

SUBENFRIAMIENTO EN SUPERMERCADOS

CON SUBENFRIAMIENTO SE PUEDE MANTENER BAJO CONTROL LA PRESIÓN DE CABEZA EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN DE SUPERMERCADOS. SPORLAN EXPLICA COMO.

POR STEVE ESSLINGER

Se usa control de presión de cabeza en sistemas de refrigeración de supermercados para mantener una mínima relación presión de lado de alta a lado de baja. En los sistemas de supermercado, las presiones en el lado de baja son el resultado de temperaturas de mostrador ó enfriador walk-in, que permanecen relativamente constantes a través del año. Por tanto, una razón de presión mínima es el resultado de la presión de lado de alta mínima esperada.

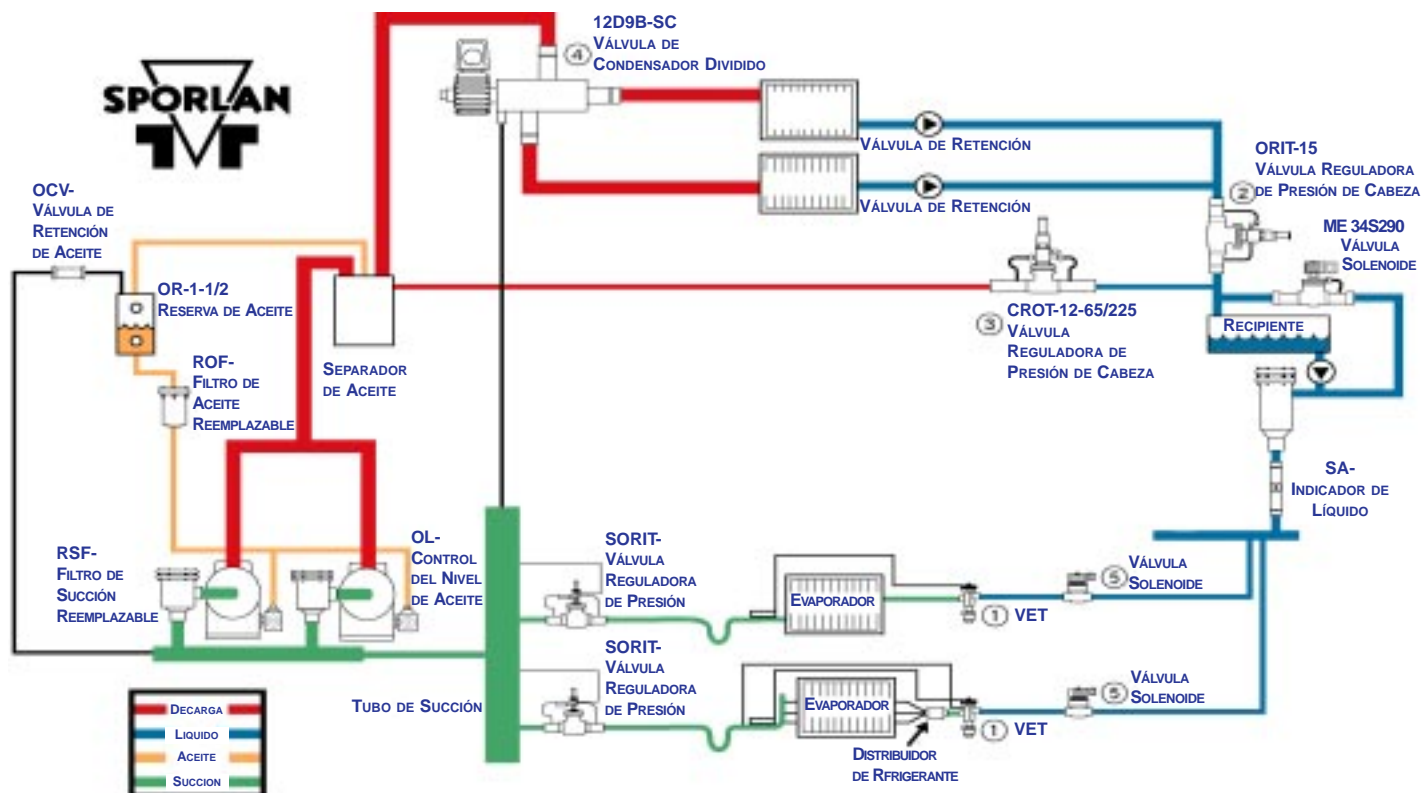
Estableciendo la razón de presión mínima, el ingeniero de diseño puede seleccionar el sistema de control de presión de cabeza apropiado y que resultará una operación eficiente en todo el año.

