

## ADMINISTRACIÓN DE ACEITE EN COMPRESORES PARALELOS EN SUPERMERCADOS

Por: STEVE ESSLINGER, INGENIERO DE APLICACIONES DE REFRIGERACIÓN EN SUPERMERCADOS SPORLAN VALVE COMPANY.

El propósito primario del aceite en el sistema de refrigeración es lubricar las partes móviles del compresor. La operación del sistema de administración de aceite en un "rack" de compresores de supermercado es una de las partes del sistema de refrigeración menos entendida. Muchos ingenieros de servicio creen que el separador de aceite, la reserva de aceite y los controles de nivel de aceite son los únicos componentes del sistema que determinan el nivel de aceite de los compresores. Este es un concepto erróneo.

Es importante anotar que agregar un separador de aceite, reserva de aceite y controles de nivel de aceite, **no reducirá** la carga de aceite de un *sistema de refrigeración diseñado, instalado y operado apropiadamente*. El separador de aceite simplemente sirve para minimizar la cantidad de aceite que entra al sistema. Una vez que se alcanza el equilibrio entre la cantidad de aceite que entra al sistema y la cantidad que retorna a los compresores, la reserva de aceite y los controles de nivel de aceite solamente sirven como recipientes de almacenamiento del aceite que sobra.

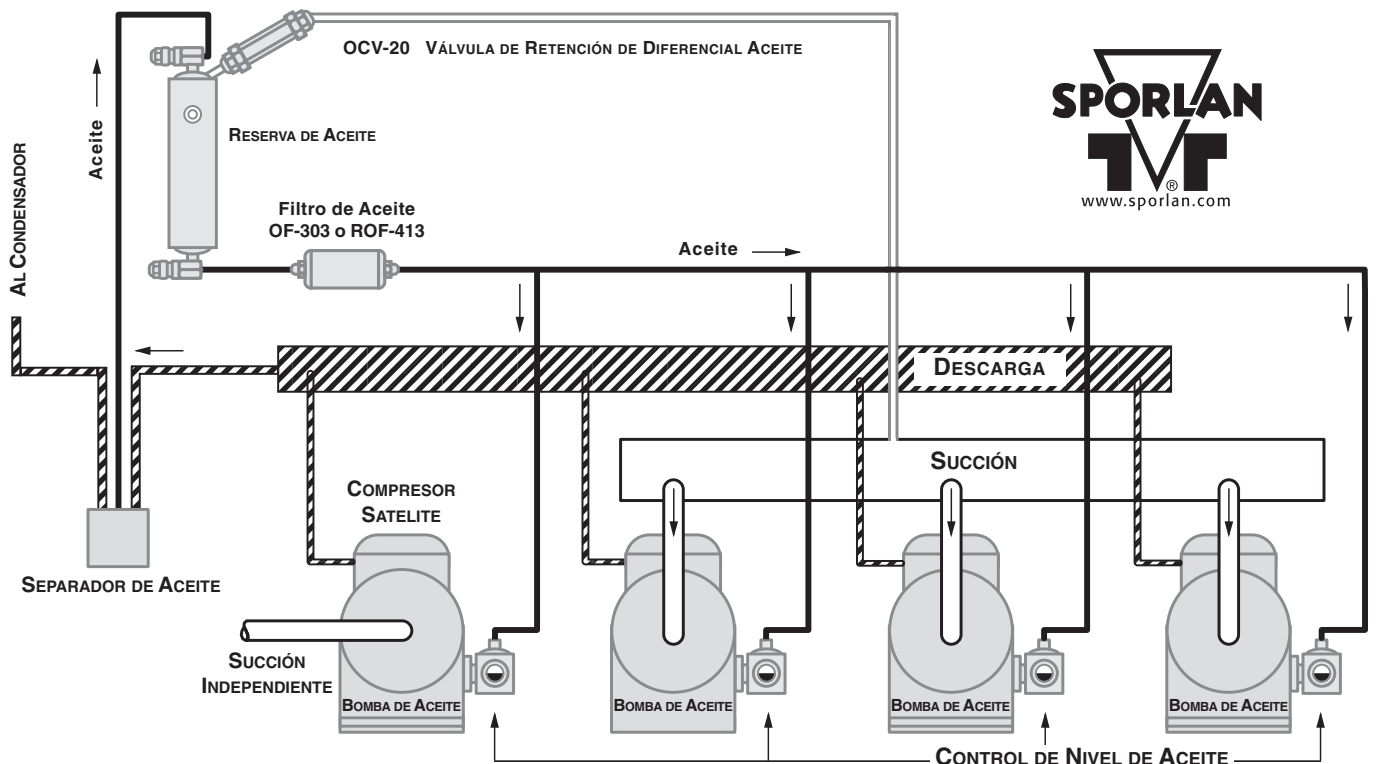
Cualquier cambio en las condiciones de operación que altere el equilibrio (aceite que sale vs. aceite que regresa) ya sea será corregido por el sistema de control de aceite o bajo muchas condiciones, como se señalará, será inmanejable. Son estas las condiciones que llevan a la condena sin mérito y totalmente injusta de los controles de nivel de aceite.

