando se separen las espirales acopladas. Esta separación axial hará que el compresor en espiral se descargue. En la **figura 23-58** se muestra el compresor en espiral en las posiciones cargada y descargada.

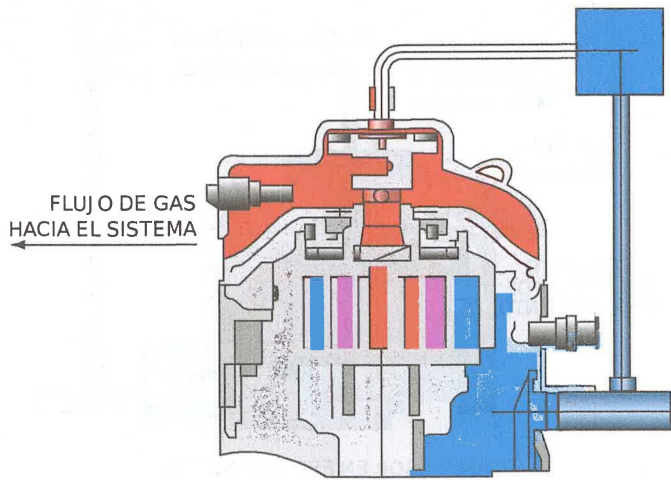
La capacidad de modulación se logra ya sea energizando o desenergizando la válvula solenoide. La válvula solenoide energizada descargará el compresor separando axialmente las espirales, haciendo cero la capacidad del compresor. Cuando la válvula solenoide se desenergiza, la capacidad del compresor es de 100%. Los tiempos del ciclo del solenoide de entre 10 y 30 segundos se deberán de emplear para minimizar los ciclos de la válvula solenoide y para hacer más sensible al sistema. Un "tiempo de ciclo" completo es una combinación del tiempo energizado de la válvula solenoide (descargada) más el tiempo desenergizada (cargada). Se sugiere que el técnico nunca desenergice el solenoide menos de 10% del tiempo del ciclo; esto asegurará que haya suficiente flujo de gas refrigerante para el enfriamiento del motor, dado que el compresor en espiral digital es un compresor enfriado por refrigerante.

Ejemplo: Si tiene un tiempo del ciclo de 30 segundos y el solenoide se desenergiza durante 20 segundos y luego se energiza durante 10 segundos, la capacidad resultante será:

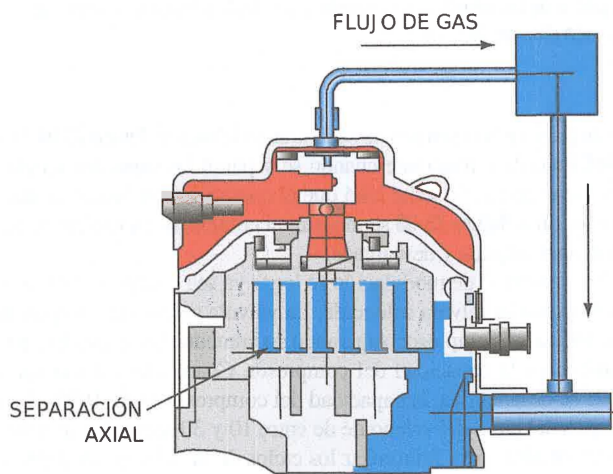
$$20 \div 30 = 66.6\%$$

Cualquier parámetro normal de control (incluida la temperatura del aire circundante, la humedad o la presión de aspiración) pueden descargar el compresor. Se requiere en termistor del conducto de descarga del compresor con una temperatura de corte de exclusión de 280 °F. La válvula solenoide debe tener 15 watts de energía al voltaje apropiado.

Un controlador del compresor que se utiliza con el compresor en espiral digital ofrece muchas características de protección, como control de fase, control de ciclos cortos, desequilibrio del amperaje y voltaje y monitoreo de alto amperaje, sólo por nombrar algunas. El controlador también puede suministrar un voltaje variable a la válvula solenoide de descarga para intervalos de apertura/cierre, **figura 23-59**.



(A)



(B)

Figura 23-58 (A) Compresor en espiral digital ilustrado en la posición "cerrada". El solenoide está desenergizado. (B) Compresor en espiral digital en la posición "descargada". (A) y (B) Cortesía de Emerson Climate Technologies



Figura 23-59 Controlador utilizado con un compresor en espiral digital. Cortesía de Emerson Climate Technologies

En resumen, el compresor en espiral digital ofrece lo siguiente:

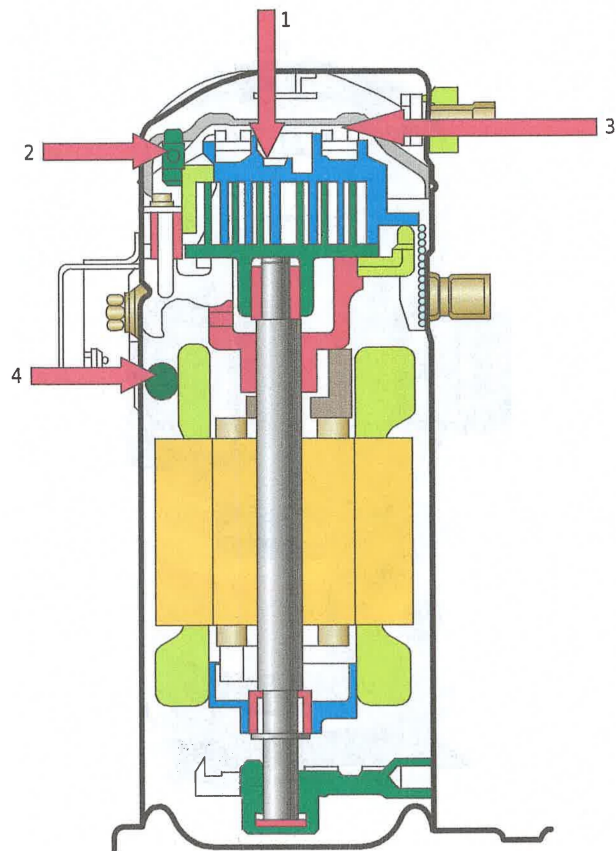
- Capacidad de mantener un nivel de temperatura y humedad precisos.
- Rendimientos eficientes a carga completa y carga parcial.
- Capacidad de ser 30% más eficiente que los métodos de modulación tradicionales del compresor.
- Menos ciclos del compresor lo que se traduce en una vida útil mayor del compresor.
- Suministro de comodidad, eficiencia y confiabilidad máximas en un compresor.

