



LA TECNOLOGÍA DEL COMPRESOR SCROLL Y SUS APLICACIONES EN AIRE ACONDICIONADO, BOMBAS TÉRMICAS Y REFRIGERACIÓN

Resumen: El concepto del compresor scroll ha estado disponible por más de cien años. Aún así, el desarrollo de la tecnología del compresor scroll moderno comenzó en la década de los 70. La introducción de máquinas con control numérico proporcionó las bases para la mecanización con la adecuada precisión de los elementos necesarios para que un compresor scroll pudiera operar silenciosa y eficientemente. La tecnología del compresor scroll es ampliamente utilizada en aplicaciones de aire acondicionado y refrigeración. Las aplicaciones scroll cubren un amplio rango de operación usando diversos refrigerantes. La línea más común de compresores scroll va de 1 a 25 toneladas. Generalmente los compresores scroll son de diseño hermético, pero también se producen algunas variantes semiherméticas. La tecnología scroll establece el fundamento tecnológico para compresores silenciosos, confiables y eficientes.

Palabras claves: Ventajas, Geometría, Conformidad, Inyección y Modulación.

1. INTRODUCCIÓN

Desde su introducción al mercado unitario de aire acondicionado a finales de la década de los 80, los compresores scroll han tenido un gran éxito en una amplia variedad de aplicaciones tanto residenciales como comerciales. En aire acondicionado, los compresores más pequeños (de 1 a 6 toneladas) se utilizan en sistemas residenciales, tales como los sistemas de bombas térmicas empleados para calentar o enfriar hogares y negocios. Los compresores más grandes (de 7 a 25 toneladas), se usan en aplicaciones comerciales como enfriadores de líquido (chillers) y en una variedad de sistemas de unidades condensadoras. Los compresores scroll de refrigeración se emplean en una amplia gama de aplicaciones que incluyen: sistemas paralelos para supermercados, tanques enfriadores de leche, transporte automotor de carga refrigerada y contenedores marinos. La tecnología scroll también ha sido exitosamente aplicada en criogenia y gas natural.

Una de las razones del amplio éxito de la tecnología scroll es que ésta ha sido diseñada y fabricada a bajo costo, alta eficiencia, y alto volumen. Además, permite desarrollar y producir compresores de más alta eficiencia, teniendo en cuenta el recalentamiento global y los requerimientos de conservación de energía, aspectos cada vez más importantes a considerar por los fabricantes de compresores de hoy. La tecnología scroll ofrece todos los medios para responder satisfactoriamente a estos retos técnicos; proporciona al usuario final un beneficio real en lo que se refiere a eficiencia, confiabilidad, tamaño, peso y bajo nivel de ruido, más allá que otras tecnologías existentes. El uso de mecanismos de conformidad en los compresores scroll ha mejorado su capacidad para manejar refrigerantes líquidos e impurezas presentes en el sistema. Estas características, junto a las mejoras en los dispositivos de protección, desarrollados específicamente para resolver problemas de aplicación en el campo, han permitido el uso del scroll en forma exitosa a nivel mundial tanto en aire acondicionado como en refrigeración.

2. VENTAJAS DEL SCROLL

Los compresores scroll, como otras tecnologías rotativas, requieren pocas partes móviles en comparación con los compresores a pistón. Debido a la baja velocidad de deslizamiento en todos los puntos de contacto, el mecanizado de precisión y las ajustadas tolerancias de los elementos del scroll, es posible usar el contacto físico entre ambas espirales como un sello, lo que elimina la necesidad de usar un gran volumen de aceite como sellador. El contacto físico entre las espirales también tiene la ventaja de eliminar los espaciamentos y reducir las fugas, para que sea posible crear compresores de alto rendimiento con máquinas de menor desplazamiento. Esto está en directo contraste con



los compresores a tornillo, donde las superiores proporciones de fuga se compensan usando desplazamientos más grandes.

Los compresores scroll son de por sí máquinas silenciosas y de baja vibración. El ruido generado por un compresor scroll es relativamente independiente de la pulsación de gas y está generalmente asociado sólo con los dispositivos mecánicos reales del scroll. Las irregularidades en el mecanismo de los elementos del scroll pueden incrementar los efectos del contacto mecánico durante el funcionamiento. En el caso de compresores scroll para aire acondicionado, no existe válvula de descarga interior, lo cual ayuda a reducir el ruido al eliminar los cambios abruptos de flujo. En los compresores scroll de refrigeración, se usa una válvula para mejorar la eficiencia a bajas condiciones de evaporación, diseñada especialmente para minimizar su impacto sobre ruido del compresor. La vibración del compresor se minimiza con el uso de contrapesos balanceados dinámicamente y al utilizar un proceso de compresión continua, también se minimiza la pulsación de torque asociada.

