

ENGINEERING
TOMORROW

Danfoss

Manual de aplicaciones

Aplicaciones de refrigeración **industrial con amoníaco y CO₂**



Prólogo

	Página
Prólogo	3
1. Introducción	4
2. Controles del compresor	6
2.1 Control de la capacidad del compresor	6
2.2 Control de la temperatura de descarga con inyección de líquido	10
2.3 Control de presión del cárter	13
2.4 Control de la inversión del flujo	14
2.5 Resumen	15
2.6 Documentos de referencia	16
3. Controles para condensadores	17
3.1 Condensadores refrigerados por aire	17
3.2 Condensadores evaporativos	22
3.3 Condensadores refrigerados por agua	25
3.4 Resumen	27
3.5 Documentos de referencia	27
4. Control del nivel del líquido	28
4.1 Sistema de control del nivel de líquido de alta presión (LLRS HP)	28
4.2 Sistema de control del nivel de líquido de baja presión (LLRS LP)	32
4.3 Resumen	36
4.4 Documentos de referencia	36
5. Controles de evaporadores	37
5.1 Control de expansión directa	37
5.2 Control de circulación de líquido por bomba	42
5.3 Desescarche por gas caliente para enfriadores de aire DX	45
5.4 Desescarche por gas caliente para enfriadores de aire con circulación de líquido bombeado	51
5.5 Conversión de multitemperatura	54
5.6 Control de la temperatura del medio	55
5.7 Resumen	57
5.8 Documentos de referencia	58
6. Sistemas de aceite	59
6.1 Refrigeración de aceite	59
6.2 Control de la presión diferencial de aceite	63
6.3 Sistema de recuperación de aceite	66
6.4 Resumen	68
6.5 Documentos de referencia	69
7. Sistemas de seguridad	70
7.1 Dispositivos de alivio de presión	70
7.2 Dispositivos limitadores de presión y temperatura	74
7.3 Dispositivos de nivel de líquido	75
7.4 Detectores de refrigerante	76
7.5 Resumen	78
7.6 Documentos de referencia	78
8. Controles de bombas de refrigerante	79
8.1 Protección de la bomba con control de presión diferencial	79
8.2 Control de flujo con <i>bypass</i> de la bomba	81
8.3 Control de presión de la bomba	82
8.4 Resumen	83
8.5 Documentos de referencia	83
9. Otras aplicaciones	84
9.1 Filtros secadores en sistemas fluorados	84
9.2 Eliminación de agua en sistemas con amoníaco	86
9.3 Sistemas de purga de aire	88
9.4 Sistema de recuperación de calor	90
9.5 Documentos de referencia	92
10. Uso del CO ₂ en sistemas de refrigeración industrial	93
10.1 El CO ₂ como refrigerante	94
10.2 El CO ₂ como refrigerante en sistemas industriales	95
10.3 Presión de diseño	97
10.4 Seguridad	99
10.5 Eficiencia	100
10.6 Aceite en los sistemas con CO ₂	100
10.7 Comparación de los requisitos de los componentes de los sistemas con CO ₂ , amoníaco y R-134a	102
10.8 Agua en sistemas con CO ₂	104
10.9 Eliminación de agua	107
10.10 ¿Cómo se introduce el agua en un sistema de CO ₂ ?	111
10.11 Aspectos diversos que deben tenerse en cuenta en los sistemas de refrigeración con CO ₂	112
11. CO ₂ bombeado en sistemas de refrigeración industrial	115
12. Métodos de control para sistemas con CO ₂	125
13. Diseño de una instalación subcrítica con CO ₂	126
13.1 Solución electrónica para el control del nivel de líquido	126
13.2 Desescarche por gas caliente para enfriadores de aire con circulación de líquido bombeado	127
13.2 Desescarche por gas caliente para enfriadores de aire con circulación de líquido bombeado	128
14. Componentes Danfoss para CO ₂ subcrítico	129
15. Gama completa de productos de acero inoxidable	131
16. Apéndice	133
16.1 Sistemas de refrigeración típicos	133
17. Controles ON/OFF y modulante	138
17.1 Control ON/OFF	139
17.2 Control modulante	140
Lista alfabética de documentos de referencia	146

Prólogo

Este manual de aplicaciones está diseñado para utilizarse a modo de documento de referencia. La finalidad del presente manual es aportar respuestas a las diversas preguntas referentes al control de los sistemas de refrigeración industrial. Al dar respuesta a estas preguntas se presentan los principios de los diversos métodos de control, seguidos de ejemplos de control que incluyen productos de Danfoss Industrial Refrigeration. Antes de elegir una determinada configuración, deben analizarse los aspectos relativos a la capacidad y las prestaciones y los parámetros de funcionamiento de cada aplicación. No se muestran todas las válvulas; asimismo, los esquemas de las aplicaciones no deben utilizarse con fines de construcción.

Para el diseño final de una instalación es necesario usar otras herramientas, como los catálogos y el software de cálculo del fabricante (por ejemplo, el catálogo de Danfoss Industrial Refrigeration y el software DIRcalc).

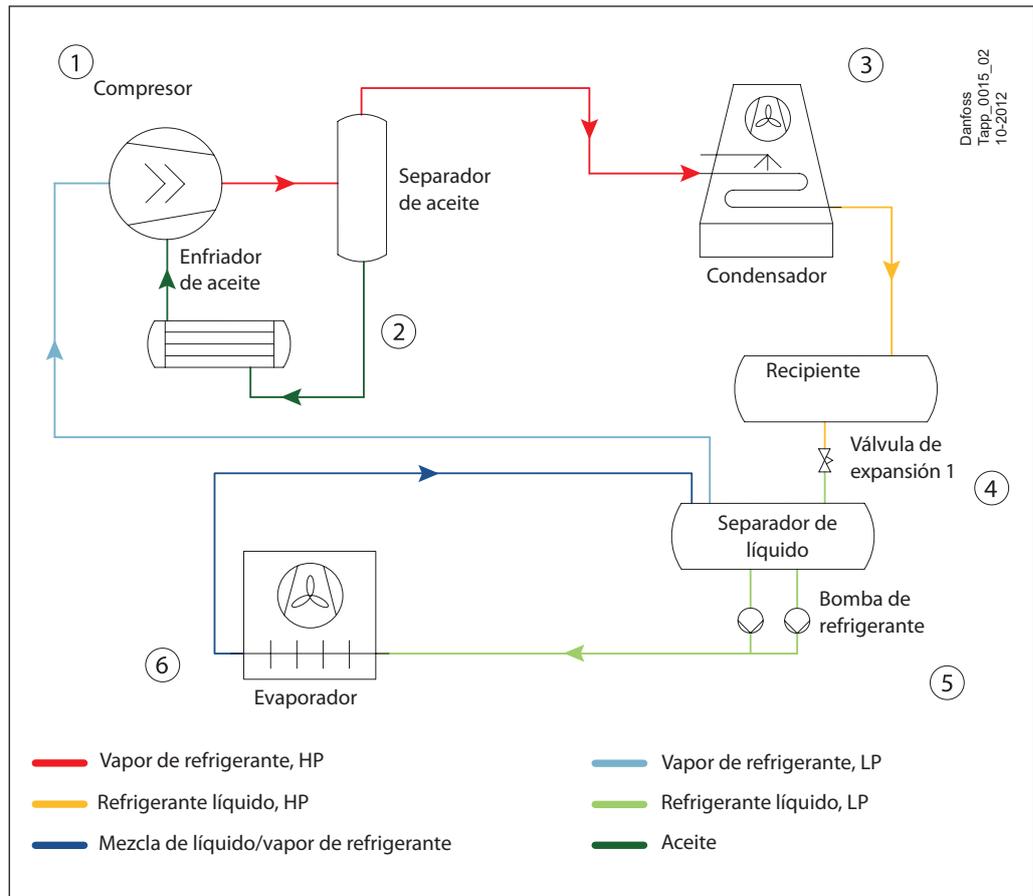
DIRcalc es el software de cálculo y selección de válvulas de Danfoss Industrial Refrigeration. DIRcalc puede obtenerse de forma completamente gratuita.

Contacte con su distribuidor local de Danfoss.

No dude en ponerse en contacto con Danfoss si tiene cualquier pregunta sobre los métodos de control, aplicaciones y controles descritos en este manual de aplicaciones.

1. Introducción

Sistema de refrigeración con bomba de circulación



① Control del compresor

¿Por qué?

- Primario: para controlar la presión de aspiración.
- Secundario: funcionamiento seguro del compresor (arranque/parada, etc.).

¿Cómo?

- Control de la capacidad del compresor de acuerdo con la carga de refrigeración por medio de un *bypass* de gas caliente desde el lado HP de vuelta al lado LP, un control por etapas del compresor de tipo ON/OFF o el control de la velocidad de giro del compresor.
- Instalación de una válvula de retención en la línea de descarga con la finalidad de impedir la inversión del flujo de refrigerante hacia el compresor.
- Mantenimiento de las presiones y temperaturas en la entrada y salida del compresor dentro del rango de funcionamiento.

② Control del aceite

¿Por qué?

- Para mantener la temperatura y la presión del aceite en unos valores óptimos con el fin de garantizar el funcionamiento fiable del compresor.

¿Cómo?

- Presión: mantenimiento y control del diferencial de presión a través del compresor para la circulación de aceite y mantenimiento de la presión en el cárter (solo para compresores de pistón).
- Temperatura: *bypass* de parte del aceite con respecto al enfriador de aceite; control del flujo de aire o agua de enfriamiento hacia el enfriador de aceite.
- Nivel: retorno del aceite en los sistemas con amoníaco y los sistemas fluorados de baja temperatura.

1. Introducción
(continuación)

③ Control del condensador

¿Por qué?

- Para mantener la presión de condensación por encima del valor mínimo aceptable, con el fin de garantizar un flujo adecuado a través de los dispositivos de expansión.
- Para asegurar la correcta distribución del refrigerante en el sistema.

¿Cómo?

- Funcionamiento de tipo ON/OFF o control de la velocidad de los ventiladores del condensador, control del flujo de agua de refrigeración o inundación completa de los condensadores con refrigerante líquido.

④ Control del nivel de líquido

¿Por qué?

- Para conseguir un flujo correcto de refrigerante líquido desde el lado de alta presión hacia el lado de baja presión, de acuerdo con la demanda real.
- Para garantizar un funcionamiento seguro y fiable de los dispositivos de expansión.

¿Cómo?

- Control del grado de apertura del dispositivo de expansión de acuerdo con el cambio del nivel de líquido.

⑤ Control de la bomba de refrigerante

¿Por qué?

- Para mantener en funcionamiento la bomba sin problemas, con un flujo a través de ella que esté dentro del rango de funcionamiento admisible.
- Para mantener una presión diferencial constante a través de la bomba en algunos sistemas.

¿Cómo?

- Diseño de un circuito de *bypass*, de forma que el flujo pueda mantenerse por encima del valor mínimo admisible.
- Desconexión de la bomba si no puede alcanzarse el valor de presión diferencial necesario.
- Instalación de una válvula de regulación de presión.

⑥ Control del sistema de evaporación

¿Por qué?

- Primario: para mantener una temperatura constante del medio.
- Secundario: para optimizar el funcionamiento de los evaporadores.
- En sistemas de expansión directa: para garantizar que el refrigerante líquido de los evaporadores no entre en la línea de aspiración del compresor.

¿Cómo?

- Cambio del caudal de refrigerante que entra en los evaporadores en función de la demanda.
- Desescarche de los evaporadores.

⑦ Sistemas de seguridad

¿Por qué?

- Para evitar una presión excesiva en los recipientes.
- Para proteger el compresor de daños producidos por golpes de ariete, sobrecargas, escasez de aceite, altas temperaturas, etc.
- Para proteger la bomba contra daños producidos por cavitación.

¿Cómo?

- Instalación de una válvula de seguridad en los recipientes y en otros lugares necesarios.
- Desconexión del compresor y la bomba, si la presión de entrada/salida o el diferencial está fuera del rango admisible.
- Desconexión del sistema o de parte de este si el nivel en el separador de líquido o el recipiente supera el valor admisible.

2. Controles del compresor

El compresor es el "corazón" del sistema de refrigeración. Tiene dos funciones básicas:

1. Mantener la presión en el evaporador, de modo que el refrigerante líquido pueda evaporarse a la temperatura requerida.
2. Comprimir el refrigerante para poder condensarlo a una temperatura normal.

Por lo tanto, la función básica del control del compresor es ajustar la capacidad de este a la demanda real del sistema de refrigeración, de forma que pueda mantenerse la temperatura de evaporación requerida. Si la capacidad del

compresor es mayor que la demanda, la presión y la temperatura de evaporación serán más bajas que las requeridas y viceversa.

Además, no debe permitirse que el compresor trabaje fuera del rango admisible de temperatura y presión, con el fin de optimizar sus condiciones de funcionamiento.

2.1 Control de la capacidad del compresor

En los sistemas de refrigeración, el compresor normalmente se selecciona de forma que pueda satisfacer la carga de enfriamiento más alta posible. Sin embargo, la carga de enfriamiento durante el funcionamiento normal es generalmente más baja que la carga de diseño. Esto significa que siempre debe controlarse la capacidad del compresor, de manera que coincida con la carga térmica real. Existen varias maneras comunes de controlar la capacidad del compresor:

1. Control por etapas.

Esto conlleva la descarga de los cilindros de un compresor de varios cilindros, la apertura y el cierre de las conexiones de aspiración de un compresor de tornillo o el arranque o la parada de algunos compresores en un sistema de varios compresores. Este sistema es simple y cómodo. Además, la eficiencia disminuye muy poco en condiciones de carga parcial. Es especialmente recomendable para sistemas con varios compresores alternativos de varios cilindros.

2. Control mediante válvula corrediza.

El dispositivo más usado para controlar la capacidad de un compresor de tornillo es la válvula corrediza. La válvula corrediza accionada por aceite permite separar parte del gas de aspiración para evitar su compresión. Esta válvula permite una modulación uniforme y continua de la capacidad desde el 100 hasta el 10 %, aunque la eficiencia disminuye en condiciones de carga parcial.

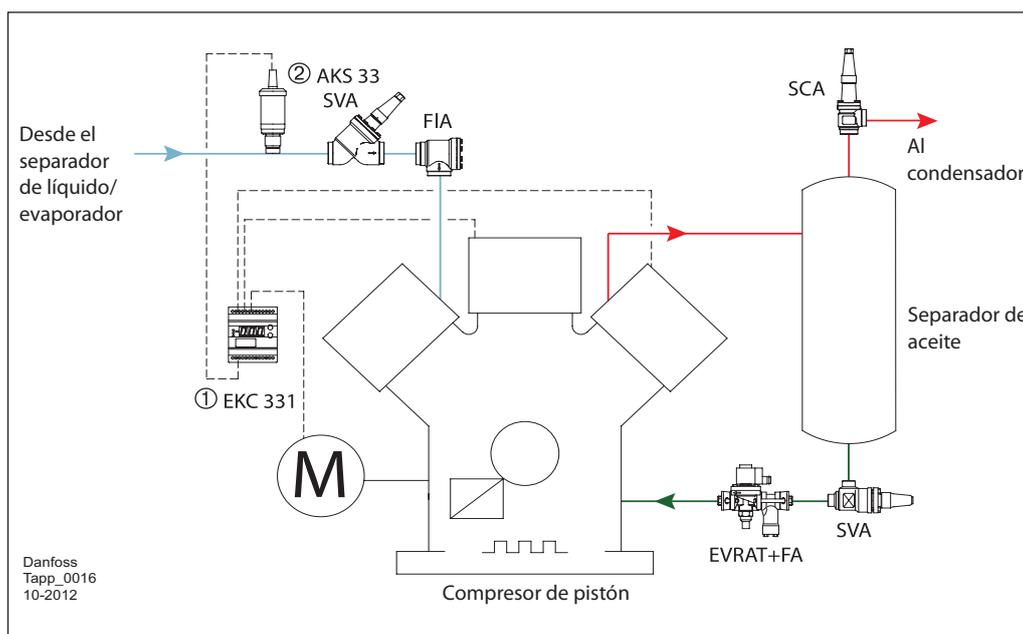
3. Control de velocidad variable.

El control de velocidad variable es una solución eficiente que puede aplicarse a todo tipo de compresores. Puede utilizarse un motor eléctrico de dos velocidades o un convertidor de frecuencia para variar la velocidad del compresor. El motor eléctrico de dos velocidades controla la capacidad del compresor, funcionando a alta velocidad cuando la carga térmica es alta (por ejemplo, en un período de enfriamiento) y a baja velocidad cuando la carga térmica es baja (por ejemplo, durante un período de almacenamiento). El convertidor de frecuencia puede variar la velocidad de giro continuamente para satisfacer la demanda real. El convertidor de frecuencia observa límites de velocidad máxima y mínima, control de presión y temperatura y protección del motor del compresor, además de límites de corriente y par. Los convertidores de frecuencia aseguran una corriente de arranque baja.

4. Bypass de gas caliente.

Esta solución se aplica a compresores con capacidades fijas y es más típica en la refrigeración comercial. Para controlar la capacidad de refrigeración, parte del flujo de gas caliente de la línea de descarga se deriva hacia el circuito de baja presión. Esto ayuda a reducir la capacidad de refrigeración de dos maneras: disminuyendo el suministro de refrigerante líquido y liberando una cierta cantidad de calor en el circuito de baja presión.

Ejemplo de aplicación 2.1.1:
Control por etapas de la capacidad del compresor



— Vapor de refrigerante, HP
— Vapor de refrigerante, LP
— Aceite

- ① Controlador de etapas
- ② Transmisor de presión

Danfoss
Tapp_0016
10-2012

La solución de control por etapas de la capacidad del compresor puede conseguirse usando un controlador de etapas EKC 331 ①. El EKC 331 es un controlador de cuatro etapas con hasta cuatro relés de salida. Controla la carga/descarga de los compresores/pistones o el motor eléctrico del compresor en función de la señal de presión de aspiración del transmisor de presión AKS 33 ② o AKS 32R. El EKC 331, basado en un control de zona neutra, puede controlar un sistema con hasta cuatro etapas de compresores de iguales características o, alternativamente, dos compresores de capacidad controlada (cada uno con su válvula de descarga).

La versión EKC 331T puede aceptar la señal de un sensor de temperatura PT 1000, que puede resultar necesario para sistemas secundarios.

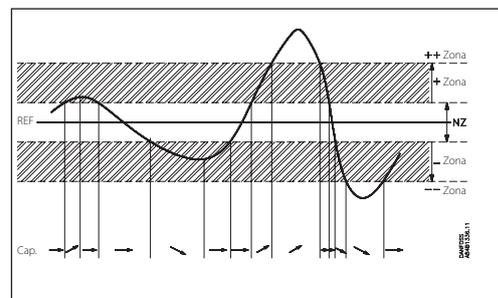
Control de zona neutra

La zona neutra se fija alrededor del valor de referencia, de tal forma que en ella no se produce carga/descarga.

Fuera de la zona neutra (en las áreas sombreadas "zona +" y "zona -"), se producirá carga/descarga cuando la presión medida se desvíe fuera de los ajustes de dicha zona.

Si el control se produce fuera del área sombreada ("zona ++" y "zona --"), los cambios de la capacidad de conexión ocurrirán de forma más rápida que en el área sombreada.

Para obtener más información, consulte el manual del controlador EKC 331(T) de Danfoss.



Datos técnicos

	Transmisor de presión AKS 33	Transmisor de presión AKS 32R
Refrigerantes	Todos los refrigerantes, incluido el R-717	Todos los refrigerantes, incluido el R-717
Rango de funcionamiento [bar]	De -1 a 34	De -1 a 34
Presión de trabajo máx., PB [bar]	55 (según el rango de funcionamiento)	60 (según el rango de funcionamiento)
Rango de temp. de funcionamiento [°C]	De -40 a 85	
Rango de temp. compensada [°C]	LP: de -30 a +40/HP: de 0 a +80	
Señal de salida nominal	De 4 a 20 mA	Del 10 al 90 % del suministro de tensión

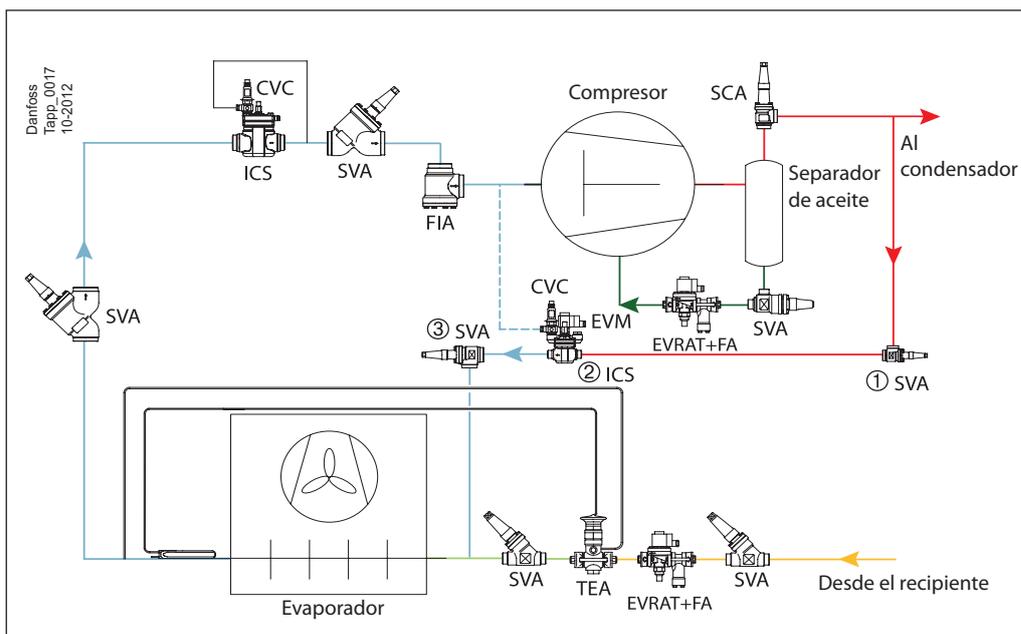
	Transmisor de presión AKS 3000	Transmisor de presión AKS 32
Refrigerantes	Todos los refrigerantes, incluido el R-717	Todos los refrigerantes, incluido el R-717
Rango de funcionamiento [bar]	De 0 a 60 (según el rango)	De -1 a 39 (según el rango)
Presión de trabajo máx., PB [bar]	100 (según el rango de funcionamiento)	60 (según el rango de funcionamiento)
Rango de temp. de funcionamiento [°C]	De -40 a 80	De -40 a 85
Rango de temp. compensada [°C]	LP: de -30 a +40/HP: de 0 a +80	LP: de -30 a +40/HP: de 0 a +80
Señal de salida nominal	De 4 a 20 mA	De 1 a 5 V o de 0 a 10 V

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Ejemplo de aplicación 2.1.2:
Control de capacidad del
compresor mediante bypass
de gas caliente

- Vapor de refrigerante, HP
- Refrigerante líquido, HP
- Vapor de refrigerante, LP
- Refrigerante líquido, LP
- Aceite

- ① Válvula de cierre
- ② Regulador de capacidad
- ③ Válvula de cierre



El bypass de gas caliente puede utilizarse para controlar la capacidad de refrigeración de compresores con capacidades fijas. La válvula servoaccionada pilotada ICS ② con una válvula piloto CVC se usa para controlar el flujo del bypass de gas caliente en función de la presión en la línea de aspiración. La válvula piloto CVC,

controlada por la presión de salida, abre la válvula ICS e incrementa el flujo de gas caliente cuando la presión de aspiración es inferior al valor de ajuste seleccionado. De esta manera, la presión de aspiración antes del compresor se mantiene constante y la capacidad de refrigeración satisface las necesidades reales de carga de enfriamiento.

Datos técnicos

	Válvula servoaccionada pilotada ICS
Material	Cuerpo: acero para bajas temperaturas
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes, incluidos el R-717 y el R-744
Rango de temp. del medio [°C]	De -60 a +120
Presión de trabajo máx. [bar]	52
DN [mm]	De 20 a 150

	Válvula piloto CVC, LP
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes
Rango de temp. del medio [°C]	De -50 a 120
Presión de trabajo máx. [bar]	Lado de alta presión: 28 Lado de baja presión: 17
Rango de presión [bar]	De -0,45 a 7
Valor K, [m ³ /h]	0,2

	Válvula piloto CVC (XP)
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes
Rango de temp. del medio [°C]	De -50 a 120
Presión de trabajo máx. [bar]	Lado de alta presión: 52 Lado de baja presión: 28
Rango de presión [bar]	De 4 a 28
Valor K, [m ³ /h]	0,2

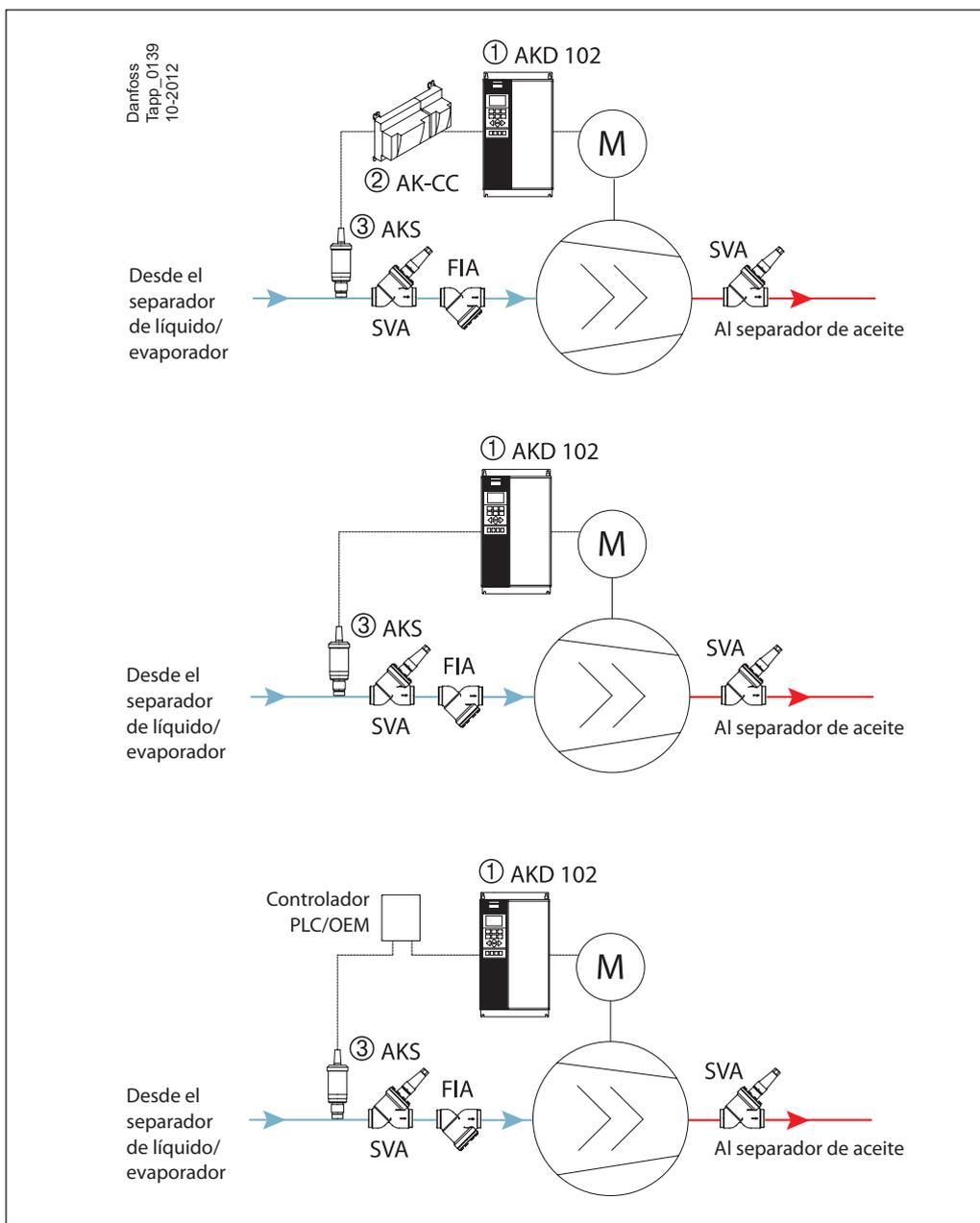
No se muestran todas las válvulas.
La información no debe utilizarse con
fines de construcción.

