

Retrofit y refrigerantes con alto deslizamiento de temperatura

Informe de Danfoss

Autores: Norbert Blatz, director internacional de excelencia en aplicaciones;
John Broughton, experto internacional en aplicaciones de refrigeración comercial;
Rasmus Damgaard Poulsen, especialista internacional en tecnologías de laboratorio y doctor en Química;
y Thierry Legay, director de excelencia en aplicaciones.
Danfoss Cooling, septiembre de 2016

Esta recopilación de documentos pretende servir como guía y aportar información general y específica sobre la adaptación de sistemas y el uso de refrigerantes con alto deslizamiento de temperatura en el marco de las aplicaciones.

Dado que este tema estará presente en el sector de la refrigeración y el aire acondicionado durante algunos años, esta es una recopilación lo más general posible. Por lo tanto, todos los ejemplos incluidos deben considerarse como ejemplos genéricos utilizados para analizar los aspectos técnicos.

Danfoss cuenta con un amplio catálogo de productos para refrigerantes con bajo potencial de calentamiento global (GWP). Póngase en contacto con su representante local de Danfoss para conocer las últimas novedades.

Al hablar de adaptación o retrofit, nos referimos solamente a aquellos sistemas en los que es necesario cambiar el tipo de refrigerante. Las razones para adaptar un sistema pueden ser las siguientes:

1. El uso del refrigerante en cuestión se ha prohibido.
2. El refrigerante en cuestión ya no está disponible.
3. La sustitución de la instalación completa resulta demasiado cara.

Siempre hay que tener en cuenta que un sistema nuevo con un refrigerante de última generación con bajo GWP será en principio más eficiente y, por lo tanto, tendrá un coste de funcionamiento menor que el de un sistema antiguo adaptado.

1. Comprobación rápida previa a la adaptación (Norbert Blatz)

Antes de iniciar el retrofit de un sistema, es necesario verificar que dicho sistema sea compatible con el refrigerante de interés. Quizás haya que realizar algunas modificaciones adicionales.

2. Retrofit de refrigerantes: compatibilidad química de los componentes (Rasmus Damgaard Poulsen)

Es una ampliación de la comprobación rápida que ofrece más detalles sobre las situaciones que pueden darse a la hora de adaptar un sistema y lo que eso significa para los componentes y los materiales.

3. Procedimiento de retrofit de un sistema (Norbert Blatz y Thierry Legay)

Directrices pormenorizadas sobre cómo llevar a cabo el retrofit de un sistema. Se ofrece un ejemplo de un sistema pequeño que, mediante un aumento de escala, puede aplicarse a sistemas más complejos.

4. Retrofit de sistemas con refrigerantes con deslizamiento de temperatura (Norbert Blatz y John Broughton)

La mayoría de los refrigerantes empleados para adaptar sistemas y diseñar nuevos sistemas son mezclas que presentan un deslizamiento de temperatura relativamente alto.

Aquí se describe en detalle lo que esto significa para el sistema y la aplicación, prestando la máxima atención posible a los aspectos prácticos.

1. Comprobación rápida previa a la adaptación

Autor: Norbert Blatz, director internacional de excelencia en aplicaciones

Compresor:

- ¿Puede funcionar el compresor con el nuevo refrigerante?
- Compruebe cuánto variará la capacidad de refrigeración.
- ¿Los límites de funcionamiento aún son adecuados? Compruebe los límites de temperatura y presión.
- En la mayoría de los casos, habrá que cambiar la carga de aceite.

Condensador:

- Compruebe si tiene la capacidad adecuada para la nueva capacidad del compresor. Los refrigerantes con deslizamiento de temperatura requieren una superficie mayor, debido a la menor diferencia media de temperatura. Esto puede provocar un aumento de la temperatura de condensación.

Evaporador:

- Compruebe que la capacidad siga siendo adecuada para los requisitos de almacenamiento en lo referente a la humedad. Los refrigerantes con deslizamiento de temperatura pueden incrementar la velocidad de deshumidificación.

Válvulas:

- Las juntas de goma de las válvulas solenoides y otros tipos de válvulas deben sustituirse por juntas nuevas, ya que el contacto del aceite o el refrigerante con el material puede provocar que este se dilate. El aceite y el refrigerante nuevos arrastrarán el contenido antiguo y la junta ya no será estanca, por lo que se producirán fugas al exterior tras un cierto período de tiempo.

• Las válvulas de expansión termostática y otras válvulas con elementos termostáticos cargados para un refrigerante específico no pueden utilizarse para otro refrigerante nuevo. En primer lugar, pueden compararse las curvas presión-temperatura de los refrigerantes antiguo y nuevo. Si puede ajustarse la válvula y la diferencia a la temperatura deseada del sistema no es superior a 3 K, podría efectuarse un reajuste para adaptarla a las nuevas condiciones. Si tiene dudas, consulte al personal de Danfoss.

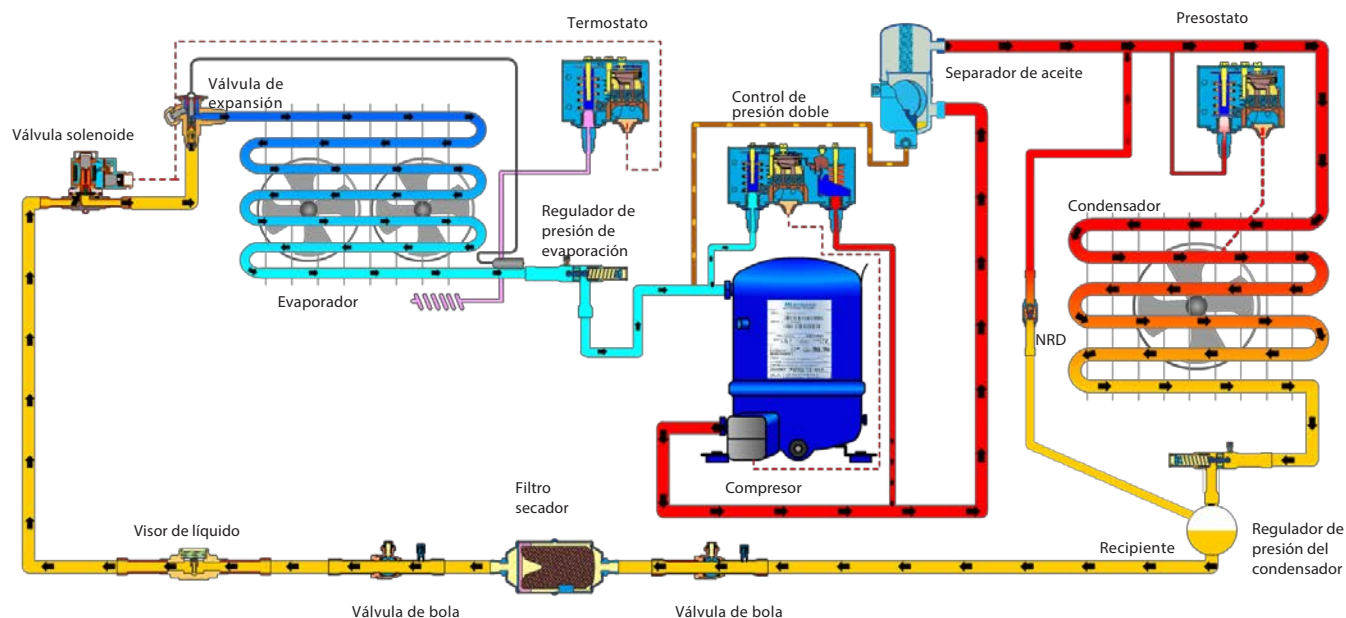
• Otros tipos de válvulas de control, como las válvulas de control de presión, pueden requerir un reajuste. Compruebe que el rango de ajuste de la válvula y la presión máxima de trabajo del sistema sean compatibles con el nuevo refrigerante.