Debido a que dos elementos de precisión del scroll definen completamente el proceso de compresión, no es necesario utilizar una cubierta para ubicar el ensamblaje del scroll en forma precisa dentro del compresor. Aprovechando las ventajas de esta capacidad intrínseca del diseño, las espirales pueden alinearse por sí mismas libremente durante la operación del compresor. A esta capacidad se le denomina conformidad y es de gran importancia para el manejo de refrigerante en estado líquido durante condiciones de inundación y también de las pequeñas cantidades de impurezas que pueden estar presentes en el sistema. Esencialmente, la conformidad permite que las espirales se separen ligeramente ante los excesos de presión asociados con la presencia de un alto volumen de líquido.

3. GEOMETRÍA DE LA ESPIRAL

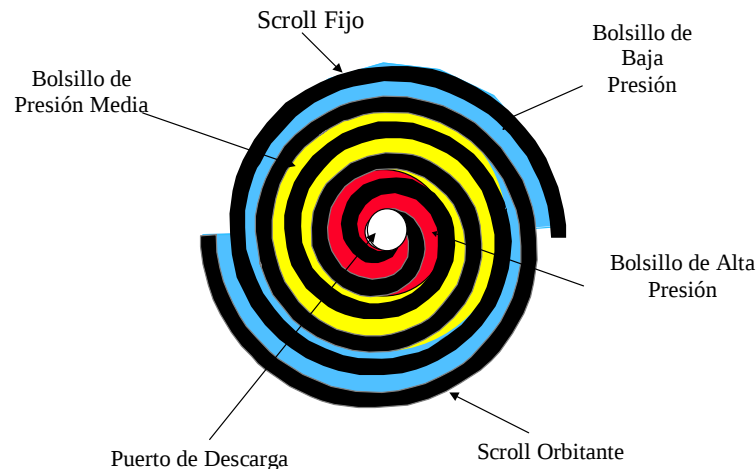
Las espirales pueden construirse en distintas formas y tamaños. Sin embargo, una geometría de círculos envolventes es ampliamente satisfactoria para el diseño y fabricación de los compresores scroll. Esta geometría ha sido exitosamente aplicada en perfiles de engranajes de dientes y provee el desplazamiento requerido para el rodaje y el deslizamiento. Un perfil específico se define por el uso de un movimiento giratorio de un miembro flexible alrededor de un círculo base para crear un perfil arqueado. Este perfil establece las superficies funcionales que las espirales necesitan. Al aumentar o disminuir el diámetro del círculo base se pueden crear perfiles diferentes y únicos. Si los puntos de partida se escalonan a lo largo del círculo base, se puede generar un espesor de pared. Después de establecer el círculo base y el espesor de pared, todo lo que se requiere es agregar una altura para crear una espiral funcional.

Un compresor scroll consta de dos elementos en forma de espiral. Uno estacionario y otro que gira en un movimiento orbitante alrededor del centro del eje motor. Las dos espirales son idénticas y están ensambladas con una diferencia de fase de 180° . El movimiento orbital de la espiral giratoria es circular, tiene la misma amplitud que el motor y se mantiene a 180° de diferencia de fase con el uso de un dispositivo antirotación, el cual se conoce generalmente como un típico acople Oldham. La magnitud del movimiento orbital depende del radio del círculo base y el espesor de la pared. Durante el funcionamiento, las dos espirales hacen contacto en varios puntos formando una serie independiente de bolsillos en cada posición del movimiento orbital. Estos bolsillos disminuyen progresivamente de tamaño hacia el centro. El proceso de compresión de un compresor scroll se describe como un proceso de desplazamiento positivo. Este tipo de proceso aumenta la presión del vapor refrigerante, reduciendo el volumen interno de la cámara de compresión mediante un esfuerzo mecánico. Ambos bolsillos sellados, interno y externo, se definen exclusivamente por la geometría del scroll y el movimiento orbital. Por su diseño, el dispositivo de involución en espiral del scroll tiene ya la capacidad incorporada de reducir el volumen y generar así una relación de compresión propia.