Ejemplo de aplicación 2.1.3:
Control de velocidad variable
de la capacidad del compresor

Danfoss
Tapp. 0139
10-2012

— Vapor de refrigerante, HP
— Vapor de refrigerante, LP

- ① Convertidor de frecuencia
- ② Controlador
- ③ Transductor de presión



El control mediante convertidor de frecuencia ofrece las siguientes ventajas:

- Ahorro energético
- Mejor control y calidad del producto
- Reducción del nivel de ruido
- Vida útil más larga
- Instalación sencilla
- Sistema de control completo y fácil de utilizar

Datos técnicos

No se muestran todas las válvulas.
La información no debe utilizarse con fines de construcción.

	Convertidor de frecuencia AKD 102		Convertidor de frecuencia VLT FC 102/FC 302
Potencia nominal [kW]	De 1,1 a 45 kW	De 1,1 a 250 kW	Hasta 1.200 kW
Tensión	200-240 V	380-480 V	200-690 V

2.2 Control de la temperatura de descarga con inyección de líquido

Los fabricantes de compresores generalmente recomiendan limitar la temperatura de descarga por debajo de un cierto valor, para evitar el recalentamiento de las válvulas, prolongar su vida útil y prevenir la falta de aceite a altas temperaturas.

Existen varias maneras de reducir la temperatura de descarga. Una forma es instalar cabezales refrigerados por agua en los compresores alternativos; otro método es la inyección de líquido, mediante la cual el refrigerante líquido de la salida del condensador o el recipiente se inyecta en la línea de aspiración, el enfriador intermedio o la conexión lateral del compresor de tornillo.

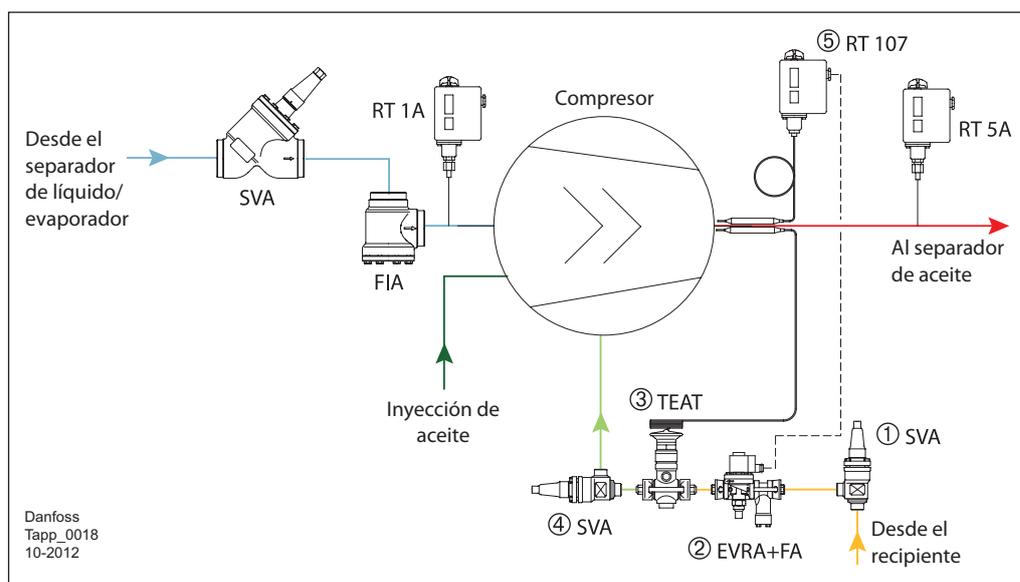
En el diagrama log p-h se puede observar que la temperatura de descarga puede ser alta si:

- El compresor funciona con un diferencial de presión alto.
- El compresor recibe vapor de aspiración sumamente recalentado.
- El compresor funciona con un control de capacidad mediante *bypass* de gas caliente.

Ejemplo de aplicación 2.2.1: Inyección de líquido con válvula termostática de inyección

- █ Vapor de refrigerante, HP
- █ Refrigerante líquido, HP
- █ Vapor de refrigerante, LP
- █ Refrigerante líquido, LP
- █ Aceite

- ① Válvula de cierre
- ② Válvula solenoide
- ③ Válvula termostática de inyección
- ④ Válvula de cierre
- ⑤ Termostato



Cuando la temperatura de descarga supere el valor ajustado para el termostato RT 107 ⑤, este energizará la válvula solenoide EVRA ②, que iniciará la inyección de líquido en la conexión lateral del compresor de tornillo.

La válvula termostática de inyección TEAT ③ controla el flujo de líquido inyectado en función de la temperatura de descarga, lo que evita una elevación aún mayor de esta.

Datos técnicos

	Termostato RT
Refrigerantes	R-717 y refrigerantes fluorados
Protección	IP 66/54
Temp. máx. del bulbo [°C]	De 65 a 300
Temp. ambiente [°C]	De -50 a 70
Rango de regulación [°C]	De -60 a 150
Diferencial, Δt [°C]	De 1,0 a 25,0

	Válvula termostática de inyección TEAT
Refrigerantes	R-717 y refrigerantes fluorados
Rango de regulación [°C]	Temp. máx. del bulbo: 150 °C Banda P: 20 °C
Presión de trabajo máx. [bar]	20
Capacidad nominal* [kW]	De 3,3 a 274

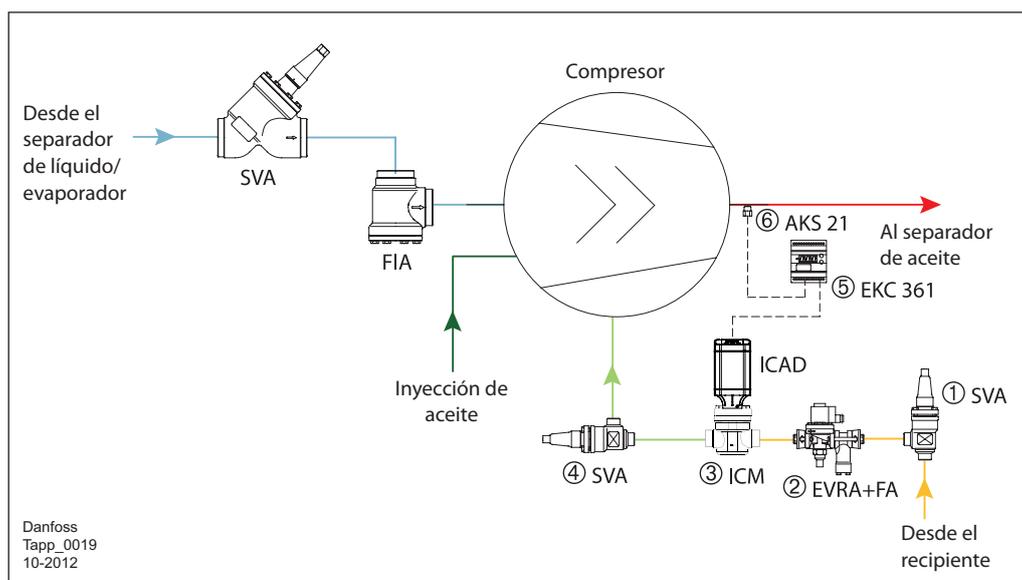
* Condiciones: T_e = +5 °C, Δp = 8 bar y ΔT_{sub} = 4 °C.

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Ejemplo de aplicación 2.2.2:
Inyección de líquido con válvula motorizada

- Vapor de refrigerante, HP
- Refrigerante líquido, HP
- Vapor de refrigerante, LP
- Refrigerante líquido, LP
- Aceite

- ① Válvula de cierre
- ② Válvula solenoide
- ③ Válvula motorizada
- ④ Válvula de cierre
- ⑤ Controlador
- ⑥ Sensor de temperatura



La válvula motorizada ICM ③ permite conseguir una solución electrónica de control de la inyección de líquido. Un sensor de temperatura AKS 21 PT 1000 ⑥ registrará la temperatura de descarga y transmitirá la señal al controlador de temperatura

EKC 361 ⑤. El EKC 361 controla el actuador ICAD que ajusta el grado de apertura de la válvula motorizada ICM para limitar y mantener la temperatura de descarga requerida.

Datos técnicos

	Válvula ICM de expansión
Material	Cuerpo: acero para bajas temperaturas
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes, incluidos el R-717 y el R-744
Rango de temp. del medio [°C]	De -60 a 120
Presión de trabajo máx. [bar]	52 bar
DN [mm]	De 20 a 80
Capacidad nominal* [kW]	De 72 a 22.700

* Condiciones: T_e = -10 °C, Δp = 8,0 bar y ΔT_{sub} = 4 K.

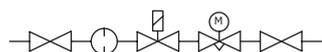
	Actuador ICAD
Rango de temp. del medio [°C]	De -30 a 50 (ambiente)
Señal de entrada de control	0/4-10 mA o 0/2-10 V
Tiempo de apertura-cierre a velocidad máxima	De 3 a 45 segundos, en función del tamaño de la válvula

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Ejemplo de aplicación 2.2.3:
Solución compacta de inyección de líquido con válvula ICF

- █ Vapor de refrigerante, HP
- █ Refrigerante líquido, HP
- █ Vapor de refrigerante, LP
- █ Refrigerante líquido, LP
- █ Aceite

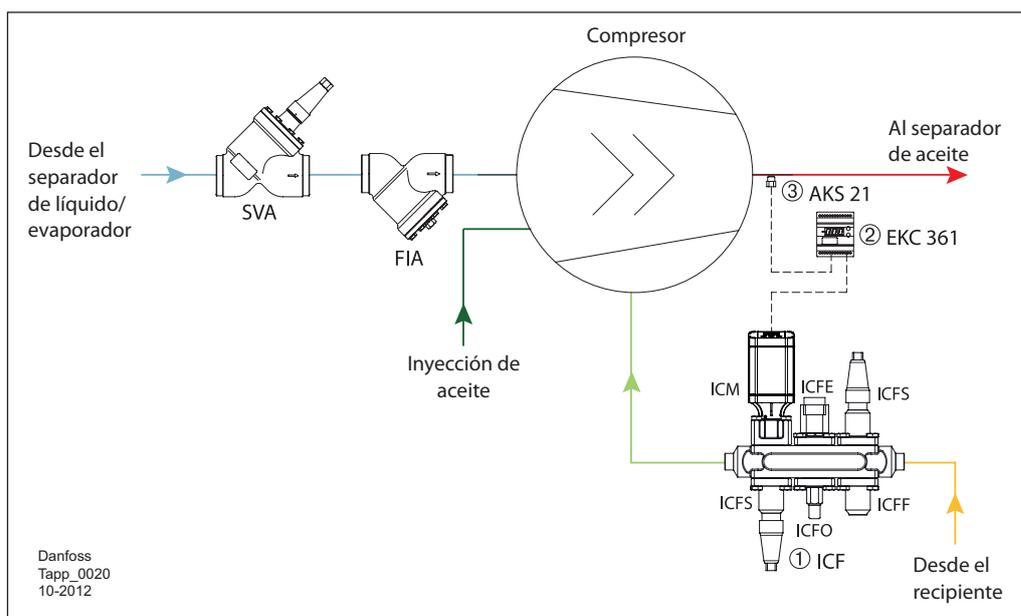
① Estación de válvulas con:



- Válvula de cierre
- Filtro
- Válvula solenoide
- Dispositivo de apertura manual
- Válvula motorizada
- Válvula de cierre

② Controlador

③ Sensor de temperatura



Danfoss pone a su disposición una solución de control ICF ① muy compacta para la inyección de líquido. Se pueden montar hasta seis módulos diferentes en la misma carcasa. Esta solución funciona de la misma forma que el ejemplo 2.2.2 y es muy compacta y fácil de instalar.

Datos técnicos

	Solución de control ICF
Material	Cuerpo: acero para bajas temperaturas
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes, incluidos el R-717 y el R-744
Rango de temp. del medio [°C]	De -60 a 120
Presión de trabajo máx. [bar]	52 bar
DN [mm]	De 20 a 40

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

2.3 Control de presión del cárter

Durante el arranque o después del desescarce debe controlarse la presión de aspiración; de lo contrario, podría elevarse demasiado y sobrecargar el motor del compresor.

El motor eléctrico del compresor podría resultar dañado debido a esta sobrecarga.

Existen dos formas de superar este problema:

1. Arrancar el compresor en condiciones de carga parcial. Los métodos de control de capacidad pueden usarse para arrancar el compresor en condiciones de carga parcial;

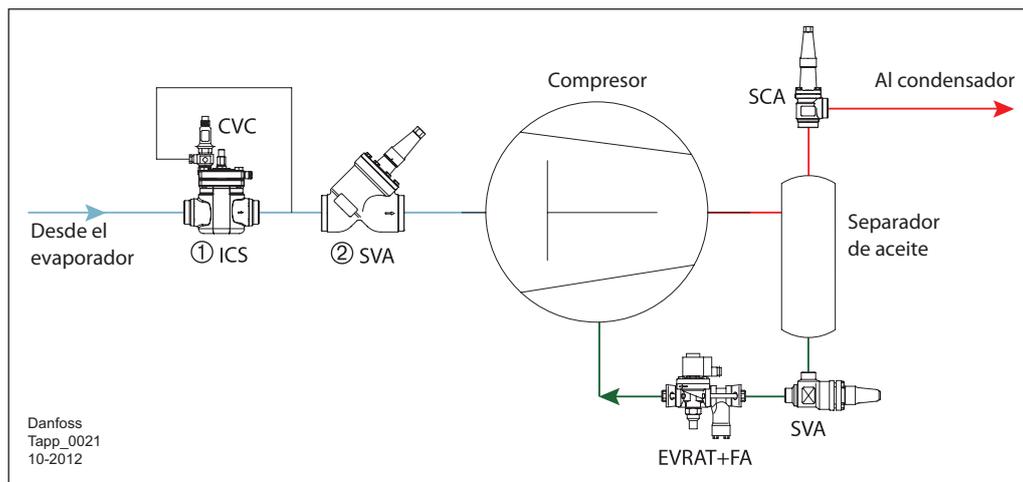
por ejemplo, mediante la descarga parcial de los pistones en los compresores alternativos de varios pistones, la realización de un *bypass* de parte del gas de aspiración en los compresores de tornillo con válvulas corredizas, etc.

2. Controlar la presión del cárter para los compresores alternativos. La instalación de una válvula de regulación controlada por la presión de salida en la línea de aspiración, que no se abra hasta que la presión en la línea de aspiración sea inferior al valor ajustado, permite mantener la presión de aspiración por debajo de un determinado nivel.

Ejemplo de aplicación 2.3.1:
Control de presión del cárter con válvulas ICS y CVC

- Vapor de refrigerante, HP
- Vapor de refrigerante, LP
- Aceite

- ① Regulador de presión en el cárter
- ② Válvula de cierre



La válvula servoaccionada pilotada ICS ①, combinada con la válvula piloto CVC controlada por la presión de salida, puede instalarse en la línea de aspiración para controlar la presión en el cárter durante el arranque, después del desescarce o en otros casos en los que la presión de aspiración pueda elevarse en exceso.

La válvula ICS no se abrirá hasta que la presión de aspiración aguas abajo sea inferior al valor ajustado para la válvula piloto CVC. De esta manera, el vapor a alta presión de la línea de aspiración se podrá liberar gradualmente en el cárter, lo que asegurará una capacidad que pueda gestionar el compresor.

Datos técnicos

	Válvula servoaccionada pilotada ICS
Material	Cuerpo: acero para bajas temperaturas
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes, incluidos el R-717 y el R-744
Rango de temp. del medio [°C]	De -60 a +120
Presión de trabajo máx. [bar]	52
DN [mm]	De 20 a 150
Capacidad* [kW]	De 11 a 2.440

* Condiciones: T_e = -10 °C, T_i = 30 °C, Δp = 0,2 bar y ΔT_{sub} = 8 K.

	Válvula piloto CVC, LP
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes
Rango de temp. del medio [°C]	De -50 a 120
Presión de trabajo máx. [bar]	Lado de alta presión: 28 Lado de baja presión: 17
Rango de presión [bar]	De -0,45 a 7
Valor K _v [m ³ /h]	0,2

	Válvula piloto CVC (XP)
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes
Rango de temp. del medio [°C]	De -50 a 120
Presión de trabajo máx. [bar]	Lado de alta presión: 52 Lado de baja presión: 28
Rango de presión [bar]	4-28
Valor K _v [m ³ /h]	0,2

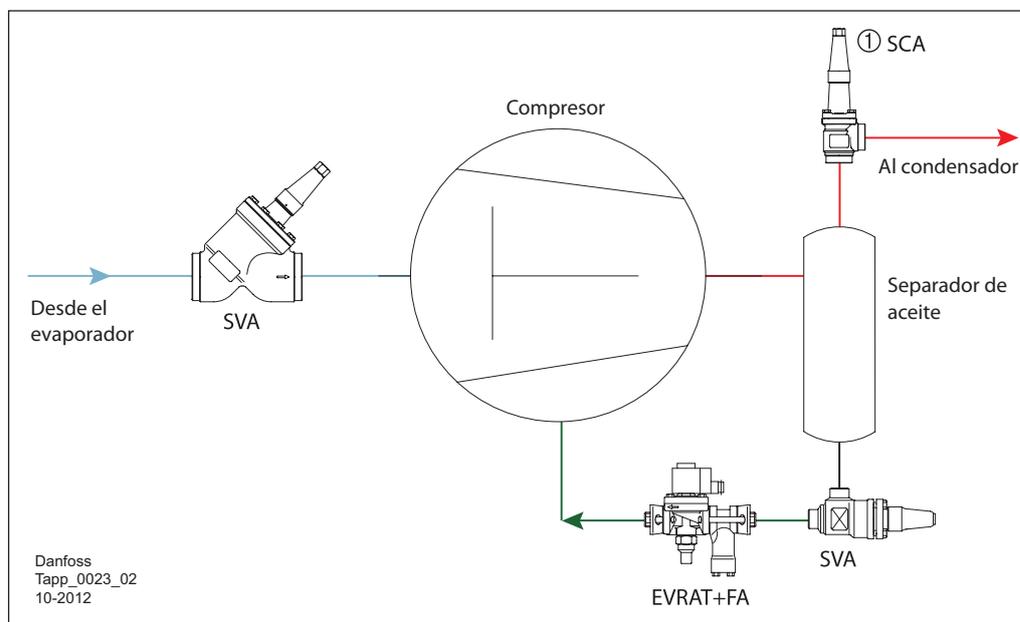
No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

2.4 Control de la inversión del flujo

La inversión del flujo y la condensación de refrigerante desde el condensador hacia el separador de aceite y el compresor deben evitarse en todo momento. En los compresores de pistón, la inversión del flujo puede dar lugar al fenómeno del golpe de ariete. En los compresores de tornillo, la inversión del flujo

puede provocar la inversión del sentido de giro y dañar los cojinetes de los compresores. Además, debe evitarse la entrada de refrigerante en el separador de aceite y en el compresor en estado de reposo. Para evitar la inversión del flujo, es necesario instalar una válvula de retención en la salida del separador de aceite.

Ejemplo de aplicación 2.4.1: Control de la inversión del flujo



— Vapor de refrigerante, HP
— Vapor de refrigerante, LP
— Aceite

① Válvula de cierre y retención

La válvula de cierre y retención SCA ① puede actuar como una válvula de retención cuando el sistema está en funcionamiento y servir también como válvula de cierre para desconectar la línea de descarga para realizar operaciones de mantenimiento. Esta válvula de cierre y retención combinada es fácil de instalar y presenta una resistencia al flujo baja en comparación con la instalación de una válvula de cierre normal y una válvula de retención.

2. Deben considerarse las condiciones de trabajo tanto con carga parcial como nominal. La velocidad en condiciones nominales debería estar cerca del valor recomendado, mientras que la velocidad en condiciones de carga parcial debería ser mayor que la velocidad mínima recomendada.

Para obtener más información sobre la selección de válvulas, consulte el catálogo del producto correspondiente.

Al seleccionar una válvula de cierre y retención, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. La válvula debe seleccionarse de acuerdo con la capacidad y no con el tamaño de la tubería.

Datos técnicos

	Válvula de retención y cierre manual SCA
Material	Carcasa: acero especial resistente al frío, homologado para aplicaciones a baja temperatura Eje: acero inoxidable pulido
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes no inflamables, incluido el R-717
Rango de temp. del medio [°C]	De -60 a 150
Presión diferencial de apertura [bar]	0,04 (muelle de 0,3 bar disponible como repuesto)
Presión de trabajo máx. [bar]	52
DN [mm]	De 15 a 125

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

2.5
Resumen

Solución		Aplicación	Ventajas	Limitaciones
Control de la capacidad del compresor				
Control por etapas de la capacidad del compresor con controladores EKC 331 y transmisores AKS 32/33		Aplicable a compresores de varios cilindros, compresores de tornillo con varias conexiones de aspiración y sistemas con varios compresores funcionando en paralelo.	Sencillez. Casi tan eficiente en condiciones de carga parcial como de carga completa.	El control no es continuo, especialmente cuando solo existen unas pocas etapas. Fluctuaciones de la presión de aspiración.
Control de capacidad del compresor con bypass de gas caliente usando válvulas ICS y CVC		Aplicable a compresores con capacidades fijas.	Eficacia a la hora de controlar de forma continua la capacidad en función de la carga térmica real. El gas caliente puede ayudar al retorno del aceite desde el evaporador.	No es eficiente en condiciones de carga parcial. Consumo energético elevado.
Control de velocidad variable de la capacidad del compresor		Aplicable a todos los compresores que pueden trabajar a velocidades reducidas.	Corriente de arranque baja. Ahorro energético. Menor nivel de ruido. Vida útil más larga. Instalación más sencilla.	El compresor debe poder trabajar a velocidades reducidas.
Control de la temperatura de descarga con inyección de líquido				
Solución mecánica para la inyección de líquido con productos TEAT, EVRA (T) y RT		Aplicable en sistemas en los que las temperaturas de descarga puedan alcanzar valores demasiado elevados.	Sencillez y efectividad.	La inyección de refrigerante líquido podría dañar el compresor. No es tan eficiente como un enfriador intermedio.
Solución electrónica para el control de la inyección de líquido con productos EKC 361 e ICM		Aplicable en sistemas en los que las temperaturas de descarga puedan alcanzar valores demasiado elevados.	Flexibilidad y compacidad. Permite una monitorización y un control remotos.	No puede utilizarse con refrigerantes inflamables. La inyección de refrigerante líquido podría dañar el compresor. No es tan eficiente como un enfriador intermedio.
Solución electrónica para el control de la inyección de líquido con productos EKC 361 e ICF				
Control de presión del cárter				
Control de presión del cárter con válvulas ICS y CVC		Aplicable a compresores alternativos; normalmente se utiliza en sistemas pequeños y medianos.	Sencillez y seguridad. Protección eficaz de compresores alternativos durante el arranque o después del desescarhe por gas caliente.	Consigue una caída de presión constante en la línea de aspiración.
Control de presión del cárter con válvulas ICS y CVP				
Control de la inversión del flujo				
Control de la inversión del flujo con válvulas SCA		Aplicable a todas las plantas de refrigeración.	Sencillez. Fácil instalación. Resistencia al flujo baja.	Consigue una caída de presión constante en la línea de descarga.

2.6
Documentos de referencia

Puede encontrar una descripción por orden alfabético de todos los documentos de referencia en la página 146.

Folleto técnico/manual

Tipo	Código del documento
AKD 102	PD.R1.B
AKS 21	RK0YG
AKS 33	RD5GH
CVC	PD.HN0.A
CVP	PD.HN0.A
EKC 331	RS8AG
EKC 361	RS8AE
EVRA(T)	PD.BM0.B

Tipo	Código del documento
ICF	PD.FT1.A
ICM	PD.HT0.B
ICS	PD.HS2.A
REG	PD.KM1.A
SCA	PD.FL1.A
SVA	PD.KD1.A
TEAT	PD.AU0.A

Instrucciones del producto

Tipo	Código del documento
AKD 102	MG11L
AKS 21	RI14D
AKS 32R	PI.SB0.A
AKS 33	PI.SB0.A
CVC-XP	PI.HN0.A
CVC-LP	PI.HN0.M
CVP	PI.HN0.C
EKC 331	RI8BE
EKC 361	RI8BF
EVRA(T)	PI.BN0.L

Tipo	Código del documento
ICF	PI.FT0.C
ICM 20-65	PI.HT0.A
ICM 100-150	PI.HT0.B
ICS 25-65	PI.HS0.A
ICS 100-150	PI.HS0.B
REG	PI.KM1.A
SCA	PI.FL1.A
SVA	PI.KD1.A
TEAT	PI.AU0.A

Para descargar la versión más reciente de los documentos, visite el sitio web de Danfoss.

3. Controles para condensadores

En lugares donde existen grandes variaciones de la temperatura ambiente y/o las condiciones de carga, es necesario controlar la presión de condensación para evitar su excesiva disminución. Una presión de condensación demasiado baja genera un diferencial de presión insuficiente a través del dispositivo de expansión y un suministro de refrigerante insuficiente para el evaporador. Esto significa que el control de capacidad del condensador se utiliza principalmente en regiones de clima templado y, en menor medida, en zonas tropicales y subtropicales.

Este control de la capacidad de condensación se consigue regulando el flujo de aire o agua circulante a través del condensador o reduciendo la superficie efectiva de intercambio de calor.

Pueden diseñarse distintas soluciones para diferentes tipos de condensadores:

- 3.1 Condensadores refrigerados por aire
- 3.2 Condensadores evaporativos
- 3.3 Condensadores refrigerados por agua

La idea básica es controlar la capacidad del condensador cuando la temperatura ambiente sea baja, de modo que la presión de condensación se mantenga por encima del nivel mínimo aceptable.