La eficiencia de separador de aceite tiene muy poca influencia sobre un sistema de refrigeración *incorrectamente diseñado, con tamaño de tubería incorrecto o mal mantenido*. Cuando esto ocurre, hay una excesiva cantidad de aceite en la tubería

del sistema dadas las insuficientes velocidades del refrigerante, en comparación a las que se necesitan para regresar el aceite al cárter de los compresores. Es en este tipo de aplicaciones problemáticas que el sistema de administración de aceite parecerá entregar un exceso de aceite. El exceso de aceite se logra porque el sistema de administración de aceite actúa como un retardo de tiempo y limita la cantidad de aceite que circula en la tubería del refrigerante entre los ciclos de descarche. (las velocidades del refrigerante son mucho mayores después que termina el descarche y arrastran de regreso a los compresores el aceite que estaba atrapado en la tubería.)

**Niveles de aceite que suben drásticamente después del fin del descarche en un circuito son una indicación de anomalías del sistema. El problema debe identificarse y corregirse. El exceso de aceite disminuye la transferencia de calor en evaporador. Las oleadas (slugs) de aceite dañan los compresores.**

Compresores con tubería de descarga y succión comunes no circulan exactamente la misma cantidad de aceite, tampoco los compresores tienen los mismos patrones de desgaste, ni los mismos tiempos de encendido. El propósito del sistema de administración de aceite es compensar *diferencias moderadas* de las velocidades de recirculación entre los compresores individuales debidas a tamaño, tiempo de encendido (run time) o desgaste. La reserva de aceite y los controles de nivel de aceite harán que el aceite esté disponible a los compresores. Existen diferencias moderadas en la cantidad de aceite que retorna a cada compresor en relación a la cantidad de aceite que sale de los mismos compresores a través de las líneas de descarga individ-



**SPORLAN**  
  
 www.sporlan.com

uales.

Los compresores recíprocos que funcionan apropiadamente recirculan típicamente entre 1% y 3% de aceite por kg de refrigerante. Muchos fabricantes de racks "multiplexan" compresores (de diferentes tamaños en la misma tubería) para operar selectivamente el compresor apropiado en base a la carga térmica. Como ejemplo, si la carga es alta, el control opera un compresor de 15 hp en lugar de uno de 5 hp.

Un compresor de 15 hp típico operando a una temperatura de condensador de 44°C (110°F) y una temperatura de evaporador de -10°C (15°F), recircula aproximadamente 812 kg (1,790 lbs) de refrigerante por hora, o a una velocidad de recirculación de aceite de 1%, 8.12 kg (17.9 lb) de aceite por hora. Un compresor de 5 hp típico operando en las mismas condiciones, recircula aproximadamente 202 kg (445 lbs) de refrigerante por hora, o a una velocidad de recirculación de aceite de 1%, 2.02 kg (4.5 lb) de aceite por hora. Asumiendo que los dos compresores están en paralelo y operan 100% del tiempo, el aceite que recircula es 10.14 kg (22.4 lb) por hora. Con una tubería de succión *perfecta*, y ambos compresores *funcionando a su máxima eficiencia*, habrá tanto aceite retornando a cada compresor a través de las líneas de succión individuales como saliendo de la línea de descarga de cada compresor. Con este escenario *ideal* pero poco probable, los niveles de aceite permanecerán constantes, eliminando la necesidad de un sistema de control de aceite.

Usando como ejemplo el rack de compresores arriba descrito, el compresor de 15 hp se apaga por quince minutos durante un período de una hora debido a una baja carga. El de aceite en recirculación ha decrecido en 2.04 kg (4.5 lb) de aceite por hora. Sin embargo, con el compresor de 15 hp operando en un ciclo apagado-encendido, temporalmente la velocidad o razón promedio de recirculación de aceite es 8.12 kg/ hora (17.9 lb/hora). Cuando el compresor de 15 hp está apagado, el compresor de 5 hp puede estar recibiendo por su línea de succión 2 veces más aceite por hora que la que está saliendo de su descarga. El compresor de 5 hp tendrá que permanecer encendido por dos horas para descargar suficiente aceite como para bajar su nivel de aceite a la mitad del visor.