Durante cada revolución consecutiva del motor, la masa de vapor inicial se mueve hacia el centro por el movimiento giratorio y su volumen se reduce significativamente a medida que se mueve de bolsillo

a bolsillo. El proceso de compresión se completa finalmente cuando el refrigerante se comprime a su máxima presión de descarga y es liberado a través de un puerto de descarga. Éste es un puerto común localizado en el bolsillo más profundo formado por los elementos combinados. Como toma varias revoluciones completar este proceso, en realidad existe un proceso continuo de compresión durante la operación. Vea la Figura 1.

Figura 1. Cómo Trabaja el Scroll



4. CONFORMIDAD AXIAL Y RADIAL DEL SCROLL

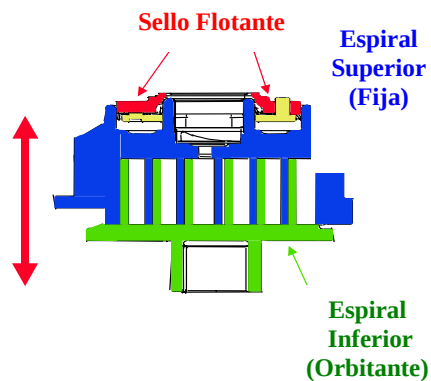
La conformidad se define como la capacidad que permite que las dos espirales del scroll se separen ligeramente en la dirección axial o radial debido a la acción de elevadas presiones o de la presencia de impurezas. La conformidad axial se define en términos generales como la separación de la punta de una espiral, de la base de la espiral opuesta. Hay varios métodos para lograr este tipo de conformidad.

Un método es usar sellos para la punta de la espiral. En este caso se le hace una ranura pequeña a lo largo de la punta de cada elemento espiral y luego se inserta un sello flexible en esta ranura. Este sello generalmente está hecho de un material de anillo de pistón y esencialmente realiza la misma función de un anillo de pistón, esto es, cuando las espirales se separan, este sello mantiene el contacto con la base contraria. Con este diseño la fabricación se hace más compleja en los casos en que los perfiles de las espirales son muy anchas.

Otra aproximación es aplicar una carga, ya sea a la espiral fija o la orbitante, mediante presión de gas, para mantener sellada la punta y la base de contacto. Un método típico para lograr esto, es permitir un pequeño grado de movimiento axial al scroll fijo, entonces se instala un sello en una cavidad hecha en el scroll fijo; este sello tiene dos propósitos principales: uno es mantener sellados y separados el lado de alta presión (descarga) del lado de baja presión (succión), el otro objetivo es proporcionar la carga de gas requerida para mantener el contacto necesario entre la punta de la espiral y la base. Esto se logra mediante el uso de una cavidad intermedia que se forma bajo el sello después de que éste se inserta en el scroll fijo. Durante la operación, esta cavidad intermedia se presuriza mediante la alimentación de gas a través de un pequeño pasaje que conecta la cavidad y uno de los bolsillos de compresión formado en el scroll. Durante el arranque, el sello está en una posición relajada sin carga, lo que significa que incluso a presiones elevadas de succión el torque es bajo debido a la fuga a través de los bordes. Pero a medida que el compresor alcanza su condición de operación, la presión de la cavidad intermedia crece y carga el ensamblaje de las espirales. El

scroll orbitante en este arreglo es soportado por una superficie de propulsión rígida. Esto proporciona una ventaja al reducir la carga real sobre las puntas, necesaria para generar un sello, ya que el buje rígido acomoda el momento lateral del scroll orbitante creado por las cargas tangenciales de gas. Un método de carga de un gas orbitando tendría cargas mayores en los bordes con el propósito de contrarrestar el momento lateral, incrementando así la fricción y reduciendo la eficiencia del compresor. La conformidad axial también proporciona los beneficios de una presión constante de sellado durante la operación y de una carga automática al momento del arranque. Vea la Figura 2.