3.1 Condensadores refrigerados por aire

Un condensador refrigerado por aire consta de tubos montados dentro de un bloque de aletas. El condensador puede ser vertical, horizontal o en forma de "V". El aire ambiente se hace pasar a través de la superficie de intercambio de calor mediante ventiladores axiales o centrífugos.

Los condensadores refrigerados por aire se utilizan en sistemas de refrigeración industrial en los que la humedad relativa del aire es alta. El control de la presión de condensación de los condensadores refrigerados por aire se puede conseguir de las siguientes maneras:

3.1.1 - Control por etapas de los condensadores refrigerados por aire

El primer método consistió en usar el número requerido de controles de presión RT-5 de Danfoss y ajustarlos a diferentes presiones de conexión y desconexión.

Sin embargo, este sistema reaccionaba con demasiada rapidez, por lo que se usaron temporizadores para retardar la conexión y desconexión de los ventiladores.

El segundo método para controlar los ventiladores fue usar un controlador de presión de zona neutra RT-L de Danfoss. Inicialmente se utilizó junto con un controlador de etapas con el número requerido de contactos en función del número de ventiladores.

El tercer método es emplear el controlador de etapas actual de Danfoss: el EKC-331.

3.1.2 - Control de la velocidad de los ventiladores de los condensadores refrigerados por aire

Este método de control de los ventiladores de los condensadores se usa principalmente cuando se desea reducir el nivel de ruido debido a exigencias ambientales.

Para este tipo de instalaciones puede utilizarse el convertidor de frecuencia AKD de Danfoss.

3.1.3 - Control de la superficie de los condensadores refrigerados por aire

Para el control del área o la capacidad de los condensadores refrigerados por aire se requiere un recipiente. Este recipiente debe tener el volumen suficiente para poder gestionar las variaciones de la cantidad de refrigerante del condensador.

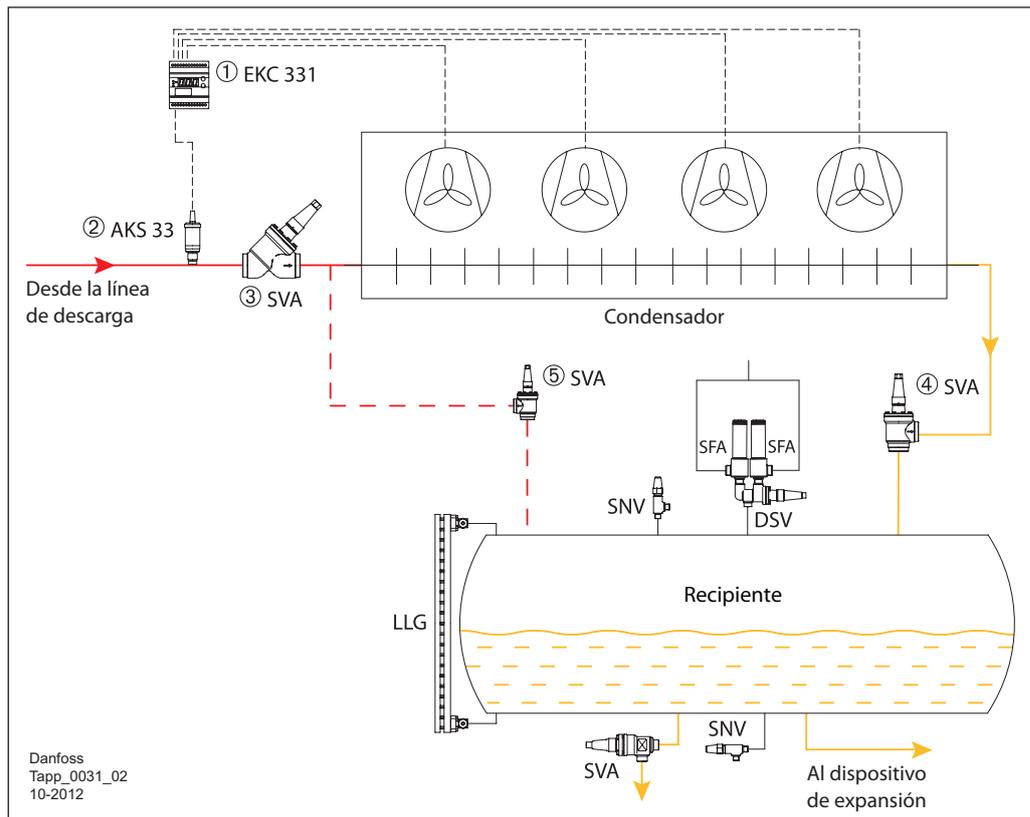
El control del área del condensador puede efectuarse de dos maneras:

1. Combinando una válvula principal ICS o PM con una válvula piloto de presión constante CVP (HP) montada en la línea de gas caliente en el lado de entrada del condensador y una válvula ICV con una válvula piloto de presión diferencial CVPP (HP) montada en la tubería entre la línea de gas caliente y el recipiente. En la tubería entre el condensador y el recipiente debe montarse una válvula de retención NRVA para evitar la migración de líquido desde el recipiente al condensador.
2. Combinando una válvula principal ICS con una válvula piloto de presión constante CVP (HP) montada en la tubería entre el condensador y el recipiente y una válvula ICS con una válvula piloto de presión diferencial CVPP (HP) montada en la tubería entre la línea de gas caliente y el recipiente. Este método se emplea principalmente en aplicaciones de refrigeración comercial.

Ejemplo de aplicación 3.1.1:
Control por etapas de ventiladores
con un controlador de etapas
EKC 331

— Vapor de refrigerante, HP
— Refrigerante líquido, HP

- ① Controlador de etapas
- ② Transmisor de presión
- ③ Válvula de cierre
- ④ Válvula de cierre
- ⑤ Válvula de cierre



El EKC 331 ① es un controlador de cuatro etapas con hasta cuatro relés de salida. Controla la conmutación de los ventiladores de acuerdo con la señal de presión de condensación de un transmisor de presión AKS 33 ② o AKS 32R. Mediante un control de zona neutra, el EKC 331 ① puede controlar la capacidad de condensación de forma que la presión de condensación se mantenga por encima del nivel mínimo requerido.

Para obtener más información sobre el control de zona neutra, consulte el apartado 2.1.

La tubería de *bypass* donde se instala la válvula SVA ⑤ es una tubería de compensación que ayuda a equilibrar la presión en el recipiente y la presión de entrada del condensador, de forma que el refrigerante líquido del condensador pueda drenarse hasta el recipiente.

En algunas instalaciones se utiliza un controlador EKC 331T. En ese caso, la señal de entrada podría proceder de un sensor de temperatura PT 1000 (por ejemplo, un sensor AKS 21). El sensor de temperatura generalmente se instala en la salida del condensador.

Nota: La solución EKC 331T + sensor de temperatura PT 1000 no es tan precisa como la solución EKC 331 + transmisor de presión, ya que la temperatura a la salida del condensador puede no reflejar correctamente la presión de condensación real debido al subenfriamiento del líquido o a la presencia de gases no condensables en el sistema de refrigeración. Si el subenfriamiento es demasiado bajo, se puede generar gas por expansión al arrancar los ventiladores.

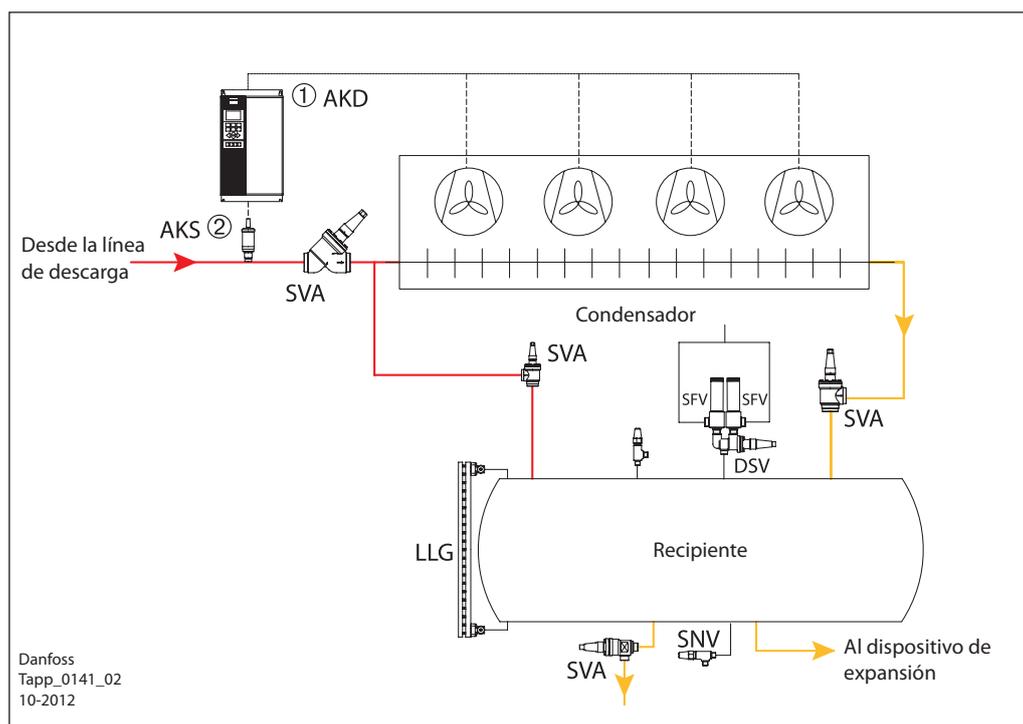
Datos técnicos

	Transmisor de presión AKS 33	Transmisor de presión AKS 32R
Refrigerantes	Todos los refrigerantes, incluido el R-717	Todos los refrigerantes, incluido el R-717
Rango de funcionamiento [bar]	De -1 a 34	De -1 a 34
Presión de trabajo máx., PB [bar]	55 (según el rango de funcionamiento)	60 (según el rango de funcionamiento)
Rango de temp. de funcionamiento [°C]	De -40 a 85	
Rango de temp. compensada [°C]	LP: de -30 a +40/HP: de 0 a +80	
Señal de salida nominal	De 4 a 20 mA	Del 10 al 90 % del suministro de tensión

	Transmisor de presión AKS 3000	Transmisor de presión AKS 32
Refrigerantes	Todos los refrigerantes, incluido el R-717	Todos los refrigerantes, incluido el R-717
Rango de funcionamiento [bar]	De 0 a 60 (según el rango)	De -1 a 39 (según el rango)
Presión de trabajo máx., PB [bar]	100 (según el rango de funcionamiento)	60 (según el rango de funcionamiento)
Rango de temp. de funcionamiento [°C]	De -40 a 80	De -40 a 85
Rango de temp. compensada [°C]	LP: de -30 a +40/HP: de 0 a +80	LP: de -30 a +40/HP: de 0 a +80
Señal de salida nominal	De 4 a 20 mA	De 1 a 5 V o de 0 a 10 V

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Ejemplo de aplicación 3.1.2:
Control de la velocidad de los ventiladores en condensadores refrigerados por aire



— Vapor de refrigerante, HP
— Refrigerante líquido, HP

- ① Convertidor de frecuencia
- ② Transductor de presión

El control mediante convertidor de frecuencia ofrece las siguientes ventajas:

- Ahorro energético
- Mejor control y calidad del producto
- Reducción del nivel de ruido
- Vida útil más larga
- Instalación sencilla
- Sistema de control completo y fácil de utilizar

Datos técnicos

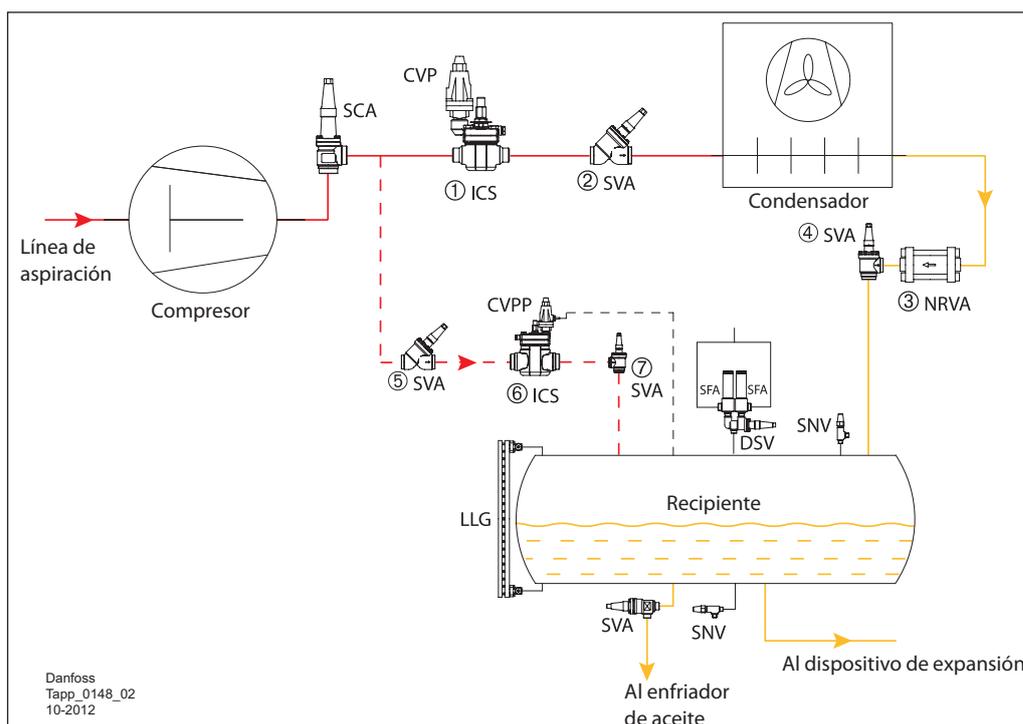
No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

	Convertidor de frecuencia AKD 102		Convertidor de frecuencia VLT FC 102/FC 302
Potencia nominal [kW]	De 1,1 a 45 kW	De 1,1 a 250 kW	Hasta 1.200 kW
Tensión	200-240 V	380-480 V	200-690 V

Ejemplo de aplicación 3.1.3:
Control de la superficie de los condensadores refrigerados por aire

— Vapor de refrigerante, HP
— Refrigerante líquido, HP

- ① Regulador de presión
- ② Válvula de cierre
- ③ Válvula de retención
- ④ Válvula de cierre
- ⑤ Válvula de cierre
- ⑥ Regulador de presión diferencial
- ⑦ Válvula de cierre



Esta solución de regulación mantiene un valor de presión en el recipiente suficientemente alto en condiciones de baja temperatura ambiente.

adecuada en el recipiente. El regulador de presión diferencial ⑥ también podría ser una válvula de alivio OFV.

La válvula servoaccionada pilotada ICS ① se abre cuando la presión de descarga alcanza el ajuste de presión de la válvula piloto CVP. La válvula servoaccionada pilotada ICS se cierra cuando la presión cae por debajo del ajuste de presión de la válvula piloto CVP.

La válvula de retención NRVA ③ asegura una mayor presión en el condensador gracias a la acumulación de líquido en este. Para ello debe disponerse de un recipiente suficientemente grande. La válvula de retención NRVA también evita que el líquido retorne desde el recipiente hasta el condensador cuando este último esté a menor temperatura durante los periodos de desconexión del compresor.

La válvula servoaccionada pilotada ICS ⑥, combinada con la válvula piloto de presión diferencial constante CVPP, mantiene una presión

Datos técnicos

	Válvula servoaccionada pilotada ICS
Material	Cuerpo: acero para bajas temperaturas
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes, incluidos el R-717 y el R-744
Rango de temp. del medio [°C]	De -60 a 120
Presión de trabajo máx. [bar]	52
DN [mm]	De 20 a 150
Capacidad nominal* [kW]	En la línea de descarga: de 20 a 3.950 En la línea de líquido a alta presión: de 179 a 37.000

* Condiciones: R-717, T_{liq} = 30 °C, P_{desc} = 12 bar, ΔP = 0,2 bar, T_{desc} = 80 °C y T_e = -10 °C.

	Válvula piloto de presión diferencial CVPP
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes no inflamables, incluido el R-717
Rango de temp. del medio [°C]	De -50 a 120
Presión de trabajo máx. [bar]	CVPP, LP: 17 CVPP, HP: hasta 40
Rango de regulación [bar]	CVPP, LP: de 0 a 7 CVPP, HP: de 0 a 22
Valor K _v [m ³ /h]	0,4

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Datos técnicos
(continuación)

	Válvula piloto de presión constante CVP
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes, incluidos el R-717 y el R-744
Rango de temp. del medio [°C]	De -50 a 120
Presión de trabajo máx. [bar]	CVP, LP: 17 CVP, HP: hasta 40 CVP, XP: 52
Rango de presión [bar]	CVP, LP: de -0,66 a 7 CVP, HP: de -0,66 a 28 CVP, XP: de 25 a 52
Valor K, [m ³ /h]	CVP, LP: 0,4 CVP, HP: 0,4 CVP, XP: 0,2
	Válvula de alivio OFV
Material	Cuerpo: acero
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes, incluido el R-717
Rango de temp. del medio [°C]	De -50 a 150
Presión de trabajo máx. [bar]	40
DN [mm]	20/25
Rango de presión diferencial de apertura [bar]	De 2 a 8

3.2 Condensadores evaporativos

Un condensador evaporativo es un condensador refrigerado por aire del ambiente combinado con agua pulverizada a través de orificios y deflectores de aire en contracorriente con el aire. El agua se evapora y el efecto de evaporación de las gotas de agua incrementa notablemente la capacidad del condensador.

Los condensadores evaporativos actuales van montados en una caja de acero o plástico con ventiladores axiales o centrífugos instalados en la parte inferior o superior del condensador.

La superficie del intercambiador de calor de la corriente de aire húmedo se compone de tubos de acero.

Por encima de los orificios de pulverización de agua (en la corriente de aire seco) es habitual tener un desrecalentador de tubos de acero con aletas, con el fin de reducir la temperatura del gas caliente antes de que este alcance el intercambiador de calor de la corriente de aire húmedo. De esta

manera, se reduce enormemente la acumulación de incrustaciones de cal sobre la superficie de los tubos del intercambiador de calor principal.

Este tipo de condensadores reducen notablemente el consumo de agua en comparación con un condensador refrigerado por agua convencional. El control de la capacidad de un condensador evaporador puede conseguirse por medio de un ventilador de dos velocidades, del control de velocidad variable del ventilador y, en condiciones de temperatura ambiente muy baja, desconectando la bomba de circulación de agua.

El uso de condensadores evaporativos presenta limitaciones en regiones con una elevada humedad relativa. En ambientes fríos (temperatura ambiente inferior a 0 °C), deben evitarse los daños por congelación mediante la eliminación del agua del condensador evaporativo.

3.2.1 - Control de los condensadores evaporativos

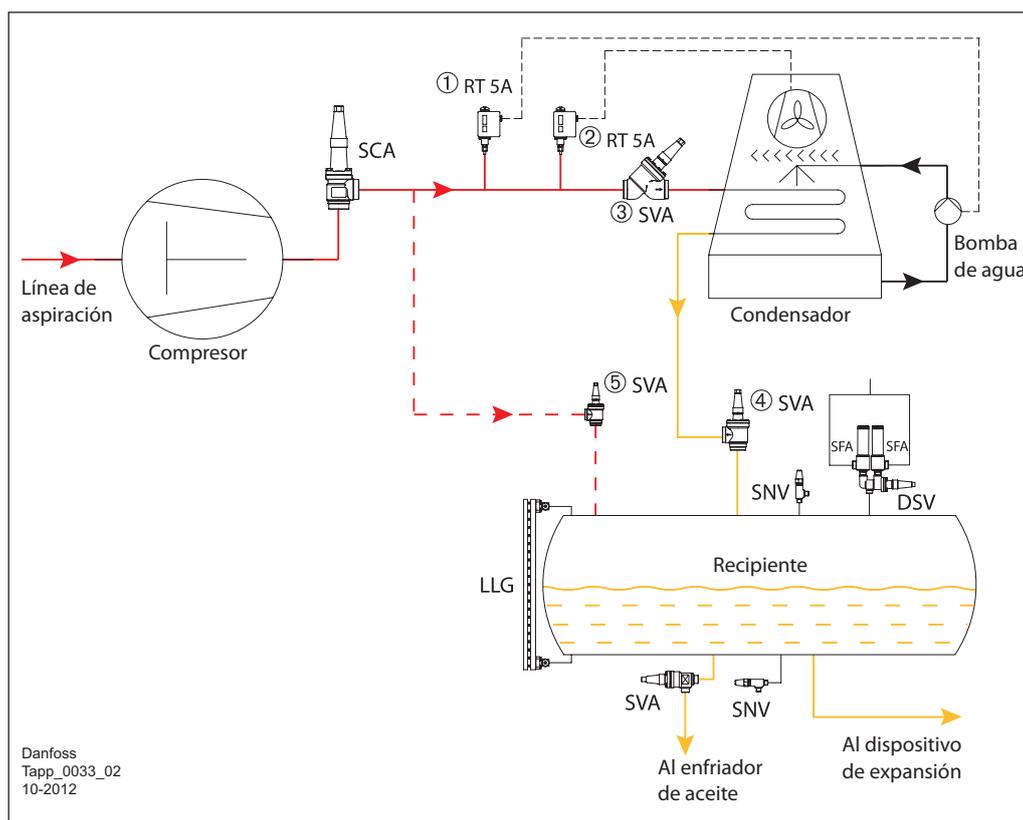
El control de la presión de condensación o la capacidad de los condensadores evaporativos puede conseguirse de diferentes formas:

1. Controles de presión RT o KP para controlar la bomba de agua y el ventilador (como se realizaba anteriormente).
2. Control de presión de zona neutra RT-L para controlar la bomba de agua y el ventilador.
3. Controlador de etapas para controlar los ventiladores de dos velocidades y la bomba de agua.
4. Convertidores de frecuencia para controlar la velocidad del ventilador y la bomba de agua.
5. Interruptor de flujo Saginomiya para activar una alarma en caso de fallo de la circulación de agua.

Ejemplo de aplicación 3.2.1:
Control por etapas de un
condensador evaporativo con
un controlador de presión RT

— Vapor de refrigerante, HP
— Refrigerante líquido, HP
— Agua

- ① Controlador de presión
- ② Controlador de presión
- ③ Válvula de cierre
- ④ Válvula de cierre
- ⑤ Válvula de cierre



Esta solución mantiene tanto la presión de condensación como la presión en el recipiente en unos valores suficientemente altos en condiciones de baja temperatura ambiente.

Cuando la presión de entrada del condensador cae por debajo del ajuste del controlador de presión RT 5A ②, el controlador apagará el ventilador para reducir la capacidad de condensación.

Cuando la temperatura ambiente es extremadamente baja, si la presión de condensación cae por debajo del ajuste del controlador RT 5A ① después de que se hayan apagado todos los ventiladores, el controlador parará la bomba de agua.

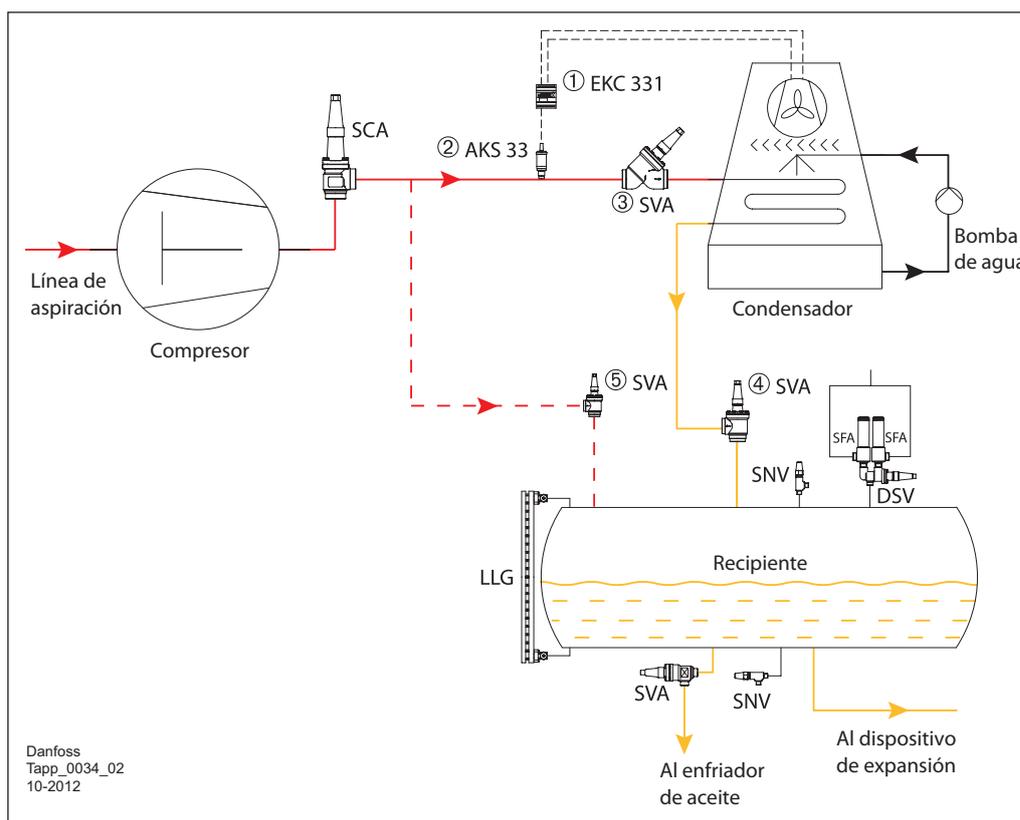
Tras la parada de la bomba, el condensador y las tuberías de agua deben drenarse para evitar la formación de incrustaciones y la congelación.

Datos técnicos

	Control de alta presión RT 5A, HP
Refrigerantes	R-717 y refrigerantes fluorados
Protección	IP 66/54
Temp. ambiente [°C]	De -50 a 70
Rango de regulación [bar]	RT 5A: de 4 a 17
Presión de trabajo máx. [bar]	22
Presión de prueba máx. [bar]	25

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Ejemplo de aplicación 3.2.2:
Control por etapas de un
condensador evaporativo
con un controlador de etapas
EKC 331



— Vapor de refrigerante, HP
— Refrigerante líquido, HP
— Agua

- ① Controlador de etapas
- ② Transmisor de presión
- ③ Válvula de cierre
- ④ Válvula de cierre
- ⑤ Válvula de cierre

Esta solución funciona de manera idéntica a la indicada en el ejemplo 3.2.1, pero se controla a través de un controlador de etapas EKC 331 ①. Para obtener más información sobre el controlador EKC 331, consulte la página 7.

Puede conseguirse una solución de regulación de capacidad para los condensadores evaporativos utilizando un regulador de potencia EKC 331 y un transmisor de presión AKS.

Como último paso, debe seleccionarse un control secuencial para la bomba de agua. El control secuencial significa que las etapas siempre se conectarán y desconectarán en el mismo orden.

El controlador EKC 331T puede aceptar la señal de un sensor de temperatura PT 1000, que puede resultar necesario para los sistemas secundarios.

