

# SEPARADORES DE ACEITE

Introducción .....	31	Selección de un Separador de Aceite .....	42
Definición .....	31	Dónde y Cómo Instalar un Separador de	
Problemas Causados por el Aceite .....	31	Aceite en un Sistema de Refrigeración .....	42
Problemas en el Cártel .....	34	Condensación del Refrigerante en el Separador	
Efectos del Aceite en Circulación .....	35	de Aceite. ....	43
Efectos en el Condensador .....	35	Aplicación de los Separadores de Aceite .....	43
Efectos en los Filtros Deshidratadores .....	36	Sistemas con Compresor Hermético .....	43
Efectos de los Dispositivos de Expansión .....	36	Sistemas de Condensador Remoto. ....	43
Efectos en los Evaporadores .....	36	Sistemas de Recirculación de Líquido a Baja Presión ....	44
Efectos en Intercambiadores de Calor. ....	40	Sistemas en Paralelo. ....	44
Efectos en el Compresor. ....	40	Sistemas de Etapas Múltiples .....	45
Efectos del Control de Capacidad. ....	40	Sistemas de Doble Etapa. ....	45
Uso de los Separadores de Aceite .....	41	Sistemas en Cascada. ....	46
Cómo Funciona un Separador de Aceite. ....	41	Cómo dar Servicio a los Separadores de Aceite .....	47

## Introducción

Desde los inicios de la refrigeración, es bien conocido el hecho que se requiere aceite para lubricar las partes móviles del compresor; ya que sin lubricación, el compresor simplemente no funcionaría o se dañaría rápidamente. Sabemos además, que el refrigerante es necesario para producir enfriamiento, y que la función del aceite es lubricar el compresor. En un sistema de refrigeración, lo único que debe circular es el refrigerante; sin embargo, para nadie es desconocido el hecho de que el aceite también está presente en todo el sistema. Por lo anterior, se dice que el aceite es un mal necesario en los sistemas de refrigeración, ya que es vital para la operación de los compresores, pero en el resto del sistema, es una fuente de problemas a considerar.

Los compresores de refrigeración son lubricados con un aceite especial que va dentro del cárter del compresor, de allí éste circula a los cojinetes, bielas y las demás partes móviles mediante una bomba o por salpicadura en algunos tipos de compresores. Si el aceite permaneciera en el cárter, donde le corresponde, se eliminarían muchos problemas causados por éste en los sistemas de refrigeración.

Cuando un compresor es puesto en operación se inicia su proceso de lubricación, y es casi imposible, evitar que parte del aceite sea bombeado junto con el vapor de refrigerante comprimido y que circule a través del sistema. Pequeñas cantidades de aceite no son dañinas, y de hecho, pueden ser benéficas al lubricar algunos accesorios como las válvulas. Sin embargo, en otros componentes como el evaporador, el condensador, el recibidor, etc., no es necesario ni deseable, y en grandes cantidades crea problemas, la mayor parte de los cuales pueden evitarse *manteniendo al aceite donde le corresponde*, en el cárter, por medio de un separador de aceite.

## Definición

El separador de aceite es un dispositivo diseñado para separar el aceite lubricante del refrigerante, antes que entre a otros componentes del sistema y regresarlo al cárter del compresor.

## Problemas Causados por el Aceite

Antes de ver el funcionamiento de un separador de aceite, dónde va instalado y algunas recomendaciones, discutiremos los problemas que causa la presencia del aceite en cada uno de los componentes y en otros accesorios del sistema. La severidad de los problemas varía con el tipo de sistema y el refrigerante empleado; ya que el bombeo de aceite hacia el sistema, no es de consideración en equipos pequeños de media y alta temperatura, como son los refrigeradores domésticos y unidades de aire acondicionado de ventana, los cuales están diseñados para que el aceite sea regresado al compresor por el mismo refrigerante. En sistemas más grandes o de baja temperatura, la presencia de aceite es algo que no debe ser pasado por alto y se deben tomar las precauciones necesarias para evitarlo. Aquí deben considerarse si los componentes están muy distantes unos de otros o si las líneas son muy largas, si se trata de un solo compresor o es un arreglo de varios compresores en paralelo, la temperatura ambiente, etc.

Los problemas con el aceite en los sistemas de refrigeración, generalmente están incluidos en una o más de las tres áreas siguientes:

1. Dilución en el cárter.
2. Retorno de aceite.
3. Estabilidad.

Cabe mencionar que algunos de los problemas con aceites de origen mineral, que eran más frecuentes en años pasados, en la actualidad son menos serios gracias a que los aceites para refrigeración han mejorado como resulta-

do de la estrecha colaboración entre las industrias del aceite y la de refrigeración.

Los aceites lubricantes modernos de origen mineral, se preparan especialmente para ser utilizados en sistemas de refrigeración, con un alto grado de refinamiento y en algunos casos, tratados con aditivos para mejorar la estabilidad. Esta mejora en la relación aceite-refrigerante dentro de los sistemas, se debe a un mejor diseño de los equipos de refrigeración, al progreso en el proceso de la refinación del aceite, y sobre todo, al mayor conocimiento de cómo se comportan los aceites en los sistemas de refrigeración.

Como resultado del uso de aceites más estables, y con la ayuda de algunas protecciones como la ofrecida por los filtros deshidratadores, se han erradicado casi en su totalidad algunos de los problemas comunes causados por aceites de mala calidad; tal es el caso del "cobrizado", los depósitos de barniz en la válvula y la línea de descarga, depósitos de carbón en los platos de descarga y la cera en las válvulas de expansión. Sin embargo, los problemas no han desaparecido por completo, y continúa la búsqueda para mejorar en la relación aceite-refrigerante.

Para lograr una mejor comprensión de por qué es importante separar el aceite del refrigerante, antes que llegue a otros componentes, comenzaremos por ver las relaciones que existen entre estos dos compuestos.

**Relaciones Aceites - Refrigerantes.** La relación más importante entre estos compuestos es la miscibilidad, misma que se define como la capacidad que tienen para mezclarse. Los refrigerantes son miscibles con los aceites en diferentes proporciones, dependiendo del tipo de refrigerante, la temperatura y la presión. El refrigerante disuelto en aceite hace que éste último sea más fluido, existiendo una relación directa entre el grado de fluidez y la

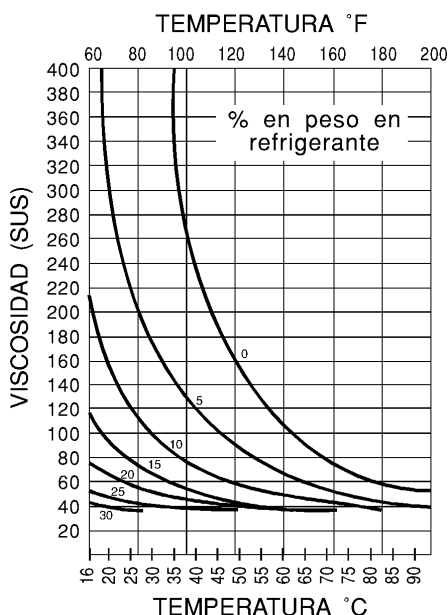


Figura 4.1 - Viscosidad de las soluciones de R-12 y aceite 150 (32 cSt).

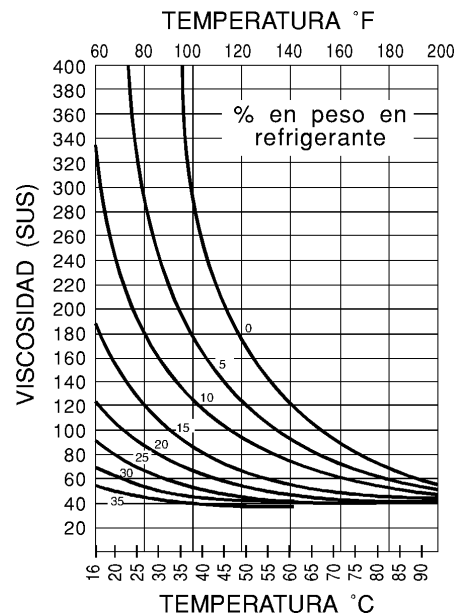


Figura 4.2 - Viscosidad de las soluciones de R-12 y aceite 300

cantidad de refrigerante disuelto. Los refrigerantes que son más solubles en aceite tienden a mantener el aceite más fluido, haciendo más fácil su acarreo a través del sistema. Con los refrigerantes menos solubles, el retorno de aceite es más complicado.

Además de su miscibilidad con los refrigerantes, los aceites tienen una gran afinidad con estos; es decir, los aceites atraen y absorben los refrigerantes.

Otro aspecto muy importante de esta relación, es la forma en que afecta la viscosidad. Dependiendo del porcentaje de refrigerante en el aceite y de la temperatura, la viscosidad de la mezcla se ve disminuida. En las figuras 4.1 y 4.2 se muestran las viscosidades de la mezcla de R-12 con aceite 150 y 300, respectivamente. El número sobre la curva indica el porcentaje de R-12 en la mezcla y el resto es aceite; por ejemplo, la curva con el número 20, representa una mezcla de 20% de R-12 y 80% de aceite. Desde luego, la curva con el número 0 corresponde al aceite solo.

**Relaciones Temperatura - Presión - Concentración.**

Cuando se mezclan el aceite y el refrigerante a una cierta presión y a una cierta temperatura, como sucede en el cárter del compresor o en cualquier otro punto del sistema, interviene otra variable: la cantidad de refrigerante disuelto en el aceite; es decir, la concentración, usualmente expresada en porcentaje de peso. En las figuras 4.3, 4.4 y 4.5 se muestran estas relaciones para los refrigerantes 12, 22 y 502, respectivamente. Con estas gráficas se puede tener una estimación de la cantidad de refrigerante disuelto en el aceite. Por ejemplo, en un sistema con R-22, cuando la presión de succión es de 60 psig, (figura 4.4) entonces la temperatura correspondiente de evaporación del refrigerante es de 1°C (34°F) y la temperatura de la mezcla refrigerante-aceite es de 50°C (122°F), por lo que la mezcla contendrá 8% de R-22 aproximadamente.

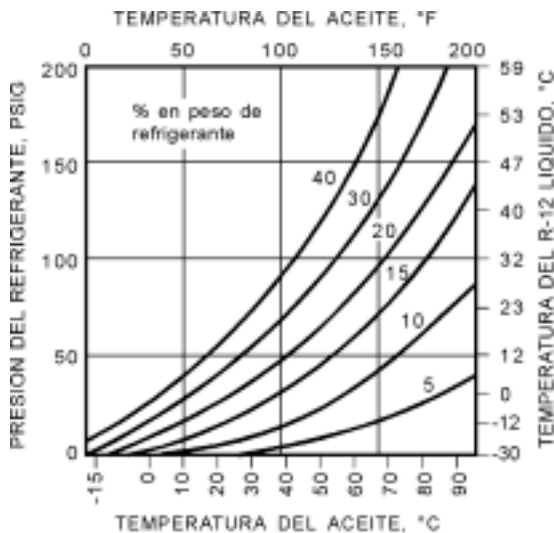


Figura 4.3 - Relación Presión - Temperatura para el R-12 y aceite 300 SUS (68 cSt).

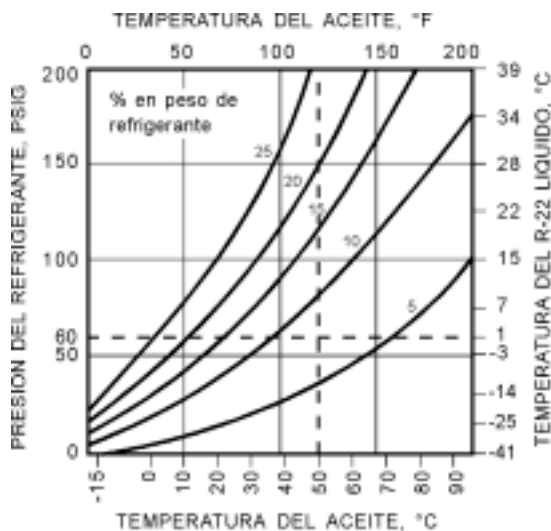


Figura 4.4 - Relación Presión - Temperatura para el R-22 y aceite 300 SUS (68 cSt).