*Instalar un separador de aceite, una reserva de aceite y controles de nivel en el sistema del ejemplo no reducirá la carga de aceite. En realidad, se necesitará agregar aceite al sistema para llenar el separador, la reserva y los controles de nivel.* Los controles de nivel de aceite equilibrados externamente harán que el aceite que sobre en el compresor de 5 hp fluya al de 15 hp cuando ambos estén funcionando. El separador, la reserva y el control de nivel evitarán que el compresor de 15 hp tenga un nivel de aceite demasiado bajo.

Un estudio acerca de niveles de aceite "demasiado altos" realizado por un fabricante de compresores encontró que existe un castigo de energía de 4% en modelos específicos de compresores. Esto se debe a que los niveles de aceite más altos que los recomendados hacen que la temperatura del lubricante suba 17°C a 22°C (30°F a 40°F) más que lo normal, incrementando la temperatura del cuerpo del compresor. El gas de succión fresco se expande a una mayor velocidad

una vez que entra en el cilindro 22°C (40°F) más caliente que lo normal, reduciendo la eficiencia volumétrica del compresor. Asumiendo un tiempo de encendido de 18 horas a \$ 0.07/kWhr el nivel "demasiado alto" tiene un costo anual de \$ 68.  $5 \text{ hp} \times 0.746 \text{ kW /hp} \times 0.07 \text{ $/kWhr} \times 18 \text{ hr/día} \times 4\% \times 365 \text{ días} = \$ 68$

Las velocidades de recirculación de refrigerante para un rack típico pueden ser de 3,630 a 4,540 kg (8,000 a 10,000 lbs) de refrigerante por hora en condiciones de diseño, 36 a 45 kg (80 a 100 lb) por hora de aceite estarán fluyendo a través de los cárteres (combinados) de los compresores a una velocidad de 1%. A una velocidad de bombeo de aceite de 3 % es de 109 a 136 kg (240 a 300 lb) por hora. Un compresor desgastado podría alcanzar mayores velocidades.

#### EVENTUALMENTE TODOS LOS COMPRESORES SE DESGASTAN

Es común ver varios compresores viejos en paralelo con un compresor nuevo. Un compresor viejo de 5 hp bombeando a una velocidad de 5% circulará 10 kg (22 lb) de aceite por hora, mientras un compresor de 15 hp menos desgastado en paralelo circula 8 kg (17 lb) por hora. Los compresores recíprocos que típicamente se usan en racks de refrigeración de supermercados incorporan un control de flujo entre el compartimiento del motor de gas de succión y el cárter. El propósito del control es evitar que el aceite del cárter sea forzado dentro del compartimiento del motor durante el arranque del compresor. El compresor de 5 hp en referencia eventualmente se desgastará al punto que los anillos de los pistones permitirán que el aceite pase hacia el cárter. Cuando el desgaste que lleva al paso de aceite hacia el cárter llegue al punto que la presión en el cárter sea **mayor** que la del compartimiento de retorno de vapor del motor, cesará el retorno de aceite desde la tubería de refrigerante hacia el cárter del compresor. Ahora el compresor de 5 hp necesita de la reserva del sistema para rellenar los 10 kg (22 lb) o 3.5 galones (16 lt) de aceite que descarga cada hora.

Existe un punto cuando el patrón de desgaste del compresor será suficientemente severo que agotará el suministro de la reserva de aceite (potencialmente afectando el suministro de aceite a otros compresores), haciendo que se pierda la presión de aceite, y que el interruptor de seguridad se abra sacándolo de operación. (si los controles de nivel de aceite son equilibrados, el paso del aceite hacia el cárter puede transferirse a otros cárteres, cerrando sus suministros de aceite desde el retorno de la línea de succión). A medida que se agrega más aceite al sistema para compensar por el/(los) compresor(es) desgastado(s), los compresores menos desgastados se sobrellenarán con el aceite adicional en recirculación. Es común ver en el mismo rack varios compresores de 20 hp con niveles de aceite que sobrepasan el nivel superior del visor.

#### RECOMENDACIONES DE TUBERÍA PARA RETORNO DE ACEITE

Una tubería de refrigerante correctamente instalada es uno de los elementos claves para el retorno de aceite. Varias reglas de oro deben aplicarse cuando se instala el promedio de 6.5 kilómetros (4 millas) de tubería en un supermercado.