Protección del compresor en espiral

Muchos compresores en espiral modernos incorporan una variedad de controles internos de seguridad que pueden accionar el disyuntor de la línea de protección interna del motor, **figura 23-60**. Algunas características de seguridad que se pueden encontrar en el compresor en espiral para aire acondicionado con menos de 7 ton de capacidad, son las siguientes:

- Disco operado por temperatura (TOD): Un disco bimetálico que detecta la temperatura de descarga del compresor y se abre a 270 °F.

PROTECCIÓN DEL COMPRESOR EN ESPIRAL



- 1 = DISCO OPERADO POR TEMPERATURA
- 2 = ALIVIO DE LA PRESIÓN INTERNA
- 3 = OBTURADOR FLOTANTE
- 4 = PROTECCIÓN DEL MOTOR

Figura 23-60 Variedad de controles de seguridad internos para un compresor en espiral moderno. Cortesía de Emerson Climate Technologies

- Alivio de la presión interna (IPR): Se abre a un diferencial aproximado de 400 +/- 50 psi entre las presiones alta y baja para refrigerante R-22 y a un diferencial de 500 a 625 psi para refrigerante R-410A.
- Obturador flotante: Separa el lado a alta presión del lado a baja presión. Además, evita que el compresor entre en un vacío profundo y que así dañe la terminal eléctrica Fusite.
- Protección interna del motor: Detecta tanto temperaturas como amperajes internos.

Otro dispositivo de protección innovador del compresor en espiral se utiliza con compresores para asegurar mejor confiabilidad, precisión de diagnóstico, velocidad de servicio y reducción en el número de llamadas cuando el técnico diagnostica de manera sistemática el compresor. El controlador de diagnóstico se instala en la caja de conexiones eléctricas de una unidad de condensación comercial o de una unidad residencial, o bien dentro de una unidad de techo. Es completamente autónomo y no dispone de sensores externos, **figura 23-61**. De hecho, en realidad utiliza el compresor como un sensor dado que las líneas eléctricas del compresor pasan por el dispositivo que actúa como un transformador de corriente. Monitorea información vital del compresor en espiral que ayudará a determinar la causa de los problemas del sistema de enfriamiento. Estos problemas comunes incluyen problemas eléctricos, defectos del compresor y otras fallas generales del sistema. Con este dispositivo también se pueden detectar caídas de fase, cableado incorrecto y ciclos cortos. Un diodo emisor de luz (LED) destellante comunicará de inmediato el código de alerta y dirigirá al técnico de mantenimiento hacia el problema.



Códigos de diagnóstico de alerta de comodidad comercial

Código de alerta	Condición del sistema	Destellos de indicación de alerta	Bloquear
Código 2	Disparo de la presión del sistema	2 veces	Sí
Código 3	Ciclo corto	3 veces	Sí
Código 4	Rotor trabado	4 veces	Sí
Código 5	Circuito abierto	5 veces	No
Código 6	Fase faltante	6 veces	Sí
Código 7	Fase inversa	7 veces	Sí
Código 8	Contacto soldado	8 veces	No
Código 9	Bajo voltaje	9 veces	No

Figura 23-61 Controlador de diagnóstico sin sensores externos. *Cortesía de Emerson Climate Technologies*

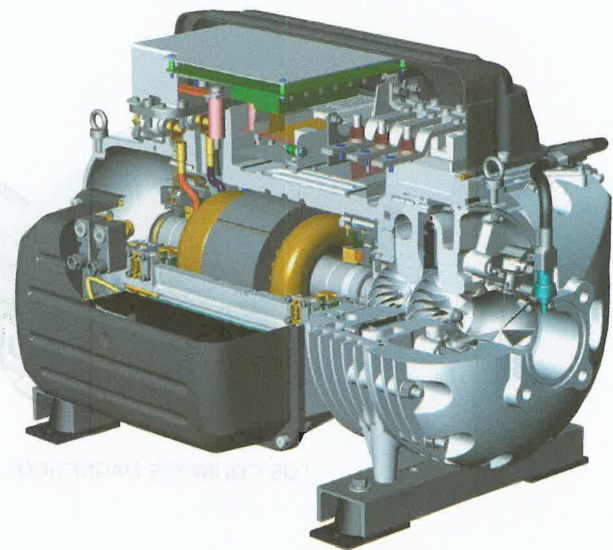


Figura 23-62 Compresor centrífugo sin aceite con mando de frecuencia variable (VFD), con controles electrónicos digitales a bordo y con cojinetes que levitan magnéticamente. *Cortesía de Danfoss Torbocor Compressors, Inc.*