Tuberías:

• Compruebe las dimensiones de las tuberías. Puede que el nuevo refrigerante tenga valores distintos de densidad y entalpía (transferencia de calor). Esto puede hacer que la velocidad y la caída de presión varíen si se mantienen las tuberías existentes. Dos puntos críticos pueden ser la línea de aspiración y el retorno de aceite.

Controlador:

• Compruebe si es necesario realizar ajustes en el controlador. El ajuste del controlador de recalentamiento debe mantenerse para el nuevo refrigerante. Quizás sea necesario ajustar otros valores de temperatura o presión.



2. Retrofit de refrigerantes: compatibilidad química de los componentes

Autor: Rasmus Damgaard Poulsen, especialista internacional en tecnologías de laboratorio y doctor en Química

En este contexto, la adaptación de sistemas de refrigeración se define como el cambio de refrigerante o aceite en un sistema existente. Es bien sabido que las principales implicaciones de este proceso son la compatibilidad de los sellos, que pueden llegar a provocar fugas o el funcionamiento incorrecto del sistema, y el ajuste de los sistemas individuales (por ejemplo, de los dispositivos de expansión y los valores nominales de otros componentes del sistema). Este artículo se centra en los problemas de compatibilidad de materiales asociados a los componentes que pueden producirse durante la adaptación de sistemas de refrigeración. No se abordan los problemas relacionados con el compresor, los cambios en la capacidad y la eficiencia causados por los nuevos datos termodinámicos, los cambios de parámetros (por ejemplo, de los ajustes de recalentamiento en los dispositivos de expansión) o la miscibilidad con la humedad.

El problema de la compatibilidad es que la variación de las propiedades químicas al pasar de una combinación de refrigerante y aceite a otra supondrá cambios importantes en el comportamiento de los sellos, lo que puede provocar fugas

o un funcionamiento incorrecto de los componentes Danfoss. Desde un punto de vista técnico, el riesgo está relacionado sobre todo con cambios de volumen y problemas de compresión de los sellos convencionales no dinámicos, además de posibles alteraciones de otras propiedades, como la dureza, la adherencia, la elongación y la capacidad de trabajar a las temperaturas máxima y mínima.

Es un riesgo bien conocido y, a día de hoy, los fabricantes de sellos y nuevos refrigerantes indican que es necesario cambiar todos los sellos si se va a adaptar un sistema. También se ha constatado que, para muchos de los sellos usados en los sistemas de refrigeración, los diferentes tipos de aceite pueden influir de distinta forma sobre las propiedades del material de sellado. Una preocupación general a la hora de llevar a cabo una adaptación es que el cambio pueda hacer que partículas y residuos que estaban adheridos al sistema antes de iniciar el proceso se separen debido a las nuevas condiciones. Estas sustancias pueden contaminar el sistema adaptado o provocar en él problemas mecánicos indeseados.

En lo que respecta a las adaptaciones, existen tres tipos principales (1, 2 y 3 en la tabla) que hay que tener en cuenta a la hora de evaluar los posibles problemas de compatibilidad:

Tipo de retrofit	Tipo de refrigerante	Tipo de aceite	Cambio de propiedades	Evaluación del riesgo
1	HFC a HFC/HFO	POE a POE PVE a PVE	El refrigerante antiguo y el nuevo tienen propiedades químicas similares.	Muy bajo
2	HCFC a HFC/HFO	MO a MO AB a AB	El refrigerante antiguo y el nuevo tienen propiedades químicas distintas.	Bajo
2	HCFC a HFC/HFO	MO a POE/PVE AB a POE/PVE	El refrigerante antiguo y el nuevo tienen propiedades químicas distintas que generan un problema de compatibilidad con los sellos. El cambio de aceite puede modificar las propiedades.	Alto

*Nota: Esta evaluación del riesgo sólo es válida si se cambian todos los sellos. A continuación se incluye una evaluación detallada.
Nota: HCFC = hidroclorofluorocarbono; HFC = hidrofluorocarbono; HFO = hidrofluorolefina; POE = polioléster; PVE = poliviniléter; MO = aceite mineral; AB = alquilbenceno.*

Retrofit de refrigerantes: compatibilidad química de los componentes (continuación)

Retrofit de tipo 1

Sustitución del refrigerante por otro con unas propiedades de compatibilidad similares y sin cambio del tipo de aceite.

- El cambio del refrigerante no alterará las propiedades del material de los sellos, lo que generará un riesgo alto.
- La adaptación puede consistir en el cambio de un refrigerante HFC por otro refrigerante HFC/HFO, manteniendo el tipo de aceite (POE). Los riesgos generados serán muy bajos si las especificaciones de temperatura y presión son similares.
- Tras cambiar los sellos, el riesgo será bajo ya que se extraerá todo el refrigerante. Los restos de aceite que puedan quedar en el sistema reaccionarán igual que el aceite usado para la adaptación, salvo que el aceite antiguo se hubiese descompuesto o estuviese deteriorado.
- El riesgo de complicaciones es muy bajo, tal como demuestran los datos históricos.

Retrofit de tipo 2

Sustitución del refrigerante por otro con unas propiedades de compatibilidad diferentes y sin cambio del tipo de aceite.

- El cambio del refrigerante puede causar problemas asociados a la desgasificación o la dilatación excesiva tras el retrofit.
- El retrofit puede consistir en el cambio de un refrigerante HCFC por otro refrigerante HFC/HFO, manteniendo el tipo de aceite (MO). Los riesgos generados serán bajos si las especificaciones de temperatura y presión son similares.
- Los casos más problemáticos son aquellos en los que se usan sellos con una elevada cantidad de ablandadores y el refrigerante inicial pueda haber arrastrado estos compuestos (o el nuevo refrigerante pueda arrastrarlos). El riesgo de funcionamiento incorrecto o fugas depende de si el refrigerante utilizado para la adaptación es capaz de comportarse de forma similar al refrigerante antiguo para mantener las características químicas del conjunto del sistema.
- Tras cambiar los sellos, el riesgo será bajo ya que se extraerá todo el refrigerante. Los restos de aceite que puedan quedar en el sistema reaccionarán igual que el aceite usado para la adaptación, salvo que el aceite antiguo se hubiese descompuesto o estuviese deteriorado.
- El riesgo de complicaciones es muy bajo, tal como demuestran los datos históricos.