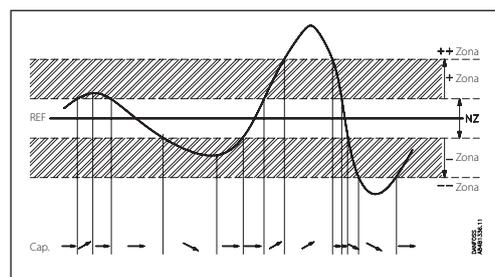
Control de zona neutra

La zona neutra se fija alrededor del valor de referencia, de tal forma que en ella no se produce carga/descarga.

Fuera de la zona neutra (en las áreas sombreadas "zona +" y "zona -"), se producirá carga/descarga cuando la presión medida se desvíe fuera de los ajustes de dicha zona.

Si el control se produce fuera del área sombreada ("zona ++" y "zona --"), los cambios de la capacidad de conexión ocurrirán de forma más rápida que en el área sombreada.

Para obtener más información, consulte el manual del controlador EKC 331(T) de Danfoss.



Datos técnicos

	Transmisor de presión AKS 33	Transmisor de presión AKS 32R
Refrigerantes	Todos los refrigerantes, incluido el R-717	Todos los refrigerantes, incluido el R-717
Rango de funcionamiento [bar]	De -1 a 34	De -1 a 34
Presión de trabajo máx., PB [bar]	55 (según el rango de funcionamiento)	60 (según el rango de funcionamiento)
Rango de temp. de funcionamiento [°C]	De -40 a 85	
Rango de temp. compensada [°C]	LP: de -30 a +40/HP: de 0 a +80	
Señal de salida nominal	De 4 a 20 mA	Del 10 al 90 % del suministro de tensión

	Transmisor de presión AKS 3000	Transmisor de presión AKS 32
Refrigerantes	Todos los refrigerantes, incluido el R-717	Todos los refrigerantes, incluido el R-717
Rango de funcionamiento [bar]	De 0 a 60 (según el rango)	De -1 a 39 (según el rango)
Presión de trabajo máx., PB [bar]	100 (según el rango de funcionamiento)	60 (según el rango de funcionamiento)
Rango de temp. de funcionamiento [°C]	De -40 a 80	De -40 a 85
Rango de temp. compensada [°C]	LP: de -30 a +40/HP: de 0 a +80	LP: de -30 a +40/HP: de 0 a +80
Señal de salida nominal	De 4 a 20 mA	De 1 a 5 V o de 0 a 10 V

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

3.3 Condensadores refrigerados por agua

Los condensadores refrigerados por agua eran originalmente intercambiadores de calor de carcasa y tubos, pero actualmente a menudo son intercambiadores de calor de placas con un moderno diseño.

Los condensadores refrigerados por agua no se utilizan comúnmente, porque en muchos lugares no se permite utilizar la gran cantidad de agua que consumen (regiones en las que el agua escasea y/o tiene un alto precio).

En la actualidad, los condensadores refrigerados por agua se emplean a menudo en enfriadores,

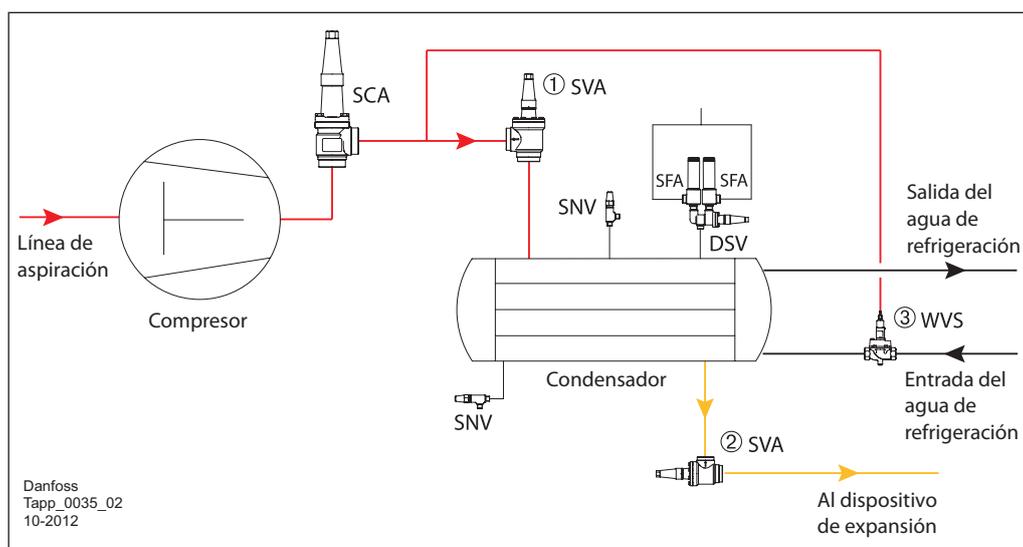
de modo que el agua de refrigeración se enfría en una torre de refrigeración y se recircula. También pueden utilizarse como condensadores de recuperación de calor para suministrar agua caliente.

El control de la presión de condensación puede conseguirse por medio de una válvula de agua controlada por presión, así como de una válvula de agua motorizada acoplada a un controlador electrónico que permita controlar el flujo de agua de refrigeración en función de la presión de condensación.

Ejemplo de aplicación 3.3.1: Control del flujo de agua en condensadores refrigerados por agua con una válvula de agua

- Vapor de refrigerante, HP
- Refrigerante líquido, HP
- Agua

- ① Válvula de cierre
- ② Válvula de cierre
- ③ Válvula de agua



Esta solución mantiene la presión de condensación en un valor constante. La presión de condensación del refrigerante se dirige a través de un tubo

capilar hacia la parte superior de la válvula de agua WVS ③ y ajusta el grado de apertura de esta. La válvula de agua WVS es un regulador "P".

Datos técnicos

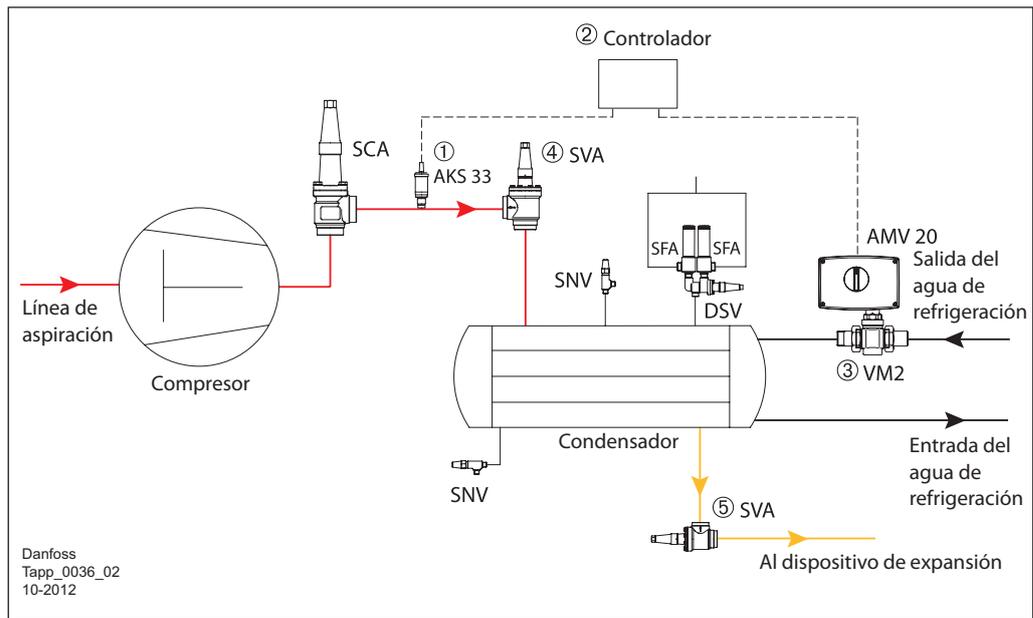
	Válvula de agua WVS
<i>Materiales</i>	Cuerpo de la válvula: hierro fundido Fuelle: aluminio y acero a prueba de corrosión
<i>Refrigerantes</i>	R-717, CFC, HCFC y HFC
<i>Medio</i>	Agua potable y salmuera neutra
<i>Rango de temp. del medio [°C]</i>	De -25 a 90
<i>Presión de cierre regulable [bar]</i>	De 2,2 a 19
<i>Presión de trabajo máx. en el lado del refrigerante [bar]</i>	26,4
<i>Presión de trabajo máx. en el lado del líquido [bar]</i>	10
<i>DN [mm]</i>	De 32 a 100

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Ejemplo de aplicación 3.3.2:
Control del flujo de agua en
condensadores refrigerados
por agua con una válvula
motorizada

— Vapor de refrigerante, HP
— Refrigerante líquido, HP
— Agua

- ① Transmisor de presión
- ② Controlador
- ③ Válvula motorizada
- ④ Válvula de cierre
- ⑤ Válvula de cierre



El controlador ② recibe la señal de presión de condensación del transmisor de presión AKS 33 ① y envía la señal de modulación correspondiente al actuador AMV 20 de la válvula motorizada VM 2 ③. De esta manera, el flujo de agua de refrigeración se ajusta y la presión de condensación se mantiene constante.

Esta solución permite configurar un control PI o PID en el controlador.

Las válvulas motorizadas VM 2 y VFG 2 están diseñadas para sistemas de tipo *district heating* y también pueden utilizarse para controlar el flujo de agua en plantas de refrigeración.

Datos técnicos

	Válvula motorizada VM 2
Material	Cuerpo: bronce rojo
Medio	Agua de circulación/agua glicolada (30 %, máx.)
Rango de temp. del medio [°C]	De 2 a 150
Presión de trabajo máx. [bar]	25
DN [mm]	De 15 a 50

No se muestran todas las válvulas.
La información no debe utilizarse con fines de construcción.

3.4

Resumen

Solución		Aplicación	Ventajas	Limitaciones
Control de condensadores refrigerados por aire				
Control por etapas de los ventiladores con un controlador de etapas EKC 331		Se utiliza principalmente en aplicaciones de refrigeración industrial en climas cálidos y, en mucha menor medida, en climas más fríos.	Control del volumen de aire por etapas o mediante el control variable de la velocidad de los ventiladores. Ahorro energético. No se utiliza agua.	Temperaturas ambiente muy bajas. El control por etapas de los ventiladores puede resultar ruidoso.
Control de velocidad de los ventiladores en condensadores refrigerados por aire		Aplicable a todos los condensadores que puedan funcionar con velocidades reducidas.	Corriente de arranque baja. Ahorro energético. Menor nivel de ruido. Vida útil más larga. Instalación sencilla.	Temperaturas ambiente muy bajas.
Control de condensadores evaporativos				
Control por etapas de un condensador evaporativo con un controlador de presión RT		Aplicaciones de refrigeración industrial con requisitos de capacidad muy grandes.	Gran reducción del consumo de agua (en comparación con los condensadores refrigerados por agua) y control de capacidad relativamente sencillo. Ahorro energético.	No aplicable en países con una alta humedad relativa. En climas fríos deben adoptarse precauciones especiales para drenar el agua de las tuberías durante los periodos de parada de las bombas de agua.
Control por etapas de un condensador evaporativo con un controlador de etapas EKC 331		Aplicaciones de refrigeración industrial con requisitos de capacidad muy grandes.	Gran reducción del consumo de agua (en comparación con los condensadores refrigerados por agua) y control de capacidad relativamente sencillo. Puede controlarse de manera remota. Ahorro energético.	No aplicable en países con una alta humedad relativa. En climas fríos deben adoptarse precauciones especiales para drenar el agua de las tuberías durante los periodos de parada de las bombas de agua.
Control de condensadores refrigerados por agua				
Control del flujo de líquido con una válvula de agua		Enfriadores y condensadores de recuperación de calor.	Control de capacidad sencillo.	No aplicable cuando la disponibilidad de agua es un problema.
Control del flujo de líquido con una válvula motorizada		Enfriadores y condensadores de recuperación de calor.	Control de capacidad sencillo del condensador y la recuperación de calor. Puede controlarse de manera remota.	Este tipo de instalación resulta más costoso que una instalación normal. No aplicable cuando la disponibilidad de agua es un problema.

3.5

Documentos de referencia

Puede encontrar una descripción por orden alfabético de todos los documentos de referencia en la página 146.

Folleto técnico/manual

Tipo	Código del documento
AKD 102	PD.R1.B
AKS 21	RK0YG
AKS 33	RD5GH
AMV 20	ED95N
CVP	PD.HN0.A
CVPP	PD.HN0.A

Tipo	Código del documento
ICS	PD.HS2.A
NRVA	PD.FK0.A
RT 5A	PD.CB0.A
SVA	PD.KD1.A
VM 2	ED97K
WVS	PD.DA0.A

Instrucciones del producto

Tipo	Código del documento
AKD 102	MG11L
AKS 21	RI14D
AKS 32R	PI.SB0.A
AKS 33	PI.SB0.A
AMV 20	EI96A
CVP, CVPP	PI.HN0.C
CVP-XP	PI.HN0.J

Tipo	Código del documento
ICS 25-65	PI.HS0.A
ICS 100-150	PI.HS0.B
NRVA	PI.FK0.A
RT 5A	RI5BC
SVA	PI.KD1.A
VM 2	VIHBC
WVS	PI.DA0.A

Para descargar la versión más reciente de los documentos, visite el sitio web de Danfoss.

4. Control del nivel del líquido

El control del nivel del líquido es un elemento importante a la hora de diseñar sistemas de refrigeración industrial. Controla la inyección de líquido para mantener un nivel de líquido constante.

Para diseñar un sistema de control del nivel de líquido pueden aplicarse dos principios básicos diferentes:

- Sistema de control del nivel de líquido de alta presión (LLRS HP).
- Sistema de control del nivel de líquido de baja presión (LLRS LP).

Los sistemas de control del nivel de líquido de alta presión presentan habitualmente las siguientes características:

1. Se centran en el nivel de líquido en el lado de condensación del sistema.
2. Carga de refrigerante crítica.
3. Recipiente pequeño o inexistente.
4. Se utilizan principalmente para enfriadores y otros sistemas con una carga de refrigerante pequeña (por ejemplo, congeladores pequeños).

Los sistemas de baja presión tienen generalmente las siguientes características:

1. Se centran en el nivel de líquido en el lado de evaporación del sistema.
2. Recipiente normalmente grande.
3. Carga de refrigerante grande (suficiente).
4. Se utilizan principalmente para sistemas descentralizados.

Los requisitos de ambos principios de diseño pueden cumplirse usando componentes mecánicos y electrónicos.

4.1 Sistema de control del nivel de líquido de alta presión (LLRS HP)

A la hora de diseñar un sistema LLRS HP deben tomarse en consideración los siguientes puntos:

Tan pronto como el líquido se "forma" en el condensador se alimenta al evaporador (lado de baja presión).

El líquido que sale del condensador tendrá un subenfriamiento escaso o nulo. Es importante tenerlo en cuenta cuando el líquido fluye hacia el lado de baja presión. Si existe pérdida de presión en la tubería o los componentes, puede generarse gas por expansión y ocasionar la reducción de la capacidad de flujo.

La carga de refrigerante debe calcularse con precisión, a fin de asegurar que exista una cantidad adecuada de refrigerante en el sistema. La sobrecarga aumenta el riesgo de inundación del evaporador o el separador de líquido, causando el arrastre de líquido hacia el compresor (golpe de ariete). Si la carga del sistema es insuficiente, el evaporador quedará sin refrigerante. El tamaño

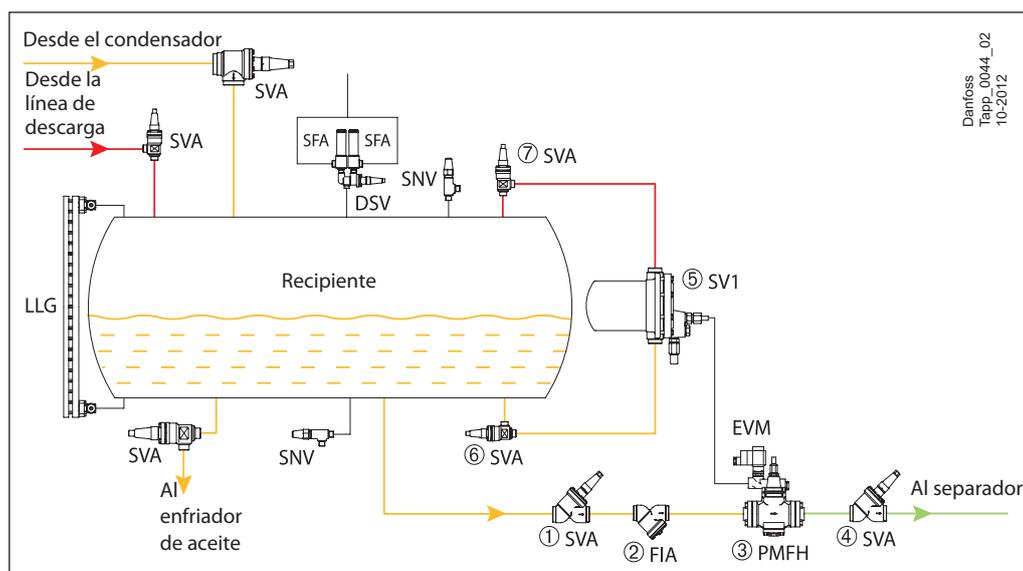
del recipiente de baja presión (separador de líquido/evaporador de carcasa y tubos) debe diseñarse cuidadosamente a fin de que pueda contener el refrigerante en todas las situaciones sin dar lugar al fenómeno de golpe de ariete.

Debido a las razones anteriormente mencionadas, los sistemas LLRS HP resultan especialmente adecuados para sistemas que requieran una carga de refrigerante pequeña, como enfriadores o congeladores pequeños. Los enfriadores generalmente no necesitan recipientes. Teniendo en cuenta todo lo expuesto anteriormente, los sistemas LLRS HP son especialmente adecuados para sistemas que requieran una carga de refrigerante pequeña (por ejemplo, enfriadores de líquido o congeladores pequeños). Los enfriadores de líquido generalmente no necesitan recipientes. No obstante, sí se necesita un recipiente para poder instalar pilotos y suministrar refrigerante a un enfriador de aceite, puede ser de pequeño tamaño.

Ejemplo de aplicación 4.1.1:
Solución mecánica para el control del nivel de líquido de alta presión, HP

- Vapor de refrigerante, HP
- Refrigerante líquido, HP
- Refrigerante líquido, LP

- ① Válvula de cierre
- ② Filtro
- ③ Válvula principal servoaccionada
- ④ Válvula de cierre
- ⑤ Válvula de flotador
- ⑥ Válvula de cierre
- ⑦ Válvula de cierre



Danfoss
Tapp_0044_02
10-2012

En un sistema LLRS HP grande, el regulador SV 1 ⑤ o la válvula de flotador SV 3 se usa como válvula piloto para una válvula principal PMFH ③. Tal como se muestra en la imagen superior, cuando el nivel de líquido en el recipiente aumenta por encima del valor ajustado, la válvula de flotador SV 1 ⑤ envía una señal a la válvula principal PMFH para que se abra.

En este caso, la función del recipiente es proporcionar a la válvula de flotador SV 1 ⑤ una señal más estable con la que esta pueda trabajar.

Datos técnicos

	Válvula PMFH 80 - 1 a 500
Material	Hierro fundido nodular para bajas temperaturas
Refrigerantes	R-717, HFC, HCFC y CFC
Rango de temp. del medio [°C]	De -60 a +120
Presión de trabajo máx. [bar]	28
Presión de prueba máx. [bar]	42
Capacidad nominal* [kW]	139-13.900

* Condiciones: R-717, +5/32 °C y T₁ = 28 °C.

	Válvula de flotador SV 1 o SV 3
Material	Carcasa: acero Tapa: hierro fundido para bajas temperaturas Flotador: acero inoxidable
Refrigerantes	R-717, HFC, HCFC y CFC
Rango de temp. del medio [°C]	De -50 a +65
Banda P [mm]	35
Presión de trabajo máx. [bar]	28
Presión de prueba máx. [bar]	36
Valor K _v [m ³ /h]	0,06 para la válvula SV 1 0,14 para la válvula SV 3
Capacidad nominal* [kW]	SV 1: 25 SV 3: 64

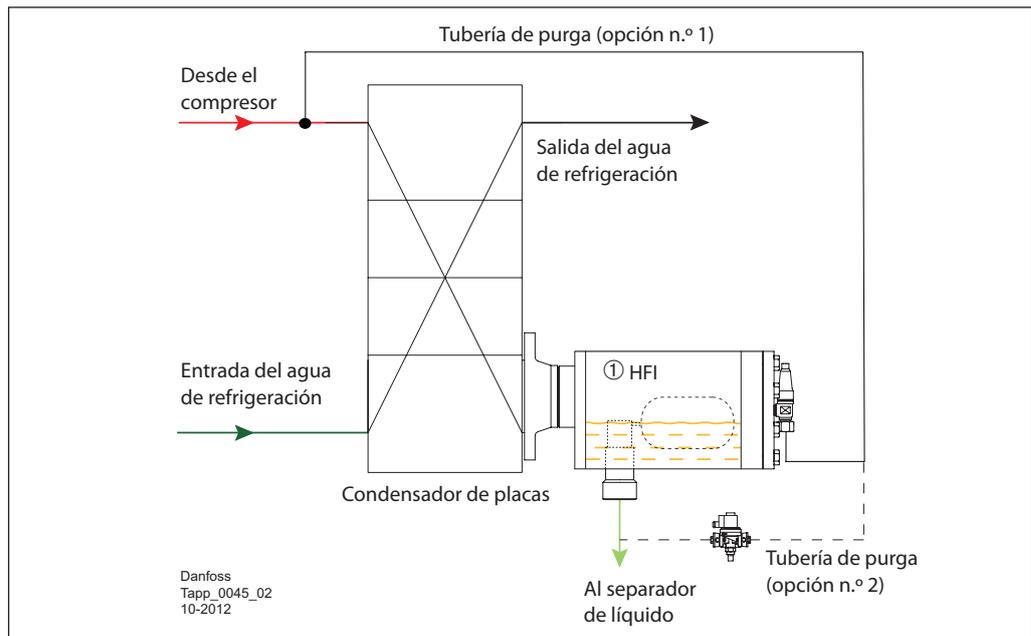
No se muestran todas las válvulas.
La información no debe utilizarse con fines de construcción.

* Condiciones: R-717, +5/32 °C y T₁ = 28 °C.

Ejemplo de aplicación 4.1.2:
Solución mecánica para el control del nivel de líquido HP con válvula HFI

- Vapor de refrigerante, HP
- Refrigerante líquido, HP
- Refrigerante líquido, LP
- Agua

① Válvula de flotador, HP



Si el condensador es un intercambiador de calor de placas, para controlar el nivel de líquido puede usarse la válvula de flotador mecánica HFI ①.

Se trata de una válvula de flotador de alta presión de accionamiento directo; por tanto, no se requiere presión diferencial alguna para accionar la válvula.

Puede ser necesario conectar una línea de compensación al lado de alta o de baja presión (opción n.º 1 o 2), tal como se muestra en la imagen, para eliminar el vapor de refrigerante de la carcasa de la válvula de flotador, ya que esto puede impedir la entrada de líquido en ella y, por tanto, la apertura de la válvula.

La opción n.º 1 es la solución más sencilla. La opción n.º 2 requiere instalar una válvula solenoide en la línea de compensación.

Si la válvula HFI no se monta directamente en el condensador, será necesario conectar una línea de compensación.

Datos técnicos

	Válvula HFI
Material	Acero especial homologado para aplicaciones a baja temperatura
Refrigerantes	R-717 y otros refrigerantes no inflamables; para los refrigerantes con densidad superior a 700 kg/m ³ , contacte con Danfoss
Rango de temp. del medio [°C]	De -50 a 80
Presión de trabajo máx. [bar]	25 bar
Presión de prueba máx. [bar]	50 bar (sin flotador)
Capacidad nominal* [kW]	De 400 a 2.400

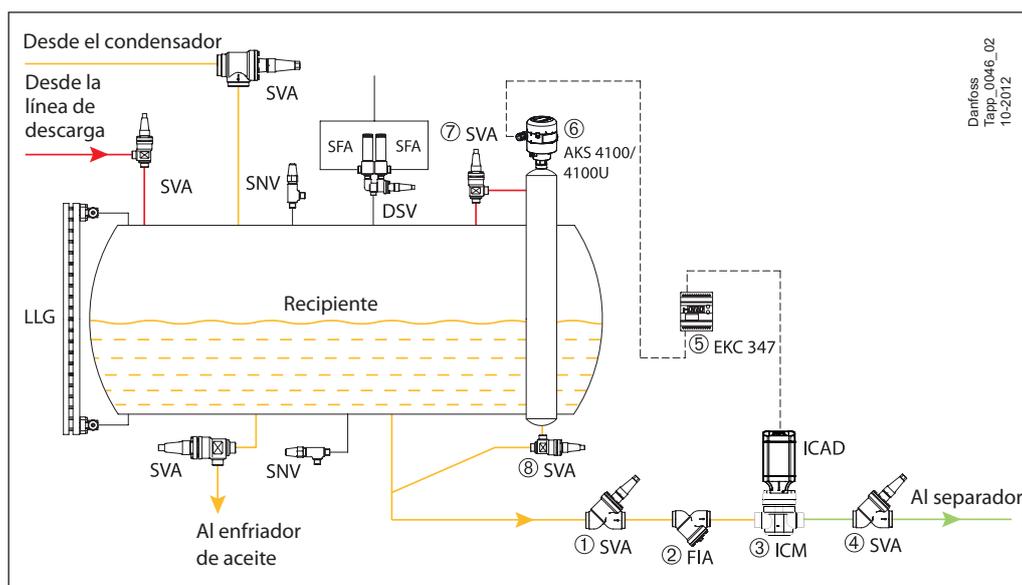
* Condiciones: R-717, -10/35 °C.

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Ejemplo de aplicación 4.1.3:
Solución electrónica para el control del nivel de líquido, HP

- Vapor de refrigerante, HP
- Refrigerante líquido, HP
- Refrigerante líquido, LP

- ① Válvula de cierre
- ② Filtro
- ③ Válvula motorizada
- ④ Válvula de cierre
- ⑤ Controlador
- ⑥ Transmisor de nivel
- ⑦ Válvula de cierre
- ⑧ Válvula de cierre



Danfoss
Tapp_0046_02
10-2012

A la hora de diseñar una solución electrónica LLRS HP, la señal del nivel del líquido puede proporcionarla un transmisor de nivel de líquido AKS 38 (de tipo ON/OFF) o un transmisor de nivel AKS 4100/4100U (4-20 mA).

La señal electrónica se envía a un controlador electrónico EKC 347, que controla la válvula de inyección.

La inyección de líquido puede controlarse de diferentes maneras:

- Con una válvula motorizada moduladora de tipo ICM con un actuador ICAD.
- Con una válvula de expansión de tipo AKVA con modulación del ancho de pulso. La válvula AKVA solo debe utilizarse cuando la pulsación de la válvula resulte aceptable.

