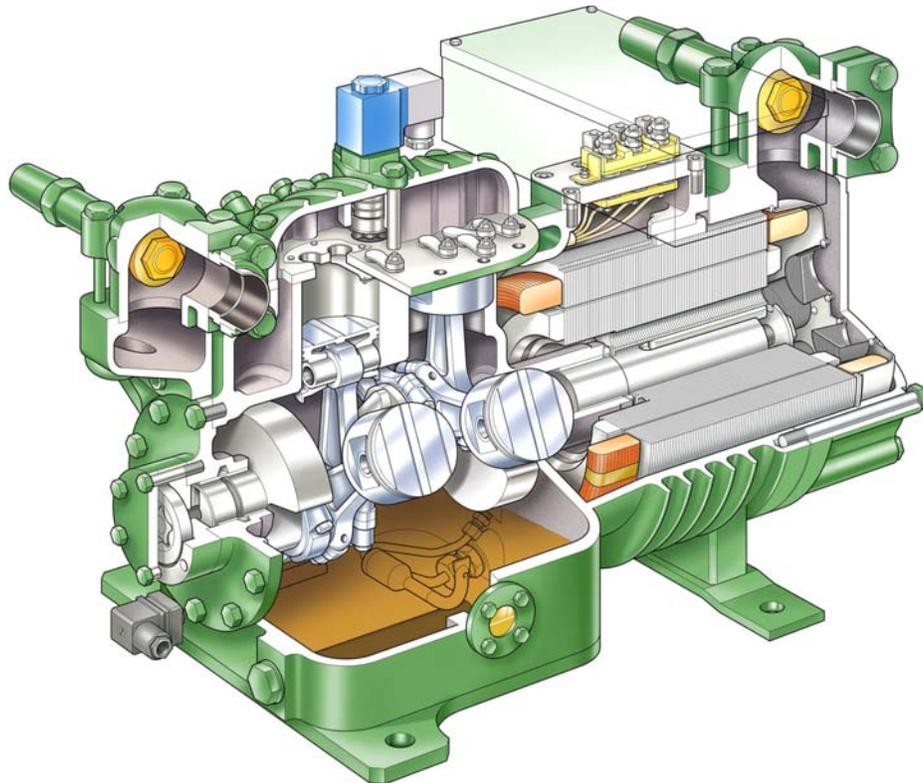




**BITZER**  
I · N · T · E · R · N · A · T · I · O · N · A · L

# Manual

## *ANÁLISIS DE IRREGULARIDADES EN LOS COMPRESORES RECIPROCANTES*



**“Siempre deberá analizarse cada compresor que falló. El trabajo de investigación y las informaciones obtenidas indicarán las acciones correctivas a ser adoptadas para evitar la repetición de la falla”.**

Ing. Alessandro da Silva  
Ingeniería de Aplicación / Entrenamiento  
[aplicacao@bitzer.com.br](mailto:aplicacao@bitzer.com.br)  
(0055) 11 - 3648-3108 / (0055) 11 - 9196-1808

Análisis de Irregularidades  
Compresores Alternativos

SUMARIO

	Página
OBJETIVO	3
MANTENIMIENTO PREVENTIVO	4
EXAMINANDO EL SISTEMA DEFECTUOSO	4
IDENTIFICACIÓN Y ESTADO DE LAS PIEZAS	4
CLASIFICANDO LOS PROBLEMAS DEL SISTEMA	5
RETORNO DE LÍQUIDO	6
DAÑO CAUSADO POR GOLPE DE LÍQUIDO	9
CAUSAS DEL GOLPE DE LÍQUIDO	10
PROBLEMAS DE LUBRICACIÓN	15
ELEVADAS TEMPERATURAS DE DESCARGA DEL COMPRESOR	21
PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN DEL SISTEMA	26
PROBLEMAS ELÉCTRICOS	33
LIMPIEZA DEL SISTEMA	43
VERIFICACIONES ANTES DEL ARRANQUE	43
ARRANQUE	46
REVISIÓN	48

## OBJETIVO

El objetivo de este estudio es familiarizar al técnico con la apariencia de las piezas del compresor que hayan sufrido los efectos de ciertas condiciones de mal funcionamiento del sistema. Este trabajo se destina a perfeccionar la técnica de diagnóstico y la identificación y corrección de los problemas del sistema y de la aplicación.

Al examinar esta presentación o estudiar este manual, debemos recordar que tanto los compresores que funcionan normalmente como sus sistemas, están sujetos a algunos de los mismos elementos relacionados con sistemas defectuosos. Todos los sistemas están sujetos al calor, al barniz, al aceite decolorado y a algún desgaste natural que se manifiesta a través de riesgos leves. Además de eso, siempre se encuentra alguna contaminación en el sistema. Es físicamente imposible eliminar el 100% de los elementos que contribuyen a la contaminación del sistema frigorífico.

Lo que un técnico precisa es de un sentido desarrollado de lo que es normal y de lo que no lo es. Este trabajo presenta los extremos de los defectos. Sin embargo ¿qué sistema no falló o no presentó señales de falla? ¿Hasta qué punto esperan poder ver las condiciones de desgaste o de abuso que van a ser descriptas? Ese conocimiento de lo normal versus lo anormal deberá ser fruto de la experiencia y de la curiosidad natural desarrollada del técnico – esto es, no siempre aceptar la llave obvia como el único medio de salvación.

La mayoría de los compresores está proyectada para soportar pequeños problemas del sistema. A medida que proyectos más nuevos, que obtienen ventaja de eficiencias más altas, son introducidos, los técnicos se enfrentan a nuevos desafíos bajo la forma de una regulación más precisa del sistema y del entendimiento del mismo. La limpieza es ahora más importante con los sistemas proyectados con tolerancias más rígidas. Los técnicos, acostumbrados a emplear pequeños artificios en los sistemas antiguos y resolver los problemas, están ahora encontrando mayores problemas como resultado de esos métodos o del empleo de otros métodos. El propio compresor raramente es el problema en sistemas que presentan fallas. La llave para el mantenimiento de equipamientos con compresores recíprocos hoy en día se basa en un completo entendimiento de las condiciones y de la secuencia de los hechos que llevan a fallas.

Este manual trata de las fallas del compresor de forma sistemática. Primero se examinan las piezas afectadas; a seguir, se estudian las condiciones que llevaron a la falla y la posible causa, o causas, de la falla.