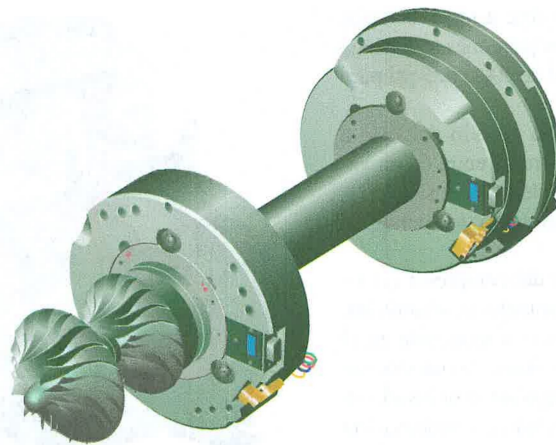
Compresor centrífugo

Para la industria de calefacción, ventilación, aire acondicionado y refrigeración (HVACR) se ha desarrollado un compresor centrífugo innovador sin aceite. Este compresor centrífugo tiene cojinetes magnéticos, velocidades variables y tecnología electrónica digital para lograr eficiencias muy altas, **figura 23-62**.

En este tipo de compresor el eje del rotor y los impulsores son las únicas partes móviles. El eje actúa como el rotor para el motor sincrónico de imán permanente. El eje del rotor dispone de cojinetes que levitan magnéticamente para tener una operación sin fricción, **figura 23-63(A y B)**. Los cojinetes magnéticos y los sensores de los cojinetes se componen tanto de imanes permanentes como de electroimanes. Controlan con precisión la rotación sin fricción del eje del compresor sobre un colchón magnético de levitación, **figura 23-63(B)**. Los sensores de los cojinetes, ubicados en cada cojinete magnético, retroalimentan información orbital en tiempo real hacia el sistema de control de los cojinetes, **figura 23-64**.

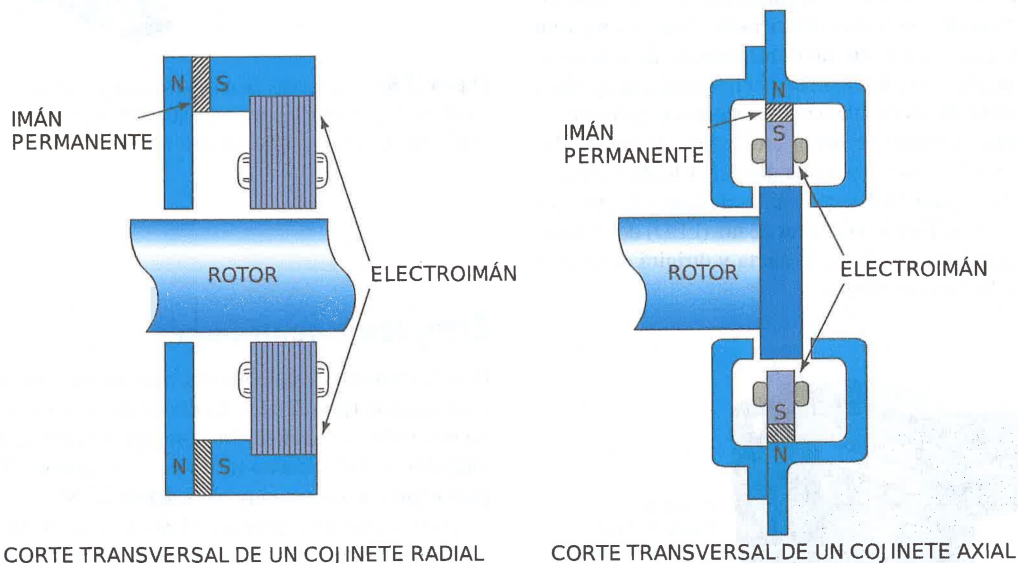
El motor sincrónico de imán permanente está energizado por una fuente de alimentación con modulación de ancho del impulso (PWM). El funcionamiento del mando de frecuencia variable (VFD) de alta velocidad permite tener mayor eficiencia, tamaño reducido y capacidad de arranque suave. El arranque suave reduce las corrientes altas de irrupción en el arranque.

El mando de frecuencia variable dispone de un inversor que convierte voltaje de corriente directa en voltaje de corriente alterna trifásico ajustable. Las señales del controlador del motor/cojinetes determinan la frecuencia de salida del inversor, el par de torsión y la fase del voltaje, que regulan en conjunto la velocidad del motor. El motor del compresor puede reducir la velocidad conforme se reducen las temperaturas de condensación o las cargas de calor. Esto hace que el compresor de velocidad variable mejore el rendimiento energético de 100% a 20% de la capacidad especificada.



LOS COJINETES MAGNÉTICOS HACEN LEVITAR EL EJE DEL ROTOR

(A)



(B)

Figura 23-63 (A) Eje del rotor, impulsores centrífugos y cojinetes que levitan magnéticamente. (B) Eje del rotor acolchado sobre cojinetes que levitan magnéticamente. (A) y (B) Cortesía de Danfoss Torbocor Compressors, Inc.

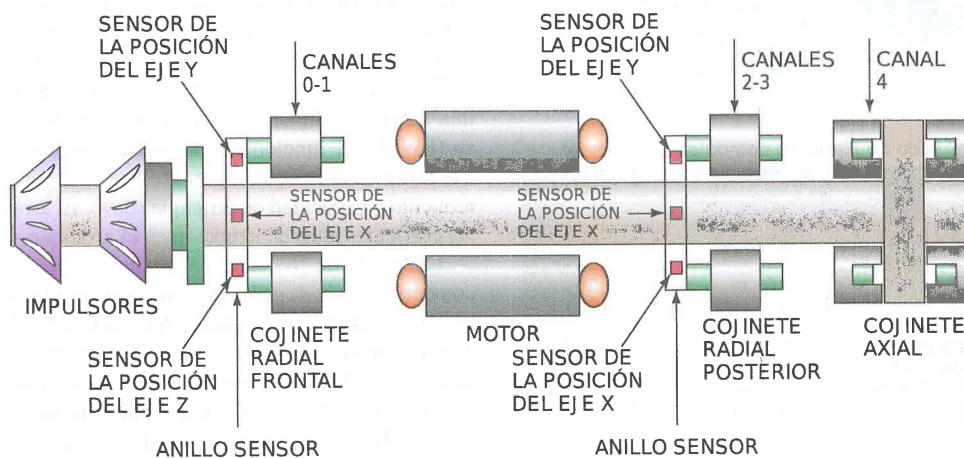


Figura 23-64 Sistema y sensores de control de los cojinetes. Cortesía de Danfoss Torbocor Compressors, Inc.