La mayor influencia en la capacidad de una válvula de expansión termostática (VET) es el diferencial de presión que existe entre su entrada y salida (caída de presión en VET). Considerando solamente la caída de presión, una VET típica tendrá aproximadamente 60% de su capacidad a 65°F (18°C) en comparación a una temperatura de condensación de diseño típica de 105°F (40°C). Esto asume una temperatura de evaporador constante de 20°F (-7°C). Una pérdida adicional de la capacidad de la VET resulta si hay vapor en el líquido en su entrada. Frecuentemente este es el caso cuando existen presiones de condensación bajas con bajas temperaturas de líquido saturado saliendo del recipiente.

Si por falta de un sistema de control de la presión de cabeza adecuado se permite que baje la razón de presión de lado de alta a lado de baja, la resultante reducción de la capacidad de la VET puede crear problemas, incluyendo:

- * Recalentamientos de evaporador altos con pérdida de la capacidad del evaporador.
- * Aceite se deposita en el evaporador y tubería de succión.
- * Temperaturas de compresor mayores que las normales y ciclos cortos.
- * Distribución pobre del refrigerante con patrones de escarcha que interfieren con el flujo de aire y la capacidad del evaporador.
- * Presiones de evaporador más bajas que lo usual. A menos que sean controladas con reguladoras de presión de evaporador o descargadores de compresor.

Una consideración adicional en relación a la razón de presión mínima de diseño es el tipo de compresor que se esté usando. Los fabricantes de compresores recíprocos han encontrado que razones de presión muy bajas pueden causar daño a las válvulas. A medida que la razón de presión decrece, el volumen de gas bombeado incrementa causando que las válvulas del compresor se doblen o flexionen más allá de su límite de diseño resultando en fatiga del metal y ruptura.



Habiendo establecido la necesidad de control de presión de cabeza para poder mantener la razón de presión de lado de alta a de baja, se deben considerar los métodos posibles. Los métodos usados se caracterizan como controles de lado del aire y del lado del refrigerante. Frecuentemente se usa una combinación de ambos métodos.

CONTROL DEL LADO DEL AIRE

El control del lado del aire consiste en incrementar o reducir el movimiento de aire a través del serpentín del condensador. Los supermercados generalmente usan condensadores enfriados por aire localizados remotamente. Este tipo de intercambiador de calor usualmente emplea seis u ocho abanicos para mover el aire. La presión de cabeza baja con una disminución de la carga de evaporador y/o de la temperatura ambiente. Un método para lograr mantener la presión de cabeza dentro de los parámetros de diseño es controlar cada abanico con un interruptor de presión. Este enfoque trabaja muy bien en áreas geográficas donde las temperaturas ambientales raramente bajan de 50°F (10°C).

Mantener una presión de cabeza estable puede ser más difícil de lograr si la temperatura ambiente consistentemente baja de 50°F (10°C). Todo el sistema se vuelve incrementalmente inestable a medida que la temperatura del aire que circula a través del condensador desciende, alejándose de su temperatura de diseño.

La inestabilidad se causa cuando el (los) abanico(s) súbitamente comienzan a bajar rápidamente la presión del lado de alta, sobrepasando la temperatura de líquido correspondiente.

Esto crea "burbujas" en la línea líquida cuando la presión del refrigerante desciende por debajo de su presión de saturación e hierve, enfriando así a una nueva presión de saturación.

Durante el "sobrepaso", cada VET no es alimentada con una sólida columna de líquido refrigerante, lo que reduce drásticamente su capacidad y habilidad para alimentar.