- Con una válvula de regulación REG actuando como válvula de expansión y una válvula solenoide EVRA para implementar un control de tipo ON/OFF.

- El sistema que se muestra en la imagen es un transmisor de nivel AKS 4100/4100U ⑥ que envía una señal de nivel al controlador del nivel de líquido EKC 347 ⑤. La válvula motorizada ICM ③ actúa como válvula de expansión.

Datos técnicos

	Válvula motorizada ICM (como válvula de expansión)
Material	Cuerpo: acero para bajas temperaturas
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes, incluidos el R-717 y el R-744
Rango de temp. del medio [°C]	De -60 a 120
Presión de trabajo máx. [bar]	52
DN [mm]	De 20 a 80
Capacidad nominal* [kW]	De 73 a 22.700

* Condiciones: R-717, T_e = -10 °C, Δp = 8,0 bar y ΔT_{sub} = 4 K.

	Transmisor de nivel AKS 4100/4100U
Material	Rosca y tubería: acero inoxidable Parte superior: aluminio fundido
Refrigerantes	R-717, R-22, R-404a, R-134a, R-718 y R-744
Rango de temp. del medio [°C]	De -60 a 100
Presión de proceso	De -1 a 100 barg (de -14,5 a 1.450 psig)
Rango de medida [mm]	De 800 a 8.000

No se muestran todas las válvulas.
La información no debe utilizarse con fines de construcción.

4.2 Sistema de control del nivel de líquido de baja presión (LLRS LP)

A la hora de diseñar un sistema LLRS LP deben tomarse en consideración los siguientes puntos:

El nivel de líquido en el recipiente de baja presión (separador de líquido/evaporador de carcasa y tubos) debe mantenerse constante. Esto se hace en aras de la seguridad del sistema, ya que un nivel de líquido demasiado alto en el separador de líquido puede dar lugar al fenómeno de golpe de ariete en el compresor, mientras que un nivel de líquido demasiado bajo podría provocar cavitación en las bombas de refrigerante de un sistema de circulación por bomba.

El recipiente debe ser lo suficientemente grande como para acumular el refrigerante líquido procedente de los evaporadores cuando el contenido de refrigerante de algunos evaporadores varíe en función de la carga de enfriamiento, haya evaporadores que se desconecten para realizar su

mantenimiento o parte de los evaporadores se drenen para realizar su desescarche.

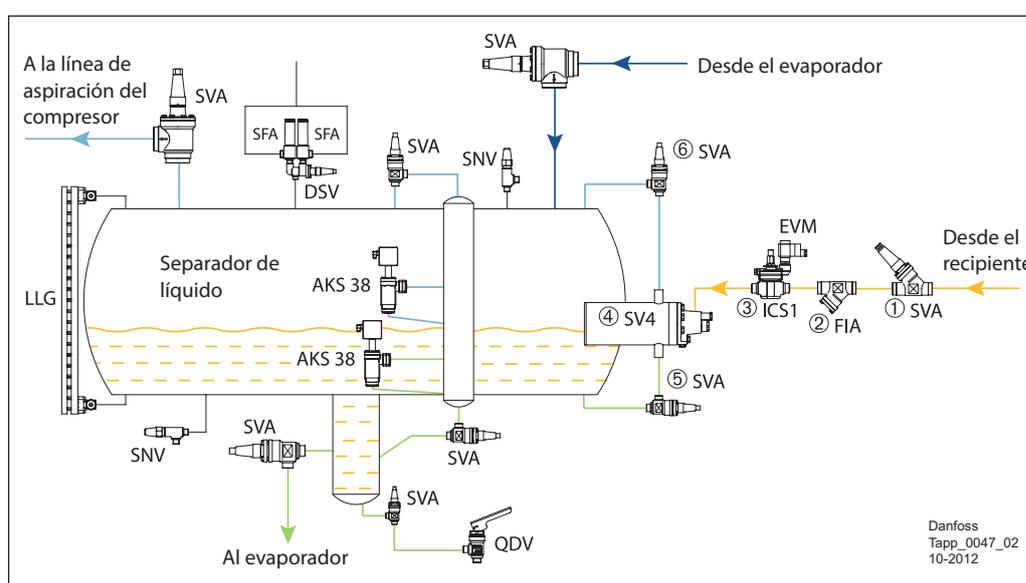
De acuerdo con lo expuesto previamente, los sistemas LLRS LP resultan especialmente adecuados para sistemas descentralizados en los que existan muchos evaporadores y la carga de refrigerante sea grande, como cámaras frigoríficas. Gracias a los sistemas LLRS LP, dichos sistemas podrían funcionar con seguridad incluso si resulta imposible calcular la carga de refrigerante con precisión.

En conclusión, los sistemas LLRS HP resultan adecuados para sistemas compactos como enfriadores, con la ventaja de su reducido coste (recipiente pequeño o inexistente). Por su parte, los sistemas LLRS LP son idóneos para sistemas descentralizados con muchos evaporadores y tuberías largas, como cámaras frigoríficas grandes, y ofrecen como ventaja una seguridad y fiabilidad mayores.

Ejemplo de aplicación 4.2.1: Solución mecánica para el control del nivel de líquido, LP

- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Vapor de refrigerante, LP
- Refrigerante líquido, LP

- ① Válvula de cierre
- ② Filtro
- ③ Válvula solenoide
- ④ Válvula de flotador, LP
- ⑤ Válvula de cierre
- ⑥ Válvula de cierre



Las válvulas de flotador SV "monitorizan" el nivel de líquido en recipientes de baja presión. Si la capacidad es pequeña, las válvulas SV ④ pueden actuar directamente como válvulas de expansión

en los recipientes de baja presión, tal como se muestra.

Datos técnicos

	Válvula SV 4-6
Material	Carcasa: acero Hierro fundido (esférico) para bajas temperaturas Flotador: acero inoxidable
Refrigerantes	R-717, HFC, HCFC y CFC
Rango de temp. del medio [°C]	De -50 a +120
Banda P [mm]	35
Presión de trabajo máx. [bar]	28
Presión de prueba máx. [bar]	42
Valor K, [m³/h]	0,23 para la válvula SV 4 0,31 para la válvula SV 5 0,43 para la válvula SV 6
Capacidad nominal* [kW]	SV 4: 102 SV 5: 138 SV 6: 186

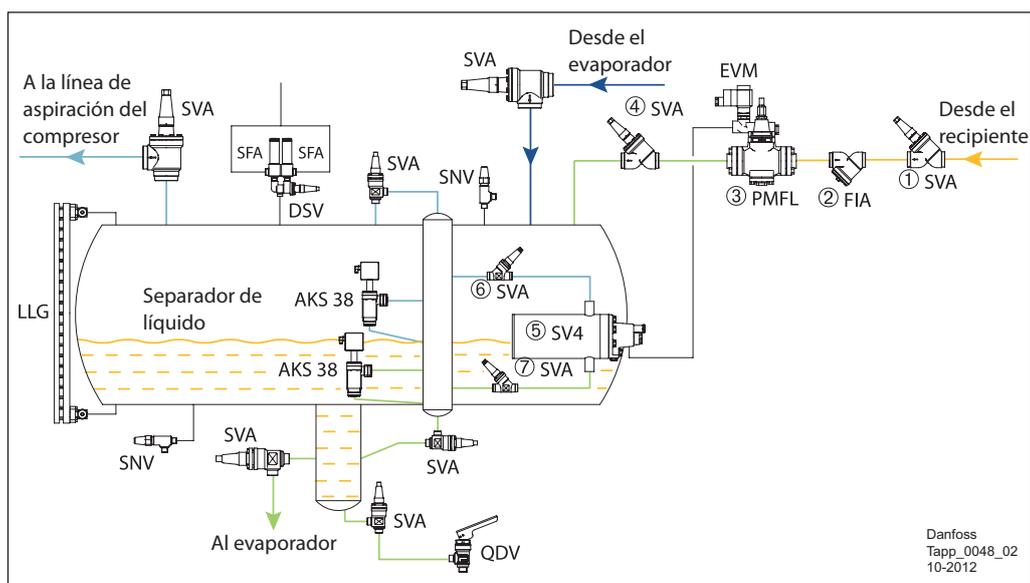
No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

* Condiciones: R-717, +5/32 °C y ΔT_{sub} = 4 K.

Ejemplo de aplicación 4.2.2:
Solución mecánica para el control del nivel de líquido, LP

- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Vapor de refrigerante, LP
- Refrigerante líquido, LP

- ① Válvula de cierre
- ② Filtro
- ③ Válvula principal servoaccionada
- ④ Válvula de cierre
- ⑤ Válvula de flotador, LP
- ⑥ Válvula de cierre
- ⑦ Válvula de cierre



Danfoss
Tapp_0048_02
10-2012

Si la capacidad es grande, la válvula de flotador SV ⑤ se utiliza como válvula piloto de la válvula principal PMFL. Tal como se muestra en la imagen superior, cuando el nivel de líquido en el recipiente disminuye por debajo del valor

ajustado, la válvula de flotador SV ⑤ envía una señal a la válvula PMFL para que se abra.

Datos técnicos

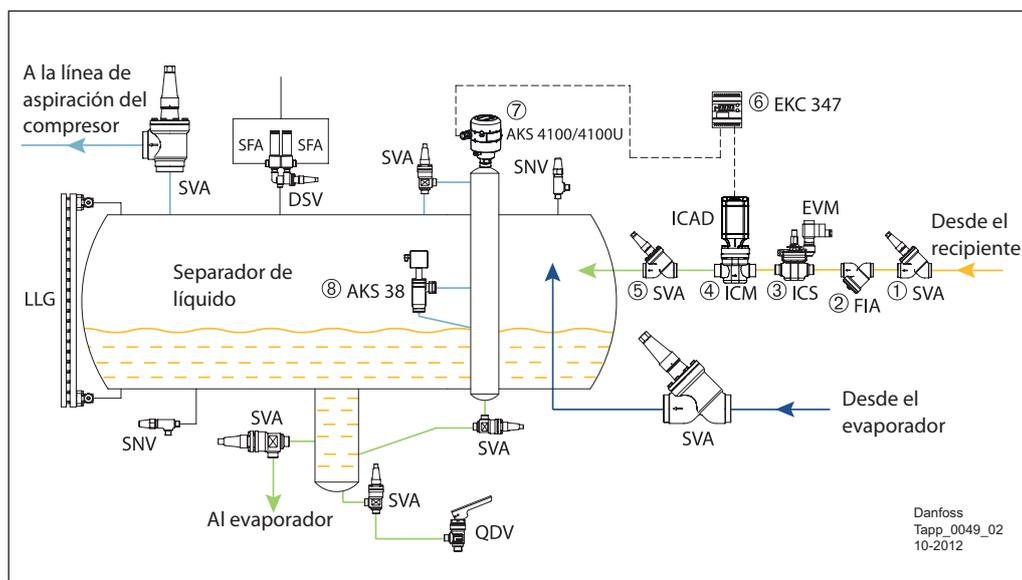
	Válvula PMFL 80 - 1 a 500
Material	Hierro fundido nodular para bajas temperaturas
Refrigerantes	R-717, HFC, HCFC y CFC
Rango de temp. del medio [°C]	De -60 a +120
Presión de trabajo máx. [bar]	28
Presión de prueba máx. [bar]	42
Capacidad nominal* [kW]	139-13.900

* Condiciones: R-717, +5/32 °C y ΔT_{sub} = 4 K.

Ejemplo de aplicación 4.2.3:
Solución electrónica para el control del nivel de líquido, LP

- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Vapor de refrigerante, LP
- Refrigerante líquido, LP

- ① Válvula de cierre
- ② Filtro
- ③ Válvula solenoide
- ④ Válvula motorizada
- ⑤ Válvula de cierre
- ⑥ Controlador
- ⑦ Transmisor de nivel
- ⑧ Transmisor de nivel de líquido



Danfoss
Tapp_0049_02
10-2012

El transmisor de nivel AKS 4100/4100U ⑦ monitoriza el nivel de líquido en el separador y envía una señal de nivel al controlador del nivel de líquido EKC 347 ⑥, que a su vez envía una señal de modulación al actuador de la válvula motorizada ICM ④. La válvula motorizada ICM actúa como una válvula de expansión.

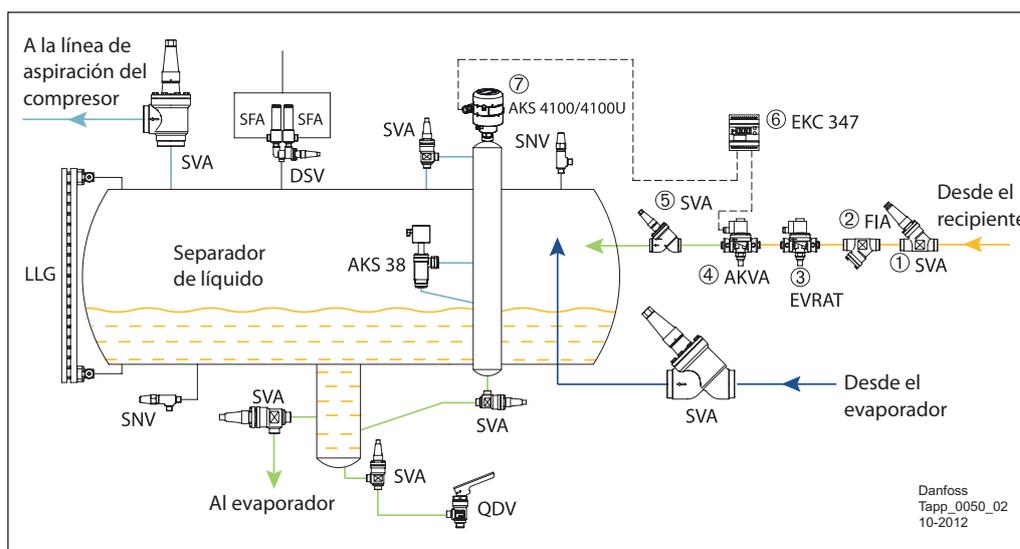
El controlador del nivel de líquido EKC 347 ⑥ también proporciona salidas de relés para los límites superior e inferior y el nivel de alarma. Sin embargo, se recomienda incorporar un transmisor de nivel de líquido AKS 38 ⑧ como alarma de nivel alto.

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Ejemplo de aplicación 4.2.4:
Solución electrónica para el control del nivel de líquido, LP

- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Vapor de refrigerante, LP
- Refrigerante líquido, LP

- ① Válvula de cierre
- ② Filtro
- ③ Válvula solenoide
- ④ Válvula de expansión electrónica
- ⑤ Válvula de cierre
- ⑥ Controlador
- ⑦ Transmisor de nivel



Esta solución es similar a la solución 4.2.3. Sin embargo, en este ejemplo la válvula motorizada ICM se sustituye por una válvula de expansión electrónica AKVA. La válvula servoaccionada EVRAT ③ se utiliza como válvula solenoide adicional para garantizar un cierre completo durante los ciclos de apagado ("OFF").

El controlador del nivel de líquido EKC 347 ⑥ también proporciona salidas de relés para los límites superior e inferior y el nivel de alarma. Sin embargo, se recomienda incorporar un transmisor de nivel de líquido AKS 38 como alarma de nivel alto.

Datos técnicos

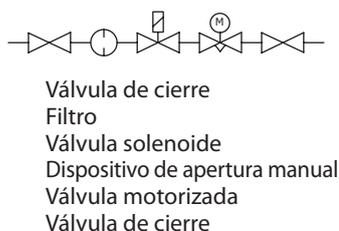
	Válvula AKVA
Material	AKVA 10: acero inoxidable AKVA 15: hierro fundido AKVA 20: hierro fundido
Refrigerantes	R-717
Rango de temp. del medio [°C]	AKVA 10: De -50 a +60 AKVA 15/20: De -40 a +60
Presión de trabajo máx. [bar]	42
DN [mm]	De 10 a 50
Capacidad nominal* [kW]	De 4 a 3.150

* Condiciones: R-717, +5/32 °C y ΔT_{sub} = 4 K.

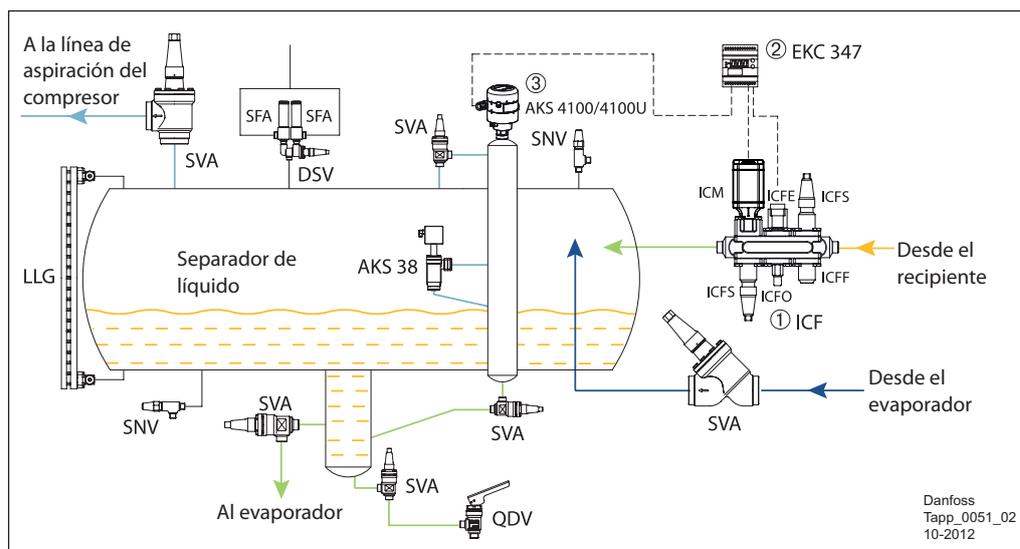
Ejemplo de aplicación 4.2.5:
Solución electrónica para el control del nivel de líquido, LP

- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Vapor de refrigerante, LP
- Refrigerante líquido, LP

- ① Estación de válvulas ICF con:



- ② Controlador
- ③ Transmisor de nivel



Danfoss pone a su disposición la estación de válvulas ICF ①, una solución muy compacta. Permite montar hasta seis módulos diferentes en un mismo cuerpo, que puede instalarse fácilmente.

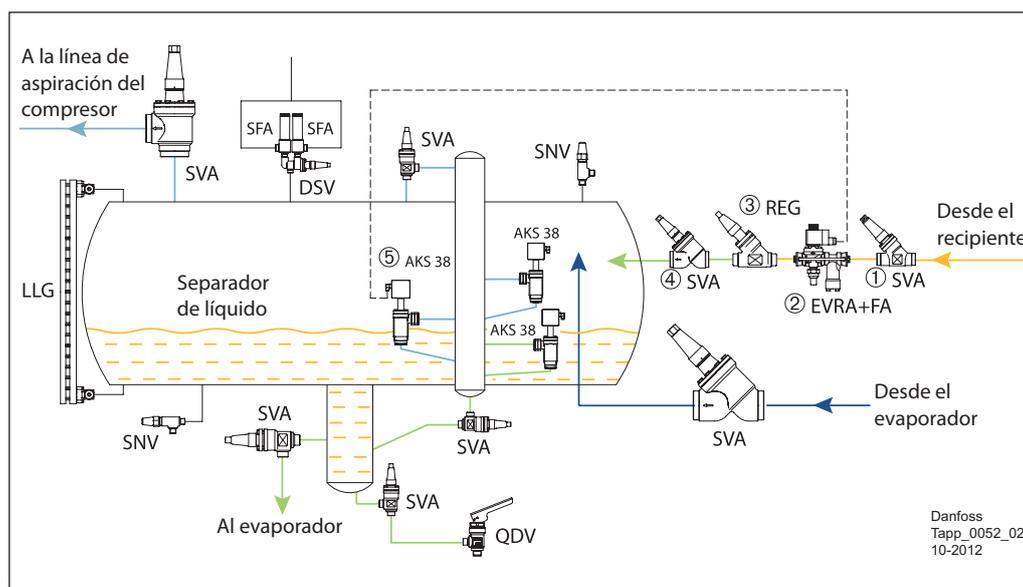
El módulo ICM actúa como una válvula de expansión y el módulo ICFE a modo de válvula solenoide. Esta solución funciona de manera idéntica a la del ejemplo 4.2.3. También existe una solución alternativa con estación de válvulas ICF similar a la del ejemplo 4.2.4. Consulte la documentación de referencia de la estación de válvulas ICF para obtener más información.

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Ejemplo de aplicación 4.2.6:
Solución electrónica para el control del nivel de líquido, LP

- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Vapor de refrigerante, LP
- Refrigerante líquido, LP

- ① Válvula de cierre
- ② Válvula solenoide
- ③ Válvula de regulación manual
- ④ Válvula de cierre
- ⑤ Transmisor de nivel de líquido



Esta solución controla la inyección de líquido mediante un control de tipo ON/OFF. El transmisor de nivel de líquido AKS 38 ⑤ controla la conmutación de la válvula solenoide EVRA ②

en función del nivel de líquido en el separador. La válvula de regulación manual REG ③ actúa a modo de válvula de expansión.

Datos técnicos

	Transmisor de nivel de líquido AKS 38
Material	Carcasa: hierro fundido con cromato de zinc
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes no inflamables, incluido el R-717
Rango de temp. del medio [°C]	De -50 a +65
Presión de trabajo máx. [bar]	28
Rango de medida [mm]	De 12,5 a 50

	Válvula de regulación manual REG
Material	Acero especial resistente al frío, homologado para aplicaciones a baja temperatura
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes no inflamables, incluido el R-717
Rango de temp. del medio [°C]	De -50 a +150
Presión de trabajo máx. [bar]	52
DN [mm]	De 6 a 65
Valor K _v [m ³ /h]	De 0,17 a 81,4 para válvulas completamente abiertas

	Válvula solenoide EVRA
Refrigerantes	R-717, R-22, R-134a, R-404a, R-410a, R-744 y R-502
Rango de temp. del medio [°C]	De -40 a +105
Presión de trabajo máx. [bar]	42
Capacidad nominal* [kW]	De 21,8 a 2.368
Valor K _v [m ³ /h]	De 0,23 a 25,0

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

* Condiciones: R-717, -10/+25 °C y Δp = 0,15 bar.

4.3
Resumen

Solución		Aplicación	Ventajas	Limitaciones
Solución mecánica de alta presión: SV 1/3 + PMFH		Aplicable a sistemas con carga de refrigerante pequeña, como los enfriadores.	Solución completamente mecánica. Amplio rango de capacidad.	No permite el control remoto; la separación entre las válvulas SV y PMFH queda limitada a algunos metros. Respuesta ligeramente lenta.
Solución mecánica de alta presión: HFI		Aplicable a sistemas con carga de refrigerante pequeña y únicamente con condensadores de placas.	Solución completamente mecánica. Solución sencilla. Opción idónea para intercambiadores de calor de placas.	Incapaz de proporcionar refrigeración de aceite mediante termosifón.
Solución electrónica de alta presión: AKS 4100/4100U + EKC 347 + ICM		Aplicable a sistemas con carga de refrigerante pequeña, como los enfriadores.	Solución flexible y compacta. Permite realizar monitorización y control remotos. Cubre un amplio rango de capacidad.	No es compatible con refrigerantes inflamables.
Solución mecánica de baja presión: SV 4-6		Aplicable a sistemas pequeños.	Solución completamente mecánica. Solución sencilla y económica.	Capacidad limitada.
Solución mecánica de baja presión: SV 4-6 + PMFL		Solución Idónea para sistemas descentralizados, como cámaras frigoríficas.	Solución completamente mecánica. Amplio rango de capacidad.	No permite el control remoto; la separación entre las válvulas SV y PMFL queda limitada a algunos metros. Respuesta ligeramente lenta.
Solución electrónica de baja presión: AKS 4100/4100U + EKC 347 + ICM		Solución Idónea para sistemas descentralizados, como cámaras frigoríficas.	Solución flexible y compacta. Permite realizar monitorización y control remotos. Cubre un amplio rango de capacidades.	No es compatible con refrigerantes inflamables.
Solución electrónica de baja presión: AKS 4100/4100U + EKC 347 + AKVA		Solución Idónea para sistemas descentralizados, como cámaras frigoríficas.	Solución flexible y compacta. Permite realizar monitorización y control remotos. Amplio rango de capacidad. Mayor rapidez que la válvula motorizada. Válvula de seguridad (NC).	No es compatible con refrigerantes inflamables. El sistema debe poder permitir las pulsaciones.
Solución electrónica de baja presión: AKS 4100/4100U + EKC 347 + ICF		Solución Idónea para sistemas descentralizados, como cámaras frigoríficas.	Solución flexible y compacta. Permite realizar monitorización y control remotos. Cubre un amplio rango de capacidades. Fácil instalación.	No es compatible con refrigerantes inflamables.
Solución electrónica de baja presión: AKS 38 + EVRA + REG		Solución Idónea para sistemas descentralizados, como cámaras frigoríficas.	Sencillez. Solución económica.	Únicamente requiere 40 mm para realizar el ajuste de nivel. Muy dependiente del ajuste de la válvula REG. Solución inadecuada para sistemas con grandes fluctuaciones de capacidad.

4.4
Documentos de referencia

Puede encontrar una descripción por orden alfabético de todos los documentos de referencia en la página 146.

Folleto técnico/manual

Tipo	Código del documento
AKS 38	PD.GD0.A
AKS 4100/4100U	PD.SC0.C
AKVA	PD.VA1.B
EKC 347	PS.G00.A
EVRA(T)	PD.BM0.B
ICM	PD.HT0.B

Tipo	Código del documento
PMFH/L	PD.GE0.C
ICF	PD.FT1.A
REG	PD.KM1.A
SV 1-3	PD.GE0.B
SV 4-6	PD.GE0.D

Instrucciones del producto

Tipo	Código del documento
AKS 38	PI.GD0.A
AKS 4100/4100U	PI.SC0.D PI.SC0.E
AKVA	PI.VA1.C / PI.VA1.B
EKC 347	PI.RP0.A
EVRA(T)	PI.BN0.L
ICM 20-65	PI.HT0.A

Tipo	Código del documento
ICM 100-150	PI.HT0.B
PMFH/L	PI.GE0.D / PI.GE0.A
ICF	PI.FT0.C
REG	PI.KM1.A
SV 1-3	PI.GE0.C
SV 4-6	PI.GE0.B

Para descargar la versión más reciente de los documentos, visite el sitio web de Danfoss.

5. Controles de evaporadores

El evaporador es la parte del sistema de refrigeración donde el calor efectivo se transfiere del medio que se desea enfriar (por ejemplo, aire, salmuera o directamente el producto) al refrigerante.

Por tanto, la función principal del sistema de control del evaporador es conseguir la temperatura deseada del medio. Además, el sistema de control también debe mantener el evaporador funcionando de forma eficiente y sin problemas en todo momento.

En concreto, los evaporadores pueden requerir los siguientes métodos de control:

- Control del suministro de líquido. En las secciones 5.1 y 5.2 se describen dos tipos distintos de suministro de líquido: de expansión directa (DX) y de circulación por bomba.
- Desescarche (secciones 5.3 y 5.4), que resulta necesario en enfriadores de aire que funcionen a temperaturas inferiores a 0 °C.