Se da énfasis a la ubicación y a la corrección de la causa básica de la falla antes de intentarse cualquier reparación o sustitución. Si la causa básica no se corrige, será apenas una cuestión de tiempo antes de que una nueva falla ocurra.

## **MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

La mejor forma de prevenir los problemas del compresor, es iniciar una planilla de mantenimiento preventivo que incluya el registro rutinario de las condiciones de funcionamiento del sistema. El registro diario de las presiones, de las temperaturas, supercalentamiento, subenfriamiento, etc. de funcionamiento del equipamiento, provee un medio de acompañar el desempeño del sistema durante todo el año. Con ese tipo de datos se pueden detectar, las tendencias que pueden hacer que las condiciones de funcionamiento se desvíen de los límites aceptables.

El registro de los datos de desempeño del sistema no sólo provee un medio para detectar problemas inminentes, sino que además, en caso de falla esas informaciones podrán ser usadas para reconstruir la serie de sucesos que lo ocasionaron. Al final de este trabajo se dan algunas sugerencias que podrán ayudarlo en el establecimiento de un sistema de registro para los operadores del equipamiento de su cliente.

## **EXAMINANDO EL SISTEMA DEFECTUOSO**

*Al procurar llegar a la causa de la falla del sistema, use todos los datos posibles que pueda obtener de toda y cualquier fuente.*

Converse con el personal que opera el equipamiento del cliente y descubra lo que pueda sobre el tipo de ruido que la unidad presentó inmediatamente antes de la falla: ¿El funcionamiento era normal o anormal? ¿A qué hora ocurrió la falla? Si sabe eso, podrá determinar la causa del problema por ocasión de la falla. ¿El operador mantenía un registro como sugerido arriba? Si lo mantenía, su trabajo de investigación será más fácil.

## **IDENTIFICACIÓN Y ESTADO DE LAS PIEZAS**

*Al desmontar un compresor dañado, identifique las piezas a medida que sean retiradas, de forma que sus posiciones relativas dentro de la máquina puedan ser determinadas cuando sean examinadas.*

Para que la marca permanezca legible, marque las piezas con un metal trazador o marcador mágico permanente para evitar que se borren durante su manipulación.

Además de la identificación de las piezas que son removidas, examine el estado general de cada pieza del compresor. ¿Están ciertas piezas limpias y sin daño? En caso afirmativo, anote eso. Si el compresor en general se presenta sucio, ¿qué tipo de contaminación puede ver? Mucha cosa puede ser determinada en este punto si puede identificar hollín, barniz, carbonización, borra, revestimiento de cobre (copper plating), oxidación o partículas de aluminio, cobre, hierro, etc. Siempre relacionar esos objetos encontrados a las áreas del compresor o las piezas individuales.

Por ejemplo: ¿Las válvulas del conjunto plato de válvulas están averiadas? En caso afirmativo, ¿dónde y cómo? Aún si se necesita una limpieza completa para ver el daño, las informaciones obtenidas podrán ser de gran valor al hacerse el análisis final.



Foto 1



Foto 2

## CLASIFICANDO LOS PROBLEMAS DEL SISTEMA

Al lidiarse con las fallas del compresor resultantes de problemas del sistema, como estamos haciendo en esta presentación, debemos, en primer lugar, identificar las varias categorías generales de fallas del sistema en las cuales la mayoría de las fallas de compresor conectada al sistema pueda ser definida. Cada una de esas categorías será, entonces, discutida en términos de daño que pueden causar y, finalmente, las soluciones para cada una de esas áreas. Siendo así, los técnicos de refrigeración deben estar preparados para, enseguida a este trabajo, buscar otras fuentes, tales como: Boletines de Ingeniería, Informaciones Técnicas, Cuadernillos, Manual del Mecánico de Refrigeración, etc., todas esas literaturas técnicas de la Bitzer, lo ayudará a desarrollar aún más estas técnicas y habilidades.

Pasemos ahora a las varias categorías generales de fallas del sistema. La mayoría de las fallas del compresor, con excepción de los defectos del producto, puede ser clasificada en las siguientes categorías generales:

**RETORNO DE LÍQUIDO:** Sucede principalmente cuando el supercalentamiento del gas en la succión del compresor tiende a “cero”. Esta succión “húmeda”, debido al efecto detergente del refrigerante, es capaz de remover toda la película lubricante de las partes móviles del compresor y, como consecuencia, provocará su rotura mecánica.

**GOLPE DE LÍQUIDO:** Daño causado por la presión hidrostática cuando el compresor intenta comprimir un líquido (sea aceite, refrigerante o ambos).

**PROBLEMAS DE LUBRICACIÓN:** Problemas relacionados con desgaste excesivo causado por la falta de cantidad suficiente de aceite lubricante en las áreas esenciales.

**CONTAMINACIÓN DEL SISTEMA:** Material extraño resultando en desgaste excesivo, causando daño mecánico del motor o recalentamiento.

**HUMEDAD EN LA INSTALACIÓN:** Formación del “copper plating” en las partes móviles y calientes del compresor, resultado que proviene de la mezcla de humedad/refrigerante/aceite que producen reacciones capaces de atacar químicamente tuberías de cobre y, principalmente, los motores eléctricos de los compresores herméticos y semiherméticos. Aparecen principalmente en las instalaciones donde no se ha hecho una buena evacuación y deshidratación del sistema.

**SUCIEDAD DE LA INSTALACIÓN:** Que resulta de la falta de cuidado de la instalación del sistema, o de cualquier otra intervención realizada. Son principalmente partículas de metal y óxidos de cobre y hierro, provenientes de la instalación donde no han sido utilizados cortadores de tubos y gas de protección durante toda la soldadura.

**TEMPERATURA DE DESCARGA ELEVADA:** Se produce principalmente cuando se trabaja con un valor elevado del supercalentamiento del gas en la succión del compresor, resultando la carbonización del aceite lubricante y la consecuente rotura mecánica del compresor.

**PROBLEMAS ELÉCTRICOS:** Aquellos problemas que pueden causar fallas, con excepción de los problemas eléctricos causados por daños mecánicos. Nuestro estudio incluirá también algunas de las causas mecánicas de fallas eléctricas.

Analicemos con más detalles cada una de esas áreas:

## **RETORNO DE LÍQUIDO**

Es una de las fallas más comunes que encontramos en los compresores que han sufrido averías mecánicas. El retorno de líquido se produce principalmente cuando el supercalentamiento del gas en la succión del compresor está tendiendo a “cero”, debido al efecto detergente del refrigerante. Él es capaz de remover toda la película de lubricación de las partes móviles del compresor y, consecuentemente, provocará su rotura mecánica.