El compresor dispone de circuitos electrónicos de control digital que supervisan el funcionamiento del compresor. El paquete electrónico también proporciona el acceso al monitoreo habilitado en internet y control externo. Esto suministra información valiosa del desempeño y la confiabilidad. También ahorra en costos dado que reemplaza las funciones del panel de control y de energía que se observan en enfriadores y unidades de techo tradicionales.

23.9 LÍQUIDO EN EL CILINDRO DEL COMPRESOR

El compresor alternativo de pistón se conoce como un dispositivo de desplazamiento positivo, lo que significa que cuando el cilindro comienza la carrera ascendente se vacía o se atasca. **PRECAUCIÓN DE SEGURIDAD:** Si el cilindro está lleno de líquido refrigerante que no se comprime (ya que los líquidos no se pueden comprimir), algo se va a estropear. Se pueden romper el pistón, la válvula y la biela si una gran cantidad de líquido se introduce en el cilindro, figura 23-65.

El líquido en los compresores puede presentar un problema desde más de un punto de vista. Las grandes cantidades de líquido, a las que se suele denominar *escurrimiento de líquido*, suelen provocar daños inmediatos. Las pequeñas cantidades de retroalimentación de líquido pueden ser igualmente perjudiciales, pero sus efectos son más lentos. Si en el cilindro entran pequeñas cantidades de líquido, éste puede hacer que el aceite se diluya. Si el compresor no tiene protección mediante la lubricación de aceite, es posible que este hecho no sea aparente hasta que el compresor falle. Uno de los aspectos de esta falla es que la presión marginal de aceite haga que el compresor doble una biela. Al doblado de una biela se le llamaría falla mecánica. Esto puede dañar al motor y quemarlo. El técnico podría diagnosticar erróneamente que se trata de un problema eléctrico. Si el compresor está soldado herméticamente, es posible que el técnico tenga dificultades para diagnosticar el problema hasta que tenga lugar otra falla. Muchas

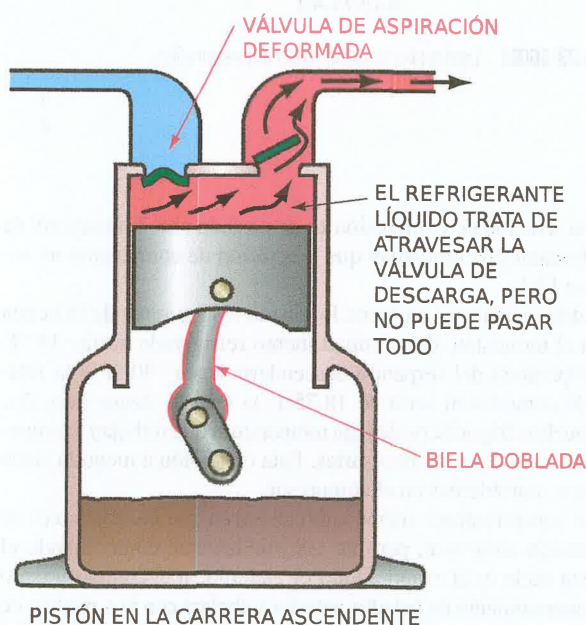


Figura 23-65 Cilindro que trata de comprimir líquido. Algo tiene que ceder.

fallas eléctricas se deben a fallas mecánicas. Las siguientes son algunas causas que pueden conducir a un *escurrimiento en* un compresor con refrigerante líquido, lo que a su vez puede conducir a fallas eléctricas debido a un agarrotamiento del compresor:

- Dosificador sobrealimentando.
- Baja circulación de aire sobre el evaporador.
- Baja carga de calor.
- Motor del ventilador del evaporador sin funcionar.
- Bobina del evaporador sucia o congelada.
- Calentadores de descongelación o el temporizador de descongelación sin funcionar.
- Filtros del evaporador sucios o bloqueados.

NOTA: Nunca dé por hecho cuál es la falla del compresor. Examine con cuidado el sistema durante el arranque y busque intensamente cualquier posible problema.

23.10 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA Y EFICIENCIA DEL COMPRESOR

La eficiencia global del compresor se puede mejorar manteniendo las condiciones de funcionamiento correctas. Esto comprende mantener la presión de aspiración tan alta como sea práctico y la presión de descarga tan baja como sea posible dentro de los parámetros de diseño.

Si el evaporador está sucio, la presión de aspiración descenderá y, cuando dicha presión desciende por debajo de lo normal, el vapor que bombea el compresor se hace menos denso y más fino, que es lo que se denomina vapor enrarecido. En este caso el rendimiento del compresor disminuye. Las presiones de aspiración bajas también son causa de gases a alta presión atrapados en el volumen muerto del compresor que se expandirán más durante la carrera descendente del pistón. Esto hace que el compresor tenga una eficiencia volumétrica menor. Estos gases se tienen que expandir a una presión apenas menor que la presión de aspiración antes de que la válvula de aspiración se abra. Dado que gran parte de la carrera descendente se utiliza para la reexpansión, significa que una parte menor de esta carrera se puede utilizar para la aspiración. La aspiración termina cuando el pistón llega al punto muerto inferior.