- Conversión de multitemperatura (sección 5.5), para evaporadores que necesiten funcionar a diferentes niveles de temperatura.
- Control de la temperatura del medio (sección 5.6), cuando la temperatura del medio debe mantenerse en un valor constante con gran precisión.

Al presentar el control de la temperatura del medio y el desescarche, los evaporadores de expansión directa (DX) y de circulación de líquido por bomba se tratan por separado, ya que existen algunas diferencias entre los sistemas de control.

5.1 Control de expansión directa

A la hora de diseñar el suministro de líquido de los evaporadores de expansión directa deben cumplirse los siguientes requisitos:

- El refrigerante líquido suministrado al evaporador se evapora por completo. Esto es necesario para proteger el compresor contra el fenómeno de golpe de ariete.
- La temperatura del medio con el evaporador apagado se mantiene dentro del rango deseado.

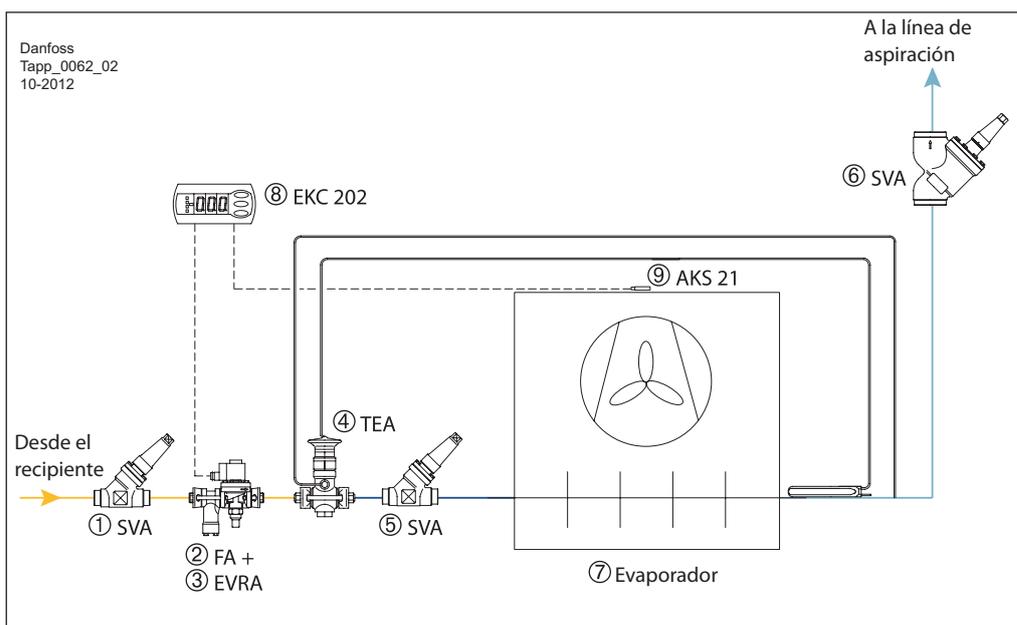
La inyección de líquido se controla mediante una válvula de expansión controlada por el recalentamiento, que mantiene el recalentamiento a la salida del evaporador dentro de un rango deseado. Esta válvula de expansión puede ser una válvula de expansión termostática o electrónica.

El control de temperatura se consigue normalmente mediante un control de tipo ON/OFF, que inicia y detiene el suministro de líquido al evaporador de acuerdo con la temperatura del medio.

Ejemplo de aplicación 5.1.1:
Evaporador DX de expansión
termostática

- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Vapor de refrigerante, LP

- ① Válvula de cierre de entrada de líquido
- ② Filtro
- ③ Válvula solenoide
- ④ Válvula de expansión termostática
- ⑤ Válvula de cierre de entrada del evaporador
- ⑥ Válvula de cierre de línea de aspiración
- ⑦ Evaporador
- ⑧ Termostato digital
- ⑨ Sensor de temperatura



El ejemplo de aplicación 5.1.1 muestra una instalación típica de un evaporador DX sin desescarche por gas caliente.

La inyección de líquido se controla mediante la válvula de expansión termostática TEA ④, que mantiene el recalentamiento del refrigerante a la salida del evaporador en un nivel constante. Las válvulas TEA están diseñadas para amoníaco. Danfoss también suministra válvulas de expansión termostática para refrigerantes fluorados.

La temperatura del medio se controla mediante el termostato digital EKC 202 ⑧, que controla la conmutación de tipo ON/OFF de la válvula solenoide EVRA ③ en función de la señal de temperatura del medio del sensor de temperatura PT 1000 AKS 21 ⑨.

Esta solución también puede aplicarse a evaporadores DX con desescarche natural o eléctrico.

El desescarche natural se consigue deteniendo el flujo de refrigerante hacia el evaporador y manteniendo el ventilador en funcionamiento. El desescarche eléctrico se consigue deteniendo el flujo de refrigerante hacia el evaporador y el ventilador y, al mismo tiempo, conectando un calentador eléctrico existente dentro del bloque de aletas del evaporador.

Controlador de evaporador EKC 202

El termostato digital controlará todas las funciones del evaporador, incluidos el termostato, el ventilador, el desescarche y las alarmas.

Para obtener más información, consulte el manual del controlador EKC 202 de Danfoss.

Datos técnicos

	Válvula de expansión termostática TEA
Refrigerantes	R-717
Rango de temp. de evaporación [°C]	De -50 a 30
Temp. máx. del bulbo [°C]	100
Presión de trabajo máx. [bar]	19
Capacidad nominal* [kW]	De 3,5 a 295

* Condiciones: -15/+32 °C y ΔT_{sub} = 4 °C.

	Válvula solenoide EVRA(T)
Refrigerantes	R-717, R-22, R-134a, R-404a, R-410a, R-744 y R-502
Rango de temp. del medio [°C]	De -40 a +105
Presión de trabajo máx. [bar]	42
Capacidad nominal* [kW]	De 21,8 a 2.368
Valor K, [m ³ /h]	De 0,23 a 25,0

* Condiciones: R-717, -10/+25 °C y Δp = 0,15 bar.

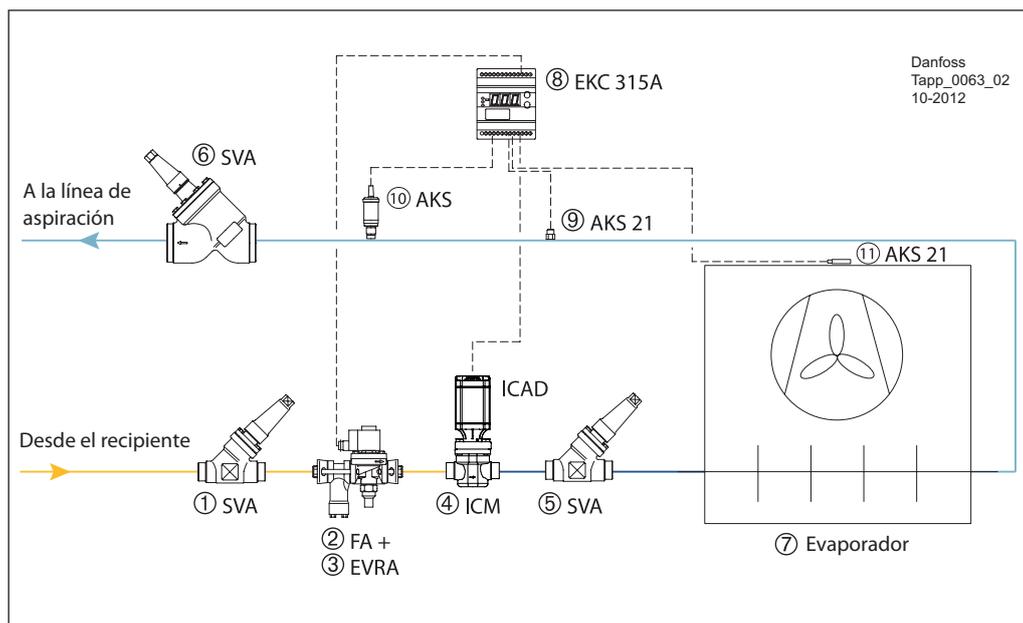
	Filtro FA
Refrigerantes	Amoníaco y refrigerantes fluorados
Rango de temp. del medio [°C]	De -50 a +140
Presión de trabajo máx. [bar]	28
DN [mm]	15/20
Elemento filtrante	Malla de acero inoxidable de 150 μm
Valor K, [m ³ /h]	3,3/7,0

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Ejemplo de aplicación 5.1.2:
Evaporador DX de expansión electrónica

- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Vapor de refrigerante, LP

- ① Válvula de cierre de entrada de líquido
- ② Filtro
- ③ Válvula solenoide
- ④ Válvula de expansión electrónica
- ⑤ Válvula de cierre de entrada del evaporador
- ⑥ Válvula de cierre de línea de aspiración
- ⑦ Evaporador
- ⑧ Controlador
- ⑨ Sensor de temperatura
- ⑩ Transmisor de presión
- ⑪ Sensor de temperatura



Danfoss
Tapp_0063_02
10-2012

El ejemplo de aplicación 5.1.2 muestra una instalación típica de un evaporador DX con control electrónico sin desescarche por gas caliente.

La inyección de líquido se controla mediante la válvula motorizada ICM (4), a su vez controlada por el controlador de evaporador EKC 315A (8). El controlador EKC 315A mide el recalentamiento por medio del transmisor de presión AKS (10) y el sensor de temperatura AKS 21 (9) en la salida del evaporador; asimismo, controla la apertura de la válvula ICM para mantener un nivel óptimo de recalentamiento.

Al mismo tiempo, el controlador EKC 315A funciona como termostato digital y controla la conmutación de tipo ON/OFF de la válvula solenoide EVRA (3) en función de la señal de temperatura del medio del sensor de temperatura AKS 21 (11).

En comparación con la solución del ejemplo 5.1.1, esta solución hace funcionar el evaporador con un recalentamiento óptimo y adapta constantemente el grado de apertura de la válvula de inyección para asegurar una eficiencia y una capacidad máximas. La superficie del evaporador se utiliza por completo. Además, esta solución ofrece un control más preciso de la temperatura del medio.

Controlador de evaporador EKC 315A

El controlador digital controlará todas las funciones del evaporador, incluidos el termostato, la expansión y las alarmas.

Para obtener más información, consulte el manual del controlador EKC 315A de Danfoss.

Datos técnicos

	Válvula motorizada ICM (como válvula de expansión)
Material	Cuerpo: acero para bajas temperaturas
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes, incluidos el R-717 y el R-744
Rango de temp. del medio [°C]	De -60 a 120
Presión de trabajo máx. [bar]	52
DN [mm]	De 20 a 80
Capacidad nominal* [kW]	De 73 a 22.700

* Condiciones: R-717, T_e = -10 °C, Δp = 8,0 bar y ΔT_{sub} = 4 K.

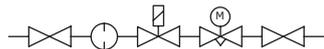
	Transmisor de presión AKS 3000	Transmisor de presión AKS 32
Refrigerantes	Todos los refrigerantes, incluido el R-717	Todos los refrigerantes, incluido el R-717
Rango de funcionamiento [bar]	De 0 a 60 (según el rango)	De -1 a 39 (según el rango)
Presión de trabajo máx., PB [bar]	100 (según el rango de funcionamiento)	60 (según el rango de funcionamiento)
Rango de temp. de funcionamiento [°C]	De -40 a 80	De -40 a 85
Rango de temp. compensada [°C]	LP: de -30 a +40/HP: de 0 a +80	LP: de -30 a +40/HP: de 0 a +80
Señal de salida nominal	De 4 a 20 mA	De 1 a 5 V o de 0 a 10 V

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Ejemplo de aplicación 5.1.3:
Evaporador DX de expansión electrónica con solución de control ICF

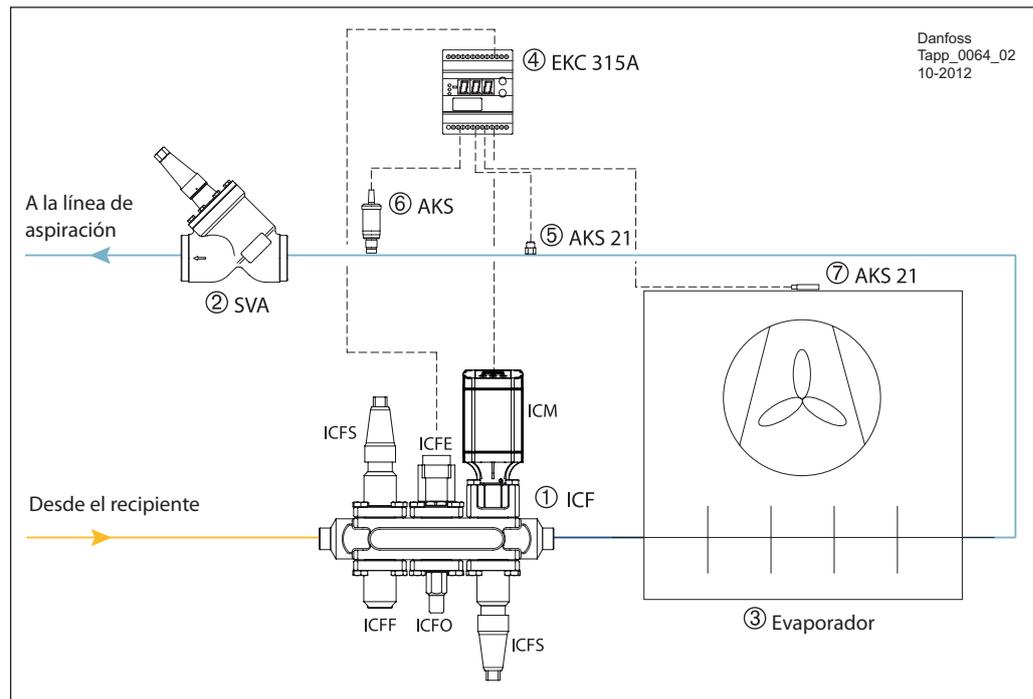
- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Vapor de refrigerante, LP

① Solución de control ICF con:



- Válvula de cierre de entrada de líquido
- Filtro
- Válvula solenoide
- Dispositivo de apertura manual
- Válvula de expansión electrónica ICM
- Válvula de cierre de entrada del evaporador

- ② Válvula de cierre de línea de aspiración
- ③ Evaporador
- ④ Controlador
- ⑤ Sensor de temperatura
- ⑥ Transmisor de presión
- ⑦ Sensor de temperatura



Danfoss
Tapp_0064_02
10-2012

El ejemplo de aplicación 5.1.3 muestra el uso de la nueva solución de control ICF en un evaporador DX con control electrónico sin desescarche por gas caliente, similar al del ejemplo 5.1.2.

La solución ICF permite incluir hasta seis módulos diferentes en un mismo cuerpo y constituye una solución de control compacta y de fácil instalación.

La inyección de líquido se controla mediante la válvula motorizada ICM, a su vez controlada por el controlador de evaporador EKC 315A ④. El controlador EKC 315A mide el recalentamiento por medio del transmisor de presión AKS ⑥ y el sensor de temperatura AKS 21 ⑤ en la salida del evaporador; asimismo, controla la apertura de la válvula ICM para mantener un nivel óptimo de recalentamiento.

Al mismo tiempo, el controlador EKC 315A funciona como termostato digital y controla la conmutación de tipo ON/OFF de la válvula solenoide ICFE en función de la señal de temperatura del medio del sensor de temperatura AKS 21 ⑦.

De manera similar a la solución del ejemplo 5.1.1, esta solución hace funcionar el evaporador con un recalentamiento óptimo y adapta constantemente el grado de apertura de la válvula de inyección para asegurar una eficiencia y una capacidad máximas. La superficie del evaporador se utiliza por completo. Además, esta solución ofrece un control más preciso de la temperatura del medio.

Controlador de evaporador EKC 315A
El controlador digital controlará todas las funciones del evaporador, incluidos el termostato, la expansión y las alarmas.

Para obtener más información, consulte el manual del controlador EKC 315A de Danfoss.

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Ejemplo de aplicación 5.1.4:
Evaporador DX de expansión electrónica con solución de control ICF

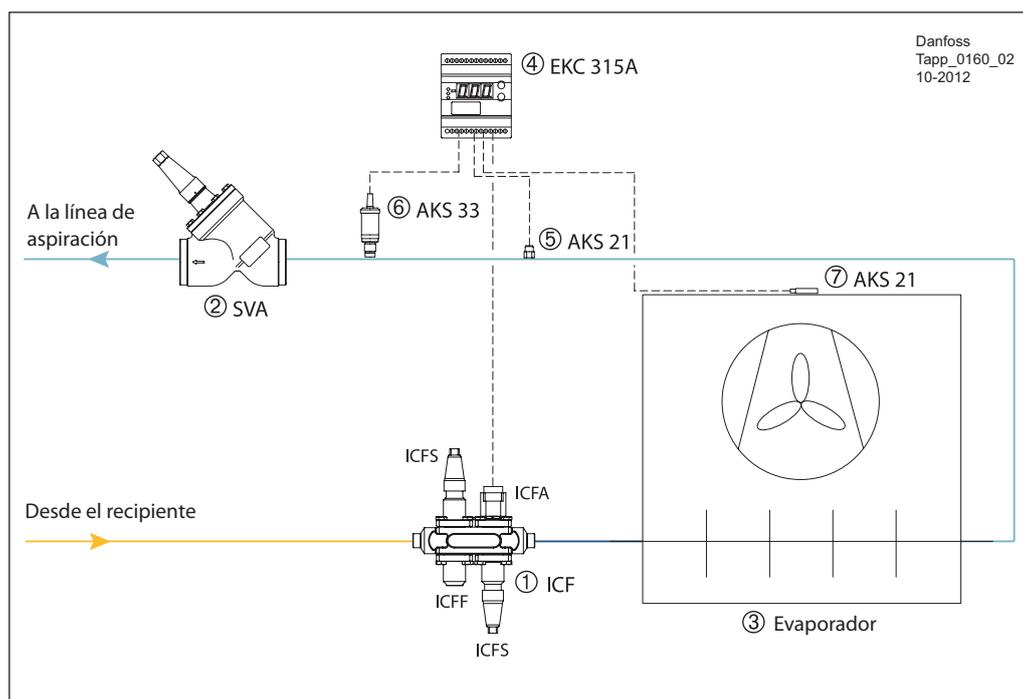
- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Vapor de refrigerante, LP

① Solución de control ICF con:



- Válvula de cierre de entrada de líquido
- Filtro
- Válvula de expansión
- Válvula de cierre de entrada del evaporador

- ② Válvula de cierre de línea de aspiración
- ③ Evaporador
- ④ Controlador
- ⑤ Sensor de temperatura
- ⑥ Transmisor de presión
- ⑦ Sensor de temperatura



Danfoss
Tapp_0160_02
10-2012

Este ejemplo de aplicación muestra una solución de control ICF para un evaporador DX con control electrónico sin desescarche por gas caliente.

La solución ICF permite incluir hasta seis módulos diferentes en un mismo cuerpo y constituye una solución de control compacta y de fácil instalación.

La inyección de líquido se controla mediante la válvula de expansión electrónica ICFA, a su vez controlada por el controlador de evaporador EKC 315A ④. El controlador EKC 315A mide el recalentamiento por medio del transmisor de presión AKS 33⑥ y el sensor de temperatura AKS 21 ⑤ en la salida del evaporador; asimismo, controla la apertura de la válvula ICFA para mantener un nivel óptimo de recalentamiento.

Esta solución hace funcionar el evaporador con un recalentamiento óptimo y adapta constantemente el grado de apertura de la válvula de inyección para asegurar una eficiencia y una capacidad máximas. La superficie del evaporador se utiliza por completo. Además, esta solución ofrece un control más preciso de la temperatura del medio.

Controlador de evaporador EKC 315A
El controlador digital controlará todas las funciones del evaporador, incluidos el termostato, la expansión y las alarmas.

Para obtener más información, consulte el manual del controlador EKC 315A de Danfoss.

La solución de control ICF que se muestra en este ejemplo también puede sustituirse por una solución de válvulas convencional (válvula de cierre SVA, filtro FA/FIA, válvula de expansión electrónica AKVA y otra válvula de cierre SVA). El controlador EKC 315A puede utilizarse tanto con una solución ICF como con una solución de válvulas convencional.

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

5.2
Control de circulación de líquido por bomba

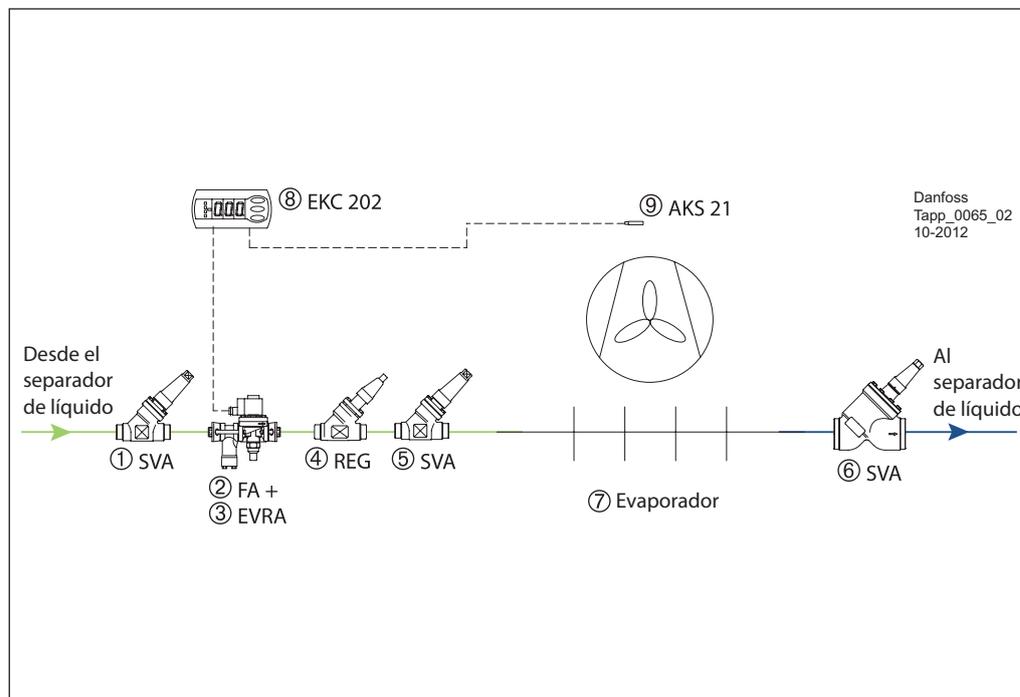
*Ejemplo de aplicación 5.2.1:
Evaporador con circulación de líquido bombeado sin desescarche por gas caliente*

■ Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
■ Refrigerante líquido, LP

- ① Válvula de cierre de entrada de líquido
- ② Filtro
- ③ Válvula solenoide
- ④ Válvula de expansión manual
- ⑤ Válvula de cierre de entrada del evaporador
- ⑥ Válvula de cierre de línea de aspiración
- ⑦ Evaporador
- ⑧ Termostato digital
- ⑨ Sensor de temperatura

En comparación con los sistemas DX de amoníaco, el control de los sistemas de circulación de amoníaco por bomba resulta más sencillo ya que un separador de la bomba adecuadamente dimensionado protege los compresores frente a las descargas hidráulicas.

El separador de la bomba asegura que solo regrese vapor de refrigerante “seco” a los compresores. El control de la evaporación también se simplifica dado que solo se requiere un control básico del líquido de tipo ON/OFF.



El ejemplo de aplicación 5.2.1 muestra una instalación típica para un evaporador con circulación de líquido por bomba sin desescarche por gas caliente, que también puede aplicarse a evaporadores con circulación de líquido por bomba con desescarche natural o eléctrico.

La temperatura del medio se mantiene en el nivel deseado por medio del termostato digital EKC 202 ⑧, que controla la conmutación de tipo ON/OFF de la válvula solenoide EVRA ③ de acuerdo con la señal de temperatura del medio del sensor de temperatura PT 1000 AKS 21 ⑨.

La cantidad de líquido inyectado en el evaporador se controla mediante la apertura de la válvula de regulación manual REG ④. Es

importante fijar un grado de apertura correcto para esta válvula de regulación. Un grado de apertura demasiado grande provocará un accionamiento frecuente de la válvula solenoide, con el consiguiente desgaste. Un grado de apertura demasiado pequeño dejará el evaporador sin refrigerante líquido.

Controlador de evaporador EKC 202

El termostato digital controlará todas las funciones del evaporador, incluidos el termostato, el ventilador, el desescarche y las alarmas.

Para obtener más información, consulte el manual del controlador EKC 202 de Danfoss.

Datos técnicos

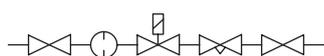
	Válvula de regulación manual REG
Material	Acero especial resistente al frío, homologado para aplicaciones a baja temperatura
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes no inflamables, incluido el R-717
Rango de temp. del medio [°C]	De -50 a +150
Presión de trabajo máx. [bar]	52
DN [mm]	De 6 a 65
Valor K, [m ³ /h]	De 0,17 a 81,4 para válvulas completamente abiertas

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Ejemplo de aplicación 5.2.2:
Evaporador con circulación de líquido bombeado, con solución de control ICF y sin desescarche por gas caliente

- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Refrigerante líquido, LP

① Solución de control ICF con:



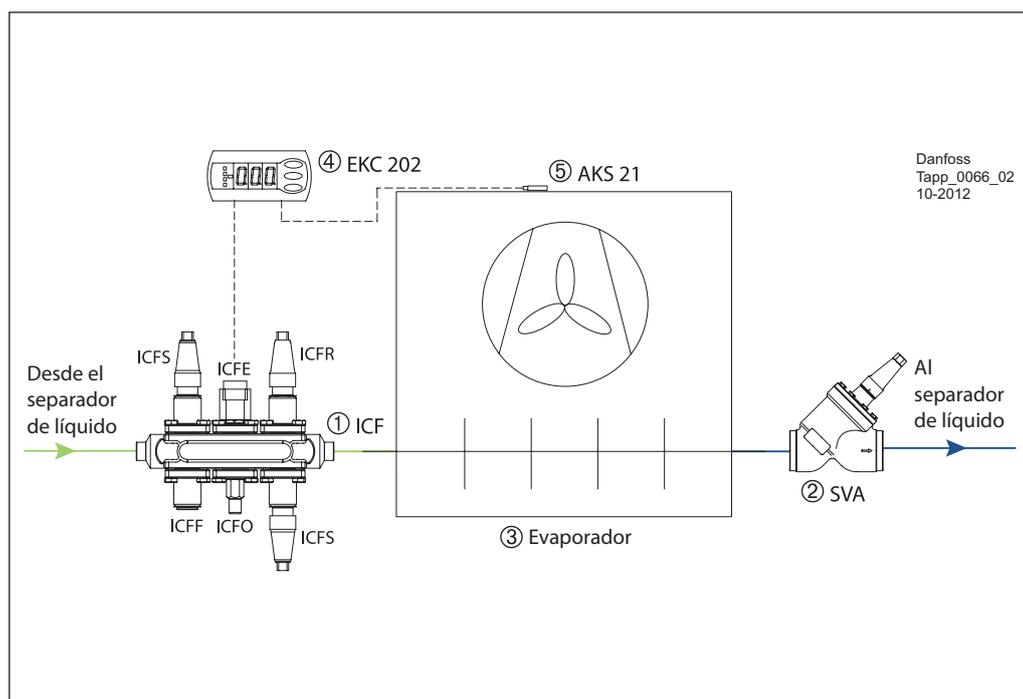
- Válvula de cierre de entrada de líquido
- Filtro
- Válvula solenoide
- Dispositivo de apertura manual
- Válvula de regulación manual
- Válvula de cierre de entrada del evaporador

② Válvula de cierre de línea de aspiración

③ Evaporador

④ Termostato digital

⑤ Sensor de temperatura



Danfoss
Tapp_0066_02
10-2012

El ejemplo de aplicación 5.2.2 incorpora la nueva solución de control ICF y funciona de manera idéntica al ejemplo 5.2.1; también puede aplicarse a evaporadores con circulación de líquido por bomba con desescarche eléctrico o natural. La solución ICF permite incluir hasta seis módulos diferentes en un mismo cuerpo y constituye una solución de control compacta y de fácil instalación.