Cuando analizamos las piezas dañadas del compresor, podemos observar que el retorno de líquido deja las piezas “limpias”, o sea, sin aceite y sin señales de carbonización. Es lo que podemos observar en la foto 3, donde este compresor sufrió avería mecánica debido al bajo valor del supercalentamiento. Se percibe que la primera ocurrencia es el

“enclabamiento” de los aros de compresión en los pistones, por causa del aumento de la resistencia de fricción provocada por la ausencia de lubricación. En la foto 4 aparece también otra parte dañada de este mismo compresor, el conjunto bomba de aceite.



Foto 3



Foto 4



Foto 5



Foto 6

### Analizando el supercalentamiento y Subenfriamiento

Para esta etapa, necesitaremos dos instrumentos: el termómetro y el manifold (conjunto de manómetros de alta y baja presión). Para verificar el supercalentamiento, debemos medir la presión y la temperatura de succión, ambas deberán ser obtenidas tanto en la salida del evaporador (supercalentamiento útil o estático) como en la succión del compresor (supercalentamiento total), principalmente en los sistemas donde la longitud de la línea de succión es significativa. Utilizando tablas o reglas de presión y temperaturas saturadas del refrigerante en cuestión, tendremos que convertir la presión de succión, que ha sido obtenida a través del manómetro, en temperatura de evaporación y con el termómetro

mediremos la temperatura de succión. La diferencia entre la temperatura de succión y la temperatura de evaporación es lo que llamamos supercalentamiento.

El supercalentamiento útil o estático, medido en la salida del evaporador y controlado por la válvula de expansión, normalmente varía de 3 a 7K. El supercalentamiento total, medido en la succión del compresor, varía de 8 a 20K. El supercalentamiento es un mal necesario que evita retorno de líquido al compresor, sin embargo el mismo deberá ser mantenido dentro de las condiciones exigidas por el fabricante del equipamiento y compresor. Un supercalentamiento muy bajo podrá provocar retorno de líquido para el compresor, consecuentemente sucederá su rotura mecánica prematura. Por otro lado, un supercalentamiento elevado ocasionará altas temperaturas de descargas, carbonización del aceite, alta potencia consumida y reducción de la vida útil del compresor.

Procedimiento idéntico debe realizarse en el caso del subenfriamiento, sin embargo, las medidas deberán ser realizadas en la salida del condensador. Utilizando tablas o reglas de presión y temperatura saturadas del refrigerante en cuestión, tendremos que convertir la presión de la línea de líquido (o de descarga), que ha sido obtenida a través del manómetro, en temperatura de condensación y con el termómetro mediremos la temperatura de la línea de líquido. La diferencia entre la temperatura de condensación y la temperatura de la línea de líquido es lo que llamamos de subenfriamiento. El subenfriamiento es necesario para evitar el indeseado “flash gas” (evaporación instantánea del líquido) en la entrada de la válvula de expansión. De acuerdo con las buenas prácticas de la refrigeración, lo ideal es mantener el valor de subenfriamiento variando de 5 a 11K. El factor determinante para garantizar un buen subenfriamiento en la línea de líquido será la capacidad satisfactoria del condensador de atender todo el calor rechazado del sistema y un buen control de la temperatura de condensación.

	Supercalentamiento		Subenfriamiento	
Providencia	Aumenta	Disminui	Aumenta	Disminui
Abrir la Vál. Exp. Term.				
Cerrar la Vál. Exp. Term.				
Cargar con Refrigerante				
Sacar Refrigerante				

Observaciones importantes:

- 1) Variando 1K en el subenfriamiento, se varía 3K en el supercalentamiento.
- 2) Válvula de expansión termostática: en sentido horario cierra y en sentido antihorario abre.

Figura 1: Ajuste del supercalentamiento y Subenfriamiento

## DAÑO CAUSADO POR GOLPE DE LÍQUIDO

En primer lugar, veamos el daño mecánico que está típicamente asociado a las presiones hidrostáticas resultantes del golpe de líquido.



Foto 7



Foto 8

(Foto 7 y 8) - El desmontaje de esos compresores reveló la avería de la válvula de succión del conjunto plato de válvulas causada por la tentativa de comprimir refrigerante líquido o aceite, o ambos.



Foto 9



Foto 10

Una vez que un líquido es virtualmente no compresible, el golpe resultante daña de modo característico las válvulas de succión de ese conjunto. En este ejemplo pedazos de la válvula de succión rota han sido encontrados presos contra la válvula de descarga del lado del paso del gas.

Ese es un caso muy serio. Más frecuentemente la válvula de succión permanece íntegra, mas se produce una fisura radial o se fragmenta cuando se la somete al golpe de líquido.



Foto 11



Foto 12

(Foto 11) - Este es el conjunto biela y pistón retirado del mismo compresor de la foto 7. La avería del pistón se produjo cuando entró en contacto con los pedazos de la válvula rota.

Cuando se encuentra este tipo de avería, los cilindros son generalmente dañados al punto de precisar ser reparados.

De la misma forma, otros compresores pueden presentar daños de la válvula de succión y descarga del conjunto plato de válvulas cuando se los somete a casos severos de golpe de líquido. La parte superior del pistón presentará, en general, marcas causadas por el contacto con fragmentos de las paletas.

Siempre que observe avería de las paletas, retire el motor y examine cuidadosamente el estator y el rotor. Es posible que fragmentos de las paletas se hayan alojado en el estator del motor o en sus bobinas, donde podrán causar futuros puntos de quema. Este asunto será explicado con más detalles en el ítem “Problemas Eléctricos”, página 33.

## **CAUSAS DEL GOLPE DE LÍQUIDO**

### Retorno del Refrigerante Líquido al Compresor Debido a Válvula de Expansión Impropia

Una válvula de expansión no debidamente súper dimensionada se transforma en una de las principales causas de retorno de líquido y del golpe resultante. Mientras que una válvula súper dimensionada podrá funcionar bien en carga total, podrá perder el control cuando trabaje en carga parcial. La razón es que en carga parcial, la válvula intenta mantener el control en su ajuste de supercalentamiento, sin embargo por su puerta súper dimensionada pasa más líquido que el necesario. Eso superalimenta el evaporador, causando una rápida reducción en el supercalentamiento del gas de salida. En respuesta a

eso, la válvula se cierra hasta que el supercalentamiento sea restablecido. En ese punto la válvula se abre nuevamente para dar paso a una nueva porción de líquido. Esa condición de búsqueda (hunting) permitirá que el líquido fluya a través del evaporador y para dentro de la línea de succión, donde podrá entrar en el compresor y causar daños.