La primera es utilizar trampas de aceite en la base de cada tubo elevador de succión, reduzca la dimensión del diámetro del tubo elevador para incrementar las velocidades del gas hasta 7 m/s (1,200 pies por minuto) o más a las temperaturas de diseño. Reducir el diámetro de la tubería no solamente incrementa la velocidades del gas, pero también aumenta la caída de presión en la línea. Se necesitan velocidades más altas para facilitar el movimiento del aceite en la tubería.

La segunda regla es aumentar el tamaño de la sección horizontal de tubería. Esto contrarestará la caída de presión en el elevador de succión. Esta compensación es necesaria para que la caída de presión total del circuito específico no exeda la caída de presión equivalente a un cambio de temperatura de 1.2°C (2°F).

La tubería horizontal debe ser soportada y tener una pendiente de 0.42% o bajar al menos 25 mm por cada 6 m (1 pulgada por cada 20 pies) de distancia recorrida hacia el compresor. Dado que esta es una compensación necesaria, no es raro encontrar velocidades tan bajas como 2 m/s (400 pies por min.) en líneas horizontales largas.

La tercera regla es asegurarse que las válvulas de expansión termostática sean ajustadas correctamente. Recalentamientos más altos que los normales reducen las velocidades del gas en las salidas del serpentín del evaporador, atrapando aceite y reduciendo la eficiencia de transferencia de calor. Operar a temperaturas de saturación de succión por debajo de las temperaturas de diseño también reduce las velocidades del gas de succión y atrapa aceite.

### LA CARGA DE ACEITE

La carga total de aceite de un sistema es igual a la suma de:

- \* Aceite en los cárter de los compresores.
- \* Aceite en el separador y la reserva.
- \* El aceite necesario para cargar la tubería y los intercambiadores de calor hasta el punto donde las velocidades de diseño de movimiento del gas son adecuadas para arrastre al aceite de regreso hacia el compresor.

Cuando un rack de supermercado arranca y se estabiliza, el sistema de control de aceite es un indicador directo de:

- 1) Tubería correctamente dimensionada e instalada
- 2) Tubería del rack correctamente dimensionada y selección correcta de sus componentes.

Un sistema correctamente diseñado, instalado y balanceado tendrá niveles de aceite correctos en los compresores y la reserva de aceite las 24 horas del día.

### EL SEPARADOR DE ACEITE

Los separadores de aceite pueden comprarse con diferentes eficiencias. Mientras más eficiente es el separador, menos aceite entrará al sistema. Sin embargo, en un sistema dado, es sólo una cuestión de tiempo antes de que aceite se acumule en las mismas cantidades y en los mismos lugares a como lo haría con un separador menos eficiente.

### LA RESERVA DE ACEITE

El propósito de la reserva es almacenar la cantidad de aceite necesaria para un sistema en una condición de recirculación de aceite de "estado estable". Asumiendo un sistema de refrigeración instalado y operado correctamente, 3 litros de aceite (3/4 de galón) en la reserva de aceite es más que suficiente para un sistema de cualquier tamaño.

Es imposible dimensionar una reserva de aceite para compensar por un sistema que está dimensionado o mantenido incorrectamente. Actualmente existen sistemas de supermercado a los que siempre les faltará aceite, independientemente del tamaño de la reserva.

### LA VÁLVULA DE RETENCIÓN DE ACEITE

El propósito de la válvula de retención de aceite es mantener la reserva de aceite a la presión correcta necesaria para alimentar al control de nivel de aceite si el nivel del aceite en el compresor cae debajo del nivel predeterminado. En referencia al diagrama, el separador comenzará a llenar la reserva con aceite y vapor a alta presión cuando el nivel de aceite haga que el flotador del separador abra una válvula de suministro de aceite en el separador.

La válvula de retención cargada con resorte está situada en entre la parte superior de la reserva de aceite y la tubería común de succión del rack y sangrará el exceso de presión de vapor (hay disponibles válvulas con varios ajustes).

En este ejemplo, la válvula Sporlan OCV tiene un ajuste de 20 psi (1.37 bar) y hará que el vapor de alta presión proveniente del separador hacia la reserva, sangre a 20 psi por encima de la presión de la tubería común de succión. Esta reducción del control de nivel de aceite de presión es necesaria para evitar que el flotador mecánico del control de nivel de aceite sea forzado a mantenerse abierto por la presión demasiado alta. Con la presión de la reserva de aceite cerca de 20 psi por encima de la presión del cárter, existirá un diferencial de presión adecuado para que ocurra flujo de aceite a través del control de nivel de aceite.