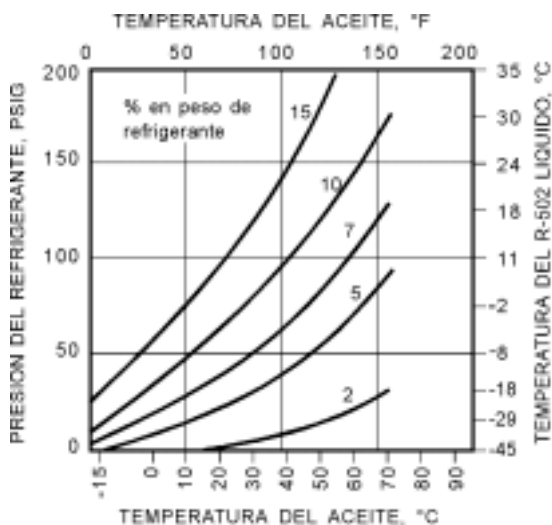


Figura 4.5 - Relación Presión - Temperatura para el R-502 y aceite 300 SUS (68 cSt).

En seguida veremos algunos aspectos importantes de la relación de los aceites con los refrigerantes principales.

**Refrigerante 12.** Es completamente miscible con los aceites a cualquier temperatura y presión y en cualquier proporción. La mezcla de R-12 con aceite, forma una sola fase líquida en temperaturas tan bajas como -75°C. Esto significa que el aceite, puede mantener en solución una cantidad suficiente de R-12, y seguir conservando su fluidez a las temperaturas normales a que operan los sistemas con este refrigerante.

**Refrigerante 22.** Este refrigerante es menos soluble en aceite que el R-12, y bajo ciertas condiciones, su solubilidad puede ser tan baja y la viscosidad del aceite tan alta, que haya poca fluidez haciendo que el regreso del aceite al compresor represente un problema. A temperaturas entre -7 y 10°C se pueden formar dos capas, dependiendo del tipo de aceite y la cantidad presente del mismo (figura 4.6).

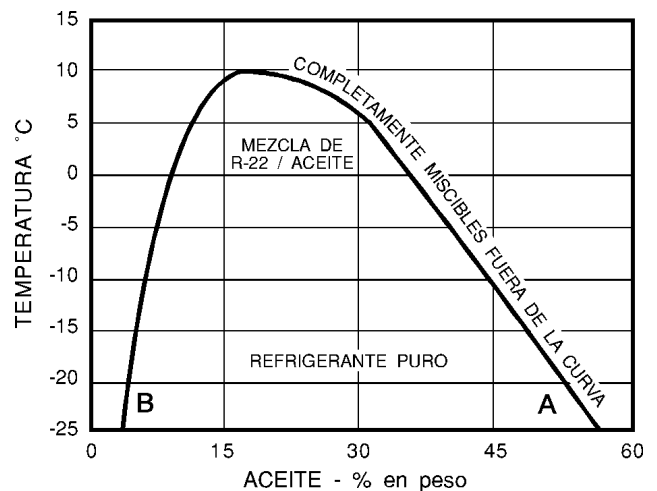


Figura 4.6 - Solubilidad de R-22 en aceite mineral de viscosidad 300 SUS (68 cSt).

Esta condición de dos capas se conoce como "separación de fases", y puede existir en concentraciones de aceite desde 0 hasta 60%. La capa superior es una mezcla rica en aceite, pero con una cantidad considerable de refrigerante; la capa inferior se puede considerar como refrigerante puro, aunque en realidad contiene una pequeña cantidad de aceite. La capa rica en aceite está en la parte superior debido a que el aceite es menos denso que el R-22 y "flota".

La figura 4.6 muestra las condiciones de temperatura y concentración para el R-22 y un aceite mineral de viscosidad 300 SUS. Fuera de la curva, son completamente miscibles y forman una sola fase líquida. Pero en cualquier punto dentro de la curva, existirá una separación de dos capas líquidas. Por ejemplo, a -20°C, la capa rica en aceite (superior) contiene aproximadamente 52% de aceite y 48% de R-22 punto "A", mientras que la capa inferior contiene aproximadamente 97% de R-22 y 3% de aceite, punto "B".

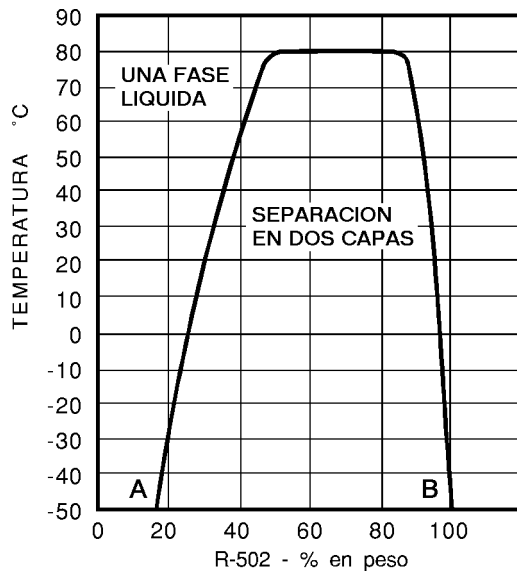


Figura 4.7 - Solubilidad de R-502 en aceite mineral de viscosidad 150 SUS (32 cSt).

Esta separación es ocasional y nunca ocurre cuando el sistema está en operación, sólo surgirá cuando el compresor esté parado por períodos largos, y puede presentarse en cualquier punto del sistema.

**Refrigerante 502.** El comportamiento del R-502 es muy similar al R-22 en cuanto a la formación de dos capas, pero es aún menos soluble en el aceite. En realidad, es tan poco soluble, que las dos capas están siempre presentes a las temperaturas normales de operación de un sistema. Esta separación no se forma sino hasta a temperaturas de más de 80°C y, al igual que con el R-22, la capa rica en aceite es la superior. Por ejemplo, en la figura 4.7, a una temperatura de -40°C la capa rica en aceite contiene aproximadamente 17% de refrigerante, punto "A". A esa misma temperatura, la capa inferior contiene aproximadamente 1% de aceite, punto "B". Dado que con el R-502 la solubilidad con aceite en fase líquida es tan baja, la separación de capas y el regreso del aceite al compresor es un poco más fácil que con R-22.

**Refrigerante 134a.** Actualmente, con este tipo de refrigerante se tiene muy poca experiencia sobre su comportamiento en el campo. Los fabricantes de este refrigerante han hecho pruebas y han publicado algunas de sus propie-

dades termodinámicas y de comportamiento con algunos materiales.

El R-134a no contiene cloro como los otros refrigerantes (12, 22 y 502), por lo que tiene poca solubilidad con los aceites minerales y sintéticos existentes de alquil benceno. En la tabla 4.8, se muestra la solubilidad de este refrigerante con algunos lubricantes minerales y sintéticos.

Las aplicaciones con nuevos refrigerantes como el R-134a, han demandado el desarrollo de nuevos lubricantes. Las propiedades deseables para estos lubricantes son:

- Miscibilidad aceptable con el refrigerante, con o sin aditivos (idealmente de una sola fase en un rango amplio de temperaturas);
- Buena estabilidad térmica para la mezcla;
- Compatibilidad con los materiales del sistema;
- Baja toxicidad, y
- Disponibilidad comercial a un costo razonable.

Con base en datos disponibles, parece que los lubricantes a base de glicoles de polialkileno (PAG), tienen las mejores propiedades para aplicación automotriz. Para las demás aplicaciones, se obtienen mejores resultados ya sea con lubricantes de poliéster o PAG modificados.

**Amoniaco.** Este refrigerante no es miscible con el aceite; por lo que los sistemas con amoniaco, necesariamente deben utilizar separadores de aceite. De otra manera, se acumularían grandes cantidades de aceite en los componentes del sistema con los problemas consiguientes.

Como el aceite es más pesado que el amoniaco líquido, éste se asienta en el fondo. La separación es rápida, y en cierta forma es una ventaja, ya que instalando válvulas en la parte baja de los componentes del sistema, se puede drenar el aceite.

**Problemas en el Cártter**

Cuando un sistema es arrancado por primera vez, es de esperarse que parte del aceite en el compresor se mezcle con el refrigerante y abandone el cárter, de acuerdo a lo mencionado sobre la miscibilidad del aceite y el refrigerante. Después de algunas horas de operación, el aceite y el refrigerante llegarán a un equilibrio. Si baja mucho el nivel del aceite, lo que se puede observar en la mirilla se tendrá que agregar de aceite para tener el nivel de operación. Eso se hace una sola vez, y antes de agregar aceite una segunda vez, debe tomarse en cuenta que el aceite no sale del sistema a menos que haya una fuga de refrigerante. Si no existen fugas y el nivel de aceite baja con frecuencia, teniendo que agregarle aceite una y otra vez, esto puede significar que el aceite se está quedando atrapado en alguna parte del sistema. En el momento menos esperado, dicho aceite será atraído al compresor y posiblemente le causará daños, ya que como sabemos, los líquidos no se comprimen.

Otro problema frecuente es cuando el cárter se vuelve la parte más fría del sistema, lo que sucede en épocas de

TIPO DE LUBRICANTE		% DE R-134a EN LA MEZCLA		
VISCOCIDAD	BASE	30	60	90
500 SUS	Nafténica	2 fases	2 fases	2 fases
500 SUS	Parafínica	2 fases	2 fases	2 fases
300 SUS	Alkil Benceno	2 fases	2 fases	2 fases
165 SUS	PAG	-50 a 93*	-50 a 93	-50 a 73
525 SUS	PAG	-50 a 93	-40 a 35	-23 a -7
150 SUS	POE	-50 a 93	-50 a 93	-50 a 93
300 SUS	POE	-50 a 93	-50 a 93	-50 a 93

\* Una fase en este rango de temperaturas, °C.

Tabla 4.8 - Solubilidad del R-134a en algunos lubricantes.

frío. Cuando el sistema está en operación, el cárter está caliente, pero durante un ciclo de paro prolongado, el compresor se enfría hasta la temperatura ambiente. El vapor de refrigerante en el sistema sigue la ley de los gases y emigra al cárter, donde con la baja temperatura se condensa y se mezcla con el aceite. Como ya vimos el aceite se diluye, disminuyendo sus propiedades lubricantes. Al arrancar el compresor, el cárter sufre una baja repentina de presión, provocando la ebullición violenta del refrigerante líquido y llevándose al aceite con él. Esto aumenta la cantidad de aceite en circulación a través del sistema, haciendo que el compresor opere sin lubricación por un tiempo hasta que el aceite vuelve a retornar, lo que algunas veces no sucede a causa de alguna que existía previamente.

Por otra parte, hay que recordar el comportamiento de algunos refrigerantes poco miscibles con el aceite, como es el caso del R-22, respecto a la separación de dos fases. En un ciclo de paro prolongado, si existe un porcentaje alto de refrigerante mezclado con aceite, la capa inferior será refrigerante casi puro, y los compresores con lubricación forzada por medio de bomba, al arrancar nuevamente, ésta succionará el líquido de la capa inferior que en este caso sería refrigerante puro en lugar de aceite. Los refrigerantes son excelentes solventes y no tienen ninguna propiedad lubricante. A este problema se le conoce como "arranque inundado", y se caracteriza en que al arrancar el compresor y con la repentina reducción de presión en el cárter, se provoca un abundante espumado de la mezcla, la cual se puede observar a través de la mirilla. Figura 4.9.



Figura 4.9 - Formación de espuma al arranque del compresor.