En el pasado no se solía prestar mucha atención a los evaporadores sucios. Pero en la actualidad los técnicos se están empezando a dar cuenta de que una presión baja en el evaporador da lugar a relaciones de compresión altas. Por ejemplo, si una cámara frigorífica de una tienda de helados se hubiera diseñado para trabajar a una temperatura ambiente de -5°F , la temperatura del serpentín sería de aproximadamente -20°F (utilizando una diferencia de temperatura entre el serpentín y el aire de retorno de 15°F). Si se está utilizando refrigerante R-134a, la presión de aspiración sería de 3.6 psig, es decir, ligeramente superior a la presión atmosférica. Suponga que el condensador trabaja con una diferencia de 25°F de temperatura entre el aire exterior y la temperatura de condensación. Si el aire exterior se encuentra a 95°F , la temperatura de condensación sería de 120°F ($95^{\circ}\text{F} + 25^{\circ}\text{F}$). Entonces la temperatura de condensación sería de 171.2 psig. El siguiente cálculo indicaría que la relación de compresión sería de 10:1, figura 23-66(A).

$$\text{Relación de compresión} = \frac{\text{Presión absoluta de descarga}}{\text{Presión absoluta de aspiración}}$$

$$\text{CR} = \frac{[171.2 \text{ psig} + 15 \text{ (atmósferas)}]}{[3.6 \text{ psig} + 15 \text{ (atmósferas)}]}$$

$$\text{CR} = 10.01:1$$

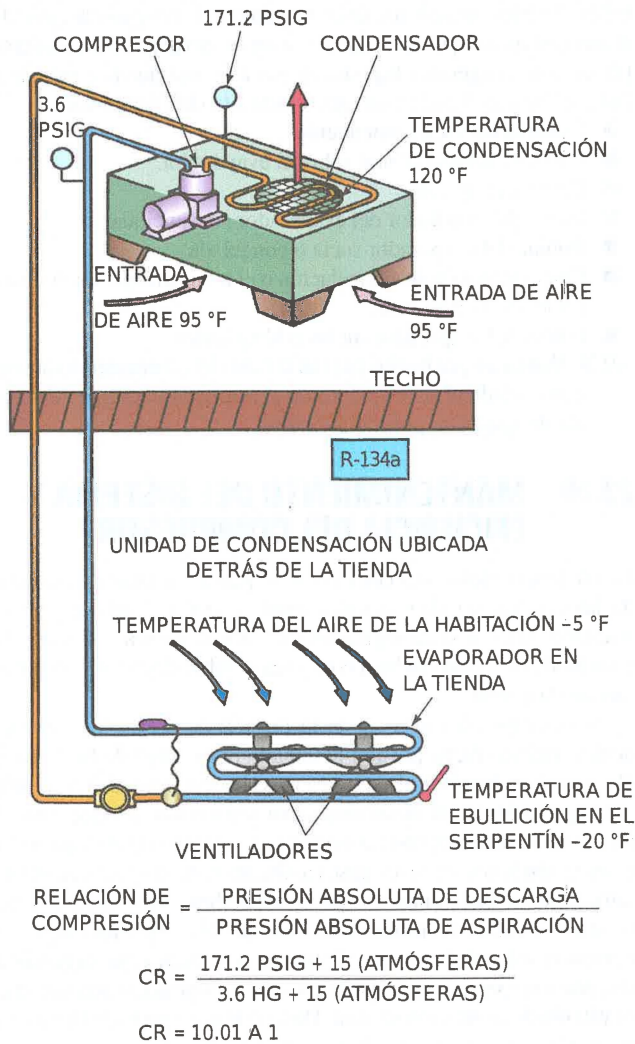


Figura 23-66(A) Sistema funcionando con una relación de compresión normal. Observe que el condensador es suficientemente grande para mantener baja la presión de carga.

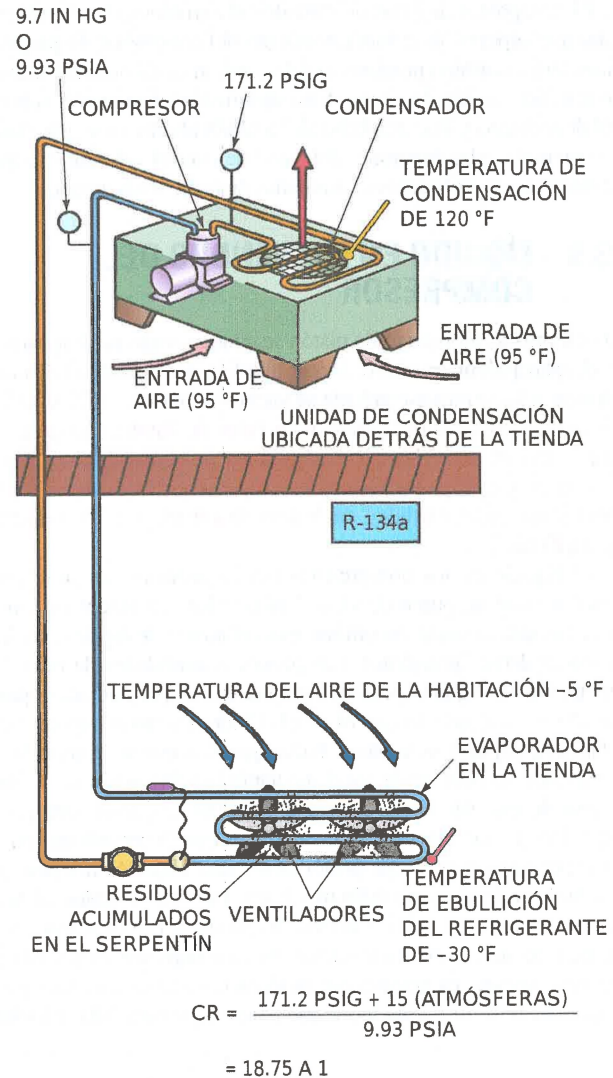


Figura 23-66(B) Este sistema tiene sucio el evaporador.