Retrofit de tipo 3

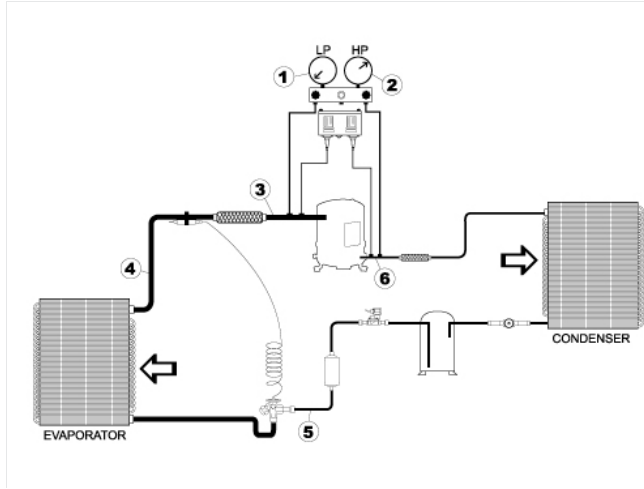
Cambio del refrigerante y el tipo de aceite por otros con distintas propiedades.

- El cambio alterará las propiedades del material de los sellos, lo que generará un riesgo alto.
- La adaptación puede consistir en el cambio de un refrigerante HCFC por otro refrigerante HFC/HFO, y de un aceite MO por otro POE. Los riesgos generados serán altos, y aún mayores si las especificaciones de temperatura y presión no son similares.
- Tras cambiar los sellos, el riesgo asociado exclusivamente al refrigerante será bajo si se extrae todo el refrigerante.
- El problema puede venir generado por la presencia de dos aceites en el sistema con distinta compatibilidad en relación con los materiales de los sellos. Por lo tanto, incluso aunque las características químicas del sistema puedan estar validadas para el uso de un refrigerante HFC/HFO y un aceite POE, la presencia de aceite MO puede producir cambios en la compatibilidad de los materiales de los sellos y provocar fugas o un funcionamiento incorrecto del sistema. También es necesario tener en cuenta la expansión de la válvula de expansión termostática, así como el indicador y eliminador de humedad, ya que el aceite inmiscible puede terminar alterando las propiedades mecánicas y químicas.
- Si los sellos y el refrigerante se sustituyen según las indicaciones anteriores, el riesgo principal será el cambio de tipo de aceite. Si se puede efectuar un cambio completo de aceite, el riesgo será igual de bajo que para la adaptación de tipo 2. Sin embargo, en la práctica, lo habitual es que no se pueda cambiar por completo el aceite. La adopción de precauciones como la mejora del retorno de aceite puede reducir el riesgo de que circule una mezcla de aceite por todo el sistema; sin embargo, esto depende de cada sistema concreto y, por lo tanto, no puede ofrecerse ninguna garantía al respecto.
- Además, algunos nuevos refrigerantes contienen hidrocarburos miscibles con el aceite MO. En teoría, esto haría posible el transporte de aceite MO dentro del sistema.
- El riesgo de complicaciones es importante ya que existen muchos escenarios distintos en función del porcentaje de sustitución del aceite, así como del tipo de refrigerante utilizado para la adaptación. No hay disponibles datos históricos al respecto. Además, los cambios en las especificaciones del sistema, como la temperatura y la presión, pueden incrementar el riesgo.

3. Procedimiento de adaptación de un sistema

Autores: Norbert Blatz, director internacional de excelencia en aplicaciones; y Thierry Legay, director de excelencia en aplicaciones

Paso 1: control de los parámetros de funcionamiento



Parámetros de medida:

1. Presión de aspiración en el compresor.
2. Presión de descarga en el compresor.

Parámetros de medida:

3. Presión de aspiración en el compresor (es decir, recalentamiento total).
4. Temperatura de aspiración en la salida del evaporador (es decir, recalentamiento del evaporador).
5. Temperatura del líquido en la entrada de la válvula de expansión (es decir, subenfriamiento del líquido).
6. Temperatura de descarga del compresor.

Parámetros de medida:

7. Tensión y corriente de alimentación.
8. Control del caudal de refrigerante que llega al evaporador en cada tubo distribuidor (compruebe cuidadosamente que no haya tubos obstruidos por suciedad o lodos).

Notas importantes:

- La revisión y el mantenimiento de los sistemas cargados con refrigerantes inflamables (clases de seguridad A2, A2L y A3) deben realizarse conforme a las buenas prácticas de refrigeración, con algunos cambios en las herramientas, el equipo y los procedimientos. Los técnicos que trabajen en sistemas con gases inflamables deben poseer la cualificación oportuna.
- Las herramientas deben estar homologadas para su uso en zonas ATEX de tipo 2 o ser aptas para su uso con refrigerantes inflamables.
- La zona de trabajo debe estar bien ventilada y no deben existir fuentes de ignición a una distancia del sistema inferior a 3 m. En el lugar debe haber disponible un extintor de polvo químico seco o CO₂.
- Antes de abrir el sistema, debe extraerse por completo el refrigerante inflamable y efectuarse un lavado del sistema con nitrógeno.

Paso 2: extracción de la carga de refrigerante

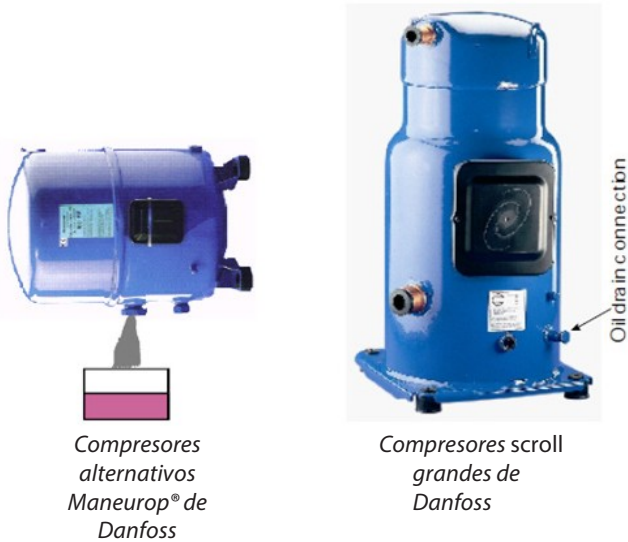
Hay que utilizar un equipo específico de extracción de refrigerante.