### EL CONTROL DE NIVEL DE ACEITE

El control de nivel de aceite tiene un propósito igual a cualquier otra "válvula de recuperación". La única ocasión en que el control de nivel alimentará será para compensar por el aceite que no está retornando por la tubería de succión. En un sistema correctamente diseñado, un gran porcentaje del aceite regresa al compresor a través de la línea de succión.

El control de nivel compensará por diferencias moderadas en:

- 1) Velocidades de bombeo de aceite debidas a tamaño o desgaste.
- 2) Velocidades de retorno de aceite debidas a turbulencia en la tubería de succión.

## DIAGNOSTICO DE UN SISTEMA DE ACEITE FUERA DE CONTROL

Nunca deben haber fluctuaciones bruscas en el nivel de aceite. Niveles de aceite que cambian rápidamente son una indicación directa de que el aceite se está quedando atrapado a causa de bajas velocidades. Debido a oleadas de aceite que retorna después de un ciclo de descarche, los compresores se dañan sin posibilidad de ser reparados en la instalación. El que el aceite quede atrapado puede ser causado por un número de problemas que limitan la transferencia de calor y reducen las velocidades del gas. Algunas de las más comunes son:

- 1) Altos niveles de humedad que aislan los evaporadores con escarcha más allá de los límites de diseño.
- 2) Serpentes congelados a causa de drenajes de condensado atascados.
- 3) Válvula de Expansión Termostática fuera de ajuste.
- 4) Tiempos de ciclo de descarche incorrectos.

Todos los racks de refrigeración tienen compresores que eventualmente se desgastarán. Habrá un punto en el tiempo de la vida de operación de cada compresor en que el paso de aceite a través de los anillos de los pistones alcanzará un punto crítico. Este punto crítico se da cuando el paso del aceite causa que la presión del cárter exceda la presión de succión. La presión igual o ligeramente positiva cierra un control de flujo que se encuentra en el cárter de muchos de los compresores usados en supermercados.

Es en este punto que suceden dos cosas:

- 1) La velocidad de bombeo de aceite del compresor es mucho mayor que la normal. En algunos casos severos las velocidades de bombeo sobrepasan los 3.75 lt (un galón) por minuto.
- 2) El compresor no puede retornar aceite al cárter a través de la línea de succión dado que el control de flujo en el cárter esta cerrado. La reserva de aceite se agotará en cuestión de minutos, independientemente de la eficiencia del separador de aceite. Si los carters están equilibrados, la presurización puede ser suficiente como para evitar el retorno de aceite hacia los compresores "saludables".

Entonces los interruptores de falta de aceite de los compresores se disparan y los mecánicos dando servicio añaden aceite regularmente al sistema debido a "llamadas de servicio de emergencia".

El aceite añadido al sistema ahora circulará a través del circuito de tubería, sobrellenará los compresores saludables y potencialmente causará más daños a los compresores.

Cuando la reserva de aceite y uno o más compresores en un sistema rack están bajos de aceite, y los otros compresores en el mismo rack están sobrellenados con aceite, proceda a hacer las siguientes verificaciones para identificar el compresor que está bombeando aceite:

Desconecte todas las líneas de equilibrio e instale un tubo de cobre suave de 1/4" desde arriba de nivel de aceite del cárter del compresor hasta la válvula de servicio de succión.

Abra la válvula de servicio y opere el compresor.

\* Si el tubo de cobre se mantiene fresco, el compresor no tiene un paso de aceite hacia el cárter y está saludable.

\* Si el tubo se calienta hasta la temperatura de descarga, repare o reemplaze el compresor.

Si se diagnostica que un rack tiene un compresor que es un bombeador de aceite y el problema se corrige, prepárese para drenar cantidades substanciales de aceite del sistema durante un período de varios días.

NOTA: Un compresor con válvulas de descarga dañadas u operando a temperaturas de descarga más altas que las de diseño acelerará el desgaste de los anillos de pistón. Esto puede llevar a la presurización del cárter en horas.

El componente más caro en un sistema de refrigeración es el compresor. Mantener niveles de aceite correctos sin duda añade años a la vida de los compresores.

Información adicional acerca de sistemas de administración de aceite y su operación puede ser encontrada en los Boletines Sporlan 110-10, 110-30 y forma 110-140