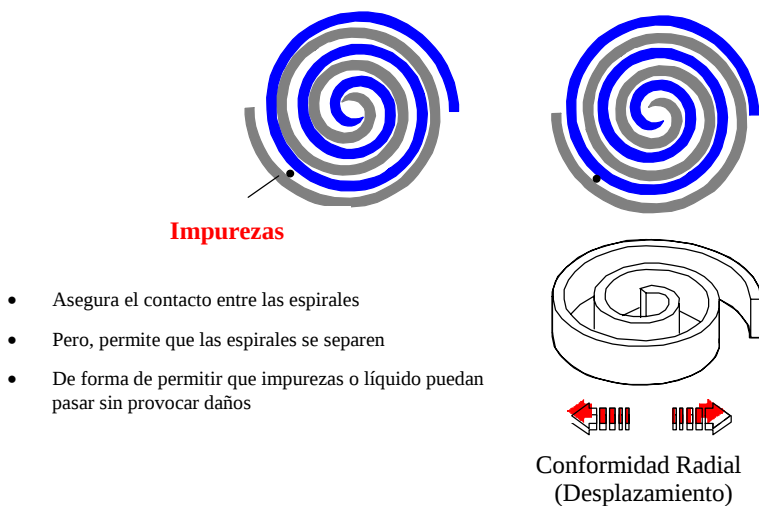
Figura 2. Conformidad Axial



- Mantiene la presión constante y uniforme sobre los bordes de las espirales
- El sello flotante es la clave:
 - Optimiza la carga sobre los bordes
 - Balancea la presión
 - Elimina las fugas
 - Tiene un diseño patentado

La conformidad radial es simplemente la habilidad que tienen los flancos de las espirales de separarse ligeramente en la dirección radial. Esto se logra permitiendo que la espiral móvil se desplace una distancia pequeña en la dirección radial y mediante el uso de un buje descargador en el extremo del eje del compresor. La fuerza centrífuga generada por la masa rotatoria del scroll orbitante crea el sellado de los extremos de ambas espirales. Las fuerzas de gas generadas por el proceso de compresión se oponen a esta carga y son proporcionales al diferencial de presión de operación. Durante la operación normal, la fuerza centrífuga es mayor que la fuerza de gas que mantiene el sello. Al permitir que la espiral se mueva hacia adentro o que "descargue", el conjunto del scroll tiene la capacidad de manipular pequeñas cantidades de impurezas o de líquido adicional. La conformidad radial es un método excelente para asegurar el correcto sellado y proporciona protección contra pequeñas impurezas y refrigerante líquido. Vea la Figura 3.

Figura 3. Conformidad Radial



5. INYECCIÓN DE LÍQUIDO Y DE VAPOR

La inyección de vapor es un método usado para mejorar el rendimiento de los compresores scroll en refrigeración. Incluso puede extender el rango de operación un compresor a más bajos niveles de temperaturas de evaporación. El esquema de inyección de vapor generalmente usado en un scroll en refrigeración consiste de los siguientes componentes básicos: un condensador, un evaporador, un compresor, un intercambiador de calor, un tubo capilar y una válvula solenoide de cierre. Vea la Figura 1. Una pequeña cantidad de refrigerante es removida después del condensador y luego es circulada a través de un lado de un intercambiador de calor. Este refrigerante se inyecta entonces en el compresor scroll como un vapor saturado. La cantidad de refrigerante inyectada se determina por la diferencia entre la presión del condensador y la presión del bolsillo del scroll, así como por el diámetro del tubo capilar. El refrigerante restante del condensador circula a través del otro lado del intercambiador de calor antes de ser expandido y entrar al evaporador. Al circular a través de un intercambiador de calor, el refrigerante que entra en el evaporador es subenfriado y por lo tanto se obtiene un incremento en el efecto frigorífico obtenido. La entalpía del líquido refrigerante subenfriado h_{sc} , en KJ/Kg, puede calcularse por la ecuación siguiente:

$$h_{sc} = h_{con} - C_{pr} (T_{con} - T_{sc}) \quad (1)$$

donde:

h_{con} = entalpía del refrigerante líquido saturado a la temperatura de condensación (KJ/Kg).

C_{pr} = calor específico del refrigerante líquido a presión constante (KJ/Kg ° C).

T_{con} = temperatura de saturación del refrigerante líquido a la presión de condensación (° C).

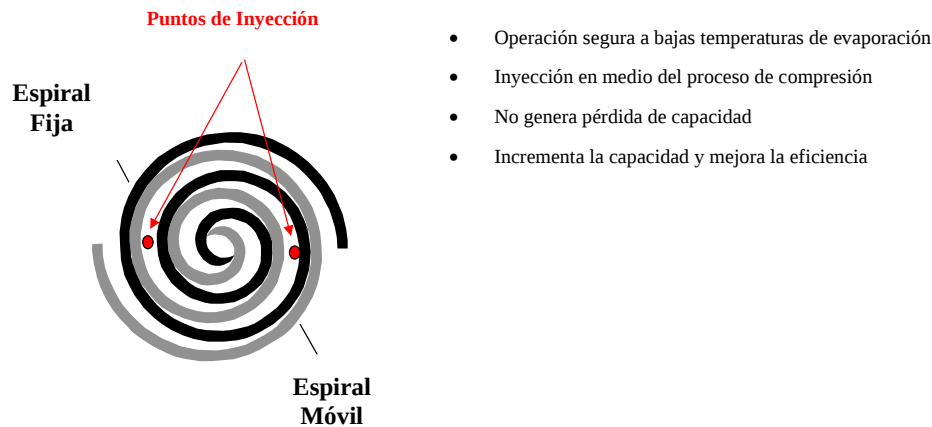
T_{sc} = temperatura del refrigerante líquido subenfriado (° C).