Existen varios métodos para evitar estos tipos de problemas. El menos complicado es el uso de calentadores de aceite, a fin de mantener el cárter lo suficientemente caliente para asegurarse que nunca sea la parte más fría del sistema, y que el aceite esté siempre caliente para vaporizar y expulsar cualquier cantidad de refrigerante. Conjuntamente con este método, lo más recomendable es el uso de un separador de aceite.

## Efectos del Aceite en Circulación

El aceite sale del compresor en forma de pequeñas gotas de rocío, junto con el gas refrigerante comprimido. Al circular junto con el refrigerante a través del sistema, el aceite está sujeto a cambios de temperatura, caliente en el compresor y frío en el evaporador, ciclo que se repite una y otra vez mientras esté en circulación. En el campo, es difícil determinar cuánto aceite está circulando con el refrigerante. Sería de mucha utilidad si se conociera la historia completa del equipo. En equipos grandes, se puede observar el nivel de aceite directamente en el cárter, sin embargo, si se ha agregado aceite varias veces, el nivel en el cárter puede no indicar la carga correcta de aceite. Si existen contaminantes en el sistema, el aceite se degrada formando carbón y lodo, que a la larga es dañino para todas las partes del sistema. El efecto global del aceite en circulación disminuye la eficiencia del equipo, requiriendo que el sistema trabaje por más tiempo e implicando mayores costos. Debe recordarse que los compresores no operan al 100% de eficiencia, pero evitando que el aceite circule en el sistema, su eficiencia es altamente optimizada. La pérdida de capacidad puede significar presencia de exceso de aceite en el sistema. Por ejemplo, un sistema que opera con baja capacidad, puede regresar a su normalidad después de un breve paro o después del ciclo de deshielo con gas caliente. El aceite en el evaporador puede ser arrastrado cuando el serpentín está más caliente de lo normal.

Comparando la temperatura de evaporación y la presión de succión, puede descubrirse la presencia de grandes cantidades de aceite; sin embargo, es difícil medir con suficiente precisión estas condiciones. La presencia de una pequeña cantidad de aceite no afecta grandemente la presión de vapor del refrigerante.

Ninguna parte del sistema es inmune a los efectos dañinos del aceite en circulación. Esto puede considerarse mejor siguiendo el curso de grandes cantidades de aceite a través del sistema.

## Efectos en el Condensador

La presencia de aceite en el condensador también ejerce un efecto adverso, al reducir la capacidad de éste. Cualquier cantidad de aceite que entre al condensador, ocupará un volumen que debería ser utilizado por el refrigerante para condensarse. La capacidad del condensador se reduce en un porcentaje similar al del aceite en la mezcla. Por ejemplo, si en la mezcla refrigerante-aceite que llega al condensador, el 20% es aceite, la capacidad del condensador se reducirá en un 20% y el equipo tendrá que trabajar 20% más de tiempo para que circule la cantidad requerida de refrigerante. Además, el aceite recubre las paredes de los tubos por donde pasa, disminuyendo la transferencia de calor. Si a esto le agregamos que la mezcla aceite-refrigerante observa un comportamiento distinto al del refrigerante puro, lo cual incrementa la presión de condensación.

Si se obtuviera una mezcla de refrigerante líquido del condensador en un cilindro pequeño, el refrigerante se

evaporaría dejando al aceite. Comparando el peso de la muestra con el peso del aceite, se puede determinar la concentración de aceite en el refrigerante. Sin embargo, se necesitan instrumentos para medir los pesos con precisión. Para una mayor exactitud, se puede usar un separador de aceite y remover una cantidad de aceite del refrigerante en un momento determinado.

**Efectos en los Filtros Deshidratadores**

El aceite por sí solo no ejerce gran efecto sobre los filtros deshidratadores en cuanto a reducir su capacidad deshidratante; antes bien, un buen filtro deshidratador debe tener la capacidad de limpiar el aceite sucio y eliminar algunos contaminantes, tales como ácidos y humedad. Sin embargo, cuando el aceite se ha descompuesto químicamente, las ceras y el lodo formados pueden reducir el área de filtración del bloque desecante o del cedazo, o tapanlo totalmente. Si el sistema cuenta con un separador de aceite, no solamente reduce la circulación de aceite a través del filtro deshidratador, sino que los contaminantes sólidos producidos por el aceite se asentarán en el fondo del separador, evitando que lleguen al filtro deshidratador.

**Efectos en los Dispositivos de Expansión**

El aceite también ejerce efectos adversos en los dispositivos de expansión, como son el tubo capilar y las válvulas de termo expansión. En los tubos capilares el efecto es muy similar al que se observa en el condensador, ya que les reduce su capacidad volumétrica. Al circular aceite a través del reducido orificio del tubo capilar, disminuye el flujo de refrigerante y causa variaciones en la presión. También, el punto de ebullición del refrigerante se ve afectado por el aceite, y varía, dependiendo del porcentaje de aceite en la mezcla. Todo lo anterior afecta la habilidad del tubo capilar para controlar el flujo de refrigerante hacia el evaporador, provocando fluctuaciones en la temperatura de evaporación.

El aceite puede afectar de varias maneras las válvulas de termo expansión. La más conocida es la acumulación de ceras alrededor de la aguja, la cual se precipita de aceites minerales de base parafínica, principalmente, por la baja temperatura. Estas ceras obstruyen el orificio de la válvula y en ocasiones la tapan totalmente. Otro efecto del aceite al pasar a través de la válvula de termo expansión, es que le disminuye la capacidad volumétrica de una manera similar que en el condensador; es decir, el aceite ocupa un volumen en la mezcla, reduciendo la cantidad de refrigerante que entra al evaporador. También el bulbo de la válvula de termo expansión se ve afectado por el aceite en circulación, ya que éste recubre las paredes internas del tubo de la línea de succión, causando variaciones en la transferencia de calor, y consecuentemente, afecta el control que el bulbo pueda reflejar al sobrecalentamiento del gas de succión. Esta situación causa que la válvula de termo expansión fluctúe, y no es raro que se cambien válvulas buenas, pensando que son la causa del problema.

**Efectos en los Evaporadores**

Cuando hay exceso de aceite circulando en un sistema de refrigeración, el componente que más se ve afectado en cuanto a eficiencia se refiere, es el evaporador. En este componente la presencia de aceite afecta de varias maneras, siendo la peor de ellas la reducción en la transferencia de calor, debido a que las paredes internas de los tubos se recubren de una película de aceite que actúa como aislante, lo que trae como consecuencia un aumento en las temperaturas de evaporación y de los productos que se están enfriando, haciendo que el equipo trabaje por más tiempo. De igual manera, el evaporador se ve afectado en su capacidad volumétrica debido a la presencia del aceite. En la tabla 4.10 se muestra cómo se reduce la transmisión de calor en un evaporador con R-22.

FLUJO DE CALOR kcal / (h)(m <sup>2</sup> )	COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISION DE CALOR CON R-22 A UNA TEMPERATURA DE EVAPORACION DE -36°C kcal / (h)(m <sup>2</sup> )(°C)		
	R-22 puro	R-22 + 10% Aceite Sintético	R-22 + 10% Aceite Mineral
1,085	36.47	33.46	31.50
1,628	41.44	38.13	35.42

Figura 4.10 - Efecto del aceite en la transmisión de calor en el evaporador.

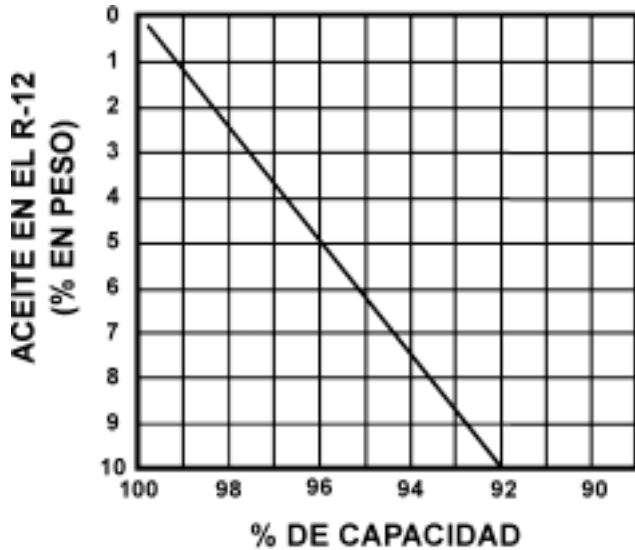


Figura 4.11 - Pérdida de capacidad cuando hay aceite presente en R-12.

Cuando hay aceite presente en el evaporador, el que se quede o no en ese lugar, depende de tres factores:

- a. La viscosidad o fluidez del aceite.
- b. La velocidad del gas refrigerante.
- c. El diseño de la tubería.

El aceite por sí solo es bastante fluido y tiene relativamente baja viscosidad a temperaturas ordinarias. A temperaturas más bajas, el aceite adquiere mayor viscosidad ha-

ciéndose más difícil de escurrir o fluir. A temperaturas extremadamente bajas, se torna sólido. La habilidad de vapor del refrigerante para expulsar el aceite fuera del evaporador, depende de qué tan líquido o viscoso esté. Puesto que el refrigerante tiene muy baja viscosidad, las mezclas de aceite y refrigerante, tendrán una viscosidad intermedia entre la del refrigerante y la del aceite. La mezcla se vuelve menos viscosa mientras haya más refrigerante disuelto en el aceite.

El exceso de aceite en el evaporador también reduce la capacidad del sistema. En la figura 4.11 se muestra un resultado típico de esta reducción de capacidad en el evaporador con R-12.

A diferencia de los sistemas de amoníaco, los sistemas con refrigerantes halogenados, no están provistos de válvulas para drenar el aceite. Los evaporadores de expansión directa arrastran mucho aceite de regreso al compresor, pero los evaporadores de tipo inundado no son tan efectivos para regresar el aceite.

**Evaporadores de Expansión Directa.** En los evaporadores de expansión directa o "secos", todo el refrigerante que entra se evapora completamente antes de llegar a la salida. El aceite presente en el refrigerante líquido alimentado al serpentín, permanece como aceite líquido. En la figura 4.12 se muestran los cambios que se llevan a cabo en el evaporador. A la entrada, se llena con refrigerante líquido que contiene una pequeña cantidad de aceite. Al avanzar a lo largo del evaporador, el refrigerante se evapora separándose del aceite. Al evaporarse todo el refrigerante, sube la temperatura. En la entrada, es muy baja la viscosidad de la mezcla de refrigerante y aceite. Cuando empieza el sobrecalentamiento del refrigerante evaporado, empieza a aumentar la viscosidad rápidamente, hasta que en algún punto a lo largo del evaporador se llega a un valor máximo. Entonces, al aumentar la temperatura, disminuye lentamente la viscosidad. Es importante la ubicación de esta área de máxima viscosidad, puesto

que es aquí donde la velocidad del vapor de refrigerante debe ser suficientemente fuerte para poder empujar el aceite a través de los tubos, hacia una zona donde la temperatura sea más alta y lo haga más fluido.

Las velocidades recomendadas para que el gas refrigerante arrastre el aceite a través de la línea de succión, son de 213 metros/minuto (700 pies/minuto) en las líneas horizontales y de 457 m/min (1500 pies/min) en líneas verticales ascendentes. En las figuras de la 4.13 a la 4.16, se presentan gráficas para estimar las velocidades del gas refrigerante en la línea de succión para R-12, R-22 y R-502. El cálculo y diseño adecuados de la línea de succión, debe ser una función del fabricante del equipo, pero si el sistema es ensamblado en el campo, esto puede ser problemático. No se recomiendan velocidades mayores de 915 metros/minuto (3000 pies/minuto), porque el ruido producido es extremadamente alto, al igual que la caída de presión en la línea.