- Cierre la válvula de corte del depósito de líquido o cualquier otro componente de la línea de líquido que pueda utilizarse para el vaciado.
- Deje que el sistema funcione hasta que el interruptor de baja presión desconecte el compresor.
- Desconecte el disyuntor principal.
- Si es posible, aisle el lado de alta presión del compresor del sistema; para ello, cierre la válvula de descarga Rotolock.
- Extraiga el refrigerante del lado de alta presión del sistema a través de cualquier conexión o válvula de la línea de líquido.
- Una vez transferido el refrigerante del lado de alta presión al recipiente oportuno, abra el dispositivo de aislamiento del lado de baja presión.
- Anote el peso del refrigerante extraído.

Procedimiento de adaptación de un sistema (continuación)

Paso 3: drenaje del aceite del compresor



- Abra el puerto de aspiración o el puerto del visor de líquido (si está instalado).
- Mueva lentamente el compresor hasta situarlo en posición horizontal y deje que el aceite fluya a través del puerto de aspiración del compresor o la abertura del visor de líquido.
- Nota: Los compresores *scroll* grandes incorporan una conexión de drenaje de aceite y, por lo tanto, pueden vaciarse de lubricante en posición vertical. En ese caso, presurice el lado de baja presión del compresor con nitrógeno seco.
- Tome una muestra de aceite para analizarla si es necesario (por ejemplo, en el caso de una instalación operativa).
- Antes de volver a instalar el compresor o colocar el visor de líquido, sustituya las juntas de los puertos de aspiración y descarga y del visor de líquido por otras nuevas. Compruebe el contenido de ácido del lubricante antiguo con un kit de análisis de acidez.
- Instale un nuevo filtro secador. Si el resultado de la prueba de ácido es positivo, deberá usar un filtro antiácido (por ejemplo, un filtro DAS o DCR-DA). Quite el filtro antiácido pasados unos días, cuando se haya eliminado el ácido del sistema.

Importante:

En el sistema puede quedar una pequeña cantidad de aceite (en las tuberías, el intercambiador de calor, etc.) que no puede eliminarse mediante este proceso. Para reducir la cantidad de aceite antiguo, se recomienda volver a cambiar la carga de aceite tras unos días de funcionamiento del sistema.

Paso 4: instrucciones para el llenado con lubricante

El siguiente procedimiento describe cómo añadir lubricante a los compresores instalados en un sistema.

1. Pasos iniciales y equipo necesario



- Vacíe el lado de baja presión del compresor hasta alcanzar la presión atmosférica. Extrema las precauciones para evitar que se produzca vacío y entren aire y humedad en el compresor durante el proceso de llenado.
- Use un bidón de lubricante nuevo y sellado y una bomba manual de aceite. La manguera de la bomba debe estar dimensionada para conexiones abocardadas de 1/4" e incluir un depresor de válvula en el extremo, que abrirá la válvula del puerto de servicio Schrader del compresor.
- El tipo de lubricante homologado está grabado en la placa de características del compresor. Compruebe que la referencia del bidón de aceite coincida con el tipo de lubricante indicado en la placa de características del compresor. Compruebe que la referencia del bidón de aceite coincida con el tipo de lubricante indicado en la placa de características del compresor.

2. Purga de la bomba y la manguera



- Tras comprobar que la bomba manual (similar a la mostrada en la imagen) esté limpia, introdúzcala en el bidón de aceite justo antes de efectuar la operación, con el fin de que el bidón esté abierto durante la menor cantidad de tiempo posible (utilice el kit adaptador para conexiones, si dispone de él, para reducir aún más la exposición del lubricante al aire).

Procedimiento de adaptación de un sistema (continuación)

- Bombear unas cuantas veces para purgar todo el aire de la bomba y la manguera. Es necesario purgar la bomba para eliminar de la manguera el lubricante saturado de humedad que pueda quedar del uso anterior.
- Conecte la manguera al puerto Schrader del compresor justo después de efectuar la purga, para evitar la contaminación por humedad.

3. Bombeo de lubricante al compresor



- Bombear la cantidad estimada de lubricante, o bien hasta que el visor de líquido muestre el nivel correcto.

Nota: Si un compresor sin visor de líquido ha perdido una cantidad excesiva de lubricante, el nivel de aceite no podrá medirse ni verse. La única forma de asegurarse de que la carga sea correcta es vaciar el compresor y volverlo a cargar con lubricante nuevo. En ese caso, habrá que desmontar el compresor de la instalación.

Recomendaciones adicionales

- Después de añadir aceite, deje que el compresor funcione con la carga completa durante 20 minutos; después, vuelva a comprobar el nivel de aceite en el visor de líquido. El nivel debe estar entre las marcas de $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ del visor de líquido.
- No añada más aceite del necesario. Si añade demasiado aceite, podrían producirse los siguientes problemas:
 - Fallo de válvulas y pistones o de las envolventes de las espirales debido a golpes de líquido.
 - Arrastre excesivo de aceite.
 - Disminución del rendimiento del evaporador debido al aumento del nivel de aceite en el lado de baja presión del sistema.

Paso 5: vaciado y deshidratación por vacío

Durante el proceso de adaptación, tras cambiar los componentes del sistema (por ejemplo, el filtro secador, la válvula de expansión, etc.) y reinstalar el compresor, debe vaciarse bien el circuito de refrigerante.

Esta sección incluye las mejores reglas generales para llevar a cabo la deshidratación por vacío de un sistema. Es bastante difícil medir el contenido de humedad de un circuito de refrigeración. Por lo tanto, seguir este procedimiento es la mejor forma de conseguir un nivel de humedad seguro y aceptable antes de poner en servicio una instalación.

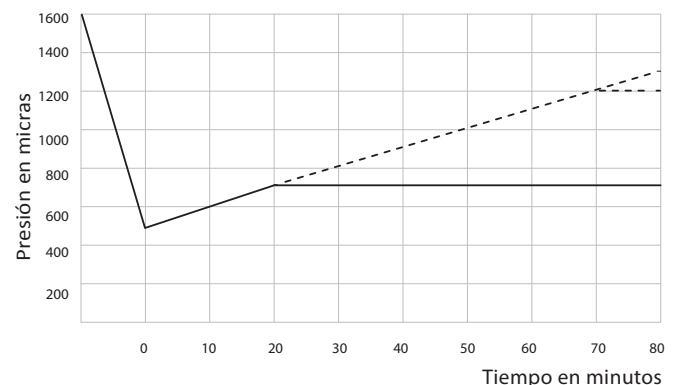
La humedad impide el correcto funcionamiento del compresor y el sistema de refrigeración. El aire y la humedad reducen la vida útil e incrementan la presión de condensación.

También provocan una presión y una temperatura de descarga excesivas, que pueden eliminar las propiedades lubricantes del aceite.

El aire y la humedad también aumentan el riesgo de formación de ácidos, lo que puede dar lugar a la deposición de cobre y a daños en el aislamiento del motor. Todos estos fenómenos pueden producir fallos mecánicos y eléctricos en el compresor. Para eliminar estos factores de riesgo, se recomienda realizar un vaciado por vacío conforme al procedimiento siguiente.