Esto produce un aumento en la capacidad de enfriamiento del sistema. También hay un ligero aumento en el consumo de potencia del compresor, debido al aumento del trabajo al comprimir el refrigerante inyectado adicionalmente. Sin embargo, el efecto neto logrado es un aumento tanto en la capacidad como en la eficiencia del compresor.

Hay otras ventajas que ofrece la inyección de vapor, además de una ganancia en eficiencia neta. El aumento de capacidad es mayor a temperaturas de evaporación más bajas y a más altas temperaturas de condensación. Esto está de acuerdo con los requerimientos de la mayoría de los sistemas de

refrigeración. Como el esquema de inyección de vapor puede detenerse, cerrando la solenoide que habilita el paso del líquido que se expande a uno de los lados del intercambiador, también permite el potencial de proveer modulación, es decir, aumentar o disminuir la capacidad en función de la demanda. La inyección de vapor también proporciona la habilidad de extender el rango de operación, enfriando el compresor con el refrigerante inyectado. Vea la Figura 4.

Figura 4. Puertos Internos de Inyección



Otro método para extender el rango de operación a más bajas temperaturas de evaporación es usar un esquema de inyección de líquido. Este esquema generalmente consiste de cuatro elementos: el compresor, el condensador, el evaporador y un tubo capilar con un solenoide, para cortar la inyección cuando el compresor se detiene. Un método alternativo en lugar de un tubo capilar para controlar la inyección, es una válvula controlada por la temperatura de la descarga. En estos casos, una pequeña conexión va de la línea líquida del condensador a un tubo capilar o a una válvula controlada por la temperatura. La válvula o el tubo capilar están unidos directamente al puerto de inyección del compresor. Una pequeña cantidad de refrigerante se toma desde la línea de líquido y hará las veces de masa de inyección. Como en el proceso de inyección de vapor, esta masa de inyección está directamente relacionada con la diferencia de presión entre el condensador y la presión del bolsillo de intermedio del scroll, y con el diámetro del capilar de inyección y de la tubería de los pasajes internos del scroll por donde se inyecta esta masa. Aquí también se observa un ligero aumento en la potencia consumida por el compresor, debido al aumento de trabajo al comprimir el refrigerante inyectado adicionalmente. Sin embargo, el efecto neto es el enfriamiento del gas de la descarga suficientemente, de manera de permitir la operación a las más elevadas relaciones de compresión hallados comúnmente a las condiciones de bajas temperaturas de evaporación y de elevadas temperaturas de condensación. Tanto la Inyección de Líquido como la Inyección de Vapor emplean puertos de inyección intermedia dentro del scroll.

6. MODULACIÓN

Hay varios métodos para lograr la modulación en un compresor. Un método ya discutido es la inyección de vapor. Existen tres formas comunes de modulación, ellas son: velocidad variable, modulación mecánica y succión variable. La modulación de velocidad variable requiere del uso de un motor trifásico de inducción de velocidad variable y también requiere de un regulador que se una al sistema de tal forma, que pueda ajustar la velocidad del motor con precisión para alcanzar los requerimientos de



capacidad (demanda del sistema), puesto que la capacidad es directamente proporcional a la velocidad del motor. También se necesitan otras modificaciones en el compresor scroll: una es aumentar o reforzar la conformidad radial para permitir que la estructura del scroll se ajuste a las diferentes velocidades del motor manteniendo el sellado requerido; otra es una bomba de aceite para mantener la lubricación apropiada de los bujes o rodamientos y las superficies en contacto, y finalmente en conjunto con la anterior, un sistema de lubricación mejorado para acrecentar el flujo y el retorno interno de aceite.