Es importante notar que algunos productos compactos son intencionalmente proyectados con válvulas de expansión reguladas para mayores capacidades. En tal caso, la válvula ha sido cuidadosamente regulada y testada para garantizar que atenderá los objetivos específicos del proyecto. No confunda ese tipo de selección de válvula con el tipo de válvula seleccionada en el “campo” y discutida arriba.

En muchos casos, algunas válvulas instaladas en el campo son seleccionadas por personas no expertas. Un técnico experto debe desconfiar de válvulas instaladas en el campo.

### Retorno de Refrigerante Líquido Debido a la Carga Reducida

Flujo reducido de aire a través de una serpentina de expansión directa, resultando en el congelamiento de la serpentina. El hielo aísla las superficies de transferencia de calor de la serpentina, lo que reduce aun más la carga que la serpentina realmente percibe.

En tal condición de carga reducida de la serpentina, la válvula de expansión generalmente no es capaz de un control preciso. De cierta forma es súper dimensionada para el trabajo que está intentando hacer y se comportará de la misma manera como ya ha sido descrito en relación a la válvula de expansión impropriadamente dimensionada. Un enfriador de agua mostrará los mismos síntomas cuando esté muy incrustado o el flujo del agua sea bajo.

### Retorno del Refrigerante Líquido Debido a la Mala Distribución del Aire en el Evaporador

Problema semejante podrá encontrarse cuando la distribución de aire a través de la fase de un evaporador no sea uniforme. La mala distribución del aire causa una carga desigual de los circuitos de refrigerante de la serpentina, resultando en una temperatura de succión irregular, sentida por la válvula de expansión. Eso puede hacer que aún una válvula adecuadamente proyectada “busque”, oscile (“hunt”), resultando en un posible retorno de refrigerante líquido a través de los circuitos poco cargados.

La mala distribución del aire se puede evidenciar por puntos congelados o por la aparición de puntos de condensación en la serpentina.

### Migración de Refrigerante

Migración es el resultado de la condensación de refrigerante en la parte más fría del sistema. El refrigerante que circula como vapor se retiene en forma de líquido cuando se condensa en el local más frío. Generalmente ese local es el compresor o el evaporador cuando las temperaturas ambientes externas son elevadas.

La migración del refrigerante constituye una preocupación, principalmente en las instalaciones donde el compresor se encuentra instalado en un nivel más bajo que el del evaporador y/o condensador.

Para evitar la migración de líquido refrigerante proveniente del condensador, se recomienda instalar una válvula de retención en la línea de descarga del compresor. Es interesante también colocar un “sifón invertido” en la entrada del condensador.

En el caso del evaporador, se recomienda siempre que sea posible hacer la parada del compresor por recolección de líquido (pump down system). Sería muy importante también instalar un “sifón invertido” inmediatamente en la salida del evaporador, ya que podrá haber una pérdida a través de la válvula solenoide de la línea de líquido, la que normalmente no posee un cerramiento absolutamente hermético. Eso significa que, con el tiempo, un gran porcentaje de carga de refrigerante terminará entrando en el evaporador y será impedida de entrar por la succión a través del sifón.

Obviamente, en caso que esta recomendación no sea tomada, grandes cantidades de refrigerante líquido retornarán a través de la línea de succión y /o descarga, resultando en golpe de líquido y dilución de aceite.

Es importante notar que la migración de líquido refrigerante para el compresor no se evitará por la existencia de un calentador del aceite del carter. La cantidad de refrigerante involucrada superará la capacidad del calentador y consecuentemente romperá el compresor por golpe de líquido.

### Retorno de Aceite

El retorno de aceite puede ser tan perjudicial como el retorno de refrigerante líquido apenas en términos de golpe de líquido. Un sistema de tuberías bien proyectado promoverá un movimiento uniforme del aceite, evitando la acumulación de golpes nocivos de aceite.



Figura 13



Figura 14

Se debe prestar atención a las tuberías del sistema, por ejemplo, en los sistemas que deben funcionar por largos períodos de tiempo en carga mínima donde las velocidades del gas necesarios para el movimiento del aceite pueden ser insuficientes. Si un proyecto inadecuado de tuberías permite que grandes cantidades de aceite sean retenidas cuando está en carga mínima, el aceite podrá retornar como un golpe cuando el compresor vuelva a trabajar en capacidad más elevada.

Para evitar problemas de velocidad del gas, asociados a la operación en capacidad mínima, es absolutamente necesario que las prácticas aceptadas de proyecto y de dimensionamiento de las tuberías sean estrictamente seguidas.

El propósito principal del aceite en un sistema de refrigeración es el de lubricar las partes móviles del compresor. La operación de sistemas de control de aceite, principalmente con compresores en paralelo, es uno de los temas menos comprendidos del sistema en la refrigeración. Muchos ingenieros y técnicos de mantenimiento creen que el separador de aceite, el reservorio y los reguladores de nivel de aceite (boyas) son las que determinan el nivel de aceite de los compresores. *¡Este es un concepto equivocado!*

Es importante notar que la adición de un separador de aceite, reservorio y reguladores de nivel de aceite no reducirá la cantidad de aceite en un sistema proyectado, instalado y operado adecuadamente. El separador de aceite sirve para minimizar la cantidad de aceite que entra en el sistema. Una vez que el equilibrio entre la cantidad de aceite que entra en el sistema y la que retorna al compresor es alcanzado, el reservorio de aceite y el regulador de nivel sirven solamente como depósito del exceso de aceite.

Cualquier alteración en las condiciones de operación del sistema que rompa el equilibrio establecido (aceite entrando vs. aceite saliendo) será corregido o no, por el sistema de control de aceite dependiendo de las condiciones en las que el sistema se encuentra.