Procedimiento

Siempre que sea posible (si hay válvulas de corte), debe aislarse el compresor del sistema. Es fundamental conectar la bomba de vacío a los lados de alta y baja presión para evitar zonas muertas en el sistema.



1. Lleve a cabo una prueba de detección de fugas.
2. Vacíe el circuito de refrigeración hasta alcanzar un vacío de 500 $\mu\text{m Hg}$ (0,67 mbar).
3. Cuando alcance un vacío de 500 $\mu\text{m Hg}$, aisle el circuito de la bomba.
4. Espere 30 minutos.
5. Si la presión aumenta rápidamente, eso significa que el circuito no es estanco. Localice y repare las fugas. Vuelva a empezar desde el paso 1.
6. Si la presión aumenta lentamente, eso significa que hay humedad en el circuito. Rompa el vacío con nitrógeno y repita los pasos 2, 3 y 4.

4. Adaptación de sistemas con refrigerantes con deslizamiento de temperatura

Autores: Norbert Blatz, director internacional de excelencia en aplicaciones;
y John Broughton, experto internacional en aplicaciones de refrigeración comercial

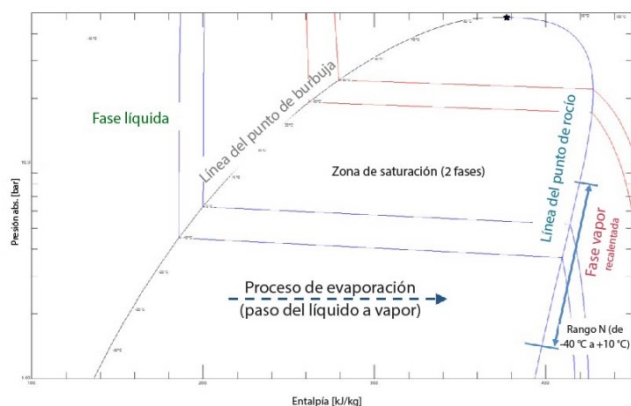
El reglamento sobre gases fluorados, que pretende reducir el GWP de los refrigerantes, ha dado (y dará) lugar a la aparición en el mercado de nuevos tipos de refrigerantes sintéticos. La mayoría de ellos son mezclas zeotrópicas con un alto deslizamiento de temperatura.

Con el fin de observar las diferencias entre ellos y los refrigerantes azeotrópicos (sin deslizamiento), analizaremos los diagramas log P-h y P-T.

En un diagrama log P-h pueden encontrarse todo tipo de estados distintos en diferentes condiciones. La entalpía específica se representa en el eje X y la presión en el eje Y, normalmente en escala logarítmica. De izquierda a derecha, la sustancia comienza como líquido puro, atraviesa el punto de burbuja (en el que comienza el proceso de evaporación) y entra en la zona de saturación. En dicha zona están presentes los dos estados (líquido y vapor). Cuanta más energía se aporte, mayor será la entalpía y más líquido se evaporará. Al alcanzar el punto de rocío, todo el líquido se habrá transformado en vapor. Más allá del punto de rocío, el vapor estará recalentado.

El valor de recalentamiento es la diferencia de temperatura entre las temperaturas del punto de rocío y el vapor recalentado a la misma presión (por ejemplo, a la salida de un evaporador de expansión seca). A modo de ejemplo, se ha añadido el rango de aplicación de una válvula de expansión termostática de rango N de Danfoss.

Diagrama 1



Dentro de la zona de saturación, la temperatura depende directamente de la presión. En el caso de los refrigerantes puros (es decir, que no son mezclas; por ejemplo, el refrigerante R-134a) y las mezclas azeotrópicas, la temperatura no variará a lo largo de todo el proceso de evaporación. Para mezclas de refrigerantes con deslizamiento de temperatura (es decir, mezclas zeotrópicas), la temperatura cambia sensiblemente durante el proceso de evaporación o condensación; sin embargo, la presión permanece constante.

Explicado de forma sencilla, este deslizamiento de temperatura se debe a que el refrigerante con menor temperatura de evaporación se evaporará primero y el refrigerante con mayor temperatura de evaporación se evaporará el último.

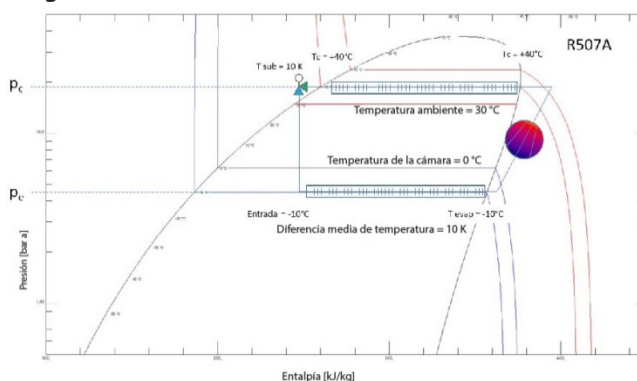
Para visualizar el efecto de deslizamiento, hemos representado lo que sucede en un circuito convencional de expansión seca en un diagrama log P-h simplificado. La diferencia de temperatura en el intercambiador de calor será de 10 K tanto a temperatura ambiente como a la temperatura de la cámara frigorífica.

Ejemplo de refrigerante sin deslizamiento (mezcla azeotrópica, R-507A): Las temperaturas de condensación y evaporación no varían a presión constante.

p_c = presión de condensación.

p_e = presión de evaporación.

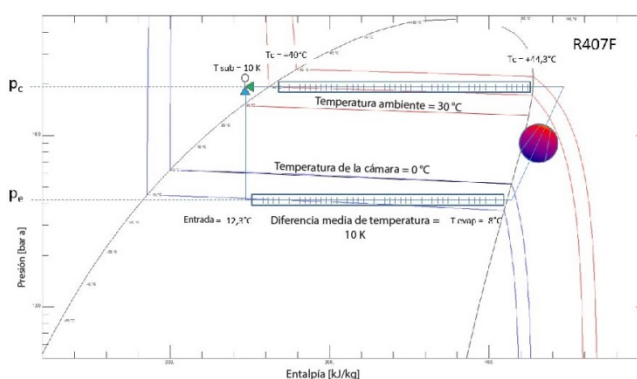
Diagrama 2



Sistema idéntico al anterior, pero con un refrigerante zeotrópico (R-407F):

Para obtener una diferencia de temperatura de 10 K, la temperatura de evaporación cambia de -12,3 °C en la entrada a -8 °C en el punto de rocío.

Diagrama 3



El cambio en la temperatura de evaporación y sus consecuencias para el intercambiador de calor y el dispositivo de expansión se tratarán en las páginas siguientes.

Adaptación de sistemas con refrigerantes con deslizamiento de temperatura (continuación)

Impacto sobre la aplicación del uso de un refrigerante con alto deslizamiento de temperatura

Debido al cambio de temperatura, la diferencia de temperatura entre el aire y el intercambiador de calor también cambiará, lo que debe tenerse en cuenta a la hora de dimensionar el intercambiador de calor.