CONTROL DEL LADO DEL REFRIGERANTE

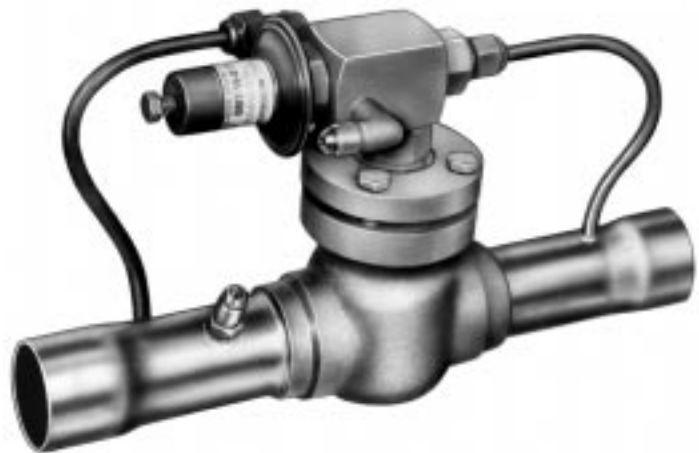
El Control del lado del refrigerante se aconseja y es ventajoso cuando las temperaturas ambiente exterior son consistentemente menores que 50 °F (10 °C). Los sistemas de control del lado de refrigerante logran controlar la presión de cabeza reduciendo el tamaño de la superficie de condensación. En un caso, esto se hace inundando una porción del condensador con refrigerante líquido, y así reduciendo la superficie de condensación. Este método es llamado "método de condensador inundado". Otro método de control del lado de refrigerante es dividir el condensador en una o más secciones. Con el uso de una válvula, el gas de descarga es desviado solamente hacia la sección que es suficientemente grande para mantener las presiones de descarga bajo las condensaciones ambientales dadas. Este es llamado "método

de condensador dividido". Este método es comunmente usado en combinación con el método de condensador inundado, junto con ciclos de los abanicos o control de velocidad de los abanicos. Una discusión más detallada del método de condensador dividido es presentada más adelante.

VÁLVULAS DEL LADO DE REFRIGERANTE PARA INUNDAR EL CONDENSADOR

Se instala una válvula ORI (abre en la subida de la presión de entrada) en la línea de salida del condensador y es ajustada a un valor de presión correspondiente a la mínima presión de cabeza deseada. Cuando la presión de entrada cae debajo del valor de ajuste, la válvula se mueve hacia la posición cerrada o estrangula para reducir el flujo de refrigerante y "retroceder" líquido dentro del condensador, efectivamente reduciendo así la superficie de condensación .

VÁLVULA ORIT



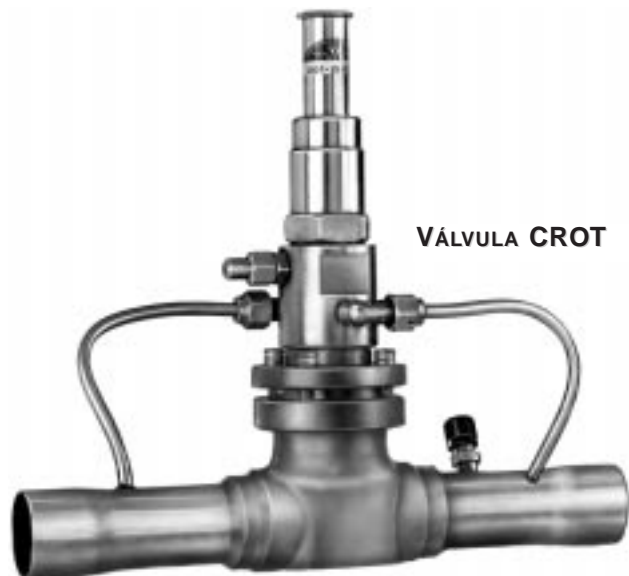
Durante las temperaturas de ambiente exterior mayores como la válvula responde abriéndose en la subida de su presión de entrada. Esta debe dimensionarse de manera que este cerca de su posición de abierta máxima en este momento con una caída de presión mínima. Por tanto, en los períodos de temperatura ambientes altas, el sistema opera como si la válvula no estuviera ahí.

Cuando la válvula ORI estrangula y mantiene líquido atrás, produce una caída de presión y el líquido que fluye tiene más subenfriamiento que el normal. El subenfriamiento adicional es recibido en la porción inundada del condensador. Si no se eleva la temperatura y presión de este líquido, las presiones permanecerán demasiado bajas, aún si las presiones son altas en el condensador.

Es importante recordar que la presión en la línea líquida a medida que abandona el recipiente es una función de la temperatura de la interfase líquido-vapor al nivel de líquido.