Si el serpentín fuera viejo y estuviera sucio, **figura 23-66(B)**, y la temperatura del serpentín se redujera a -30°F , suponiendo que la presión de carga permaneciera igual pero con una nueva temperatura de ebullición del refrigerante de -30°F , produciría una presión de aspiración de 9.7 in Hg de vacío, lo que estaría por debajo de la presión atmosférica. Se trata de una presión absoluta de 9.93 psia (se llegó a esta presión convirtiendo las pulgadas de mercurio a pulgadas de mercurio absolutas y luego esto a psia).

29.92 in Hg absolutas $- 9.7$ in Hg de vacío

$= 20.22$ in Hg absolutas

$20.22 \text{ in Hg absolutas} \div 2.036 \text{ in Hg por psi} = 9.93 \text{ psia}$

La nueva relación de compresión es 18.75:1

$CR = [171.2 + 15 \text{ (atmósferas)}] \div 9.93 \text{ psia}$

$CR = 18.75:1$

Esta relación de compresión es demasiado alta. La mayoría de los fabricantes recomiendan que la relación de compresión no sobrepase 12:1.

Podría ocurrir exactamente lo mismo si el gerente de la tienda bajara el termostato del compartimento refrigerado hasta -15°F . La temperatura del serpentín descendería hasta -30°F y la relación de compresión sería de 18.75:1, la cual es demasiado alta. Hay muchos frigoríficos de baja temperatura que trabajan a temperaturas inferiores a las necesarias. Esta condición a menudo suele dar lugar a problemas en el compresor.

Los condensadores sucios también hacen que las relaciones de compresión aumenten, pero no tan rápidamente como cuando lo que está sucio es el evaporador. Por ejemplo, si el compartimento de almacenamiento de helados anterior trabajara con una presión de 3.6 psig en el evaporador y el condensador se ensuciara hasta el punto de que la presión de descarga se elevara hasta 190 psig, la relación de compresión sería de 11.02:1, **figura 23-66(C)**. Esta no

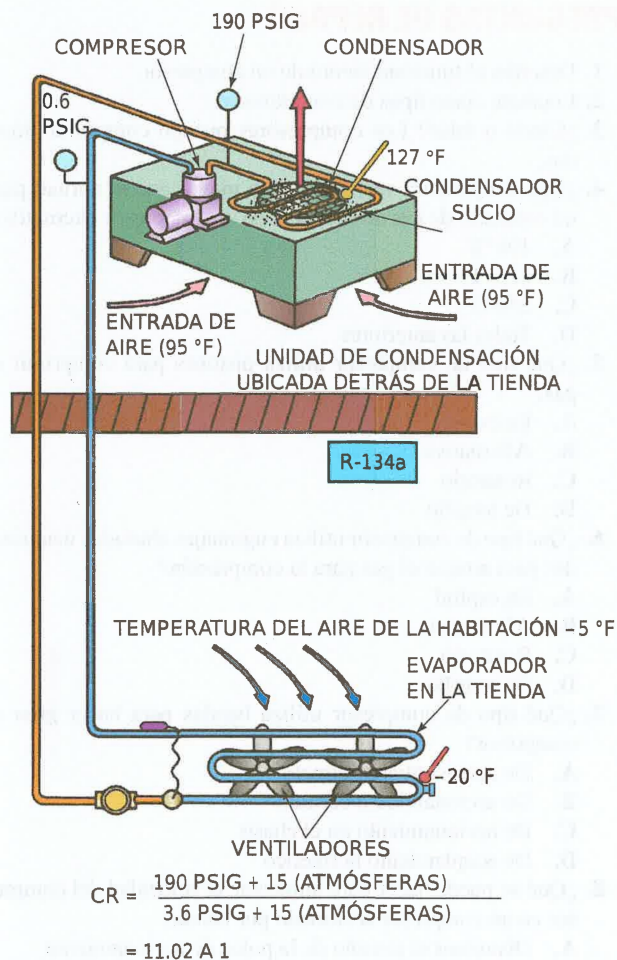


Figura 23-66(C) Sistema con una presión de carga muy elevada debido a que el condensador está sucio.