La viscosidad del aceite es importante porque un aceite muy viscoso o grueso, no es tan fácilmente arrastrado como uno delgado o con menos viscosidad. La viscosidad del aceite depende de la temperatura y la cantidad de refrigerante disuelto (Figuras 4.1 y 4.2). A bajas temperaturas de evaporación, el aceite se vuelve más viscoso y es menos miscible con el refrigerante. A ciertas temperaturas, la combinación de estos dos efectos es tan grande, que el aceite no es empujado a través de la línea de succión tan rápido como ingresa al evaporador, por lo que se va acumulando principalmente en el evaporador.

Si la válvula de expansión no está operando correctamente y no abre lo suficiente, esto permitirá también que se acumule aceite en el evaporador, ya que éste no va a regresar adecuadamente. Eventualmente, se va a acumular tanto aceite, que habrá muy poco espacio para el refrigerante líquido. Bajo estas condiciones, el evaporador perderá capacidad y no bajará la temperatura.

**Evaporadores Inundados.** Cualquier evaporador que utilice un control para mantener un nivel de refrigerante líquido, es un evaporador inundado.

En un evaporador inundado, el refrigerante líquido está presente todo el tiempo. El refrigerante se evapora de la superficie del líquido y mientras haya turbulencia y agitación considerable, hay poca probabilidad de que el vapor arrastre el aceite fuera del evaporador. El aceite que ingresa al evaporador se quedará, a menos que se haga un arreglo especial para removerlo. En esta situación, es importante hacer ese arreglo ya sea que a bajas temperaturas el aceite sea completamente miscible con el refrigerante líquido, o que se formen dos capas.

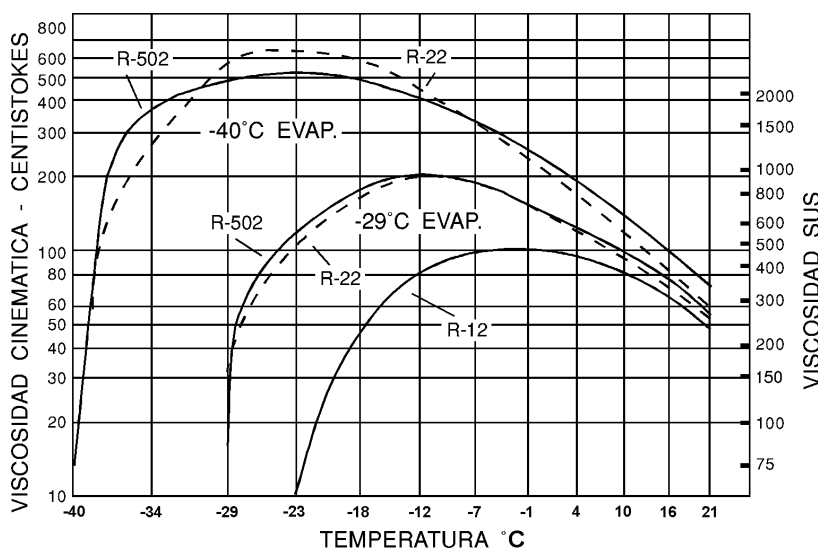


Figura 4.12 - Cambios de viscosidad a lo largo del evaporador.

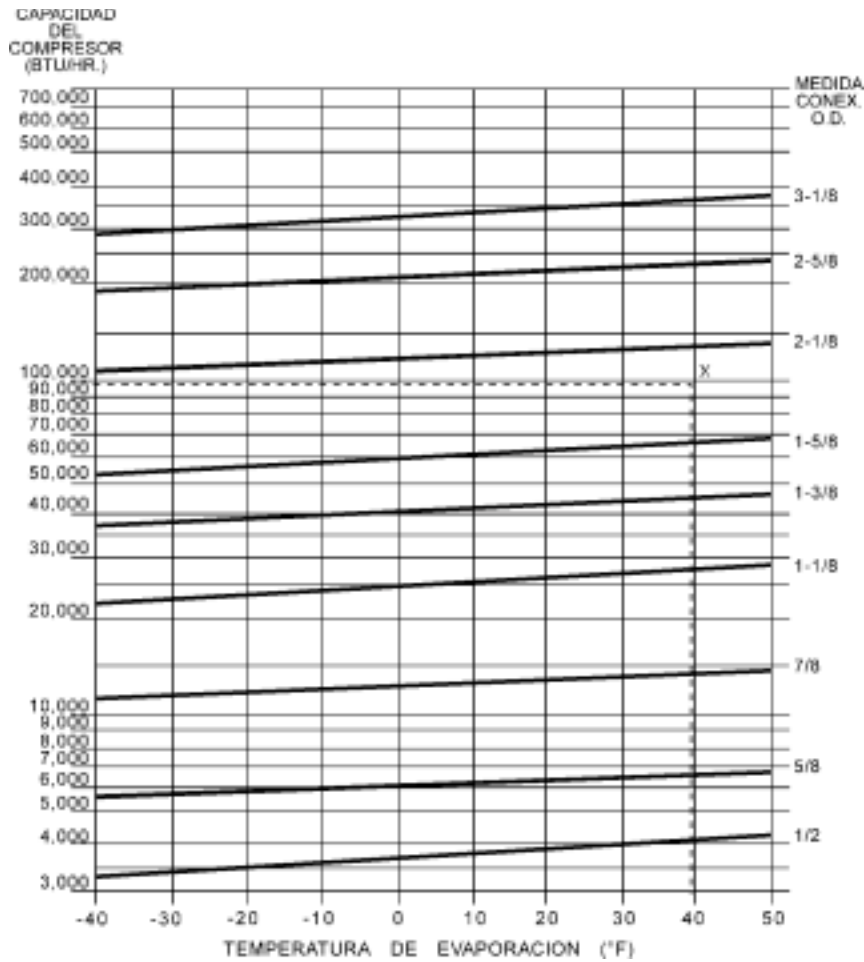


Figura 4.13 - Máximo tamaño de línea de descarga vertical recomendado para un adecuado retorno de aceite. R-12.

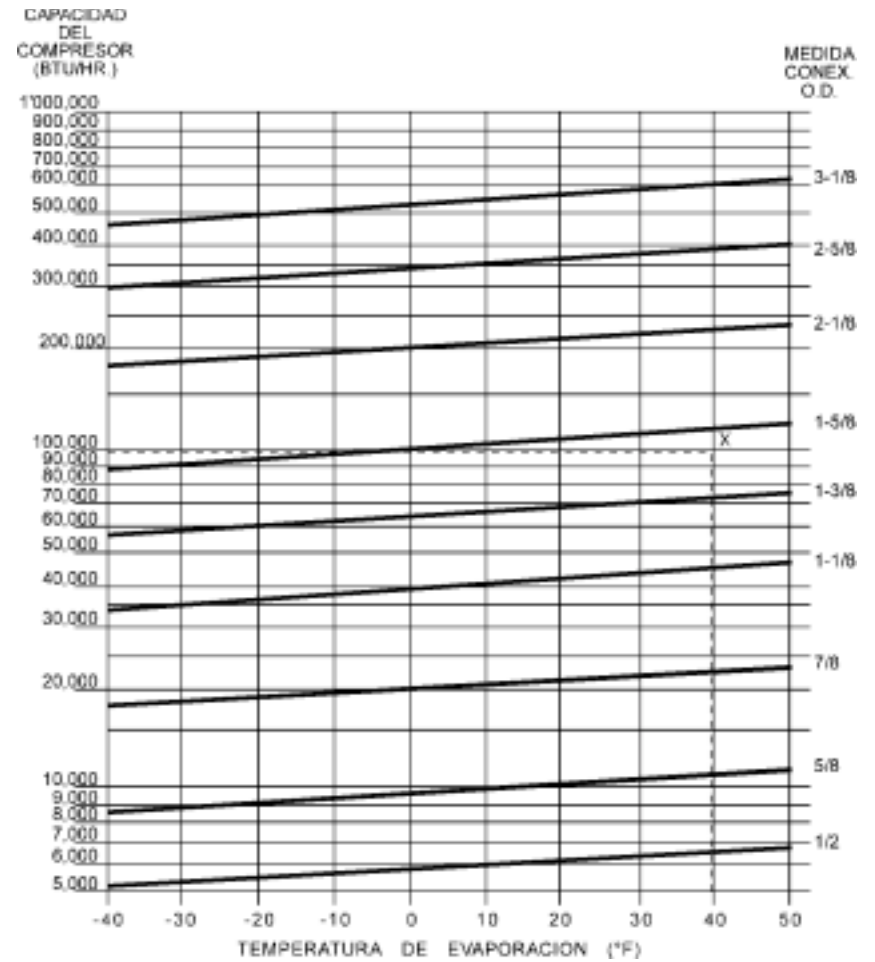


Figura 4.14 - Máximo tamaño de línea de descarga vertical recomendado para un adecuado retorno de aceite. R-22 y R-502.



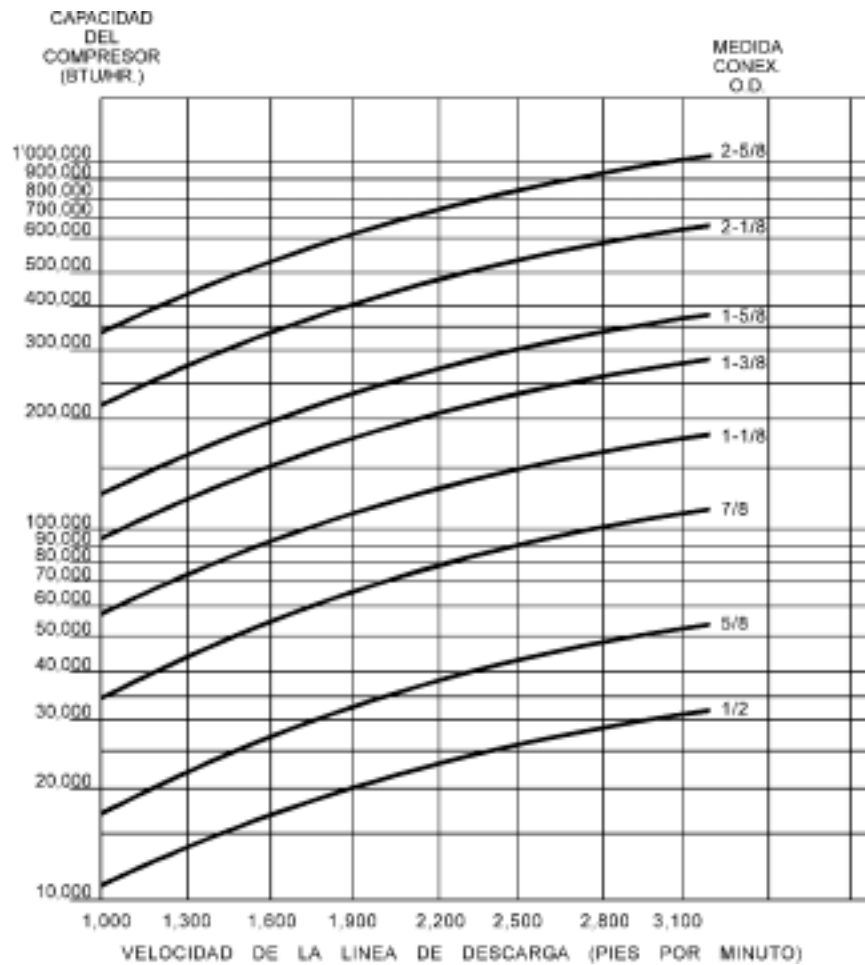


Figura 4.15 - Velocidades en la línea de descarga para varias capacidades en BTU/hr. R-12.