Condensador:

La diferencia media de temperatura entre el aire y el condensador será menor, por lo que habrá que usar un condensador de mayor tamaño. La adaptación puede provocar un incremento de la temperatura de condensación si la capacidad del compresor sigue siendo la misma que antes del cambio.

Evaporador:

La temperatura media aumentará, lo que resulta ventajoso en términos de capacidad. No obstante, hay que tener en cuenta dos aspectos críticos: el dispositivo de expansión y el cambio en la velocidad de deshumidificación.

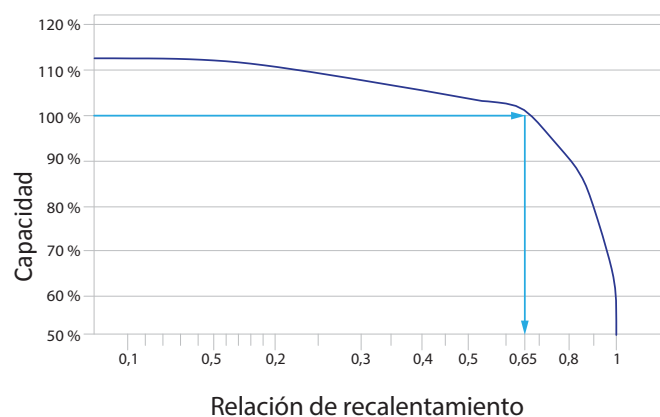
Antes de nada, explicaremos brevemente la relación entre el recalentamiento y la capacidad del intercambiador de calor.

Control del recalentamiento:

La capacidad de un evaporador de tubos con aletas depende de la temperatura de entrada del aire, el parámetro DT1 y el valor de recalentamiento.

El parámetro DT1 se define como la diferencia entre la temperatura de entrada de aire y la temperatura de evaporación en el punto de rocío. Por ejemplo: si la temperatura de entrada del aire es 0 °C y la temperatura de evaporación en el punto de rocío es -10 °C → DT1 = 10 K.

Diagrama 4



Para conseguir una capacidad del evaporador del 100 %, el recalentamiento objetivo se define como el producto del parámetro DT1 y la relación de recalentamiento: $10 \text{ K} \times 0,65 = 6,5 \text{ K}$. Desde el punto de vista del control, un valor de 0,65 es casi óptimo; además, es el valor objetivo especificado en la norma EN 328 para los enfriadores de aire. Como puede observarse en el diagrama 4, incluso un pequeño incremento de este valor (mayor recalentamiento) provoca una gran pérdida de uso de la superficie del evaporador.

Por otra parte, la reducción del recalentamiento producirá un pequeño incremento relativo de la capacidad.

Al comparar los valores de recalentamiento del evaporador de los diagramas 2 y 3, se observan diferencias. La diferencia media de temperatura del evaporador en los diagramas 2 y 3 es idéntica. Sin embargo, el deslizamiento de temperatura del refrigerante R-407F en el diagrama 3 hace que el valor necesario de recalentamiento sea menor. Esto se debe a que la temperatura de evaporación en el punto de rocío (-8,1 °C) es 2 K superior a la del diagrama 2, correspondiente al refrigerante R-507A. Así pues, $DT1 = 0 \text{ °C} - (-8,1 \text{ °C}) = 8,1 \text{ K}$. Por lo tanto, el recalentamiento objetivo es: $8,1 \text{ K} \times 0,65 = 5,3 \text{ K}$.

Refrigerantes con alto deslizamiento de temperatura y válvulas de expansión

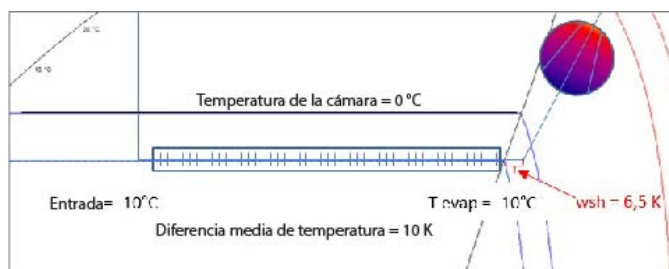
Los dispositivos de expansión utilizan la presión y la temperatura para controlar el nivel de recalentamiento a la salida del evaporador.

Para el control del recalentamiento, la única referencia válida es la línea del punto de rocío (evaporación completa).

El elemento termostático de la válvula de expansión está cargado con un medio que garantiza una diferencia de temperatura prácticamente idéntica en un amplio rango de temperatura (por ejemplo, de -40 °C a +10 °C para las válvulas de rango N de Danfoss). Esto permite determinar el recalentamiento tomando como referencia el punto de rocío.

Por ejemplo, para el refrigerante R-507A (diagrama 2), es necesario un valor de recalentamiento de 6,5 K para utilizar el evaporador al 100 %. Para los cálculos, se consideró una diferencia media de temperatura de 10 K.

Diagrama 2 (detalle)



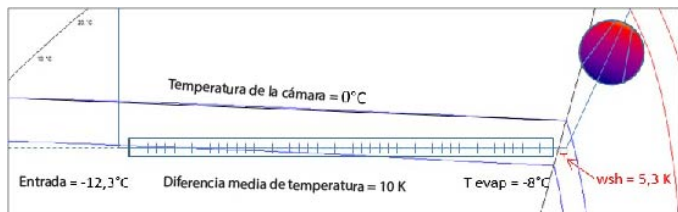
Adaptación de sistemas con refrigerantes con deslizamiento de temperatura (continuación)

¿Por qué puede ser necesario reajustar el recalentamiento de una válvula de expansión termostática?

1. Debido al deslizamiento:

En el diagrama 3, debido al impacto del deslizamiento del refrigerante R-407F, la temperatura del punto de rocío es de unos -8,1 °C; ese mismo evaporador requiere un ajuste de recalentamiento de 5,3 K para aprovechar al 100 % su capacidad con una diferencia media de temperatura de 10 K.