La modulación mecánica se logra separando el scroll fijo y el orbitante en dirección axial. Esto genera un patrón de fuga que disminuye la capacidad del compresor, la disminución de capacidad es proporcional a la duración de la separación. Esta separación se logra físicamente con el uso de un pistón de elevación dentro de una tapa sobre el puerto de descarga (alta presión). La tapa tiene un volumen adicional que actúa como la cámara de un pistón, por lo queda una pequeña distancia entre el pistón y el tope de su cámara. Bajo circunstancias normales, la presión por encima y por debajo del pistón se iguala usando un pequeño pasadizo en el propio pistón. Sin embargo, cuando se requiere modulación de capacidad, hay una gran liberación de presión fuera del tubo que se localiza sobre el área del pistón y se fuga a la línea de succión que se abre a través de una válvula solenoide. A medida que la presión sobre el pistón disminuye, el pistón es empujado hacia arriba a la cámara extendida, esta acción levanta el scroll fijo causando la separación y la consecuente fuga, y además reduciendo el flujo de masa y la capacidad.

El método de succión variable es similar en concepto al esquema de modulación mecánica. En este caso, sin embargo, en lugar de crear una separación forzada entre las espirales para disminuir el flujo de masa y la capacidad, la masa de succión inicial se disminuye liberando o dando salida a un porcentaje del gas del bolsillo inicial de succión. Esta liberación es controlada por una válvula de solenoide y un pasadizo que va hacia el bolsillo de succión. El efecto global de la eliminación de un porcentaje del gas del bolsillo inicial de succión es una reducción en la capacidad.

7. DIFERENCIAS DE DISEÑO EN EL SCROLL PARA REFRIGERACIÓN Y PARA AIRE ACONDICIONADO

Debido a que los scroll de refrigeración operan sobre un más amplio rango de temperaturas y relaciones de compresión, existen algunas diferencias de diseño entre un scroll de refrigeración y uno de aire acondicionado. La temperatura de descarga no es el único problema que se puede encontrar a bajas temperaturas de evaporación y a elevadas temperaturas de condensación. También hay relaciones de presión significativamente más altas, las cuales pueden causar un aumento del estrés sobre los elementos del scroll. Estos aumentos de la proporción de compresión también pueden afectar el puerto de descarga, generando un flujo de retorno hacia el scroll que puede afectar el consumo de energía significativamente, ya que produce la recompresión de una porción del gas de descarga.

Una de las modificaciones incorporadas al scroll de refrigeración es el "mecanizado especial para elevadas relaciones de compresión" (HCR). El mecanizado especial genera un fuerte incremento de la fuerza e incluso una reducción en el volumen final de descarga, lo que provoca un aumento en la relación de volumen e inherentemente en la relación de compresión. Vea la Figura 5.

Figura 5. Mecanizado para Altas Relaciones de Compresión

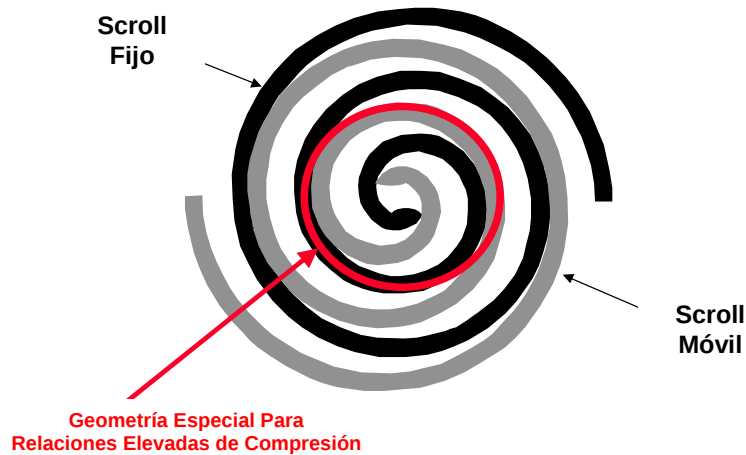
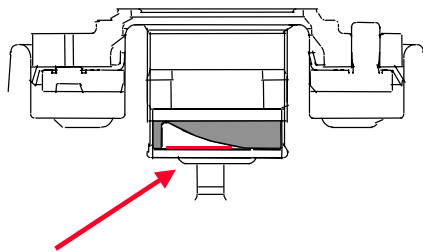


Figura 6. Válvula de Descarga Dinámica



- Mejora la eficiencia
- Menor diferencia de presión que la válvula reciprocante
- Su mal funcionamiento no para la operación del compresor

Otra modificación es el uso de una válvula dinámica de descarga para controlar el reflujo. Esta válvula se diseña para reducir el reflujo sin crear restricciones u obstrucciones adicionales en la vía y se combina con un puerto de dimensiones reducidas para las condiciones de bajas temperaturas de evaporación y el flujo de baja masa resultante. Vea la Figura 6.