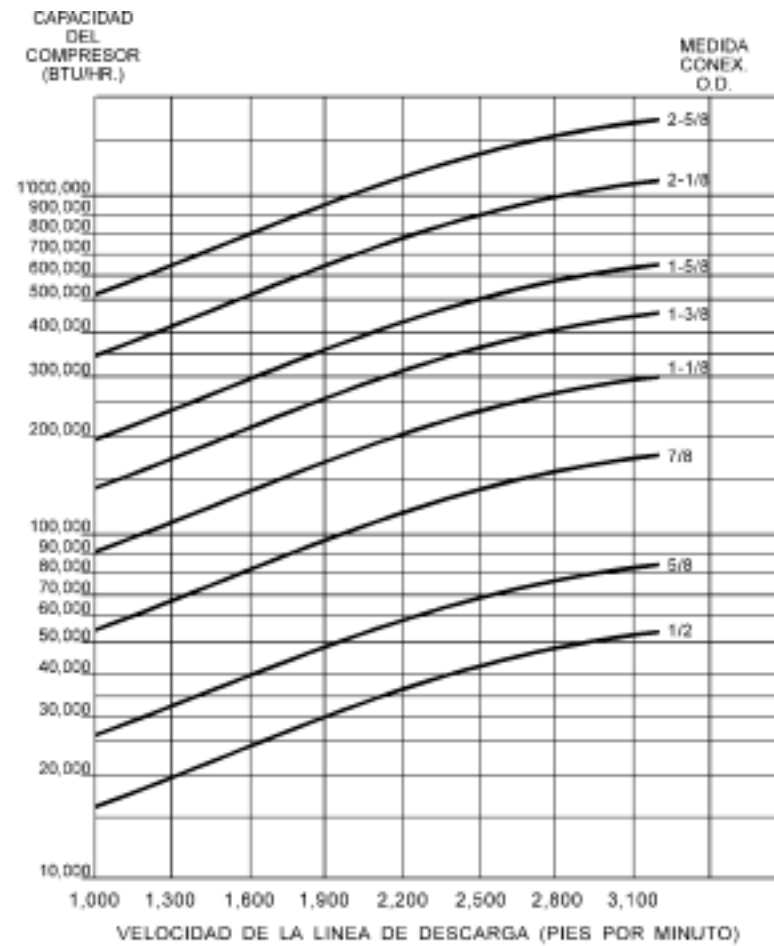


Figura 4.16 - Velocidades en la línea de descarga para varias capacidades en BTU/hr. R-22 y R-502.

El R-12 es completamente miscible con el aceite aún a bajas temperaturas, y para evitar que se vaya acumulando en el evaporador, es necesario hacer un arreglo para que cierto porcentaje de refrigerante se derrame fuera del evaporador, hacia una cámara donde el refrigerante es evaporado fuera del aceite por medio de un intercambiador de calor, y el aceite sea regresado al compresor. La cantidad de líquido acarreado, se ajusta de tal forma, que la concentración de aceite que permanece disuelto en el refrigerante dentro del evaporador sea constante.

Con refrigerantes menos solubles como el R-22 y R-502, se forman dos capas a bajas temperaturas, dependiendo del tipo de aceite y la cantidad presente. Con estos refrigerantes, se debe hacer un arreglo para "sifonear" la capa de aceite de manera continua o intermitente. Aquí también, la capa de aceite se lleva primero a una cámara por medio de un intercambiador de calor, para que se evapore el refrigerante disuelto y el aceite sea retornado al cárter del compresor.

En cualquier caso, deberá llevarse un registro de todo el aceite agregado a un compresor. Esto se hace generalmente en una bitácora. Si se agrega aceite diario o cada dos días, particularmente en los sistemas de refrigerantes halogenados, es probable que se esté quedando atrapado en el evaporador. En un sistema de amoníaco, el aceite agregado deberá ser aproximadamente la misma cantidad del aceite drenado.

### Efecto en Intercambiadores de Calor

Una buena forma de aumentar la temperatura del aceite que sale del evaporador, es instalando en la línea de succión un intercambiador de calor, utilizando el refrigerante de la línea de líquido. De esta manera, el refrigerante líquido que va a la válvula de termo expansión, calienta el vapor y el aceite de la línea de succión. Con esto se consigue aumentar el sobrecalentamiento del vapor y evitar que llegue refrigerante líquido al compresor. También, al aumentar la temperatura del aceite, éste se vuelve menos denso y fluye más fácilmente. A su vez, el refrigerante líquido se sub-enfría antes de llegar a la válvula de

termo expansión, aumentando el efecto de refrigeración en el evaporador. Sin embargo, el objetivo principal de este intercambiador de calor no es calentar el aceite, sino intercambiar el calor entre el refrigerante líquido y el gas de succión, por lo que la presencia del aceite reduce la eficiencia del intercambiador.

En la figura 4.17, se muestra la ubicación de un intercambiador de calor a la salida del evaporador. Las temperaturas que se indican, son representativas de diferentes partes del circuito.

### Efectos en el Compresor

Si un sistema de refrigeración no ha sido diseñado adecuadamente para que el aceite retorne al compresor, y de esta manera mantener un nivel correcto de aceite, o si no cuenta con un separador de aceite instalado, el aceite que sale del compresor se irá quedando atrapado en diferentes partes del sistema, principalmente en el evaporador. Este aceite tarde o temprano regresará repentinamente al compresor, sobre todo en el arranque, después de un periodo de paro prolongado, con muchas posibilidades de que entre por la succión a los cilindros. Cuando esto suceda, en su carrera ascendente tratando de comprimir el gas, el pistón golpeará el aceite, que como ya sabemos el líquido es incompresible, producirá un efecto de "gato hidráulico", dañando algunas partes del compresor. Dependiendo de la cantidad de aceite, el golpe del líquido causará daños desde la ruptura a dobléz de las válvulas del compresor, hasta la ruptura del cigüeñal. Además, habrá que considerar la sobrecarga del motor.

### Efecto del Control de Capacidad

En los sistemas de refrigeración provistos con control automático de capacidad, en los que la línea de descarga de gas caliente está diseñada para cumplir los requerimientos de condiciones de carga total, la reducción de velocidad del gas de descarga, cuando se ha reducido la capacidad del compresor, da como resultado que se separe el aceite en la línea de descarga. Por lo tanto, es importante que en dichos sistemas de refrigeración se seleccione una línea de descarga de diámetro mínimo, para asegurar una velocidad del gas suficiente para transportar el aceite. La línea de descarga también deberá ser lo suficientemente grande, como para evitar una caída excesiva de presión en condiciones de operación a su capacidad total.

Puesto que el control de capacidad abarca un amplio rango, desde 100% hasta 25%, la selección adecuada del diámetro de la línea de descarga debe ser obligatoria.

Un separador de aceite instalado en la línea de descarga de un sistema de refrigeración con control de capacidad, reducirá la mezcla de refrigerante-aceite en la línea de descarga, y por lo tanto, disminuirá los problemas de manejo de aceite a velocidades reducidas del gas.

Cuando la carga se reduzca, la línea de descarga quedará considerablemente sobredimensionada.

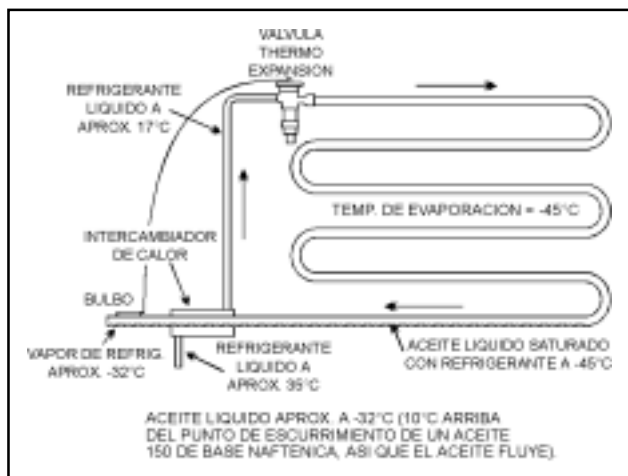


Figura 4.17 - Intercambiador de calor entre la línea de succión y la línea de líquido.

## Uso de los Separadores de Aceite

La forma más común para reducir el aceite en circulación y los problemas que éste conlleva dentro del sistema, es mediante el uso de un dispositivo auxiliar llamado separador de aceite. Su función principal es separar el aceite lubricante del gas refrigerante, y regresarlo al cárter del compresor antes que llegue a otros componentes del sistema.

El uso del separador de aceite en los sistemas de refrigeración se ha vuelto muy común. De hecho, es considerado por la mayoría de los ingenieros y técnicos, como artículo esencial en instalación de unidades de baja temperatura y unidades de aire acondicionado de hasta 150 tons. La eficiencia global de un sistema mejora mucho donde se utiliza un separador de aceite, particularmente para las temperaturas comúnmente encontradas en los refrigeradores de autoservicios y supermercados, en las cuales se manejan temperaturas de evaporación de  $-35^{\circ}\text{C}$  a  $-40^{\circ}\text{C}$ . Igualmente esto es cierto en equipos industriales, de laboratorio y ambientales, que operan a  $-75^{\circ}\text{C}$  y más bajos. Cabe notar que la mayoría de los fabricantes de compresores, requieren separadores de aceite en sus compresores de doble etapa.

Originalmente, el propósito del separador de aceite era mantener el nivel de aceite correcto en el cárter del compresor, pero este solo propósito ha quedado atrás, ya que se han encontrado otros beneficios al prevenir la circulación libre aun de pequeñas cantidades de aceite en el sistema.

Claro, si se mantiene el nivel de aceite correcto, se incrementa la vida del compresor y se eliminan el desgaste y los daños que la falta de lubricación puede causar.

Otra ventaja adicional al instalar un separador de aceite en el sistema, es el efecto silenciador en las pulsaciones del gas de descarga del compresor. Dichas pulsaciones pueden ser transmitidas a todo el sistema. El diseño básico de un separador de aceite reduce estas pulsaciones, cambiando la velocidad y dirección del gas de descarga, reduciendo así el nivel de ruido.

### Como Funciona un Separador de Aceite

El separador de aceite se instala en la línea de descarga, entre el compresor y el condensador, tal como se muestra en la figura 4.18.

El aceite y el refrigerante en un sistema de refrigeración, forman lo que se conoce como *mezcla*, cosa que es diferente a un compuesto. En un compuesto los componentes sólo pueden ser separados por medio de cambios químicos. Una mezcla, por ser una unión física de componentes, puede separarse por medios físicos, tal y como sucede mediante un separador de aceite.

Un separador de aceite depende de tres factores básicos para su operación:

1. Reducción de la velocidad del gas refrigerante.
2. Cambio de dirección del flujo del gas.
3. Superficie de choque a la cual se va a adherir el aceite.

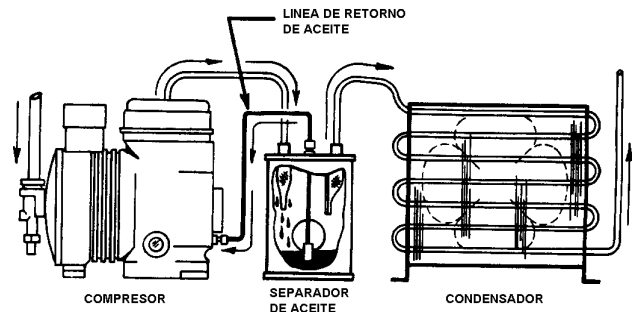


Figura 4.18 - Ubicación de un separador de aceite en un sistema de refrigeración.

Estos tres requerimientos básicos, son incorporados en el diseño de los separadores de aceite. Ver figura 4.19.

El gas de descarga sobrecalentado y cargado de aceite, sale del compresor a alta velocidad, y a través de la línea de descarga llega a la entrada del separador de aceite. Aquí, el refrigerante queda en estado gaseoso con un altísimo sobrecalentamiento y moviéndose a gran velocidad. El aceite tiene la misma velocidad pero en forma líquida, y como tiene mayor densidad que el refrigerante, su inercia también es mayor. Como el área de sección transversal de la cápsula del separador es mucho mayor que la del tubo de descarga, esto provoca una reducción en la velocidad del gas. Simultáneamente a esta reducción de velocidad, la mezcla de gas y aceite pasa a través de la malla de choque a la entrada, donde una parte del aceite es separado del gas refrigerante. Otro gran porcentaje del aceite se encuentra en forma de partículas más finas, las cuales sólo pueden ser removidas provocando que choquen unas con otras para formar partículas más pesadas. Esto sólo puede lograrse gracias al cambio de velocidad que sufre la mezcla de aceite y gas refrigerante, y a que las partículas de aceite tienen mayor densidad que el gas refrigerante.