Por tanto, para completar el sistema de control de presión de cabeza, se instala una válvula ORD (abre en la subida del diferencial) en una línea de desviación entre la descarga del compresor y después de la válvula ORI. El diferencial de presión standard de esta válvula es 20 psi (1.38 bar). Lo

que significa que a medida que la presión abajo (ó presión de recipiente) se reduce a 20 psi (1.38 bar) debajo de la presión de descarga, la válvula abre para que gas caliente a alta presión se mezcla con el líquido saliendo de la ORI. La introducción de gas de descarga caliente con la ORD



VÁLVULA CROT

esencialmente eleva la temperatura, y por tanto la presión en la interfase líquido vapor en el recipiente, produciendo presiones de línea líquida y de recipiente equivalentes a la temperatura de saturación.

En los casos que la capacidad de la ORD sea insuficiente, y no es práctico instalar dos o más en paralelo, se usa una válvula tipo CRO (por ejemplo CRO-12-65/225 de Sporlan). Esta válvula cierra en la subida de la presión de salida y controla la presión del recipiente de líquido de la misma forma que la ORD con un ajuste de 10 a 20 psi (0.69 a 1.38 bar) menor que el ajuste de la ORI.

CARGA DE REFRIGERANTE

El tema de control de la presión de cabeza por el lado del refrigerante no se completa sin tratar la carga de refrigerante en los sistemas. Para mantener la presión durante el invierno, se necesita refrigerante extra para llenar parcialmente el condensador. Además, con el refrigerante adicional necesario para la operación de invierno, debe considerarse el tamaño del recipiente, ya que debe tener suficiente capacidad para almacenar el refrigerante extra durante la operación de verano.

Durante la operación de invierno, la presión de cabeza se mantiene mejor usando control "del lado del refrigerante". Sin embargo, la cantidad de carga de refrigerante puede minimizarse usando una combinación "del lado del aire" y "condensador dividido". Considerando el costo actual de los refrigerantes, el resultado final es un ahorro neto substancial. Con el alto costo de los refrigerantes, es importante tomar

acciones adicionales en el diseño de los sistemas para minimizar la necesidad de refrigerante adicional.

Un método muy usado para minimizar la cantidad de refrigerante necesaria es combinar control del lado de refrigerante con control del lado del aire. Esto usualmente se logra ya sea operando en un ciclo al(los) abanico(s) o controlando su velocidad.

Los dos métodos usan la presión como la señal de control para reducir el flujo de aire en los períodos de temperaturas de ambiente exterior bajas. La reducción del flujo de aire a través del condensador significa que menos calor está siendo liberado al aire, y por tanto se requiere menos refrigerante para inundar.

CONTROL DE CONDENSADOR DIVIDIDO

Otro método para ahorrar carga de refrigerante en sistemas de supermercado es dividir el condensador en dos o más circuitos, usualmente todos juntos en el mismo conjunto de tubos. Los sistemas de este tipo usan uno de los condensadores durante la operación tanto de invierno como de verano.

El segundo permanece fuera del circuito durante el invierno y en este período es vaciado de refrigerante. Este se activa solamente durante el verano cuando se necesita la máxima capacidad de condensación para mantener las presiones de condensación lo más bajas posible.

Como ejemplo, la Figura en la página 1 ilustra un diagrama esquemático de un sistema que usa una válvula de condensador dividido tipo 12D9B-SC (# 4 en la parte superior del diagrama). Esta válvula incorpora una solenoide usualmente controlada por un termostato exterior o un control de alta presión. Durante la operación de verano, la solenoide es de-energizada, lo que permite que el gas de descarga proveniente del compresor fluya por igual en ambos condensadores.

Cuando la temperatura baja, un termostato ó un control de presión energiza la solenoide a un ajuste predeterminado, y la válvula cambia para cerrar el flujo de gas de descarga hacia el "condensador de verano".

El cierre completo del condensador de verano ayuda a mantener la presión de cabeza. En adelante, la presión de cabeza es mantenida por las válvulas ORI/ORD u ORI/CRO inundando de refrigerante al "condensador invierno/verano" en la forma descrita previamente.

Cuando la temperatura ambiente exterior aumenta con solamente el "condensador invierno/verano" en el circuito, las presiones de cabeza incrementarán hasta que el control de temperatura ó presión de-energiza la válvula de condensador dividido de tres vías. Esto hace que el refrigerante fluya hacia ambos condensadores, mientras que la presión de cabeza se mantiene con los controles del lado de refrigerante por medio de las válvulas ORI/ORD u ORI/CRO.