Adicionalmente, tal y como se discutió anteriormente, el uso de los esquemas de inyección de vapor y de inyección de líquido normalmente se usan para aumentar el rango de operación. La inyección de vapor y de la inyección de líquido también crean la necesidad de usar conexiones externas, tubería interna adicional y puertos de inyección.



8. RENDIMIENTO Y NIVEL DE RUIDO

Existen dos métodos para entender las comparaciones de rendimiento entre compresores: eficiencia volumétrica y eficiencia isoentrópica. Las definiciones se detallan a continuación:

$$\text{Eficiencia Volumétrica} = \frac{\text{volumen del flujo de succión que entra}}{\text{Desplazamiento del compresor}} \quad (2)$$

$$\text{Eficiencia Isoentrópica} = \frac{\text{potencia ideal aplicada para comprimir el gas}}{\text{Potencia eléctrica aplicada}} \quad (3)$$

Los compresores scroll tienen una ventaja inherente de un 5 a un 10% de rendimiento por encima de los compresores rotativos a pistón. Esto se manifiesta en una reducción de las fugas de gas y de las pérdidas de flujo. Un compresor scroll en general tiene casi cero fugas de gas, comparado con una máquina rotativa con holgaduras fijas de operación. Además, para un compresor rotativo estas holgaduras aumentarán con el tiempo, a medida que sus componentes se desgastan. Los compresores scroll mantienen su capacidad de sellado durante el funcionamiento normal, ya que las partes apareadas se desgastan juntas en su encastre, es decir, se acoplan entre ellas con el uso. Para los compresores scroll de aire acondicionado, las pérdidas de fluido también se reducen, debido a la ausencia de válvulas en la succión y en la descarga. En los compresores scroll de refrigeración, el uso de una válvula para relaciones de compresión por encima de 5 también manifiesta una mejora significativa en la eficiencia volumétrica, la cual compensa las pérdidas inherentes de fluido asociadas a la válvula. Otro efecto de la válvula de descarga y el puerto menor es la disminución de la recompresión de gas, lo que produce un menor intercambio de calor entre el gas de la descarga y de la succión, ayudando a crear una curva plana de eficiencia volumétrica.

Los compresores scroll también experimentan mayores cargas en los rodamientos que los compresores rotativos, generalmente en el orden de 15 a 30%. Existe incluso un incremento de las cargas de fricción relativas con respecto a un compresor rotativo, debido al contacto entre las espirales del scroll y el empuje axial. En conjunto, esto conduce a una pérdida superior por fricción en el orden del 1 al 2%.

Los compresores scroll funcionan generalmente mejor en aplicaciones de refrigeración que algunos compresores semiherméticos. Sin embargo, el rendimiento del compresor scroll puede presentarse en desventaja en relación al compresor semihermético de alta eficiencia. A elevadas relaciones de presión el compresor semihermético a pistón es mejor. La inyección de vapor puede usarse para mejorar el compresor scroll y el rendimiento del sistema, al proporcionar al líquido mayor subenfriamiento. Esta mejora del rendimiento puede igualar generalmente la elevada eficiencia de los compresores semiherméticos en las mismas condiciones de operación. A más bajas temperatura de condensación, las ventajas inherentes de las bajas fugas de gas y pérdidas de fluido permiten al scroll desempeñarse mejor hasta que el compresor semihermético de alta eficiencia.

Para las aplicaciones de aire acondicionado, los compresores scroll ofrecen algunas ventajas intrínsecas, al reducir los niveles de ruido y vibración. Con la ausencia de válvulas dinámicas y un proceso de flujo casi continuo, hay una contribución mínima de las pulsaciones de gas al ruido del compresor. En los compresores rotativos, grandes pulsaciones de gas dan contra la carcasa, lo cual irradia ruido adicional. En los compresores scroll, la mayor contribución de sonido es el contacto mecánico entre los elementos. El nivel de sonido de un compresor rotativo y uno scroll del mismo tamaño es comparable. Sin embargo, un compresor scroll a menudo puede ser de 3 a 8 dBA más silencioso que un compresor semihermético.

Para los compresores scroll de refrigeración la situación es algo diferente, ya que existen ambos efectos, el del ruido mecánico y el del ruido de gas generado por la válvula y el puerto. A menudo el ruido de gas se reduce internamente con el uso de un silenciador especialmente diseñado.



La vibración asociada a un compresor scroll es generalmente muy baja. El proceso de flujo continuo baja significativamente la vibración de torsión experimentada por el compresor. Combinando esta vibración de baja torsión con el uso de contrapesos dinámicamente balanceados que compensan la rotación interna de los elementos, se pueden alcanzar niveles de vibración estables de menos de las 50 micrones.