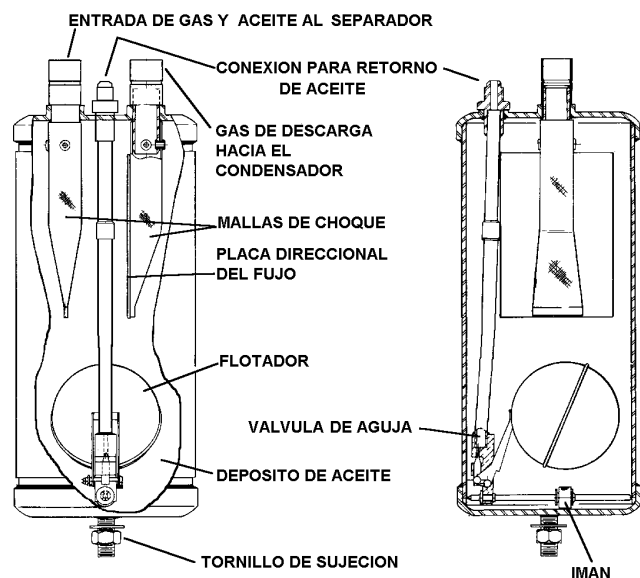


Figura 4.19 - Partes internas de un separador de aceite.

El gas refrigerante una vez liberado de su alto contenido de aceite, fluye hacia abajo y hace un giro de 180° en U alrededor de la placa de choque, donde se separa aún más aceite debido a la fuerza centrífuga; ya que el gas refrigerante sobrecalentado puede cambiar de dirección más fácilmente, dejando abajo el aceite que es más pesado. Finalmente, el gas pasa a través de la malla de salida donde sufre una última depuración, antes de entrar a la línea de descarga, para luego recuperar su velocidad original debido a la reducción del diámetro. Una vez libre de aceite, el gas refrigerante sigue su paso hacia el condensador.

El aceite separado escurre al fondo, donde se encuentra un depósito adecuado para acumularse, hasta que alcance un nivel suficiente para balancear el flotador y accionar la válvula de aguja, la cual permite el regreso del aceite al cárter del compresor. El flujo de aceite hacia el cárter, es provocado por la diferencia de presiones entre la alta presión del gas en el separador y la baja presión en el cárter. Siempre va a permanecer en el separador una pequeña cantidad de aceite, lo suficiente para que con otro poco que se acumule, se accione el mecanismo del flotador.

De manera similar a como el aceite es separado del gas refrigerante, también se puede observar cómo cualquier partícula extraña, como rebabas de metal o carbón, son separadas y precipitadas en forma de lodo que se va acumulando en el fondo del separador de aceite. Los separadores de aceite que fabrica Valycontrol, S.A. de C.V., llevan además un imán en el fondo, para capturar las partículas metálico-ferrosas.

La válvula de aguja operada por el flotador, está ubicada a cierta altura del fondo, para que sólo aceite limpio sea regresado al compresor.

Además de su función principal que es la separar el aceite del gas refrigerante, el separador de aceite cumple con otros objetivos:

1. Asegura una adecuada lubricación para el compresor.
2. Reduce el nivel de ruido generado por las pulsaciones.
3. Disminuye el tiempo de trabajo del equipo y reduce el consumo de energía.
4. Permite que la válvula de expansión opere a su máxima eficiencia reguladora.
5. Asegura una transferencia de calor máxima y continua en el evaporador.

---

### Selección de un Separador de Aceite

Los fabricantes de separadores de aceite, generalmente publican en sus catálogos, tablas de selección basadas en la potencia del motor del compresor (hp) o en toneladas de refrigeración y la temperatura de evaporación. Sabemos que la capacidad real de un sistema en toneladas de refrigeración, la mayoría de las veces no corresponde al tamaño en hp del compresor, debido a que compresores del mismo tamaño pueden trabajar a diferentes velocidades (rpm) y tener diferentes desplazamientos volumétricos. Actualmente, la manera más precisa de seleccionar un separador de aceite, es basándose al desplazamiento

volumétrico del compresor, el cual está en metros cúbicos por minuto (mcm) o bien en pies cúbicos por minuto (cfm por sus siglas en inglés). Deben considerarse, además, las temperaturas de evaporación y de condensación, así como el refrigerante.

Es un hecho que la capacidad real de un compresor depende de la presión de succión. En un compresor de cualquier tamaño, mientras más alta sea la presión de succión, mayor será la capacidad real; y mientras más baja sea la presión de succión, menor será la capacidad real del compresor.

La selección del diámetro de la línea de succión y la de descarga, está grandemente enfocada a obtener la velocidad deseada de los gases en el sistema. La reducción de la velocidad de la mezcla refrigerante y aceite, al pasar a través del separador de aceite, es el factor principal en la separación de aceite. Por lo tanto, es importante la relación del volumen de las conexiones del separador con el volumen de la cápsula. Mientras más grande sea la capacidad del compresor, mayor será el volumen requerido de la cápsula, aunque las conexiones sean las mismas. Puesto que debe haber una mínima caída de presión, las conexiones deben ser capaces de transportar los gases a la misma presión de la línea de descarga. Por lo tanto, las conexiones deben ser del mismo tamaño, o mayores, que las de la línea de descarga.

---

### Dónde y Cómo Instalar un Separador de Aceite en un Sistema de Refrigeración

El separador de aceite deberá montarse de manera segura y firme en posición vertical. Generalmente se instala en la línea de descarga, entre el compresor y el condensador, lo más cerca posible del compresor. Hay que recordar que un separador de aceite funciona con mayor eficiencia, cuando el gas de descarga está altamente sobrecalentado. La línea del compresor se ensambla a la conexión de entrada del separador, y luego se conecta una línea de la conexión de salida del separador a la entrada del condensador. La conexión más pequeña en el separador es la del retorno de aceite, y de ésta, debe conectarse una línea al cárter. Generalmente, se quita el tapón que viene en el cárter y se reemplaza por una conexión "flare", en la cual se conecta la línea de retorno de aceite.

Bajo condiciones de operación normales, no es deseable instalar una válvula de paso en la línea de retorno del aceite. La razón para esto, es que esta válvula pudiera inadvertidamente quedar cerrada, deteniendo el aceite que va al compresor con el consecuente daño. Si desde el punto de vista de servicio se considera ventajoso instalar una válvula de paso, se deberá tener especial precaución en asegurarse que dicha válvula esté en la posición totalmente abierta, durante la operación normal.

Se puede instalar una mirilla en la línea de retorno, procurando que quede en una posición tal, que permita fluir el aceite, y no en una posición en donde éste pueda quedar atrapado.

## Condensación del Refrigerante en el Separador de Aceite

Ocasionalmente, el refrigerante se condensará en el separador de aceite, y, por supuesto, esto ocurre solamente cuando el interior del separador se enfría por debajo de la temperatura de condensación del refrigerante.

Al colocar un separador de aceite, en el caso de unidades enfriadas por aire, es aconsejable seleccionar una posición donde no se vea influenciado por la corriente de aire del volante del compresor, o del ventilador del condensador. La razón para ello, es evitar el enfriamiento de la cápsula del separador, lo cual puede dar como resultado la condensación del gas refrigerante dentro del separador. Si esto sucede, el refrigerante ahora líquido, regresará al compresor donde se mezclará nuevamente con el aceite, causando los problemas que ya vimos, dentro del cárter. Un separador de aceite funcionará mejor cuando opera a la misma temperatura de descarga del compresor; es decir, cuando el gas está con un alto sobrecalentamiento.

Los separadores de aceite de Valycontrol, S.A de C.V., vienen provistos de una chaqueta de aislamiento, para evitar que el gas de descarga pierda sobrecalentamiento. En la mayoría de los casos durante los ciclos de paro, se ha encontrado que este aislamiento en la cápsula es suficiente para mantener el interior del separador por arriba de la temperatura de condensación y ambiente, si la temperatura ambiente no baja demasiado. Si la línea de retorno está fría o escarchada, es indicación de que hay refrigerante líquido en el separador.

Si la unidad de condensación está ubicada fuera del edificio, expuesta a bajas temperaturas con la consiguiente condensación del gas de descarga en el separador de aceite, será necesario aplicar una resistencia eléctrica al separador. Se deberá seleccionar un calentador tipo banda, como los que se utilizan para proteger las tuberías de agua para que no se congelen, con un wattaje de entre 25 y 100 watts. El separador deberá envolverse con la banda, reemplazando la chaqueta. La cantidad de calor requerido, dependerá de la temperatura ambiente, pudiendo controlar el calentador termostáticamente. El calentador puede operar continuamente, o encender cuando el compresor pare.

Antes de instalar un separador de aceite, es necesario agregar una carga inicial de aceite para suplir la cantidad que es retenida en el fondo del separador. Se deberá usar el mismo tipo de aceite que hay en el compresor. En el instructivo que acompaña al separador de aceite, se indica la cantidad que debe agregarse. Este aceite deberá agregarse a través de la conexión de entrada, con un embudo, para evitar derramar aceite en la conexión y que no haya dificultad al soldarlo a la línea. Es recomendable también limpiar los conectores con algún solvente antes de soldar. Durante el proceso de soldadura, es importante colocar un trapo húmedo alrededor del conector, para no afectar las soldaduras hechas en fábrica, y para evitar dañar los empaques de los separadores abiertos.

## Aplicación de los Separadores de Aceite

Hasta ahora, la costumbre en nuestro país de instalar separadores de aceite, se ha limitado a sistemas de baja temperatura con refrigerantes halogenados. Poco caso se ha hecho a los problemas causados por el aceite en sistemas de media y alta temperatura. Sin embargo, por todo lo expuesto hasta ahora en este capítulo, nos damos cuenta de la importancia de instalar siempre un separador de aceite en sistemas de refrigeración comercial, industrial o aire acondicionado, ya sea con compresores herméticos, abiertos o semiherméticos. A continuación, se dan algunas recomendaciones sobre aplicaciones de separadores de aceite en diferentes sistemas.

### Sistemas con Compresor Hermético

Los sistemas con compresor hermético son en los que menos se acostumbra el uso del separador de aceite, pero sobran las buenas razones para instalarlos. Primero, su contenido de aceite es generalmente menor que el de otros tipos de compresores, por lo que al emigrar el aceite al sistema, si no hay un pronto y adecuado regreso al cárter, en poco tiempo el compresor se quedará sin lubricación. Hay que recordar que los compresores herméticos trabajan a alta velocidad, generalmente a 3,500 rpm.

Los compresores de tipo hermético, no cuentan con una conexión para conectar el separador de aceite, por lo que el retorno de éste puede conectarse a una "T" previamente instalada en la línea de succión, cerca de la válvula de servicio. En la figura 4.20 se muestra la forma de instalar un separador de aceite, en un sistema con compresor hermético. La línea de succión deberá llegar de arriba hacia abajo para evitar formar una trampa de aceite.

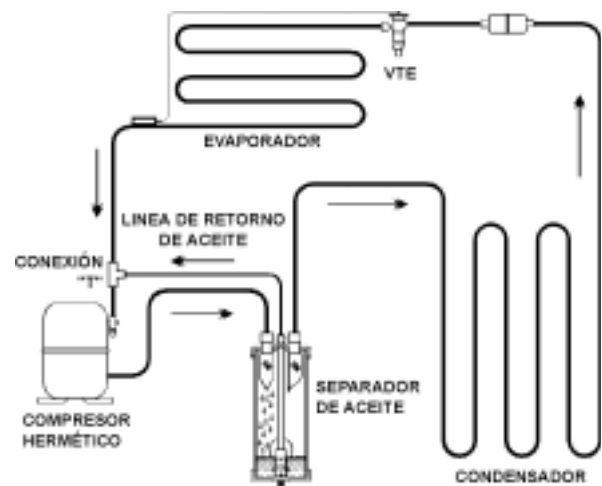


Figura 4.20 - Sistema con compresor hermético.