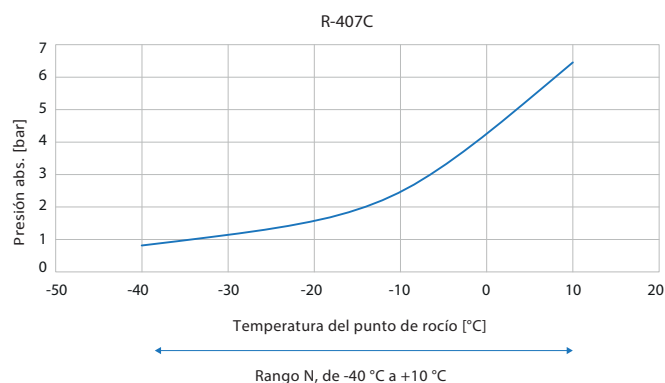
Diagrama 3 (detalle)



2. Es posible que no se pueda adaptar una válvula de expansión termostática con la carga correcta:

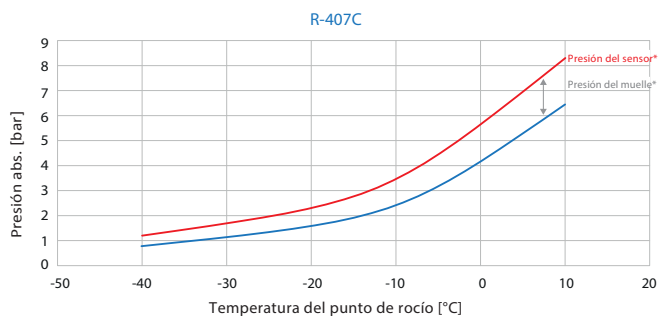
A continuación se muestra una curva de punto de rocío similar a la del diagrama 1; en este caso, representa la conocida relación presión-temperatura:

Diagrama 5



Para incrementar la temperatura del bulbo (recalentada) necesaria para abrir la válvula, se añade un muelle que actúe contra la presión del sensor: presión del sensor + "presión" del muelle = recalentamiento.

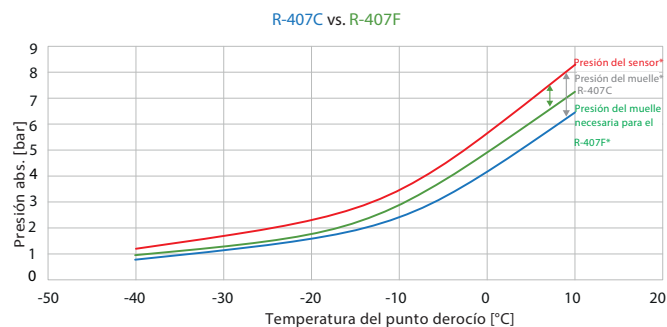
Diagrama 6



* Simplificada para ilustrar el concepto.

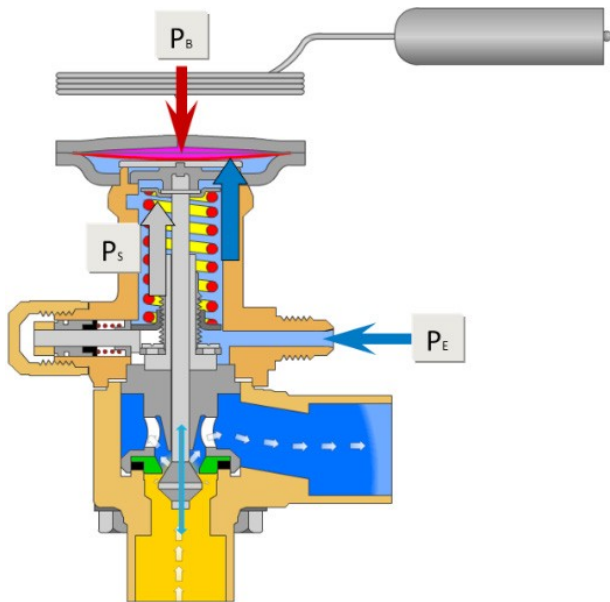
Al llevar a cabo una adaptación con R-407F, la carga de R-407C más la fuerza o presión del muelle darán lugar a un valor de recalentamiento demasiado elevado. Por lo tanto, habrá que reducir la fuerza del muelle; para ello, basta con girar el tornillo de ajuste del recalentamiento en sentido contrario al de las agujas del reloj.

Diagrama 7

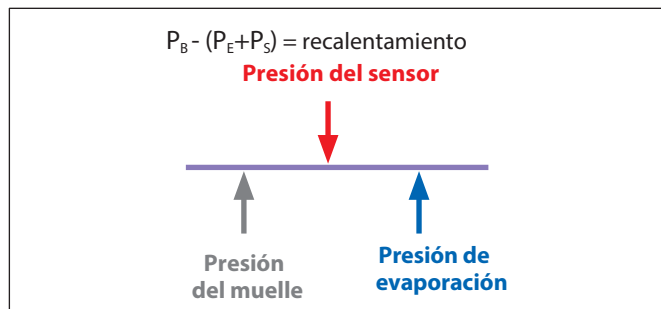


* Simplificada para ilustrar el concepto.

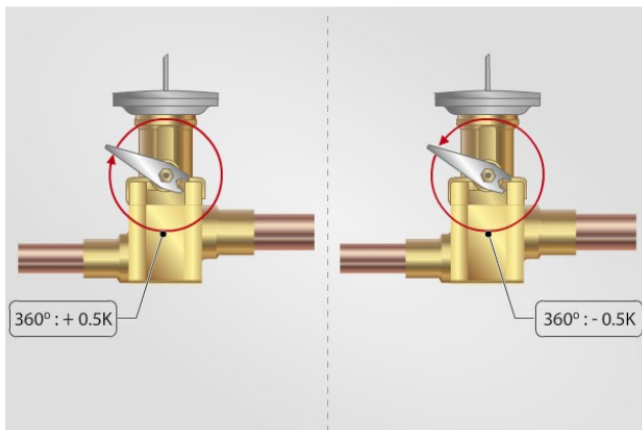
Fuerzas en la válvula y restablecimiento del recalentamiento estático



La presión del sensor (P_B) debe ser superior a la suma de la presión de evaporación (P_E) y la presión del muelle (P_s). La reducción de la presión del muelle mediante el ajuste del recalentamiento permite adaptar la válvula para que funcione con un refrigerante para el que básicamente no estaba diseñada.



TE 5~55 superheat



Atención: Si la corrección es superior a 3 K, es posible que la calidad del control empeore. Se recomienda elegir otro tipo de carga que se acerque más al valor objetivo.

Ejemplo:

Recalentamiento estático (SS) = 4 K/7,2 °F (ajuste de fábrica)

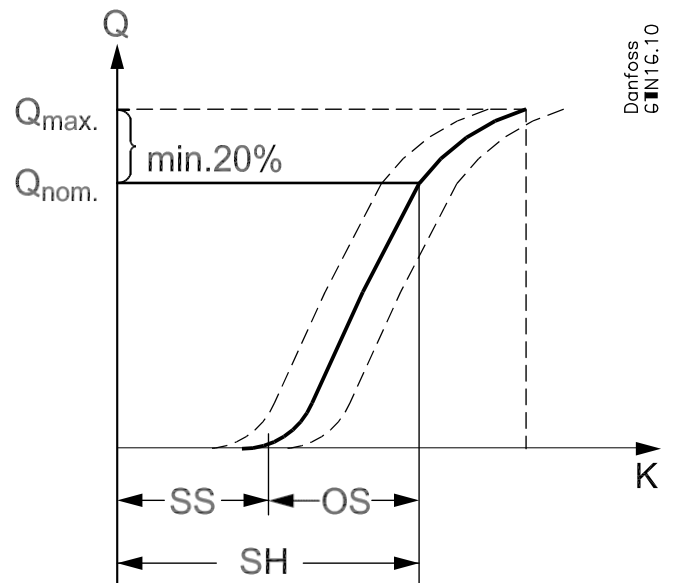
Recalentamiento de apertura (OS) = 4 K/7,2 °F

El recalentamiento de apertura es de 4 K; es decir, desde el punto en que la válvula comienza a abrirse hasta alcanzar la capacidad nominal. El recalentamiento de apertura es un parámetro de diseño y no puede modificarse.