La eficiencia de un separador de aceite tiene poco efecto en un sistema de refrigeración, en caso de que este sistema haya sido proyectado inadecuadamente, dimensión de tuberías incorrecta o esté con su mantenimiento mal hecho. Cuando estos hechos ocurren, tendremos aceite en exceso en las tuberías del sistema debido a la velocidad insuficiente del refrigerante que es necesaria para cargar el aceite de vuelta al compresor. Es para este tipo de problema de aplicación que el sistema de control de aceite surgirá para “acomodar” el exceso de aceite. El exceso se notará cuando el sistema controlador actúe como un retardador y limitador de la cantidad de aceite en circulación en la tuberías entre los ciclos de deshielo (la velocidad del refrigerante, terminado el deshielo, es muy alta y “barrerá” el aceite que quedó perdido por el sistema de vuelta para el compresor).

Niveles de aceite en el compresor que suben drásticamente después del final del ciclo de deshielo son indicativos de alguna anomalía en el sistema. El problema debe ser identificado y corregido. El exceso de aceite disminuye la capacidad de cambio de calor en el evaporador y provoca el golpe de aceite dañando el compresor.

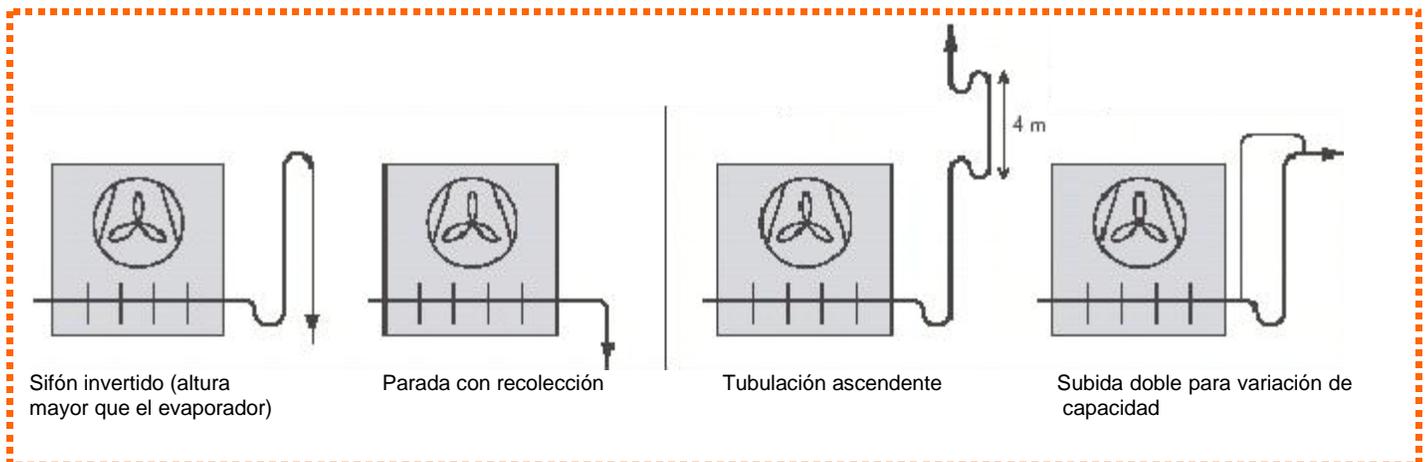
Los compresores conectados en la misma tubería de descarga y de succión no recirculan exactamente la misma cantidad de aceite, no todos los compresores tienen el mismo padrón de desgaste o los mismos períodos de funcionamiento. El propósito del sistema de control de aceite es el de compensar las diferencias moderadas entre la tasa de recirculación de los compresores individualmente debido al tamaño, tiempo de funcionamiento y desgaste de estos compresores. Existen diferencias moderadas en la cantidad de aceite que retorna a cada compresor a través de la línea de succión relativa a la cantidad que sale del mismo compresor a través de las líneas de descarga individuales.

Compresores recíprocos funcionando normalmente recirculan algo entre el 1% y el 3% de aceite por Kg. de refrigerante. Muchos "racks" tienen compresores diferentes instalados en un mismo "colector" de succión y de descarga para que sean operados selectivamente basados en la demanda de carga.

### Prácticas de Tuberías Para Garantizar Un Buen Retorno de Aceite

La tubería instalada apropiadamente es una de las llaves del éxito en el retorno de aceite. Algunas prácticas básicas deben aplicarse principalmente cuando se instala un sistema ramificado de tuberías.

La primera regla es utilizar sifones de aceite en la base de cada tubo "elevador" de succión, de descarga y de la línea de líquido, si es necesario. Disminuir el diámetro del tubo "elevador" para aumentar la velocidad del gas para 7.0 m/s o más, garantizando el arrastre de aceite. Disminuir el diámetro de las tuberías no solamente aumenta la velocidad del gas como también aumenta la caída de presión en la línea. La alta velocidad es necesaria para facilitar el movimiento de subida del aceite por el tubo.



**Figura 2: Diseño del tubo de succión en la salida del evaporador.**

La segunda regla es que la tubería horizontal tiene que estar apoyada y en declive por lo menos de 20 mm a cada 6 metros de longitud hasta el compresor para retornar el aceite. Por

causa de esta compensación de presión necesaria, velocidades cercanas a 2,5 m/s son normalmente encontradas en largos trechos de tubos horizontales.

La tercera regla práctica es asegurarse que las válvulas de expansión termostáticas estén adecuadamente ajustadas. Un supercalentamiento mayor que el normal disminuye la velocidad del gas en la salida del evaporador, dificultando el escape del aceite y disminuyendo la eficiencia del cambio de calor. Operando el sistema en la temperatura de saturación inferior a la determinada en el proyecto, también disminuirá la velocidad del gas de succión dificultando el arrastre del aceite, además de disminuir también la capacidad del compresor y alterar toda la performance del sistema frigorífico.

## **PROBLEMAS DE LUBRICACIÓN**

Dentro de las categorías comunes de problemas de lubricación del compresor están la dilución del aceite, la pérdida de aceite y la viscosidad reducida del aceite debido al supercalentamiento del compresor.

### Dilución del Aceite

Probablemente, el problema más común de lubricación es la dilución del aceite. Como el aceite posee una gran afinidad con el refrigerante se puede fácilmente entender cómo éste se puede diluir excesivamente por el refrigerante durante las paradas prolongadas, haciendo con que pierda gran parte de sus calidades de lubricación. Y dentro de ciertas bandas de temperatura normal, dependiendo del tipo de aceite, puede ocurrir que la mezcla de aceite y refrigerante se sature, causando la separación de los dos fluidos. La mezcla más densa, rica en refrigerante, busca la parte inferior del carter, mientras que la mezcla menos densa, rica en aceite busca la parte superior. Además de eso, cualquier refrigerante que haya migrado y condensándose en el evaporador va a diluir más aceite en el arranque.