### Sistemas con Condensador Remoto.

Cuando el sistema utiliza un condensador enfriado por aire de tipo remoto, el uso de un separador de aceite es indispensable por las siguientes razones: estos condensa-

dores normalmente se instalan en las azoteas de los edificios, mientras que el compresor permanece en la planta baja, haciendo que la línea de descarga sea muy larga y tenga que ascender en forma vertical. Si la tubería no ha sido diseñada y calculada adecuadamente, se tendrán algunos problemas, tales como la pérdida de presión, reducción en la velocidad del gas, condensación del refrigerante cuando la temperatura ambiente sea baja, y regreso del aceite al compresor en los ciclos de paro.

La pérdida de presión junto con la reducción de la velocidad del gas de descarga, causan que el aceite se separe del refrigerante y escurra por la línea de descarga hacia abajo, durante los ciclos de paro del compresor, acumulándose en la válvula de descarga. De igual manera, el refrigerante condensado caerá por gravedad, acumulándose también en la válvula de servicio del compresor. Al arrancar de nuevo, el compresor actuará contra una presión hidráulica, pudiendo causar daños severos. Haciendo un buen diseño y cálculo del diámetro adecuado de la línea de descarga, se corregirán la reducción de velocidad y la pérdida de presión. La condensación del gas puede controlarse aislando la tubería, y el regreso del aceite al compresor, puede evitarse instalando trampas en la línea vertical. Pero aún con todo lo anterior, es altamente recomendable la instalación de un separador de aceite, para evitar un exceso de aceite en la línea de descarga, como se ilustra en la figura 4.21.

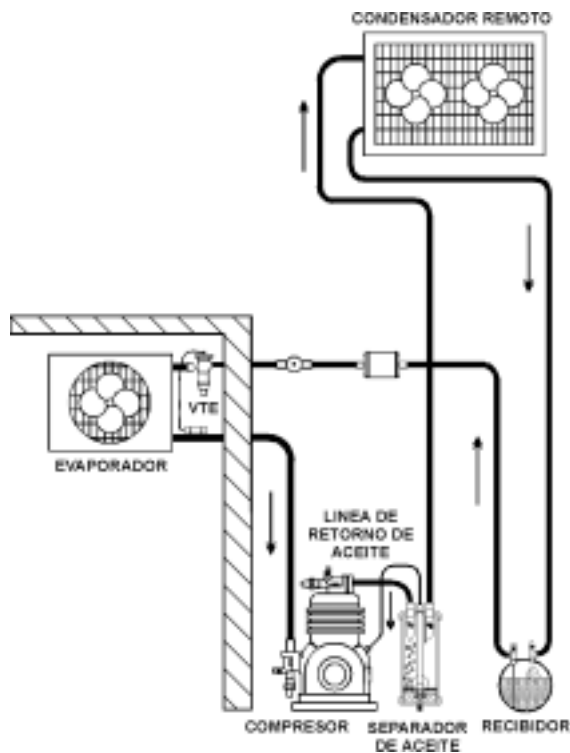


Fig. 4.21 - Sistema con condensador remoto.

### Sistemas de Recirculación de Líquido a Baja Presión

En este tipo de sistemas, la válvula de expansión alimenta el refrigerante líquido a baja presión a un tanque o acumu-

lador, en lugar de alimentarlo directamente al evaporador, como se muestra en la figura 4.22. Algunas veces, se utiliza una válvula de expansión de tipo flotador en el lado de baja. El líquido a baja presión es luego recirculado al evaporador mediante una bomba. La mezcla de líquido y vapor de refrigerante que sale del evaporador regresa al tanque, en el cual se mantiene un nivel a través de un control de nivel de líquido. El vapor es succionado por la parte superior del tanque, y si el sistema no cuenta con separador de aceite, el tanque irá acumulando el aceite y, dependiendo de su miscibilidad con el refrigerante, se formarán una sola fase o dos capas. En esta última, la capa superior es la capa rica en aceite.

Para evitar que el aceite se acumule en el tanque, es indispensable instalar en el sistema un separador de aceite. Aunque esto evitaría un exceso de aceite en el tanque, algo de aceite logrará emigrar mezclado con el refrigerante hacia el tanque, en donde se separarán debido a que su miscibilidad disminuye con la temperatura, y esta pequeña cantidad de aceite flotará sobre el refrigerante líquido. Aunque esta cantidad de aceite es pequeña, después de un tiempo se acumulará una cantidad considerable, la cual deberá ser retornada al compresor. Para esto, es necesario hacer una conexión desde el

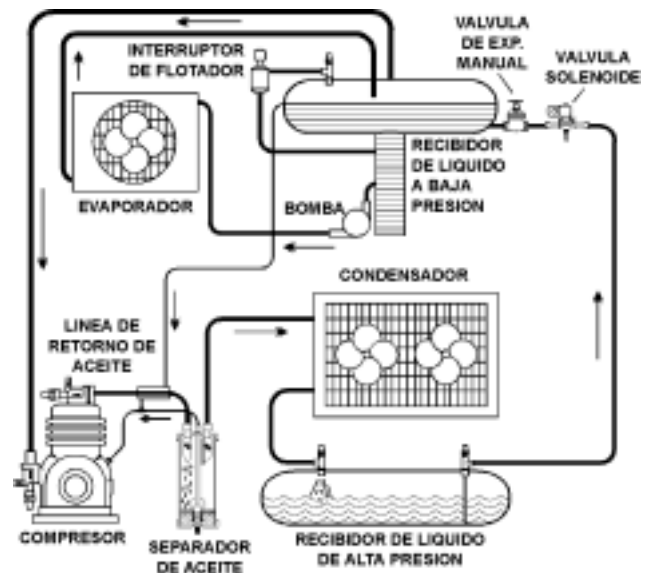


Figura 4.22 - Sistema de recirculación con flotador del lado de baja.

tanque, en un punto justo en el nivel del líquido, hasta la línea de retorno de aceite, la cual debe pasar por un intercambiador de calor con la línea de descarga. De esta manera, si algo de refrigerante líquido se va con el aceite, éste se evaporará en el intercambiador. Se recomienda instalar una válvula de paso en esta línea.

### Sistemas en Paralelo

El uso de compresores múltiples conectados en paralelo, es una opción atractiva que proporciona una gran flexibilidad de operación en sistemas grandes, donde se centralizan los compresores en una sola sala de máquinas. La

capacidad del sistema puede modularse, arrancando o parando algunos compresores individualmente. Debido a la necesidad de esta clase de flexibilidad, además de bajar los costos de operación y conservar energía, ha crecido esta aplicación de compresores en paralelo, principalmente en supermercados.

Este tipo de sistemas utiliza compresores múltiples con una línea de descarga y una línea de succión comunes. Sin embargo, los sistemas en paralelo tienen algunos problemas de operación potenciales. Uno de ellos, es el mantener el nivel de aceite correcto en el cárter bajo cualquier condición de operación. Durante períodos de carga baja, uno o más compresores del sistema en paralelo pueden estar parados, mientras los otros pueden seguir operando. Cuando se presenta esta condición, debido a las diferencias de presión y a la circulación de vapor de refrigerante a través de los compresores apagados, el nivel de aceite en el cárter de los compresores apagados puede disminuir, lo que provocaría que se disparase el interruptor de presión de aceite. Cuando esto ocurre, los compresores parados no arrancarán de nuevo cuando la carga requiera más enfriamiento. Para evitar que esto suceda, deberá instalarse un sistema igualador de aceite eficaz, como el que se muestra en la figura 4.23.

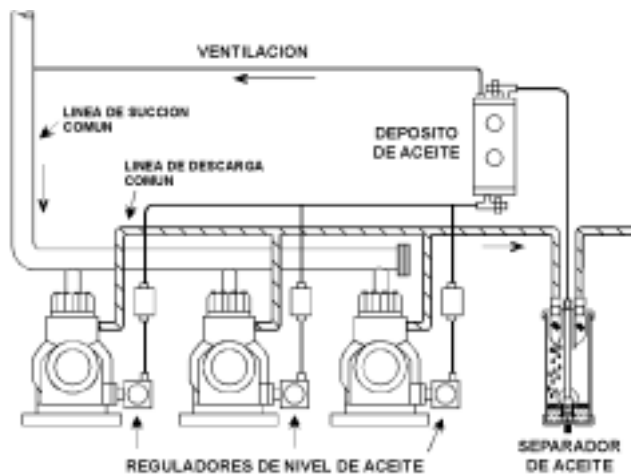


Figura 4.23 - Sistema de compresores en paralelo.

Este sistema utiliza tres componentes básicos:

1. Un separador de aceite para todos los compresores.
2. Un depósito de aceite.
3. Un regulador de nivel de aceite para cada compresor.

Generalmente, en un sistema normal, el aceite capturado por el separador es retornado al cárter del compresor. Pero en un sistema en paralelo, solamente se utiliza un separador para dos o más compresores; así que el aceite es enviado al depósito, el cual a su vez distribuye el aceite a los reguladores de nivel.

El depósito de aceite es un recipiente que contiene aceite de reserva, el cual le llega del separador. Es de esperarse que la presión alta de descarga llegue al depósito, junto con el aceite proveniente del separador. Después de un

tiempo, puede acumularse suficiente presión que afectaría adversamente el ensamble del flotador y aguja en el regulador de nivel. Por protección, se instala una línea de ventilación desde la parte superior del depósito a la línea de succión. Esta línea permite que la presión en el depósito, sea aproximadamente la misma que la de la línea de succión y de los depósitos de aceite de los compresores. El depósito abastece aceite a los reguladores de nivel. Para esto, cuando sea posible, el depósito deberá estar ubicado arriba de los reguladores de nivel, para que el aceite sea alimentado por gravedad.

El regulador de nivel controla el nivel individualmente en cada compresor, mediante una válvula de aguja operada por flotador. Este retiene el exceso de aceite hasta que baja el nivel en el cárter del compresor, bajando el flotador y abriendo la válvula. El aceite proveniente del depósito será entonces admitido dentro del cárter, levantando el flotador. Cuando se alcanza el nivel correcto, la válvula cerrará, deteniendo el flujo de aceite en ese cárter en particular.

### Sistemas de Etapas Múltiples

Cualquier sistema de refrigeración que contenga más de una etapa de compresión, es considerado como sistema de etapas múltiples. Estos sistemas se utilizan para alcanzar temperaturas muy bajas, cuando éstas no pueden alcanzarse con una sola etapa por razones económicas, o cuando la relación de compresión es mayor de 10:1, lo que dificultaría alcanzar las temperaturas de evaporación y condensación requeridas. Hay dos tipos de sistemas de etapas múltiples: el de doble etapa (compound) y el sistema en cascada.

### Sistemas de Doble Etapa

En la figura 4.24 aparece un sistema de doble etapa (compound) típico, resaltando la instalación recomendada para control del aceite. Con estos sistemas se alcanzan bajas temperaturas en el rango de -30 hasta -60°C, utilizando dos o mas compresores conectados en serie. El de la primera etapa, es más grande que el de la segunda etapa, y el siguiente es más pequeño que el de la segunda,

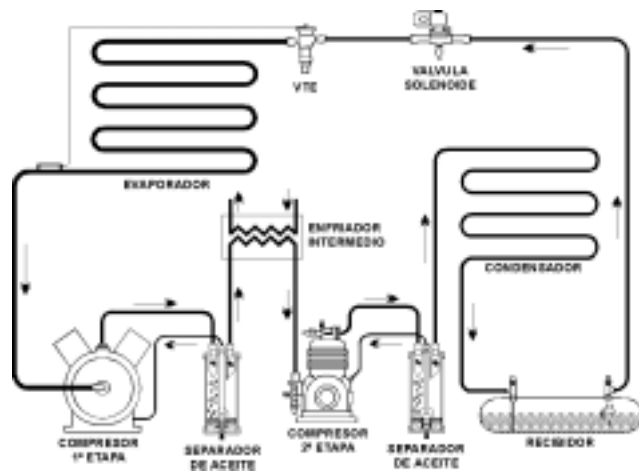


Figura 4.24 - Sistema de doble etapa.

y así sucesivamente, debido a que los compresores de las etapas altas manejan un vapor de refrigerante más denso.