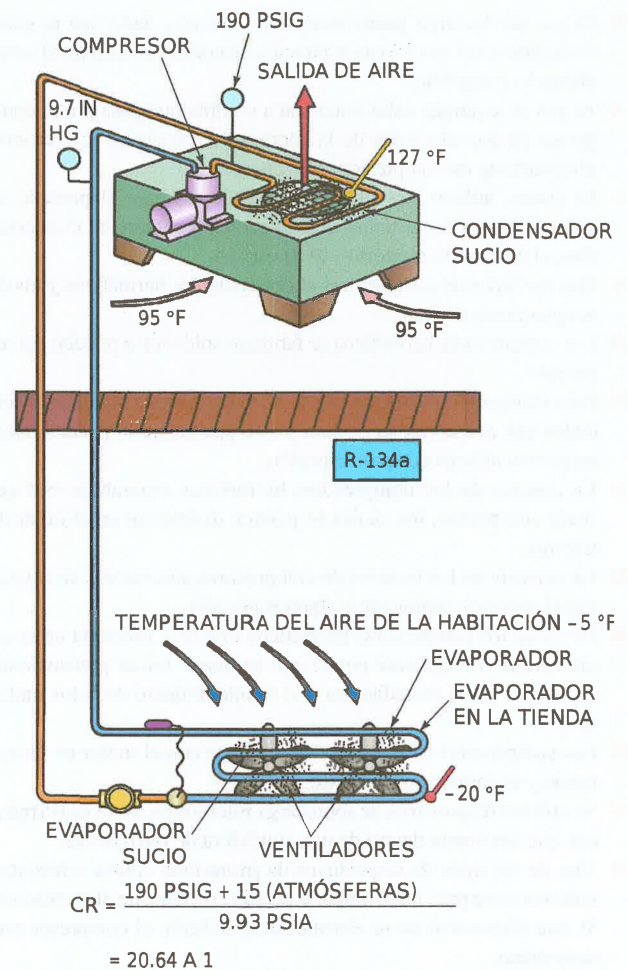


Figura 23-66(D) Este sistema tiene el condensador y el evaporador sucios.

sería buena, pero no es tan mala como la relación de 18.75:1 en el ejemplo anterior.

$$\text{CR} = \frac{[190 \text{ psig} + 15 \text{ (atmósferas)}]}{[3.6 \text{ psig} + 15 \text{ (atmósferas)}]}$$

$$\text{CR} = 11.02:1$$

Si ambas situaciones se dieran a la vez, como en la **figura 23-66(D)**, el compresor tendría una relación de compresión de 20.64:1 y lo más probable es que no durara mucho en dichas condiciones.

$$CR = [190 \text{ psig} + 15 \text{ (atmósferas)}] \div 9.93 \text{ psia}$$
$$CR = 20.64:1$$

El técnico tiene la responsabilidad de mantener el equipo en buenas condiciones a fin de obtener la mayor eficiencia posible o bien protegerlo con un programa de mantenimiento. Mantener limpios los serpentines es parte de este programa. El propietario de la tienda usualmente no sabe la importancia de esto.

Si el condensador está sucio, la presión de carga sube, lo que hace que la cantidad de refrigerante que hay en el volumen muerto (en la parte superior del cilindro del compresor) sea mayor de lo que permiten las condiciones de diseño. Esto hace que la eficiencia del compresor disminuya. Si el condensador está sucio (presión de carga alta) y el evaporador también está sucio (presión de aspiración baja), el compresor trabajará durante más tiempo para mantener el espacio refrigerado a la temperatura de diseño, por lo que la eficiencia global disminuirá. Es posible que un cliente que tenga muchos equipos no se dé cuenta de este descenso de la eficiencia si sólo afecta a algunos equipos.

Cuando disminuye la eficiencia de un compresor, el propietario paga más dinero por menos energía. Por este motivo, a la larga los buenos programas de mantenimiento resultan rentables.

RESUMEN

- El compresor es una bomba de vapor.
- El compresor sube el gas a baja presión del lado de aspiración del sistema hacia el lado de descarga del sistema.

- El gas de descarga puede estar muy caliente, dado que el calor contenido en el gas frío de aspiración se concentra cuando el compresor lo comprime.
- Al gas se le agrega calor adicional a medida que pasa por el compresor ya que una parte de la energía de trabajo no se convierte directamente en compresión, sino en calor.
- Se suelen utilizar tres tipos de compresores para el proceso de compresión en los sistemas de refrigeración comercial: el alternativo, el de tornillo giratorio y el de espiral.
- Hay dos tipos de compresores alternativos: los herméticos y los de acoplamiento abierto.
- Los compresores herméticos se fabrican soldados o pueden ser reparables.
- Para realizar el mantenimiento de los compresores herméticos soldados hay que cortar su carcasa y esto solamente lo pueden hacer en ciertos talleres de reconstrucción.
- La carcasa de los compresores herméticos reparables está cerrada con pernos, los cuales se pueden desmontar en el lugar de trabajo.
- La mayoría de los motores de compresores alternativos se enfrían por el vapor de aspiración y algunos por aire.
- En todos los compresores herméticos el motor funciona en la atmósfera de refrigerante por lo que se deben tomar precauciones especiales en la manufactura y el mantenimiento de estos motores.
- Los compresores herméticos tienen un eje con el motor en un extremo y el compresor en el otro.
- Se utilizan dispositivos de sobrecarga internos en motores herméticos que funcionan dentro de una atmósfera de refrigerante.
- Uno de los tipos de dispositivos de protección contra sobrecarga internos sirve para interrumpir la propia corriente de alimentación. Si este dispositivo no se cierra cuando debería, el compresor está defectuoso.
- El otro dispositivo de sobrecarga interno es de servicio piloto y sirve para interrumpir el voltaje de control. Se podría instalar otro dispositivo externo si le ocurriera algo a este mecanismo.
- Algunos compresores utilizan termistores en o cerca de los devanados del motor para detectar el calor del motor. Luego los termistores se conectan a un módulo electrónico de protección del compresor de estado sólido, que decidirá cuándo se debe poner el compresor en un ciclo inactivo debido al calor excesivo.
- Los compresores alternativos son bombas de desplazamiento positivo, lo que significa que cuando el cilindro está lleno de líquido o gas, debe vaciarse ya que de lo contrario se produciría una avería.
- En los compresores abiertos el motor está en la parte exterior de la coraza.
- El motor puede estar instalado junto al compresor, en cuyo caso los ejes del compresor y del motor estarían lado a lado o el motor puede estar montado en el extremo del eje del compresor con un acoplamiento flexible entre ellos.
- La alineación del eje con el motor es muy importante.
- Hay diversos tipos de bandas para las aplicaciones con accionamiento por bandas. Si requiere ayuda sobre este tema, consulte al proveedor del fabricante correspondiente.
- En el diseño de la válvula de disco se dispone de un volumen muerto, de mayor área a través de la cual puede fluir el gas y en consecuencia de mayor eficiencia.
- Las eficiencias continuas del compresor dependen en gran medida de un buen programa de mantenimiento.