La temperatura del medio se mantiene en el nivel deseado por medio del termostato digital EKC 202 ④, que controla la conmutación de tipo ON/OFF de la válvula solenoide ICFE de acuerdo con la señal de temperatura del medio del sensor de temperatura PT 1000 AKS 21 ⑤.

La cantidad de líquido inyectado en el evaporador se controla mediante la apertura de la válvula de

regulación manual ICFR. Es importante fijar un grado de apertura correcto para esta válvula de regulación.

Un grado de apertura demasiado grande provocará un accionamiento frecuente de la válvula solenoide, con el consiguiente desgaste. Un grado de apertura demasiado pequeño dejará el evaporador sin refrigerante líquido.

Controlador de evaporador EKC 202

El termostato digital controlará todas las funciones del evaporador, incluidos el termostato, el ventilador, el desescarche y las alarmas.

Para obtener más información, consulte el manual del controlador EKC 202 de Danfoss.

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

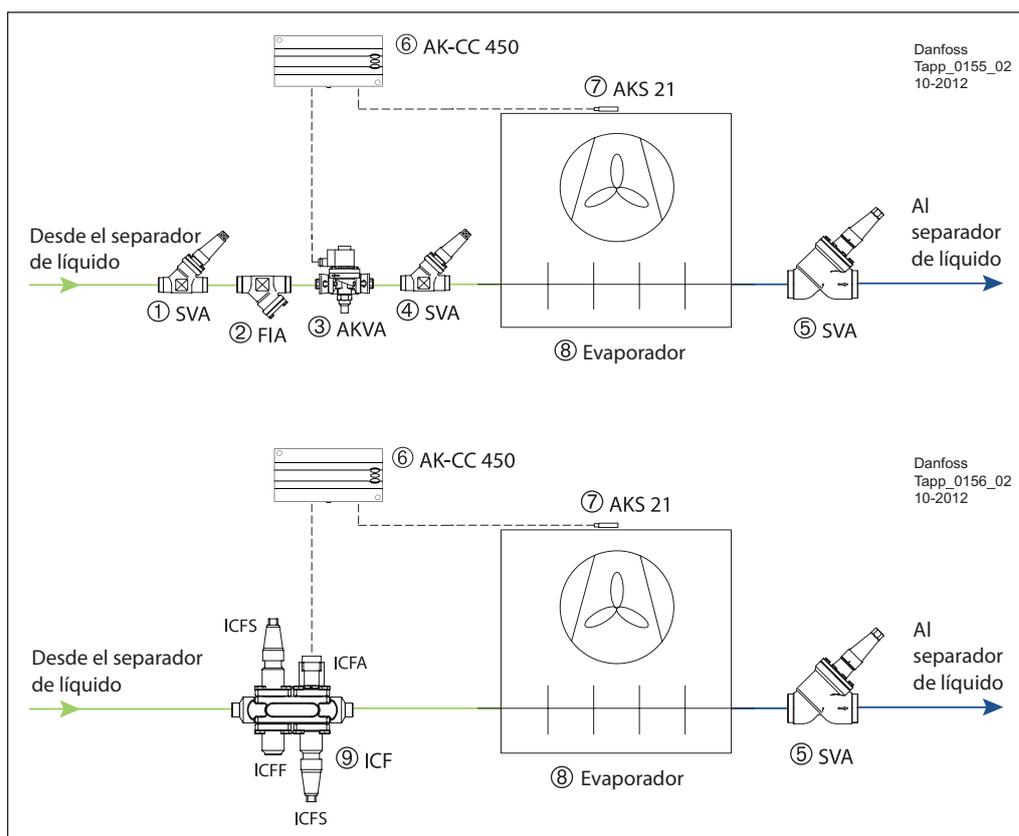
Ejemplo de aplicación 5.2.3:
Inyección de líquido en un enfriador de aire en un sistema inundado empleando una válvula AKVA/ICFA con modulación del ancho de pulso, con desescarhe eléctrico o por salmuera

Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
 Refrigerante líquido, LP

- ① Válvula de cierre de línea de aspiración
- ② Filtro
- ③ Válvula de expansión electrónica
- ④ Válvula de cierre de entrada del evaporador
- ⑤ Válvula de cierre de línea de aspiración
- ⑥ Termostato digital
- ⑦ Sensor de temperatura
- ⑧ Evaporador
- ⑨ Solución de control ICF con:



Válvula de cierre
 Filtro
 Válvula de expansión electrónica
 Válvula de cierre



Danfoss
 Tapp_0155_02
 10-2012

Danfoss
 Tapp_0156_02
 10-2012

En un sistema inundado tradicional, la inyección de líquido se controla empleando un termostato que mide constantemente la temperatura del aire.

La válvula solenoide permanece abierta durante varios minutos o hasta que la temperatura del aire alcanza el punto de consigna. Durante la inyección, la masa del flujo de refrigerante permanece constante.

Se trata de una manera muy sencilla de controlar la temperatura del aire, pero la variación de temperatura provocada por el termostato puede generar efectos adversos indeseados en algunas aplicaciones (como la deshumidificación) o un control impreciso.

En lugar de realizar la inyección periódicamente, según lo descrito anteriormente, otra posibilidad es adaptar constantemente la inyección de líquido a la necesidad real. Para ello puede emplearse una válvula AKVA ③ con modulación del ancho de pulso o una solución ICF ⑨ con un módulo de válvula solenoide ICFA.

La temperatura del aire se mide y compara constantemente con la temperatura de referencia. Cuando la temperatura del aire alcanza el punto de consigna, la apertura de la válvula AKVA ③

disminuye. Esto reduce el grado de apertura durante el ciclo, lo que se traduce en una menor capacidad. La duración del ciclo se puede ajustar entre 30 y 900 segundos.

En un sistema inundado, esto posibilita el control continuo y la adaptación a la demanda del caudal medio de refrigerante. Cuando se inyecta menos refrigerante, la tasa de circulación disminuye.

El resultado es la evaporación de más refrigerante y la generación de una cierta cantidad de gas recalentado en el enfriador de aire.

Un efecto directo de lo anterior es una temperatura superficial media del enfriador de aire más baja, lo cual da lugar a una menor ΔT entre el refrigerante y el aire.

Este planteamiento de la inyección de líquido en un sistema inundado ofrece una gran versatilidad. La cantidad de líquido inyectado se puede controlar con exactitud, lo cual permite gozar de más precisión y una mayor eficiencia energética del sistema.

Para obtener más información, consulte el manual del controlador AK-CC 450 de Danfoss.

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

5.3 Desescarche por gas caliente para enfriadores de aire DX

En aplicaciones donde el enfriador de aire funcione con temperaturas de evaporación inferiores a 0 °C, se formará escarcha en la superficie de intercambio de calor y su espesor aumentará con el tiempo. La acumulación de escarcha conduce a una disminución del rendimiento del evaporador debido a la reducción del coeficiente de transferencia de calor y, al mismo tiempo, a la obstrucción de la circulación de aire. Por tanto, estos enfriadores de aire deben someterse a un desescarche periódico para mantener el nivel de rendimiento deseado.

Entre los distintos tipos de desescarche que se utilizan comúnmente en los sistemas de refrigeración industrial se incluyen los siguientes:

- Desescarche natural.
- Desescarche eléctrico.
- Desescarche por gas caliente.

El desescarche natural se consigue deteniendo el flujo de refrigerante hacia el evaporador y manteniendo el ventilador en funcionamiento. Únicamente puede utilizarse con temperaturas ambiente superiores a 0 °C. El tiempo de desescarche resultante es prolongado.

El desescarche eléctrico se consigue deteniendo el ventilador y el flujo de refrigerante hacia el evaporador y, al mismo tiempo, conectando un calentador eléctrico existente dentro del bloque de aletas del evaporador. El uso de un temporizador y/o un termostato de finalización del desescarche permite detener el desescarche cuando la superficie de intercambio de calor esté completamente libre de hielo. Aunque esta solución resulta fácil de instalar y la inversión inicial es baja, los costes de funcionamiento (electricidad) son considerablemente más elevados que los de otras soluciones.

En los sistemas de desescarche por gas caliente, el gas caliente debe inyectarse en el evaporador para eliminar la escarcha superficial. Esta solución requiere más controles automáticos que otros sistemas, pero presenta un coste de funcionamiento mínimo a lo largo del tiempo. Un efecto positivo de la inyección de gas caliente en el evaporador es la extracción y el retorno del aceite. Para asegurar que exista una capacidad adecuada de gas caliente, esta solución solo debe utilizarse en sistemas de refrigeración con tres o más evaporadores. El desescarche únicamente podrá realizarse en un tercio de la capacidad total del evaporador en un momento dado.

Ejemplo de aplicación 5.3.1:
Evaporador DX con sistema de desescarche por gas caliente

- Vapor de refrigerante, HP
- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Vapor de refrigerante, LP

Línea de líquido

- ① Válvula de cierre de entrada de líquido
- ② Filtro
- ③ Válvula solenoide electrónica
- ④ Válvula de expansión
- ⑤ Válvula de cierre de entrada del evaporador

Línea de aspiración

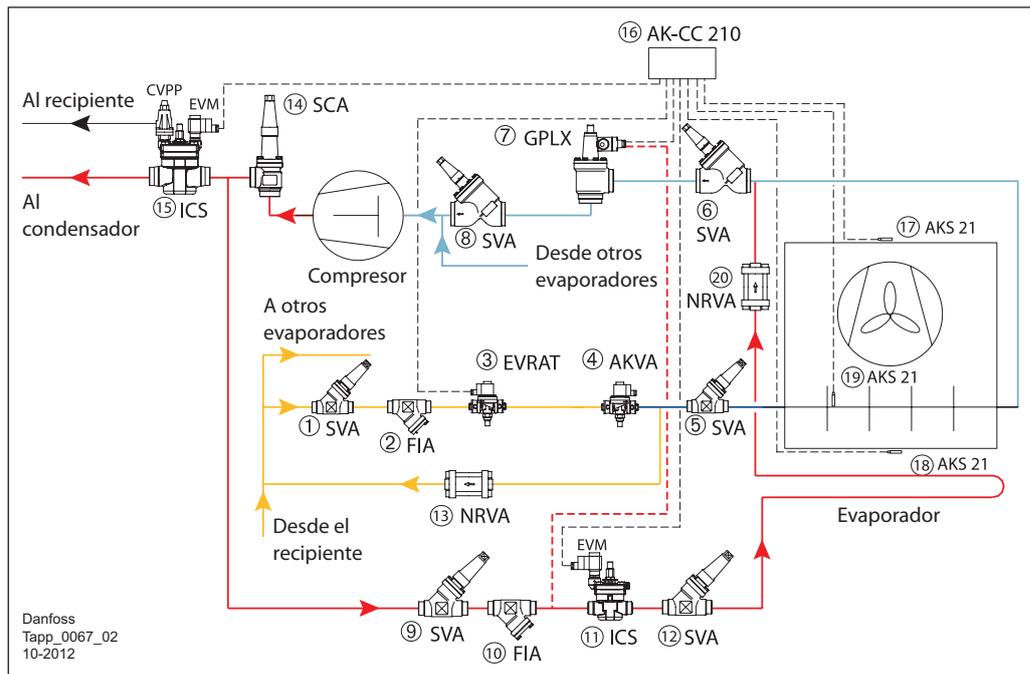
- ⑥ Válvula de cierre de entrada del evaporador
- ⑦ Válvula solenoide de dos etapas
- ⑧ Válvula de cierre de línea de aspiración

Línea de gas caliente

- ⑨ Válvula de cierre
- ⑩ Filtro
- ⑪ Válvula solenoide
- ⑫ Válvula de cierre
- ⑬ Válvula de retención

Línea de descarga

- ⑭ Válvula de retención y cierre manual de la línea de descarga
- ⑮ Regulador de presión diferencial
- ⑯ Controlador
- ⑰ Sensores de temperatura
- ⑱ Sensores de temperatura
- ⑲ Sensores de temperatura
- ⑳ Válvula de retención



El ejemplo de aplicación que se muestra en la figura superior es un sistema evaporador DX con desescarche por gas caliente. Se trata de un método de desescarche poco común, que prácticamente no se utiliza para sistemas de evaporador DX con amoníaco y puede aplicarse en mayor medida a sistemas con refrigerantes fluorados.

Ciclo de refrigeración

La válvula solenoide EVRAT ③ de la línea de líquido se mantiene abierta. La inyección de líquido se controla por medio de la válvula de expansión electrónica AKVA ④.

La válvula solenoide GPLX ⑦ de la línea de aspiración se mantiene abierta y la válvula solenoide de desescarche ICS ⑪ se mantiene cerrada por medio de su válvula solenoide piloto EVM. La válvula de retención NRVA ⑬ evita la formación de hielo en la bandeja colectora.

La válvula servoaccionada ICS ⑮ se mantiene abierta por medio de su válvula solenoide piloto EVM.

Ciclo de desescarche

Tras el inicio del ciclo de desescarche, la válvula solenoide de suministro de líquido EVRAT ③ se cierra.

El ventilador se mantendrá en funcionamiento entre 120 y 600 segundos, en función del tamaño del evaporador, con el fin de bombear el líquido del evaporador.

A continuación, los ventiladores se pararán y la válvula GPLX se cerrará. El gas caliente mantendrá la válvula GPLX ⑦ abierta.

El gas caliente se condensa en la válvula fría y produce líquido encima del pistón de servoaccionamiento. Cuando las válvulas piloto cambian de posición para cerrar la válvula, la presión en el pistón se equilibra con la presión de aspiración.

La compensación requiere un cierto tiempo debido al líquido condensado presente en la válvula. El tiempo exacto entre el cambio de posición de las válvulas piloto y el cierre completo de la válvula depende de la temperatura, la presión, el refrigerante y el tamaño de la válvula.

Por tanto, no resulta posible especificar un tiempo de cierre exacto para las válvulas; sin embargo, cuanto menor es la presión mayor es habitualmente el tiempo de cierre.

Es muy importante tener en cuenta los tiempos de cierre cuando se emplee un sistema de desescarche por gas caliente en los evaporadores.

Además, debe aplicarse un retardo adicional de entre 10 y 20 segundos para que el líquido del evaporador se asiente en el fondo sin burbujas de vapor. A continuación, la válvula solenoide piloto EVM abre la válvula solenoide ICS ⑪ y esta suministra gas caliente al evaporador.

Durante el ciclo de desescarche, la válvula solenoide piloto EVM de la válvula servoaccionada ICS ⑮ se cierra, de forma que la válvula ICS ⑮ se controla mediante la válvula piloto de presión diferencial CVPP.

Acto seguido, la válvula ICS ⑮ crea una presión diferencial Δp entre la presión de gas caliente y la presión del recipiente. Esta caída de presión garantiza que el líquido condensado durante el desescarche se expulse hacia la línea de líquido a través de la válvula de retención NRVA ⑬.

Cuando la temperatura en el evaporador (medida por el sensor AKS 21 ⑲) alcanza el valor ajustado, el desescarche finaliza, la válvula solenoide ICS ⑪ se cierra, la válvula solenoide EVM de la válvula ICS ⑮ se abre y la válvula solenoide GPLX ⑦ también se abre.

Debido a la alta presión diferencial entre el evaporador y la línea de aspiración, es necesario usar una válvula solenoide de dos etapas (por ejemplo, una válvula GPLX o ICLX de Danfoss).

La válvula GPLX/ICLX únicamente tendrá una capacidad del 10 % con una alta presión diferencial, permitiendo que la presión se equilibre antes de abrirse por completo para garantizar un funcionamiento correcto y evitar el flujo intermitente de líquido en la línea de aspiración.

Una vez que la válvula GPLX se abra por completo, la válvula EVRAT ③ se abrirá para reiniciar el ciclo de refrigeración. El ventilador se pondrá en marcha con un cierto retardo, con el fin de congelar las gotas de líquido que hayan quedado en la superficie del evaporador.

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

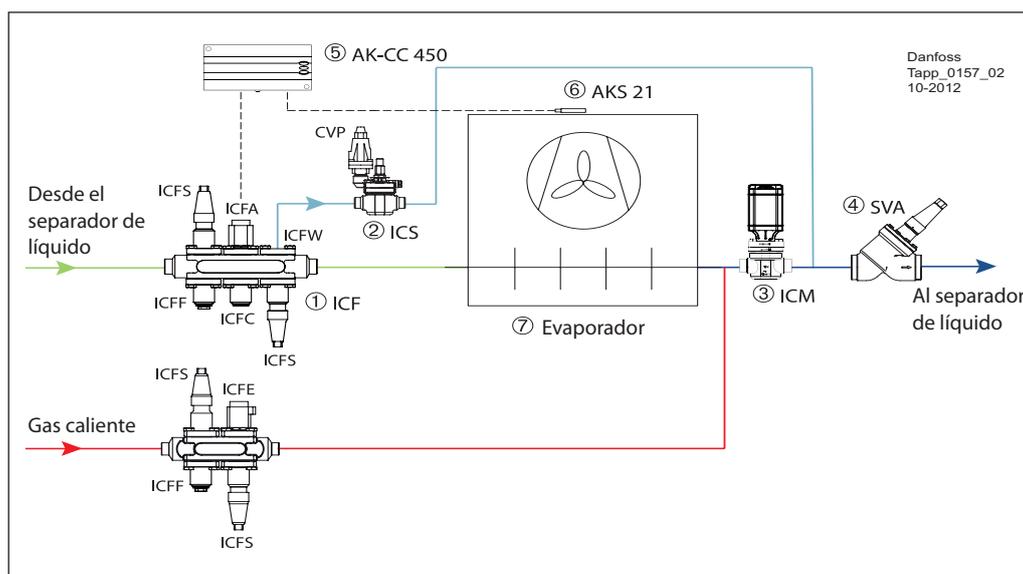
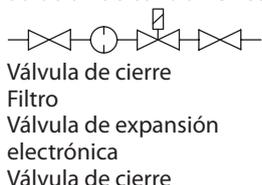
Ejemplo de aplicación 5.3.2:
Inyección de líquido en un enfriador de aire en un sistema inundado empleando una válvula AKVA con modulación del ancho de pulso, con desescarche por gas caliente

- █ Vapor de refrigerante, HP
- █ Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- █ Refrigerante líquido, LP

① Solución de control ICF con:



- ② Regulador de presión
- ③ Regulador de presión
- ④ Válvula de cierre de línea de aspiración
- ⑤ Termostato digital
- ⑥ Sensor de temperatura
- ⑦ Evaporador
- ⑧ Solución de control ICF con:



Danfoss
Tapp_0157_02
10-2012

El ejemplo de aplicación 5.3.2 muestra una instalación para evaporadores de circulación de líquido bombeado con desescarche por gas caliente usando la solución de control ICF. La solución de control ICF permite incluir hasta seis módulos diferentes en un mismo cuerpo y puede instalarse fácilmente.

Ciclo de refrigeración

El módulo solenoide ICFA de la solución ICF ① adapta constantemente la inyección de líquido a la demanda real existente.

La válvula motorizada ICM ③ de la línea de aspiración se mantiene abierta y la válvula solenoide de desescarche ICFE de la solución de control ICF ⑤ se mantiene cerrada.

Ciclo de desescarche

Después del inicio del ciclo de desescarche, el módulo solenoide de suministro de líquido ICFA de la solución de control ICF ① se cierra. El ventilador se mantiene en funcionamiento entre 120 y 600 segundos, dependiendo del tamaño del evaporador, con el fin de bombear el líquido del evaporador. Los ventiladores se detienen y la válvula ICM se cierra. A continuación, se aplica un retardo de entre 10 y 20 segundos para que el líquido del evaporador se asiente en el fondo sin burbujas de vapor. Acto seguido, la válvula solenoide ICFE de la solución de control ICF ⑤ se abre y suministra gas caliente al evaporador.

Durante el ciclo de desescarche, el gas caliente condensado del evaporador se inyecta en el lado de baja presión. La presión de desescarche se controla por medio del conjunto ICS + CVP ②.

Cuando la temperatura en el evaporador alcanza el valor deseado o el temporizador finaliza su cuenta atrás, el desescarche termina, la válvula solenoide ICFE de la solución de control ICF ① se cierra y después de un breve retardo la válvula motorizada ICM ③ se abre.

Debido a la elevada presión diferencial entre el evaporador y la línea de aspiración, es necesario aliviar la presión lentamente para facilitar su compensación antes de la apertura completa; de este modo el funcionamiento continuará correctamente y se evitará el flujo intermitente de líquido a través de la línea de aspiración.

La ventaja de usar la válvula motorizada ICM ③ es que la presión de desescarche se puede equilibrar abriendo lentamente la válvula. Una forma económica de conseguirlo es usar el modo ON/OFF de la válvula ICM y seleccionar una velocidad muy lenta. También se puede lograr usando el modo de modulación, de manera que el módulo PLC controle totalmente el grado de apertura y la velocidad.

Una vez abierta completamente la válvula ICM, la válvula solenoide de suministro de líquido ICFA de la solución de control ICF ① se abre para iniciar el ciclo de refrigeración. El ventilador se pondrá en marcha con un cierto retardo, con el fin de congelar las gotas de líquido que hayan quedado en la superficie del evaporador.

No se muestran todas las válvulas.
La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Datos técnicos

	Válvula servoaccionada pilotada ICS
<i>Material</i>	Cuerpo: acero para bajas temperaturas
<i>Refrigerantes</i>	Todos los refrigerantes comunes, incluidos el R-717 y el R-744
<i>Rango de temp. del medio [°C]</i>	De -60 a 120
<i>Presión de trabajo máx. [bar]</i>	52
<i>DN [mm]</i>	De 20 a 150
<i>Capacidad nominal* [kW]</i>	En la línea de gas caliente: De 20 a 4.000 En la línea de líquido sin cambio de fase: De 55 a 11.300

* Condiciones: R-717, $T_{liq} = 30\text{ °C}$, $P_{desc} = 12\text{ bar}$, $\Delta P = 0,2\text{ bar}$, $T_{desc} = 80\text{ °C}$, $T_e = -10\text{ °C}$ y relación de recirculación = 4.

	Válvula solenoide de dos etapas alimentada por gas GPLX	Válvula solenoide de dos etapas alimentada por gas ICLX
<i>Material</i>	Cuerpo: acero para bajas temperaturas	Cuerpo: hierro fundido para bajas temperaturas
<i>Refrigerantes</i>	Todos los refrigerantes comunes no inflamables, incluido el R-717	Todos los refrigerantes comunes no inflamables, incluido el R-717
<i>Rango de temp. del medio [°C]</i>	De -60 a 150	De -60 a 120
<i>Presión de trabajo máx. [bar]</i>	40	52
<i>DN [mm]</i>	De 80 a 150	De 32 a 150
<i>Capacidad nominal* [kW]</i>	En la línea de aspiración seca: De 442 a 1.910 En la línea de aspiración húmeda: De 279 a 1.205	En la línea de aspiración seca: De 76 a 1.299 En la línea de aspiración húmeda: De 48 a 820

* Condiciones: R-717, $\Delta P = 0,05\text{ bar}$, $T_e = -10\text{ °C}$, $T_{liq} = 30\text{ °C}$ y relación de recirculación = 4.

	Válvula de retención NRVA
<i>Material</i>	Cuerpo: acero
<i>Refrigerantes</i>	Todos los refrigerantes comunes, incluido el R-717
<i>Rango de temp. del medio [°C]</i>	De -50 a 140
<i>Presión de trabajo máx. [bar]</i>	40
<i>DN [mm]</i>	De 15 a 65
<i>Capacidad nominal* [kW]</i>	En la línea de líquido sin cambio de fase: De 160,7 a 2.411

* Condiciones: R-717, $\Delta P = 0,2\text{ bar}$, $T_e = -10\text{ °C}$ y relación de recirculación = 4.

	Filtro FIA
<i>Material</i>	Cuerpo: acero
<i>Refrigerantes</i>	Todos los refrigerantes comunes, incluido el R-717
<i>Rango de temp. del medio [°C]</i>	De -60 a 150
<i>Presión de trabajo máx. [bar]</i>	52
<i>DN [mm]</i>	De 15 a 200
<i>Elemento filtrante</i>	Malla de acero inoxidable de 100/150/250/500 μm

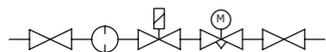
	Válvula motorizada ICM (como válvula de control)
<i>Material</i>	Cuerpo: acero para bajas temperaturas
<i>Refrigerantes</i>	Todos los refrigerantes comunes, incluidos el R-717 y el R-744
<i>Rango de temp. del medio [°C]</i>	De -60 a 120
<i>Presión de trabajo máx. [bar]</i>	52
<i>DN [mm]</i>	De 20 a 150
<i>Capacidad nominal* [kW]</i>	En la línea de gas caliente: De 2,3 a 4.230 En la línea de aspiración húmeda: De 0,85 a 1.570

* Condiciones: R-717, $T_{liq} = 30\text{ °C}$, $P_{desc} = 12\text{ bar}$, $\Delta P = 0,2\text{ bar}$, $T_{desc} = 80\text{ °C}$, $T_e = -10\text{ °C}$ y relación de recirculación = 4.