El refrigerante descargado por el compresor de la primera etapa (comúnmente llamado «*booster*»), es succionado por el compresor de la segunda etapa; es decir, no hay condensación entre un compresor y otro. En lugar de eso, al vapor solamente se le baja la temperatura (sobrecalentamiento) utilizando un enfriador intermedio.

En este tipo de instalaciones, generalmente se recomienda el uso de un separador de aceite para cada compresor, a fin de reducir al mínimo la cantidad de aceite en circulación. Tal como vimos al principio de este capítulo, la miscibilidad del aceite con los refrigerantes, depende de la temperatura y del tipo de refrigerante; a más baja temperatura disminuye la miscibilidad, y con algunos refrigerantes, el aceite se separa formando dos capas. También, si consideramos que la temperatura de congelación de los aceites minerales está entre  $-35$  y  $-40^{\circ}\text{C}$ , y la de los aceites sintéticos está en un rango de  $-35$  a  $-50^{\circ}\text{C}$ , el aceite se congelaría en el evaporador.

Algunas veces se utiliza un solo separador de aceite para todo el sistema, instalándolo en serie con el último compresor. En estos casos, se corre el riesgo de que el aceite que sale del compresor de la primera etapa, aumente el nivel en el cárter del compresor de la segunda etapa, y el primero tendrá problemas de falta de aceite. Para solucionar esto, el compresor de la segunda etapa deberá colocarse a un nivel más alto que el de la primera etapa, y a este último, deberá instalársele en el cárter un regulador de nivel accionado por flotador. La entrada de este regulador se conecta al cárter del compresor de la segunda etapa, al mismo nivel de la mirilla. De esta manera, cuando aumente el nivel de aceite en el compresor de la segunda etapa, fluirá por gravedad hacia el regulador de nivel y de allí al cárter del compresor de la primera etapa.

### Sistemas en Cascada

Los sistemas del tipo de etapas múltiples, por lo regular, se utilizan para alcanzar temperaturas ultra bajas, generalmente menores de  $-45^{\circ}\text{C}$ , las cuales no se podrían obtener con un sistema de una sola etapa, por las mismas razones que en los sistemas anteriores.

En una instalación de refrigeración en cascada, se utilizan dos o más sistemas de refrigeración, tal como se muestra en la figura 4.25. Los sistemas operan al mismo tiempo, y están interconectados de tal forma, que la función del evaporador del ciclo

que trabaja a más altas presiones y temperaturas (primera etapa), es remover el calor del condensador del ciclo que opera a presiones y temperaturas más bajas (segunda etapa).

Normalmente, el intercambiador de calor que se utiliza para interconectar un sistema con otro (evaporador-condensador), es un evaporador de casco y tubos del tipo inundado, en el cual el refrigerante de la primera etapa circula por los tubos. Por lo general, se utilizan diferentes refrigerantes para cada etapa.

Debido a las bajas temperaturas a que operan estos sistemas, los problemas causados por el aceite son más críticos que en los sistemas de doble etapa, ya que el aceite puede congelarse en el evaporador de la segunda etapa. Es obligado el uso de separadores de aceite para reducir al mínimo la cantidad de aceite en circulación, y lo más recomendable es instalar un separador de aceite después de cada compresor.

Como son sistemas de refrigeración independientes, aquí no se presenta el problema de mantener el nivel de aceite en el cárter de cada compresor, como sucede en los sistemas en paralelo y en los de doble etapa. Si el evaporador de la segunda etapa es del tipo inundado, lo más probable es que el aceite se congelará y flotará sobre el refrigerante. Se recomienda hacer un arreglo para el retorno del aceite desde el evaporador al cárter del compresor, como se muestra en la figura 4.22. Con relación a esto, para la segunda etapa debe seleccionarse un aceite especial, con bajo punto de floculación.

Los separadores de aceite fabricados por Valycontrol, S.A. de C.V., tienen un mecanismo de válvula de aguja accionada por flotador que hace posible retornar  $4,750\text{ cm}^3$  (c.c.) por minuto de aceite capturado al compresor, a una presión de 440 libras por pulg<sup>2</sup> (psig). Esto es indistintamente del tamaño del separador. Para las oleadas de presión se requiere un flotador más fuerte. Nuestro flotador es de acero inoxidable y soportará hasta 900 psig. El mecanismo de la válvula operará hasta 440 psig. El separador de aceite, tiene una presión de ruptura de 2,500 psig.

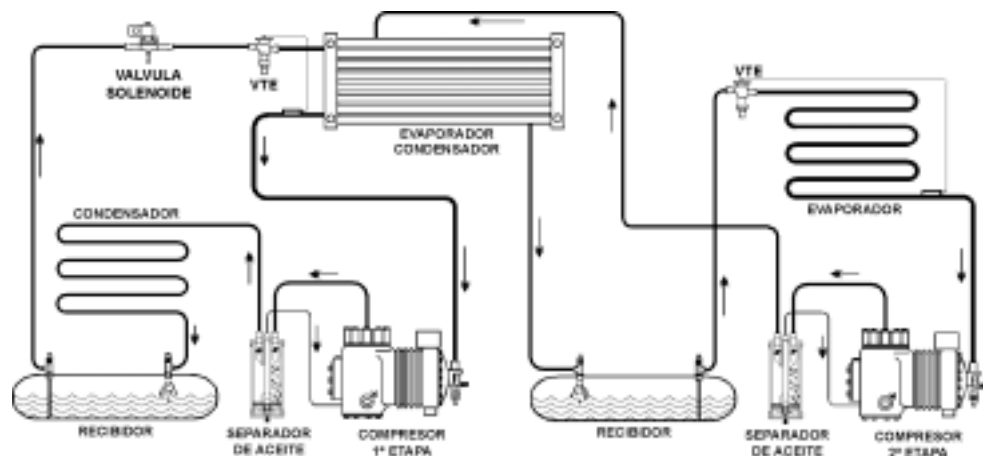


Figura 4.25 - Sistema en cascada



Las mallas de entrada y salida de nuestros separadores son de latón, con un área abierta de la malla igual a un mínimo de 13 veces el área del conector. Una placa entre las mallas de entrada y salida, evita que el aceite se proyecte directamente a la salida, lo que les aumenta la eficiencia.

Los separadores de aceite de Valycontrol, S.A. de C.V. son adecuados para cualquier refrigerante, excepto el amoníaco. Estos separadores son capaces de retornar un volumen de aceite relativamente grande al cárter del compresor, a través de la válvula de aguja. En las figuras 4.26 y 4.27 se muestran la proporción de retorno de aceite y la cantidad de aceite requerida para abrir la válvula, respectivamente, a diferentes presiones de descarga.

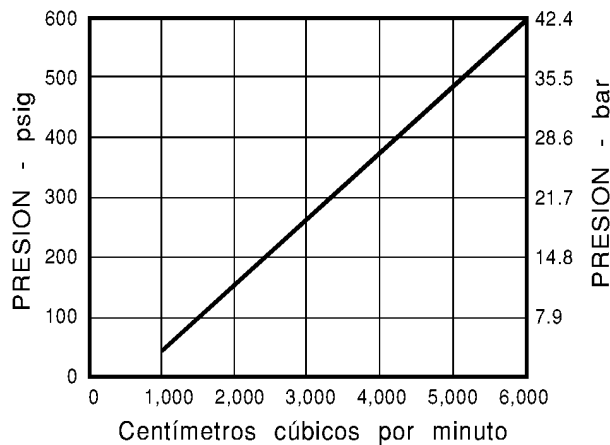


Figura 4.26 - Proporción de retorno de aceite.

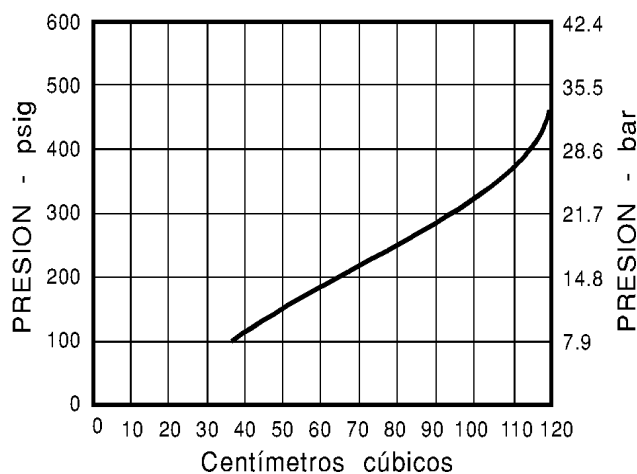


Figura 4.27 - Aceite requerido para abrir la válvula de retorno después de la carga básica de 450 c.c.

### Cómo dar Servicio a los Separadores de Aceite

Los separadores de aceite son unidades robustamente construidas, y generalmente presentan poco problema de servicio, si se han seguido las instrucciones del fabricante

para la selección del tamaño y la instalación. También se debe considerar la temperatura ambiente a la que se puede encontrar el separador de aceite.

En operación normal, la línea de retorno del aceite al cárter del compresor, estará alternadamente caliente y fría. Esto es porque se abre la válvula de flotador y retorna el aceite al cárter, para luego volver a cerrar al disminuir el nivel de aceite en el separador. Si la línea de retorno de aceite está a la temperatura ambiente todo el tiempo, significa que la válvula de retorno del aceite en el separador, puede estar bloqueada por algún material extraño. Si está continuamente caliente, la válvula de flotador puede tener alguna fuga, o está siendo abierta por el lodo o por suciedad; también la presión será afectada, reduciendo la capacidad del sistema. En cualquier caso, deberá limpiarse el separador de aceite. Si el mecanismo de flotador está dañado, será necesario reemplazarlo. Si el separador es de tipo sellado, se tendrá que reemplazar toda la unidad. Un compresor que está bombeando demasiado aceite, también puede causar que la línea de retorno esté continuamente caliente. También, si un separador de aceite es muy chico para un compresor, causará que la línea de retorno de aceite esté caliente. Esto puede comprobarse visualmente si se instala una mirilla en la línea de retorno del aceite.

Si la línea de retorno está continuamente fría, puede haber condensación de refrigerante en el separador. También, en líneas verticales largas, deberá instalarse una trampa por cada tres metros de altura, para evitar que un exceso de aceite en la línea de descarga regrese al separador en los ciclos de paro (lo que puede sobrellenar el cárter).

Cuando se dé servicio a un separador en un sistema que ha estado en operación por algún tiempo, en el cual se ha acumulado lodo por la circulación del aceite, puede ser necesario limpiar las mallas y la válvula de retorno de aceite. Para hacer esto, en los separadores de tipo abierto, puede quitarse la tapa y lavar todas las partes con un limpiador no acuoso.

Cuando se instale un separador de aceite en un sistema existente (viejo), en el cual puede haber aceite en el lado de baja, es esencial que sea revisado el nivel de aceite en el cárter después de que éste haya tenido la oportunidad de regresar al compresor. El exceso de aceite que haya retornado deberá ser retirado.

Cuando haya ocurrido una quemadura de motocompresor, el separador de aceite deberá ser desmontado para inspeccionarlo. Si es de tipo abierto y la unidad ha sido dañada, como ocurre con frecuencia, deberá ser reemplazado. Cuando es de tipo sellado, deberá reemplazarse después de una quemadura del motocompresor. Si no se estaba utilizando un separador de aceite al ocurrir la quemadura, y se instala uno después, deberá limpiarse el sistema antes de instalar el separador.