Cuando se produce el arranque en un compresor con exceso de refrigerante en el carter, una mezcla rica en refrigerante es succionada por la bomba de aceite. Siendo un excelente solvente, el refrigerante lava el aceite de las bancadas. Además el aceite altamente diluido forma mucha espuma y puede hacer que la bomba de aceite pierda realmente su capacidad de bombear por algún tiempo, después de la presión del carter ser reducida en el arranque. Agregue a esa mezcla un golpe secundario de refrigerante migrado del evaporador y el escenario estará montado para una falla mecánica, debido a una severa dilución del aceite y a un lavado con refrigerante. Las calidades de lubricación mínimas del aceite espumoso, unidas a un flujo pequeño, o aún inexistente de aceite de la bomba y la acción de lavado de refrigerante líquido de la dilución, ocasionarán riesgos en las superficies de las bancadas, cigueñal, cilindros y conjuntos biela y pistón. El grado de desgaste que se produce durante cualquier arranque depende de la miscibilidad aceite y refrigerante.

La avería de la bancada causada por la excesiva dilución del aceite se limita generalmente a las bancadas de la biela más cercanas a la bomba de aceite. Las demás bancadas pueden no presentar daño porque la porción de refrigerante de la mezcla podrá fluir a través de las

bancadas de las bielas más cercanas a la bomba de aceite antes de que la mezcla alcance la extremidad del circuito de lubricación, lo que permitirá la lubricación adecuada de esos sectores.



Foto 15

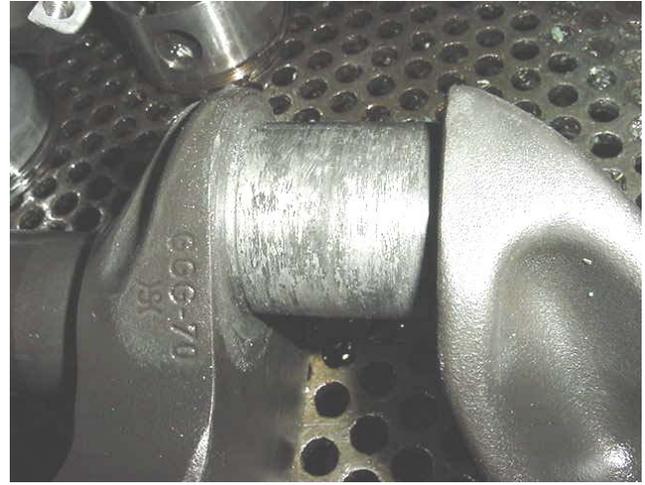


Foto 16

(Foto 15 y 16) – Estos son cigueñales que han sido sometidos a un lavado de refrigerante. El punto importante de esa observación es la forma por la cual el metal de las bielas de aluminio está literalmente esparcido en la superficie del cigueñal.

Los asientos de las bielas en el cigueñal no presentan cualquier decoloración característica proveniente de la temperatura porque el fallo sucedió casi que instantáneamente y el refrigerante en evaporación dentro del carter y de los orificios de lubricación absorbieron la mayor parte del calor resultante de la fricción. En un fallo tan rápido cuanto éste, el cigueñal no se recalienta.



Foto 17



Foto 18

(Foto 17) - Una biela del mismo compresor presenta una mancha semejante de aluminio de las superficies del cigueñal. Nuevamente la biela presenta una pequeña o ninguna decoloración causada por el calor.



Foto 19



Foto 20

(Foto 19 y 20) Enclabamiento de los aros de compresión en los pistones y gran desgaste de los pistones, son comunes cuando se produce una excesiva dilución de aceite y retorno de refrigerante. El motivo de ese tipo de falla se debe al hecho de que si una alta dilución está produciéndose debido a un lavado con refrigerante migrado, las paredes superiores del cilindro empiezan a desgastarse y eso resulta en la eventual traba y rotura del pistón dentro del cilindro o camisa.



Foto 21



Foto 22

(Foto 21 y 22) - La parte superior de estos pistones han sido rayadas cuando la pérdida del material de la biela resultó en holgura suficiente para el pistón golpear en las láminas de succión del conjunto plato de válvulas.



Foto 23



Foto 24

(Foto 23 y 24) – La bancada localizada en la extremidad de la bomba presenta manchas semejantes del material de los bujes de la bancada.

De esa aplanación, se hace aparente que las fallas ocasionadas por la dilución excesiva del aceite son tales que el metal de las superficies de contacto opuestas intenta fundirse, produciendo el aspecto manchado, con un indicio muy pequeño de calor excesivo después del punto de la falla.

### Causas de la Dilución del Aceite

La migración de refrigerante dentro de un circuito de refrigeración ocioso es una de las principales causas de la dilución de aceite. Conforme discutido anteriormente, el vapor refrigerante migra para la parte más fría del sistema por donde eventualmente se condensa. Eso continuará hasta que la relación presión/temperatura del refrigerante sea ecualizada a través de todo el sistema. Esa migración para el compresor es auxiliada por la afinidad aceite /refrigerante, comentado anteriormente.

Como el compresor está construido por una gran masa de hierro fundido, es el último a enfriarse en la parada y es típicamente el último componente del sistema de refrigeración a calentarse a medida que la temperatura ambiente se eleva. Consecuentemente, el compresor es frecuentemente la parte más fría del sistema después de varias horas de parada del equipamiento.

En el compresor, el lado del motor es un local donde el refrigerante emigrante se puede recoger y condensar. Además, como todos los aceites refrigerantes comúnmente utilizados tienen afinidad con el refrigerante, la dilución se produce fácilmente a no ser que se emplee un dispositivo preventivo para reducir afinidad aceite/refrigerante.

Para combatir ese proceso la mayoría de los compresores está equipada con resistencia de carter. Ese dispositivo preventivo funciona para mantener la temperatura del

aceite del carter entre 40 ~ 60°C (max. 70°C) para reducir la afinidad del aceite con el refrigerante, evitándose, así, la migración de líquido para el compresor.

Es importante que el carter esté siempre calentando el aceite, a través de la resistencia del carter, principalmente durante las paradas prolongadas del compresor. Vea en la figura abajo la importancia de la utilización de la resistencia del carter, la que a través del recalentamiento del aceite, disminuirá la miscibilidad (solubilidad) aceite y refrigerante.