Un orificio de sangrado en esta válvula permite que el refrige-

rante "sangre" desde el condensador inactivo (condensador de verano) de regreso al lado de succión del sistema. Una válvula de retención instalada en la salida previene el flujo de refrigerante por este camino.

REDUCIENDO LOS COSTOS DE OPERACIÓN CON SUBENFRIAMIENTO DE LÍQUIDO

Parte del líquido refrigerante que es recirculado en un sistema de refrigeración se usa para remover su propio contenido de calor (entalpía). El calor del líquido es absorbido en el punto de reducción de presión (la VET reduce la presión del lado de alta a la del lado de baja). Durante la operación de clima fresco, cuando es posible capitalizar el "subenfriamiento gratis", la eficiencia del sistema puede aumentarse en 5% por cada 10°F (6 °C) de subenfriamiento de líquido, resultando en una reducción de los costos de operación.

Usando un sistema de baja temperatura multiplexado de 100 hp como ejemplo, un subenfriamiento de 30°F (-1°C) reducirá los requerimientos de flujo de refrigerante en el sistema en un 15 % ó lo suficiente para poner a descansar o parar un compresor de 15 hp. El costo de operar un compresor de 15 hp es de aproximadamente US \$ 0.78 por hora en base a US \$ 0.07 por kWh. Asumiendo que el compresor fué diseñado para operar 22 horas por día, se pueden lograr ahorros aproximados de US \$ 515 mensuales.

¿COMO SE LOGRA EL SUBENFRIAMIENTO DE LÍQUIDO?

Frecuentemente se usan intercambiadores succión /líquido para transferir calor de la línea líquida a la línea de succión. Aunque esta manera es efectiva en proveer líquido subenfriado, tiene un costo para la capacidad del sistema, dado que se añade calor al gas de succión lo cuál reduce la eficiencia volumétrica del compresor.

Ocasionalmente se utilizan subenfriadores mecánicos en la forma de sistemas de refrigeración auxiliares o usando una parte de la capacidad del sistema principal. Aunque existen situaciones donde el uso de estos métodos es ventajoso, de la misma forma que con intercambiadores de calor línea de succión /líquida, el subenfriamiento logrado con uno de estos métodos tiene una penalización que requiere un costo adicional.

El subenfriamiento en el condensador no tiene un costo adicional al sistema, pero desafortunadamente es disponible solamente cuando las condiciones del ambiente exterior son favorables y el sistema está diseñado para usarlas para su ventaja.

Muy poco subenfriamiento en el condensador es posible durante la operación de verano debido a la diferencia de temperatura (DT) entre el aire que circula a través del condensador y la temperatura del refrigerante que sale. Durante la operación de invierno, con control de presión de cabeza del

lado del refrigerante, la diferencia de temperatura (DT) entre la alta temperatura (presión) de condensación y la baja temperatura de ambiente exterior puede ser significativa.

PRESERVANDO EL SUBENFRIAMIENTO DE LÍQUIDO

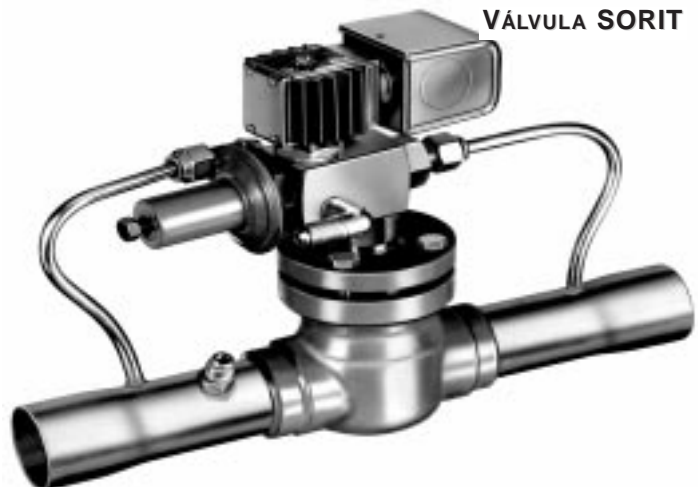
Cuando se usa un recipiente de líquido convencional "flujo a través", cualquier subenfriamiento producido en el condensador es esencialmente perdido cuando llega al recipiente. Al inicio, en la discusión de control de presión de cabeza del lado del refrigerante, se anotó que el gas caliente proveniente de la descarga del compresor que fluye al recipiente sirve el propósito de calentar el líquido subenfriado que viene del condensador a una condición de saturación más alta.