Recalentamiento total (SH) = SS + OS

$$SH = 4 + 4 = 8 \text{ K/14,4 °F}$$

El recalentamiento total (SH) puede modificarse regulando el parámetro SS con el eje de ajuste.



Rendimiento del evaporador con refrigerantes con deslizamiento y efecto sobre la aplicación

Debido al deslizamiento, la temperatura de algunas partes de la superficie del evaporador será baja, lo que puede incrementar la velocidad de deshumidificación.

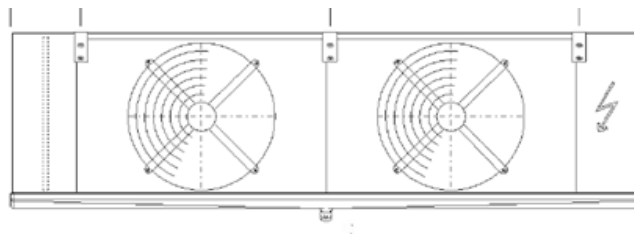
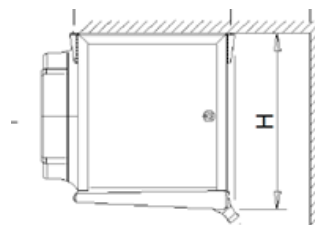
Echemos un vistazo a los valores del ejemplo inicial

(consulte el diagrama 2):

Cámara frigorífica, R-507A, condiciones ambientales de 0 °C y 80 % H.R., y diferencia media de temperatura de 10 K.

La capacidad de refrigeración puede ser de 10 kW.

Se eligió un sistema de montaje en techo con una superficie de 32,7 m² y 2 ventiladores con una capacidad de 6280 m³/h.



Resultados detallados

R-507A	Capacidad	ΔT_m	DT1	T rocío evap.	WSH (recalent.)	Tiempo de func.
	10,1 kW	10 K	10 K	-10 °C	6,5 K	18 h/d
Evaporador:	2 vent./32,7 m ²					
Entrada de aire:	0 °C	80 % H.R.				
Salida de aire:	-3,8 °C	95 % H.R.				
Caudal de aire:	6280 m ³ /h					
Deshumidificación:	47,75 kg/d					

Adaptación con R-407F

Primer paso: ajuste de recalentamiento idéntico al existente (6,5 K)

La diferencia media de temperatura (12 K) hace aumentar la capacidad a 12,5 kW y reduce el tiempo de funcionamiento. Un aspecto negativo es que la velocidad de deshumidificación aumenta sensiblemente. Esto puede resultar perjudicial para productos frescos y no envasados.

R-407F	Capacidad	ΔT_m	DT1	T rocío evap.	WSH (recalent.)	Tiempo de func.
	12,5 kW	12 K	10 K	-10 °C	6,5 K	14,3 h/d
Evaporador:	2 vent./32,7 m ²					
Entrada de aire:	0 °C	80 % H.R.				
Salida de aire:	-4,7 °C	95 % H.R.				
Caudal de aire:	6280 m ³ /h					
Deshumidificación	60,96 kg/d					

Segundo paso: reajuste de la válvula de expansión para conseguir un recalentamiento de 5,3 K

El recalentamiento se redujo a 5,3 K y la temperatura del punto de rocío de evaporación se aumentó a -8,1 °C para obtener una diferencia de temperatura de 10 K (consulte también el diagrama 3).

R-407F	Capacidad	ΔT_m	DT1	T rocío evap.	WSH (recalent.)	Tiempo de func.
	10,8 kW	10 K	8,1 K	-8,1 °C	5,3 K	16,6 h/d
Evaporador:	2 vent./32,7 m ²					
Entrada de aire:	0 °C	80 % H.R.				
Salida de aire:	-4,1 °C	95 % H.R.				
Caudal de aire:	6280 m ³ /h					
Deshumidificación	53,32 kg/d					

Nota importante:

Tal como muestran los resultados, en una aplicación donde la deshumidificación sea un parámetro crítico, la diferencia media de temperatura debería ser menor que si se utilizan un refrigerante puro o una mezcla azeotrópica de refrigerantes.

Efectos especiales:

En algunas aplicaciones de baja temperatura y gran escala en las que se utilizan refrigerantes con alto deslizamiento de temperatura, se ha constatado que el refrigerante líquido provoca problemas en el compresor. En esos casos, hay que hacer justo lo contrario a lo indicado en el párrafo anterior: debe aumentarse el ajuste de recalentamiento para proteger el compresor. Los refrigerantes con bajo o nulo deslizamiento de temperatura no producen este tipo de efectos en aplicaciones de baja temperatura.

Resumen:

Para dimensionar y seleccionar los componentes para refrigerantes con alto deslizamiento de temperatura, es necesario utilizar la diferencia media de temperatura. Además, el deslizamiento puede hacer que sea necesario modificar el ajuste de recalentamiento. El uso de un refrigerante que funcione para unos determinados valores de temperatura no garantiza que también valga para otros valores de temperatura (por ejemplo, hay diferencias entre las aplicaciones de aire acondicionado y las de baja temperatura). El rendimiento de cada válvula de expansión mecánica está optimizado para usarla con un refrigerante específico. Si se utiliza con otro refrigerante, la válvula no funcionará exactamente igual u ofrecerá el mismo nivel de control. Si quiere reducir el riesgo de que se produzcan problemas en el sistema y mantener un control lo más estable posible, una buena opción podría ser usar alguna de las nuevas válvulas de expansión termostática adaptadas o una válvula de expansión electrónica. Además, las válvulas de expansión electrónica ofrecen una mayor flexibilidad de diseño a posteriori si el controlador de recalentamiento es compatible con el refrigerante elegido. Danfoss siempre actualiza los controladores para que puedan funcionar con los refrigerantes con bajo GWP de última generación que haya disponibles.

Nota:

Los refrigerantes y las condiciones que aparecen en este documento no pretenden influir sobre la elección del refrigerante o las condiciones. El objetivo de este documento es analizar de manera imparcial los aspectos físicos y la influencia sobre el diseño de componentes y sistemas.

Para determinar la compatibilidad de las válvulas de expansión de Danfoss, puede usar la herramienta Low-GWP Tool: <http://refrigerationandairconditioning.danfoss.com/support-center/apps-and-software/low-gwp-tool/>
También puede consultar el documento *Refrigerant Glide and Effect on Performances Declaration*, publicado por ASERCOM: <http://asercom.org/guides>