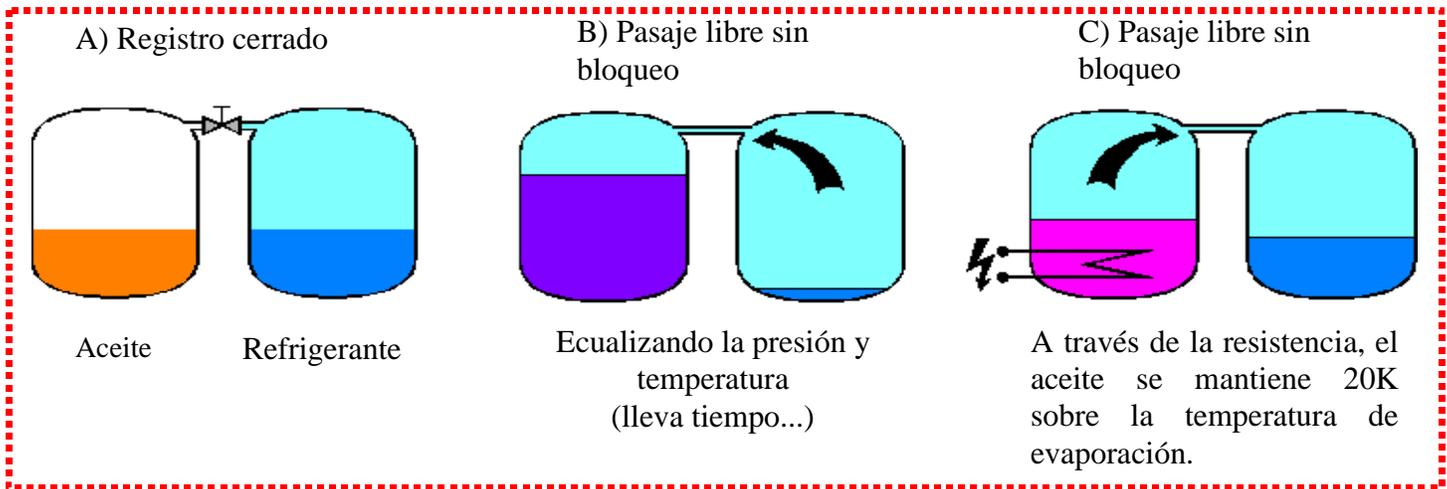


Figura 3: Solubilidad de Aceite y Refrigerante

No es función del calentador de aceite evitar la dilución por refrigerante resultante de migración de otras partes del sistema o vaporizar la cantidad de refrigerante ya en dilución en el compresor.

### Pérdida de Aceite

La pérdida de aceite no permite que el cigueñal del compresor reciba lubricación o enfriamiento suficiente, lo que resulta en la generación de una cantidad excesiva de calor y desgaste en los agujeros de las bielas.



Foto 25



Foto 26

(Foto 25 y 26) - Compare estos cigueñales con el de la foto 16 y observe la diferencia de color. El color oscuro se debe al calor de la fricción resultante de la pérdida de lubricación. Observe también la apariencia de las superficies del cigueñal. Esas superficies muestran rayaduras finas, en vez de aluminio esparcido, que particularizaba el lavado por refrigerante. Aunque las finas rayaduras pueden también resultar de suciedad en el sistema, la principal diferencia en esos dos cigueñales es la decoloración por el calor y el tiempo más largo antes de la falla.



Foto 27



Foto 28

### Causas de la Pérdida de Aceite

Existen varias causas para la pérdida de aceite del compresor. Algunas de las causas comunes son ciclaje corto, excesiva espumación del aceite y largos períodos de funcionamiento en carga mínima, aliada a un proyecto inadecuado de la tubería.

Durante largos períodos de ciclaje corto, el compresor puede bombear aceite para dentro del sistema en una proporción mayor del que está retornando. Eso, lógicamente, trae como resultado un nivel de aceite reducido.

El ciclaje corto puede ser causado por baja carga de refrigerante lo que hace que el compresor entre en ciclo por el presostato de baja presión, por el estrecho ajuste en el diferencial del termostato de control, por las condiciones de carga mínima, etc. Todas esas condiciones son acompañadas de una baja masa de flujo de refrigerante lo que, por su vez, resulta en baja velocidad del gas.

Si el sistema está sujeto a fluctuaciones rápidas de carga, lo que causa arranques y paradas frecuentes, el ciclaje podrá eliminarse a través del empleo de un sistema de control de capacidad.

La espumación excesiva dentro del carter del compresor es otra causa de pérdida de aceite. Cuando el aceite hace espuma dentro del carter, él será arrastrado por el gas refrigerante y comprimido para dentro del sistema. Si la espumación persiste, es posible que el nivel de aceite pueda caer acentuadamente.

Cierta cantidad de espuma puede ser esperada cuando se da el arranque en un compresor. Aún más, como el refrigerante en exceso ha sido retirado del aceite (por la ebullición), la espumación disminuirá si el control del flujo de refrigerante del sistema es adecuado y si se está usando el tipo correcto de aceite recomendado por el fabricante.

La espumación persistente tiene dos causas principales: o se está usando un aceite inadecuado, o el aceite del carter se está diluyendo por refrigerante líquido. La causa del retorno de refrigerante líquido al compresor se encuentra discutida más bajo “Causas del Retorno de Líquido” o “Migración”.

En los compresores de 2ª Generación de Bitzer se recomienda que el retorno de aceite proveniente del separador de aceite se haga por el lado del motor. Siendo así, el aceite será enfriado por el gas de la succión y centrifugado por el motor eléctrico. Con la centrifugación, el mismo será desgasificado y disminuirá el efecto indeseado de la espumación.

## **ELEVADAS TEMPERATURAS DE DESCARGA DEL COMPRESOR**

El supercalentamiento del compresor y el resultante recalentamiento del aceite provocan que el aceite pierda su viscosidad. Con la viscosidad reducida, el aceite no puede lubricar las partes móviles adecuadamente. La falta de lubricación, por su vez, puede hacer que las superficies de las bancadas se recalienten excesivamente, resultando en desgaste intenso, adherencia de las partes y carbonización del aceite.