El subenfriamiento puede preservarse cambiando el patrón de flujo del recipiente de líquido de "flujo a través" a "oleada" (surge). El sistema ilustrado en la figura 1 usa un arreglo de tubería que permite que el recipiente pueda ser convertido de "flujo a través" a "oleada" (surge) durante la operación de invierno cuando está disponible un subenfriamiento substancial.

Abriendo la válvula solenoide colocada en la desviación alrededor del recipiente, el líquido subenfriado fluye del condensador alrededor del recipiente y directamente a los evaporadores. El líquido desviado alrededor del recipiente previene que el refrigerante subenfriado regrese a su condición de saturación en el recipiente. Puede ser necesario añadir interruptores de presión de abanicos, un termostato en la pierna caída (drop leg) y aislamiento en la línea líquida si no están presentes en el sistema.

SELECCIONADO Y AJUSTANDO LOS CONTROLES PARA MANTENER LA PRESIÓN DE CABEZA

Los valores de ajuste y la secuencia de ajuste son críticos. Los ajustes están diseñados para maximizar la eficiencia del sistema cuando las condiciones ambientales permiten el subenfriamiento de líquido. Las variables de aplicaciones individuales en sistemas pueden necesitar que los rangos de algunos ejemplos recomendados sean acortados o alargados.



En el ejemplo de la ilustración, el equipo es un sistema de baja temperatura de rack multiplexado de 100 hp. El condensador enfriado por aire tiene ocho abanicos, con dos bancos de cuatro abanicos en una hoja de aleta común que tiene circuitos para una división 50/50. Los compresores son de una sola etapa, y el refrigerante es 404A. Una válvula Sporlan ME34S290 fué seleccionada para la línea de desviación y tiene un valor de capacidad 30 tons (106 kW) para un flujo de líquido a 50°F(10°C) a una caída de presión de 1.1 psi (0.08 bar).

1) Seleccione la VET.

La capacidad de las válvulas Sporlan Tipo EBF son seleccionadas para igualar la capacidad de la vitrina refrigerada a la caída de presión mínima a la que la válvula va a operar. Por ejemplo, una vitrina de refrigerada de puerta de vidrio esta clasificada a 10,000 Btu/hr (2.93 kW) a -20°F (-29 °C) de temperatura de succión de saturación.

Una válvula de expansión de orificio balanceado con un valor de capacidad de 10,000 Btu/hr (2.93 kW) a -20°F (-29 °C) de temperatura de succión y 100 psi (6.90 bar) de caída de presión iguala la capacidad de la vitrina que también tiene una capacidad de 10,000 Btu/hr (2.93 kW).

2) Determine la mínima presión de condensación necesaria para una caída de presión de 100 psi (6.9 bar) a través de la VET:

A) Calcule la presión a la salida de la VET:

Presión de evaporador @ -20°F (-29°C)	16 psig (1.10 barg)
Caída de presión en el distribuidor	+ <u>35 psi (2.41 bar)</u>
Presión a la salida de la VET	51psig (3.51 barg)

B) Calcule la presión en la entrada de la VET con una caída de presión de 100 psi (6.90 bar):

Presión en la salida (de arriba)	51 psig (3.52 barg)
Caída de presión mínima requerida	+ <u>100 psi (6.90 bar)</u>
Presión en la entrada de la VET	151 psig(10.41 barg)

C) Determine la presión de condensación mínima para una caída de presión mínima de 100 psi (6.90 bar) a través de la VET:

Presión en la entrada de la VET (de B)	151 psig (10.41 barg)
Caída de presión est. en el lado de alta	+ <u>10 psi (0.69 bar)</u>
Presión de condens. mín requerida	161 psig (11.10 barg)

3) Verifique la razón de compresión.

Para calcular la razón de compresión las presiones de succión y descarga deben ser convertidas a valores absolutos (psia = psig+14.7); (bar abs = bar + 1.0133). Luego la razón de compresión se expresa como la razón de la presión absoluta de descarga a la presión absoluta de succión.

Presión de descarga	161 psig = 175.7 psia (12.11 bar)
Presión de succión	16 psig = 30.7 psia (2.12 bar)
Razón de compresión	= 175.7 (12.11) / 30.7 (2.12) = 5.7
La razón de compresión mínima recomendada es	2.

4) Establezca las válvulas de control de presión de cabeza.