9. CONSIDERACIONES DE APLICACIÓN

Tal como se estableció previamente, los compresores scroll son ampliamente utilizados en aire acondicionado y refrigeración. Aunque no es la intención de este documento considerar todas las posibles aplicaciones, hay ciertos lineamientos importantes a considerar cuando se diseña un sistema.

Como protección de temperatura, generalmente se recomienda usar un termostato de línea de descarga que detenga el compresor si la temperatura de descarga sobrepasa ciertos límites. Algunos modelos de compresor traen un dispositivo interno de temperatura de descarga de manera estándar.

Generalmente los compresores scroll son fabricados con protección interna del motor o con un módulo de protección de control externo. Los módulos de control externos normalmente actúan en base a la variación de la resistencia de una cadena de termistores localizada en el motor, la cual puede estar en serie o en paralelo.

Los estándares de regulación de seguridad locales generalmente exigen control y corte por alta presión. En EE.UU., Underwriter Laboratories (UL) requiere el corte mecánico por alta presión.

Los compresores scroll también pueden tener aplicación en una variedad de unidades de múltiples compresores, como los tándem y los sistemas paralelos. Una consideración importante a tener en cuenta, cuando se usan compresores scroll en estos tipos de aplicaciones, es el sistema de lubricación. Los diseños típicos en tándem incluyen tubos de equalización de aceite para mantener los niveles de aceite apropiados. Para las aplicaciones de sistemas paralelos, se usan generalmente dispositivos electrónicos de control del nivel de aceite. En ambos casos, ciertas consideraciones de diseño del sistema, como el tamaño del separador de aceite, recipientes de aceite, válvulas de corte del flujo de aceite de retorno cuando el compresor no está operando, entre otras, pueden proporcionar protección extra y vida adicional a los compresores instalados, aumentando así la vida del sistema.

Una consideración adicional en el diseño de sistemas es la manipulación de impurezas y humedad que puede mejorar significativamente la vida del sistema y del compresor.

10. FUTURO DEL SCROLL Y DE LOS REFRIGERANTES ALTERNATIVOS

Basados en el éxito del compresor scroll durante la última década, el futuro de este tipo de compresor en todos sus tamaños es en extremo brillante. El rendimiento del scroll y su bajo nivel de ruido han demostrado que él es claramente superior a otras tecnologías en aire acondicionado y, con algunas mejoras de eficiencia adicionales, también en refrigeración. El scroll es comparable a los compresores semiherméticos de alta eficiencia de hoy.

Los compresores scroll ofrecen una amplia variedad de opciones en la modulación de capacidad y en esquemas mejorados de inyección de vapor, que pueden proporcionar un incremento en la eficiencia del compresor y del sistema. Esto es cada vez más importante para cumplir con los requerimientos futuros de conservación de energía y las obligaciones globales para reducir las emisiones de anhídrido carbónico. Adicionalmente, la tecnología scroll ofrece la mejor opción para diseñar y fabricar en el futuro compresores más silenciosos y confiables.

Una ventaja adicional para los compresores scroll en el futuro es el uso creciente de R-410A. El scroll se ajusta naturalmente a este tipo de refrigerante. Los compresores scroll poseen una mayor eficiencia isoentrópica con R-410A y son más silenciosos. Incluso comparados con los compresores



alternativos a pistón con R-22 actuales, resultan ser más silenciosos hoy; los compresores recíprocos equivalentes demuestran ser entre 6-8 dBA más ruidosos. Los compresores scroll específicamente diseñados para el refrigerante R-410A están demostrando ser tan confiables como los compresores scroll de hoy en día.

BIBLIOGRAFÍA:

- Elson, J.P., Hundy, G.F. y Monier, K.J. "Scroll Compressor Design and Application Characteristics for Air Conditioning, Heat Pump and Refrigeration Applications." Proceedings of the Institute of Refrigeration, 1990-91.
- Hundy, G.F. y Kulkarni, S. "The Refrigeration Scroll and its Application." Proceedings of the Institute of Refrigeration, 1996-97.
- Wang, S.K. "The Handbook of Air Conditioning and Refrigeration." McGraw Hill, Inc.
- Incropera, Frank P. y DeWitt, David P. "Fundamentals of Heat Transfer" John Wiley and Sons.
- Zucker Robert D., "Fundamentals of Gas Dynamics" Matrix Publishers, Inc.