PREGUNTAS DE REPASO

1. Describa el funcionamiento de un compresor.
2. Enumere cinco tipos de compresores.
3. ¿Cierto o falso? Los compresores pueden comprimir líquidos.
4. ¿Qué temperatura se consideraría mayor que la normal para un conducto de gas de descarga en un compresor alternativo?
 - A. 190 °F
 - B. 215 °F
 - C. 250 °F
 - D. Todas las anteriores
5. ¿Qué tipo de compresor utiliza pistones para comprimir el gas?
 - A. En espiral
 - B. Alternativo
 - C. Rotatorio
 - D. De tornillo
6. ¿Qué tipo de compresor utiliza engranajes ahusados maquinados para atrapar el gas para la compresión?
 - A. En espiral
 - B. Alternativo
 - C. Rotatorio
 - D. De tornillo
7. ¿Qué tipo de compresor utiliza bandas para hacer girar el compresor?
 - A. De accionamiento directo
 - B. De accionamiento cerrado
 - C. De accionamiento en el chasis
 - D. De acoplamiento hermético
8. ¿Qué se puede hacer para aumentar la velocidad del compresor en un compresor accionado por banda?
 - A. Disminuir el tamaño de la polea de accionamiento
 - B. Aumentar el tamaño de la polea de accionamiento
 - C. Aumentar el tamaño de la polea accionada
 - D. Tanto A como C
9. Describa el pistón, la biela, el cigüeñal, las válvulas, la placa de válvula, la cabeza, el obturador del eje, el dispositivo interno de protección contra una sobrecarga del motor, el dispositivo de servicio piloto de protección contra sobrecarga del motor y el acoplamiento de los compresores alternativos.
10. Enumere dos factores del diseño de los compresores alternativos que afectan el rendimiento del compresor.
 - A. _____
 - B. _____
11. ¿A qué velocidades, en rpm, normalmente funciona un compresor hermético?
 - A. 1750
 - B. 3450
 - C. 4500
 - D. Tanto A como B
12. ¿Qué efecto tiene una cantidad pequeña de refrigerante líquido en un compresor en un periodo prolongado?
13. ¿Qué es lo que lubrica al compresor de refrigeración?
 - A. Refrigerante
 - B. Humedad
 - C. Desecantes
 - D. Aceite
14. ¿Qué podría hacer el técnico para conseguir que el sistema de refrigeración tenga la máxima eficiencia?

15. Enumere la ventaja principal que un diseño de la placa de la válvula del compresor de disco tiene sobre un compresor convencional de pistón.
16. Describa de manera breve cómo comprime el gas refrigerante el compresor en espiral.
17. Enumere las cuatro ventajas principales que tiene un compresor en espiral sobre un compresor convencional de pistón.



Figura 23-10 Un compresor en espiral.

El compresor en espiral es un tipo de compresor de gas que utiliza un diseño de espiral para comprimir el gas refrigerante. Este tipo de compresor es muy eficiente y tiene una vida útil larga.

El compresor en espiral es un tipo de compresor de gas que utiliza un diseño de espiral para comprimir el gas refrigerante. Este tipo de compresor es muy eficiente y tiene una vida útil larga. El compresor en espiral es un tipo de compresor de gas que utiliza un diseño de espiral para comprimir el gas refrigerante. Este tipo de compresor es muy eficiente y tiene una vida útil larga.

El compresor en espiral es un tipo de compresor de gas que utiliza un diseño de espiral para comprimir el gas refrigerante. Este tipo de compresor es muy eficiente y tiene una vida útil larga.

VALVULA DE EXPANSION

La válvula de expansión es un dispositivo que controla el flujo de gas refrigerante entre el compresor y el evaporador. Hay cuatro tipos principales de válvulas de expansión: térmicas, termostáticas, de presión diferencial y de tipo piloto.

18. ¿Cuáles son las dos razones principales por las que un compresor debe de tener control de modulación de la capacidad?
19. Describa de manera breve cómo funciona el control digital de la capacidad para un compresor en espiral.
20. Enumere las tres ventajas principales de tener capacidad digital en un compresor en espiral.
21. Explique cómo un compresor puede funcionar sin aceite.

El control de modulación de la capacidad es un sistema que permite al compresor ajustar su capacidad de compresión de acuerdo con las necesidades del sistema. Esto se logra mediante el uso de un controlador digital que monitorea las condiciones del sistema y ajusta la capacidad del compresor en consecuencia.

El control digital de la capacidad es un sistema que permite al compresor ajustar su capacidad de compresión de acuerdo con las necesidades del sistema. Esto se logra mediante el uso de un controlador digital que monitorea las condiciones del sistema y ajusta la capacidad del compresor en consecuencia.

DISPOSITIVOS DE EXPANSION

Los dispositivos de expansión son componentes clave en un sistema de refrigeración. Su función principal es reducir la presión del gas refrigerante, lo que permite que se evapore a una temperatura más baja. Hay cuatro tipos principales de dispositivos de expansión: térmicos, termostáticos, de presión diferencial y de tipo piloto.

El dispositivo de expansión es un componente clave en un sistema de refrigeración. Su función principal es reducir la presión del gas refrigerante, lo que permite que se evapore a una temperatura más baja. Hay cuatro tipos principales de dispositivos de expansión: térmicos, termostáticos, de presión diferencial y de tipo piloto.

El dispositivo de expansión es un componente clave en un sistema de refrigeración. Su función principal es reducir la presión del gas refrigerante, lo que permite que se evapore a una temperatura más baja.