Válvulas de control de presión de cabeza son ORIT-15-65/225 y CROT-65/225, con suficiente capacidad para 30 tons(106 kW).

Dado que R-404A tiene una presión de saturación de 160 psig (11.02 bar) a 74°F(23 °C), la temperatura ambiente exterior del día que se hagan los ajustes debe ser menor.

AJUSTANDO LA VÁLVULA ORI:

Con el ajuste de la válvula ORIT completamente abierta, todos los abanicos del condensador permanentemente encendidos, y el 50% de los circuitos cerrados por medio de válvulas, deje que la presión de descarga baje hasta que alcance aproximadamente 150 psig (10.34 barg). Esto ocurrirá porque bajo estas condiciones en un día de 70°F(21 °C), el condensador estará sobredimensionado. Entonces, la válvula ORIT debe ajustarse lentamente a 170 psig (11.71 barg), dejando tiempo suficiente para inundar el condensador.

AJUSTE DE LA VÁLVULA CROT:

Con la válvula ORIT previamente ajustada, los abanicos del condensador encendidos permanentemente, la presión del recipiente caerá. Entonces la válvula CROT se ajusta a 160 psig (11.03 barg), que es la mínima presión de líquido requerida, como fué calculada en "C" arriba.

5) Ajuste la válvula de condensador dividido.

Una válvula 12D9B-SC fué seleccionada para este servicio. Usando un control de presión, esta debe ser ajustada para energizarse y dividir el condensador a 175 psig (12.06 barg) y de-energizarse a 200 psig (13.78 barg).

6) Ajuste la válvula de desviación del recipiente.

La válvula solenoide ME34S290 debe ser controlada por un termostato para ser energizada y abrir la válvula a una temperatura de 65°F(18°C).

7) Ajuste los cuatro abanicos del "condensador invierno/verano" (en psig, valores en barg en paréntesis)

	ENCENDIDO	APAGADO
#1	175 (12.06)	165 (11.37)
#2	180 (12.40)	170 (11.71)
#3	185 (12.75)	175 (12.60)
#4	190 (13.09)	180 (12.40)

8) Ajuste los cuatro abanicos del "condensador de verano" (en psig, valores en barg en paréntesis)

	ENCENDIDO	APAGADO
#1	185 (12.75)	175 (12.06)
#2	200 (13.78)	190 (13.09)
#3	205 (14.12)	195 (13.44)
#4	210 (14.47)	200 (13.78)

Es muy importante notar que el último abanico en salir de ciclo apagándose es ajustado a 5 psi (0.34 bar) menos que el ajuste de la ORIT. Por tanto, en un día de 35°F(2°C), el condensador estará dividido, la válvula ORIT mantendrá la presión a 170 psig(12.66 bar) (haciendo que el líquido permanezca en el condensador, y el abanico del condensador ajustado a cortar a 165 psig(12.31 bar) estará moviendo aire a 35°F(2°C) sobre el refrigerante líquido retenido en el condensador.

La temperatura de "pierna caída" (drop leg) ó conexión inferior del condensador será de aproximadamente 40°F (4.4 °C), este líquido que tiene un subenfriamiento de 34°F (1°C) no pasará por el recipiente en su camino hacia las válvulas de expansión.

A como se estimó antes, con esta cantidad de subenfriamiento, se requerirá 15 hp menos para lograr el mismo efecto de refrigeración. Adicionalmente, con menos tiempo que el compresor está encendido, la vida del equipo resultará extendida, resultando en ahorros adicionales.

Los costos de operación pueden ser más altos ó más bajos en diferentes supermercados en dependencia del programa de mantenimiento preventivo, y las condiciones climáticas regionales.

Sin embargo, como se mostró, con un control y ajuste apropiado, el aprovechar las bajas temperaturas ambientes tendrá un impacto significativo en la última línea del supermercado.

El autor es Ingeniero de aplicaciones de Refrigeración en Supermercados de Sporlan Valve Company, y basó su artículo en los siguientes Boletines Sporlan: 10-9, 10-10, 10-11 (Válvulas de Expansión Termostática); 30-10 (Válvulas Solenoides); 30-10-2 (Válvulas de Condensador Dividido); 90-30 y 90-30-2 (Válvulas de Control de Presión de Cabeza). Este material apareció originalmente en la edición de Mayo de la revista "Refrigeration Service and Contracting".