Un hecho que típicamente acompaña el recalentamiento del compresor es el desgaste del pistón. Dado que el índice de expansión térmica del pistón de aluminio es mayor que el del cilindro de hierro fundido, el pistón virtualmente se torna mayor que el diámetro interno del cilindro en altas temperaturas, haciendo con que el pistón se desgasta y no pueda trabajar. En muchos casos, el área de trabajo de los aros no es dañada porque el enclabamiento del pistón sucede antes de que pueda ocasionarse el daño de esa área.



Foto 29



Foto 30

(Foto 29) - Esta foto ilustra ciclos bien iniciales de carbonización del plato de válvulas. La alta temperatura de descarga puede originar que el aceite se carbonice en el conjunto plato de válvulas, principalmente en las pistas de las láminas de alta presión. En la Foto 30 vemos un plato de válvulas bastante dañado por la alta temperatura de descarga.

En casos extremos, el aceite carbonizado puede restringir el movimiento de la lámina, ocasionando el pasaje del gas de descarga de vuelta para la succión. Eso confiere una presión decreciente constante al pistón, tanto en el curso de admisión como en el de compresión.



Foto 31



Foto 32

(Foto 31) - El pistón del conjunto biela y pistón superior, por ejemplo, ha sido sometido a ese tipo de presión decreciente constante. La parte inferior de la superficie de la bancada del eje del pistón quedó sin lubricación, lo que produjo un desgaste excesivo.

La lubricación del eje del pistón depende de la reversión de carga en el eje. En el curso de compresión, la superficie inferior de la bancada es cargada, permitiendo que la nube de aceite penetre en el espacio entre el eje y la superficie superior de la bancada. Después de que el pistón invierte el curso, la carga se transfiere para la superficie superior de la bancada permitiendo que el aceite penetre en el espacio entre el eje y la superficie inferior de la bancada.

Cuando un pistón está bajo presión decreciente constante, esa transferencia de carga para la superficie superior de la bancada no se produce y la superficie inferior de la bancada no recibe lubricación adecuada.



**Foto 33**



**Foto 34**

(Foto 33) - Este conjunto biela / pistón ha sido retirado de un compresor en el cual la bomba de aceite estaba intacta y aparentemente en razonables condiciones de funcionamiento.

El color oscuro del pistón se debe evidentemente al calor en el compresor resultante de la mala calidad de lubricación del aceite súper recalentado, con su resultante decoloración, o de alguna otra fuente de calor. La biela se rompió cuando se quedó adosada en el cigueñal. Después de que la biela haya sido quebrada y desprendida del eje, la parte superior ha sido arrojada para dentro del pistón, quebrando un pedazo de la pollera.



Foto 35



Foto 36

(Foto 35) - Estas son bielas que han sido retiradas de otro compresor. Noten el aspecto de la superficie de contacto con el cigueñal. La superficie presenta finas ranuras, diferentemente de la apariencia manchada, característica de lavado. El calor excesivo que acompañó esta falla se evidencia por el oscurecimiento de la biela en el área adyacente a la de la superficie que entra en contacto con la superficie del cigueñal.

### Causas de Elevadas Temperaturas de Descarga del Compresor

Entre las causas comunes de elevadas temperaturas de descarga del compresor se encuentran la alta razón de compresión (baja presión de succión y alta presión de descarga), baja carga de refrigerante y control de la capacidad del compresor abajo de sus límites de proyecto. Cada una de esas condiciones lleva al mismo resultado – bajo flujo de la masa de refrigerante. Como el calor del motor y el calor de fricción producido por un compresor están siempre presentes, cualquier condición que reduzca el flujo de gas refrigerante abajo del mínimo exigido por el proyecto priva al compresor del enfriamiento necesario, produciendo una condición de elevadas temperaturas de descarga del compresor.

En el caso de que eso ocurra, verifique las temperaturas del aceite y descarga. La temperatura del aceite se toma en la superficie externa del carter. De la misma forma, la temperatura de descarga se toma en la superficie del tubo de la línea de descarga, a una distancia equivalente a 10 cm. de la válvula de servicio de alta presión.

Esas temperaturas deben tomarse en superficies planas y limpias, libres de pinturas, corrosiones, etc. El termómetro debe estar firmemente fijado en la superficie y aislado para obtenerse la mejor lectura posible. Las lecturas obtenidas no serán precisas debido a las pérdidas de conducción de calor a través del metal. Esta es una consideración importante al utilizarse las orientaciones sobre las temperaturas mencionadas más abajo.

La viscosidad del aceite se minimiza cuando el aceite llega a una temperatura entre 85°C y 95°C. Cualquier lectura de temperatura del aceite dentro de esa banda, agranda las

probabilidades de que las películas de aceite se destruyan, resultando un contacto de metal-con-metal y eventual fallo mecánico.

La temperatura de descarga, por otro lado, no debe exceder 125°C, ya que si no la temperatura en el área de los cilindros del compresor puede estar aproximándose a un punto que puede ser perjudicial al aceite.

Esa banda de temperatura no debe encararse como una estricta línea divisoria entre el bien y el mal. El proceso de descomposición del aceite se extiende sobre una amplia banda de temperatura y en las bandas citadas, ese proceso está en un estado de descomposición acelerada. Es esa la razón por la cual esa banda de temperatura es crítica y sujeta a muchas otras variables.

Una alta razón de compresión generalmente se atribuye a problemas con el condensador, problemas con el evaporador, al inadecuado control del sistema, o a una combinación de esos tres problemas. La solución para ese problema es verificar la limpieza del evaporador y del condensador, la tasa de flujo de aire o de agua del condensador y del evaporador y las temperaturas de entrada y de salida del agua o del aire. Además de eso, el funcionamiento y el control del sistema deben ser estrechamente controlados para identificar cualquier otra forma de funcionamiento que pueda contribuir al bajo flujo de la masa de refrigerante.

Por otro lado, la baja carga de refrigerante se caracteriza por la presencia de burbujeo de gas en el visor de la línea de líquido, por la baja presión de succión y por el gas de succión altamente súper recalentado. Está claro que la solución para ese problema es agregar refrigerante al sistema. Obviamente, antes de eso, se debe determinar la causa de la pérdida de refrigerante.

Finalmente, la colocación de control de capacidad de un compresor abajo de la capacidad mínima especificada por la Bitzer, podrá ocasionar una masa de flujo de refrigerante menor que el exigido para el adecuado enfriamiento del compresor. La solución es limitar el control de capacidad del compresor para aquella especificada por la Bitzer para las condiciones existentes de proyecto del sistema.