Ejemplo de aplicación 5.3.4:
Evaporador DX con sistema de desescarche por gas caliente y solución de control ICF/ICM completamente soldada

- Vapor de refrigerante, HP
- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Vapor de refrigerante, LP

① Solución de control ICF para línea de líquido con:



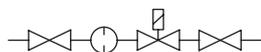
- Válvula de cierre de entrada de líquido
- Filtro
- Válvula solenoide
- Dispositivo de apertura manual
- Válvula de expansión ICM
- Válvula de cierre de entrada del evaporador

② Válvula de cierre de salida del evaporador

③ Regulador de presión (válvula motorizada)

④ Válvula de cierre de línea de aspiración

⑤ Solución de control ICF para línea de gas caliente con:



- Válvula de cierre
- Filtro
- Válvula solenoide
- Válvula de cierre

⑥ Válvula de retención

⑦ Válvula de retención

⑧ Válvula de cierre y retención en la línea de descarga

⑨ Regulador de presión diferencial

⑩ Controlador

⑪ Controlador de recalentamiento

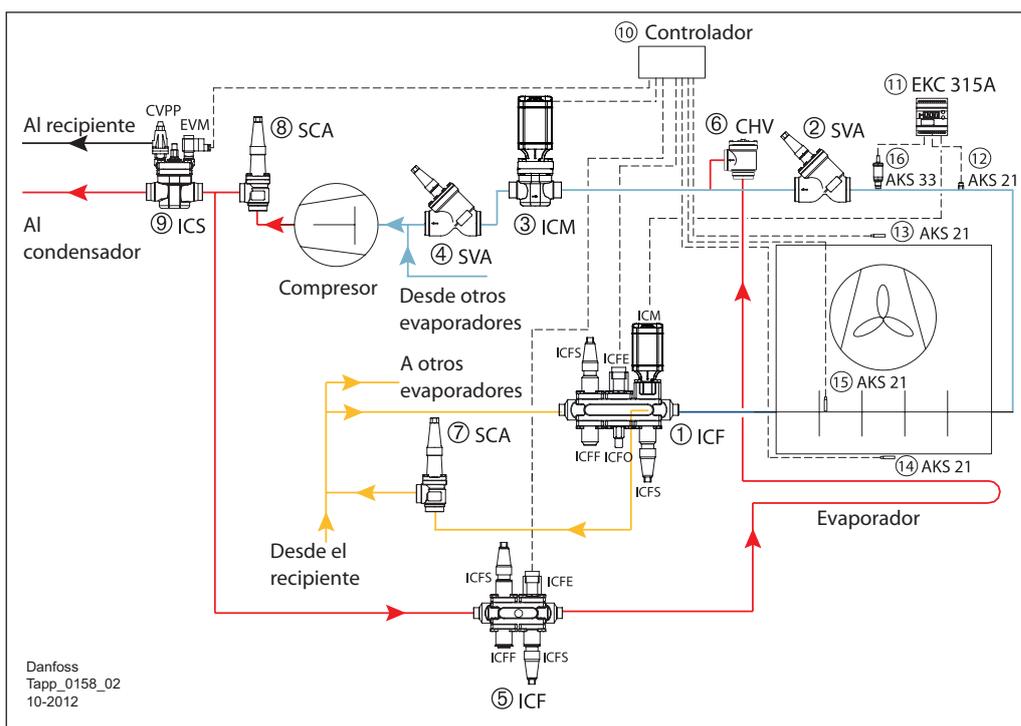
⑫ Sensores de temperatura

⑬ Sensores de temperatura

⑭ Sensores de temperatura

⑮ Sensores de temperatura

⑯ Transmisor de presión



El ejemplo de aplicación 5.3.3 muestra una instalación para evaporadores DX con desescarche por gas caliente usando la solución de control ICF.

La solución de control ICF permite incluir hasta seis módulos diferentes en un mismo cuerpo y puede instalarse fácilmente.

Ciclo de refrigeración

La válvula solenoide ICFE de la solución de control ICF ⑤ de la línea de líquido se mantiene abierta. La inyección de líquido se controla por medio de la válvula motorizada ICM de la solución de control ICF ⑤.

La válvula motorizada ICM ③ de la línea de aspiración se mantiene abierta y la válvula solenoide de desescarche ICFE de la solución de control ICF ⑤ se mantiene cerrada.

La válvula servoaccionada ICS ⑨ se mantiene abierta por medio de su válvula solenoide piloto EVM.

Ciclo de desescarche

Después del inicio del ciclo de desescarche, el módulo solenoide de suministro de líquido ICFE de la solución de control ICF ⑤ se cierra. El ventilador se mantiene en funcionamiento entre 120 y 600 segundos, dependiendo del tamaño del evaporador, con el fin de bombear el líquido del evaporador.

Los ventiladores se detienen y la válvula motorizada ICM ③ se cierra.

Además, debe aplicarse un retardo de entre 10 y 20 segundos para que el líquido del evaporador se asiente en el fondo sin burbujas de vapor. La válvula solenoide ICFE de la solución de control ICF ⑤ se abre a continuación y suministra gas caliente al evaporador.

Durante el ciclo de desescarche, la válvula solenoide piloto EVM de la válvula servoaccionada ICS ⑨ se cierra, de forma que la válvula ICS ⑨ se controla mediante la válvula piloto de presión diferencial CVPP. Acto seguido, la válvula ICS ⑨ crea una presión diferencial Δp entre la presión de gas caliente y la presión del recipiente.

Esta caída de presión garantiza que el líquido condensado durante el desescarche se expulse hacia la línea de líquido a través de la válvula de retención NRVA ⑦.

Cuando la temperatura en el evaporador (medida por el sensor AKS 21) alcanza el valor ajustado, el desescarche finaliza, la válvula solenoide ICS de la solución de control ICF ⑤ se cierra, la válvula solenoide piloto EVM de la válvula ICS ⑨ se abre y la válvula motorizada ICM ③ también se abre.

Debido a la elevada presión diferencial entre el evaporador y la línea de aspiración, es necesario aliviar la presión lentamente para facilitar su compensación antes de la apertura completa; de este modo el funcionamiento continuará correctamente y se evitará el flujo intermitente de líquido a través de la línea de aspiración.

Una de las ventajas de usar una válvula motorizada ICM ③ es que la presión de desescarche se puede equilibrar abriendo lentamente la válvula. Una forma económica de conseguirlo es usar el modo ON/OFF de la válvula ICM y seleccionar una velocidad muy lenta, o usar el modo de modulación, de manera que el módulo PLC controle totalmente el grado de apertura y la velocidad.

Una vez abierta completamente la válvula motorizada ICM ③, la válvula solenoide de suministro de líquido ICFE de la solución de control ICF ⑤ se abre para iniciar el ciclo de refrigeración. El ventilador se pondrá en marcha con un cierto retardo, con el fin de congelar las gotas de líquido que hayan quedado en la superficie del evaporador.

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

5.4 Desescarche por gas caliente para enfriadores de aire con circulación de líquido bombeado

Ejemplo de aplicación 5.4.1: Evaporador de circulación de líquido bombeado con sistema de desescarche por gas caliente

- Vapor de refrigerante, HP
- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Refrigerante líquido, LP

Línea de líquido

- ① Válvula de cierre de entrada de líquido
- ② Filtro
- ③ Válvula solenoide
- ④ Válvula de retención
- ⑤ Válvula de expansión manual
- ⑥ Válvula de cierre la entrada del evaporador

Línea de aspiración

- ⑦ Válvula de cierre de salida del evaporador
- ⑧ Válvula solenoide de dos etapas
- ⑨ Válvula de cierre de línea de aspiración

Línea de gas caliente

- ⑩ Válvula de cierre
- ⑪ Filtro
- ⑫ Válvula solenoide
- ⑬ Válvula de cierre
- ⑭ Válvula de retención

Línea de alivio

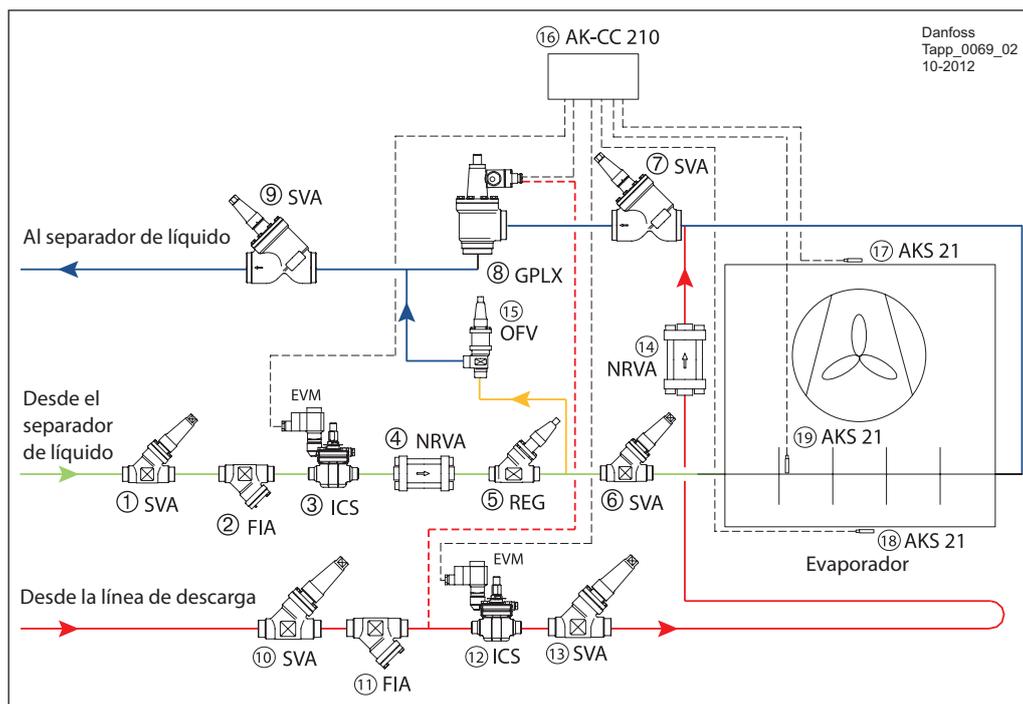
- ⑮ Válvula de alivio

Controles

- ⑯ Controlador
- ⑰ Sensor de temperatura
- ⑱ Sensor de temperatura
- ⑲ Sensor de temperatura

Datos técnicos

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.



El ejemplo de aplicación 5.4.1 muestra una instalación típica para un evaporador de circulación de líquido bombeado con desescarche por gas caliente.

Ciclo de refrigeración

La válvula solenoide ICS ③ de la línea de líquido se mantiene abierta. La inyección de líquido se controla por medio de la válvula de regulación manual REG ⑤.

La válvula solenoide GPLX ⑧ de la línea de aspiración se mantiene abierta y la válvula solenoide de desescarche ICS ② se mantiene cerrada.

Ciclo de desescarche

Tras el inicio del ciclo de desescarche, la válvula solenoide de suministro de líquido ICS ③ se cierra. El ventilador se mantendrá en funcionamiento entre 120 y 600 segundos, en función del tamaño del evaporador, con el fin de bombear el líquido del evaporador.

A continuación, los ventiladores se pararán y la válvula GPLX se cerrará. El gas caliente mantendrá la válvula GPLX ⑧ abierta.

El gas caliente se condensa en la válvula fría y produce líquido encima del pistón de servoaccionamiento. Cuando las válvulas piloto cambian de posición para cerrar la válvula, la presión en el pistón se equilibra con la presión de aspiración.

La compensación requiere un cierto tiempo debido al líquido condensado presente en la válvula. El tiempo exacto entre el cambio de posición de las válvulas piloto y el cierre completo de la válvula depende de la temperatura, la presión, el refrigerante y el tamaño de la válvula.

Por tanto, no resulta posible especificar un tiempo de cierre exacto para las válvulas; sin embargo, cuanto menor es la presión mayor es habitualmente el tiempo de cierre.

Es muy importante tener en cuenta los tiempos de cierre cuando se emplee un sistema de desescarche por gas caliente en los evaporadores.

Además, debe aplicarse un retardo adicional de entre 10 y 20 segundos para que el líquido del evaporador se asiente en el fondo sin burbujas de vapor. A continuación, la válvula solenoide ICS ② se abre y suministra gas caliente al evaporador.

Durante el ciclo de desescarche, la válvula de alivio OFV ⑮ se abre automáticamente en función de la presión diferencial. La válvula de alivio permite que el gas caliente condensado del evaporador se expulse hacia la línea de aspiración húmeda. La válvula de alivio OFV también puede reemplazarse por un regulador de presión ICS + CVP (en función de la capacidad) o una válvula de flotador de alta presión SV 1/3 que solo realice el drenaje de líquido hacia el lado de baja presión.

Cuando la temperatura en el evaporador (medida por el sensor AKS 21 ⑰) alcanza el valor deseado, el desescarche termina, la válvula solenoide ICS ② se cierra y la válvula solenoide de dos etapas GPLX ⑧ se abre.

Una vez abierta completamente la válvula GPLX, la válvula solenoide de suministro de líquido ICS ③ se abre para iniciar el ciclo de refrigeración. El ventilador se pondrá en marcha con un cierto retardo, con el fin de congelar las gotas de líquido que hayan quedado en la superficie del evaporador.

La válvula ICLX realiza la misma función (válvula solenoide de dos etapas) que la válvula GPLX. La válvula GPLX/ICLX únicamente tendrá una capacidad del 10 % con una alta presión diferencial, permitiendo que la presión se equilibre antes de abrirse por completo para garantizar un funcionamiento correcto y evitar el flujo intermitente de líquido en la línea de aspiración.

	Válvula de alivio OFV
Material	Cuerpo: acero
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes, incluido el R-717
Rango de temp. del medio [°C]	De -50 a 150
Presión de trabajo máx. [bar]	40
DN [mm]	20/25
Rango de presión diferencial de apertura [bar]	De 2 a 8

Ejemplo de aplicación 5.4.2:
Evaporador de circulación por bomba con sistema de desescarche por gas caliente, estación de válvulas ICF y válvula de flotador SV 1/3

- Vapor de refrigerante, HP
- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Refrigerante líquido, LP

① Solución de control ICF para línea de líquido con:



- Válvula de cierre de entrada de líquido
- Filtro
- Válvula solenoide
- Válvula de retención
- Válvula de regulación manual
- Válvula de cierre de entrada del evaporador

② Válvula de cierre de salida del evaporador

③ Válvula solenoide de dos etapas

④ Válvula de cierre de línea de aspiración

⑤ Solución de control ICF para línea de gas caliente con:



- Válvula de cierre
- Filtro
- Válvula solenoide
- Válvula de cierre

⑥ Válvula de retención

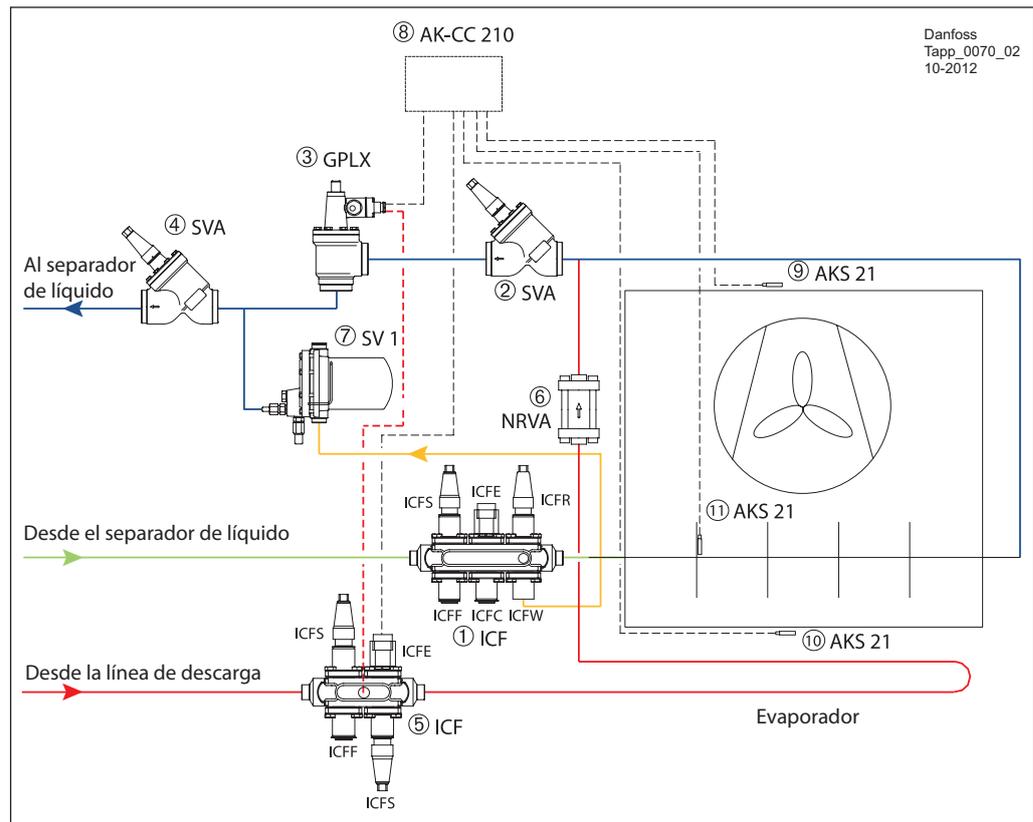
⑦ Válvula de flotador

⑧ Controlador

⑨ Sensores de temperatura

⑩ Sensores de temperatura

⑪ Sensores de temperatura



Danfoss
Tapp_0070_02
10-2012

El ejemplo de aplicación 5.4.2 muestra una instalación para evaporadores de circulación de líquido bombeado con desescarche por gas caliente con la nueva solución de control ICF y la válvula de flotador SV 1/3.

La solución ICF permite incluir hasta seis módulos diferentes en un mismo cuerpo y constituye una solución de control compacta y de fácil instalación.

Ciclo de refrigeración

La válvula solenoide ICFE de la solución de control ICF ① de la línea de líquido se mantiene abierta. La inyección de líquido se controla por medio de la válvula de regulación manual ICFR de la solución de control ICF ①.

La válvula solenoide GPLX ③ de la línea de aspiración se mantiene abierta y la válvula solenoide de desescarche ICFE de la solución de control ICF ⑤ se mantiene cerrada.

Ciclo de desescarche

Después del inicio del ciclo de desescarche, el módulo solenoide de suministro de líquido ICFE de la solución de control ICF ① se cierra. El ventilador se mantendrá en funcionamiento entre 120 y 600 segundos, en función del tamaño del evaporador, con el fin de bombear el líquido del evaporador.

A continuación, los ventiladores se pararán y la válvula GPLX se cerrará. El gas caliente mantendrá la válvula GPLX ③ abierta.

El gas caliente se condensa en la válvula fría y produce líquido encima del pistón de servoaccionamiento. Cuando las válvulas piloto cambian de posición para cerrar la válvula, la presión en el pistón se equilibra con la presión de aspiración.

La compensación requiere un cierto tiempo debido al líquido condensado presente en la válvula. El tiempo exacto entre el cambio de posición de las válvulas piloto y el cierre completo de la válvula depende de la temperatura, la presión, el refrigerante y el tamaño de la válvula.

Por tanto, no resulta posible especificar un tiempo de cierre exacto para las válvulas; sin embargo, cuanto menor es la presión mayor es habitualmente el tiempo de cierre.

Es muy importante tener en cuenta los tiempos de cierre cuando se emplee un sistema de desescarche por gas caliente en los evaporadores.

Además, debe aplicarse un retardo adicional de entre 10 y 20 segundos para que el líquido del evaporador se asiente en el fondo sin burbujas de vapor. Acto seguido, la válvula solenoide ICFE de la solución de control ICF ⑤ se abre y suministra gas caliente al evaporador.

Durante el ciclo de desescarche, el gas caliente condensado del evaporador se inyecta en el lado de baja presión. La inyección la controla la válvula de flotador de alta presión SV 1 o 3 ⑦, completa con un kit interno especial. En comparación con la válvula de alivio OFV de la solución 5.4.1, esta válvula de flotador controla el alivio de acuerdo con el nivel de líquido en la cámara del flotador.

El uso de una válvula de flotador asegura que el gas caliente no abandone el evaporador hasta que se haya licuado, lo que produce un aumento del rendimiento total. Además, la válvula de flotador está diseñada específicamente para el control modulante, por lo que constituye una solución de control muy estable.

Cuando la temperatura en el evaporador (medida por el sensor AKS 21 ⑩) alcanza el valor deseado, el desescarche termina, la válvula solenoide ICFE de la solución de control ICF ⑤ se cierra y después de un breve retardo la válvula motorizada GPLX ③ se abre.

Una vez abierta completamente la válvula GPLX, la válvula solenoide de suministro de líquido ICFE de la solución de control ICF ① se abre para iniciar el ciclo de refrigeración. El ventilador se pondrá en marcha con un cierto retardo, con el fin de congelar las gotas de líquido que hayan quedado en la superficie del evaporador.

La válvula ICLX realiza la misma función (válvula solenoide de dos etapas) que la válvula GPLX. La válvula GPLX/ICLX únicamente tendrá una capacidad del 10 % con una alta presión diferencial, permitiendo que la presión se equilibre antes de abrirse por completo para garantizar un funcionamiento correcto y evitar el flujo intermitente de líquido en la línea de aspiración.

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Ejemplo de aplicación 5.4.3:
Evaporador de circulación por bomba con sistema de desescarche por gas caliente, totalmente soldado, con estación de válvulas ICF y válvula ICS con válvula piloto CVP

- Vapor de refrigerante, HP
- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Refrigerante líquido, LP

① Solución de control ICF para línea de líquido con:



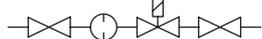
- Válvula de cierre de entrada de líquido
- Filtro
- Válvula solenoide
- Válvula de retención
- Válvula de regulación manual
- Válvula de cierre de entrada del evaporador

② Válvula de cierre de salida del evaporador

③ Regulador de presión (válvula motorizada)

④ Válvula de cierre de línea de aspiración

⑤ Solución de control ICF para línea de gas caliente con:



- Válvula de cierre
- Filtro
- Válvula solenoide
- Válvula de cierre

⑥ Válvula de retención

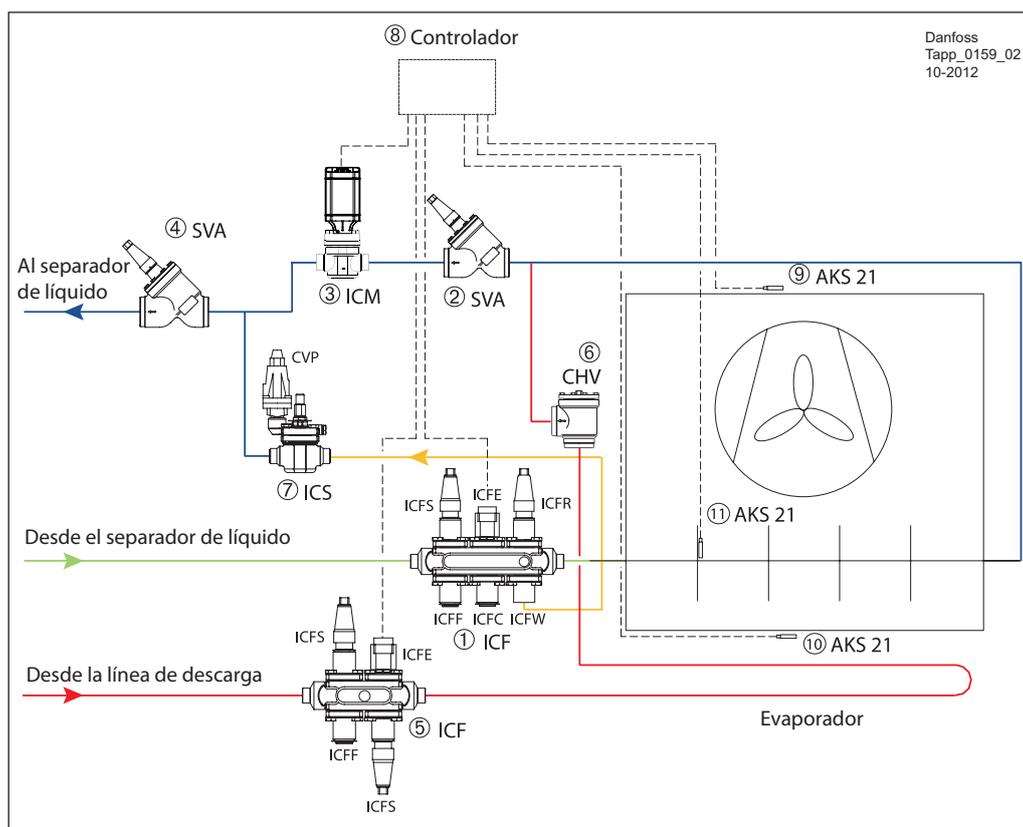
⑦ Regulador de presión

⑧ Controlador

⑨ Sensores de temperatura

⑩ Sensores de temperatura

⑪ Sensores de temperatura



El ejemplo de aplicación 5.4.3 muestra una instalación para evaporadores de circulación de líquido bombeado con desescarche por gas caliente usando la nueva solución de control ICF.

La solución de control ICF permite incluir hasta seis módulos diferentes en un mismo cuerpo y puede instalarse fácilmente.

Ciclo de refrigeración

La válvula solenoide ICFE de la solución de control ICF ① de la línea de líquido se mantiene abierta. La inyección de líquido se controla por medio de la válvula de regulación manual ICFR de la solución de control ICF ①.

La válvula motorizada ICM ③ de la línea de aspiración se mantiene abierta y la válvula solenoide de desescarche ICFE de la solución de control ICF ⑤ se mantiene cerrada.

Ciclo de desescarche

Después del inicio del ciclo de desescarche, el módulo solenoide de alimentación de líquido ICFE de la solución de control ICF ① se cierra. El ventilador se mantiene en funcionamiento entre 120 y 600 segundos, dependiendo del tamaño del evaporador, con el fin de bombear el líquido del evaporador. Los ventiladores se detienen y la válvula ICM se cierra. Además, debe aplicarse un retardo de entre 10 y 20 segundos para que el líquido del evaporador se asiente en el fondo sin burbujas de vapor. La válvula solenoide ICFE de la solución de control ICF ⑤ se abre a continuación y suministra gas caliente al evaporador.

Durante el ciclo de desescarche, el gas caliente condensado del evaporador se inyecta en el lado de baja presión. La presión de desescarche se controla por medio del conjunto ICS + CVP ⑦.

Cuando la temperatura en el evaporador (medida por el sensor AKS 21) alcanza el valor deseado, el desescarche termina, la válvula solenoide ICFE de la solución de control ICF ⑤ se cierra y después de un breve retardo la válvula motorizada ICM ③ se abre.

Debido a la elevada presión diferencial entre el evaporador y la línea de aspiración, es necesario aliviar la presión lentamente para facilitar su compensación antes de la apertura completa; de este modo el funcionamiento continuará correctamente y se evitará el flujo intermitente de líquido a través de la línea de aspiración.

La ventaja de usar la válvula motorizada ICM ③ es que la presión de desescarche se puede equilibrar abriendo lentamente la válvula. Una forma económica de conseguirlo es usar el modo ON/OFF de la válvula ICM y seleccionar una velocidad muy lenta. También se puede lograr usando el modo de modulación, de manera que el módulo PLC controle totalmente el grado de apertura y la velocidad.

Una vez abierta completamente la válvula ICM, la válvula solenoide de suministro de líquido ICFE de la solución de control ICF ① se abre para iniciar el ciclo de refrigeración. El ventilador se pondrá en marcha con un cierto retardo, con el fin de congelar las gotas de líquido que hayan quedado en la superficie del evaporador.

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

5.5
Conversión de
multitemperatura

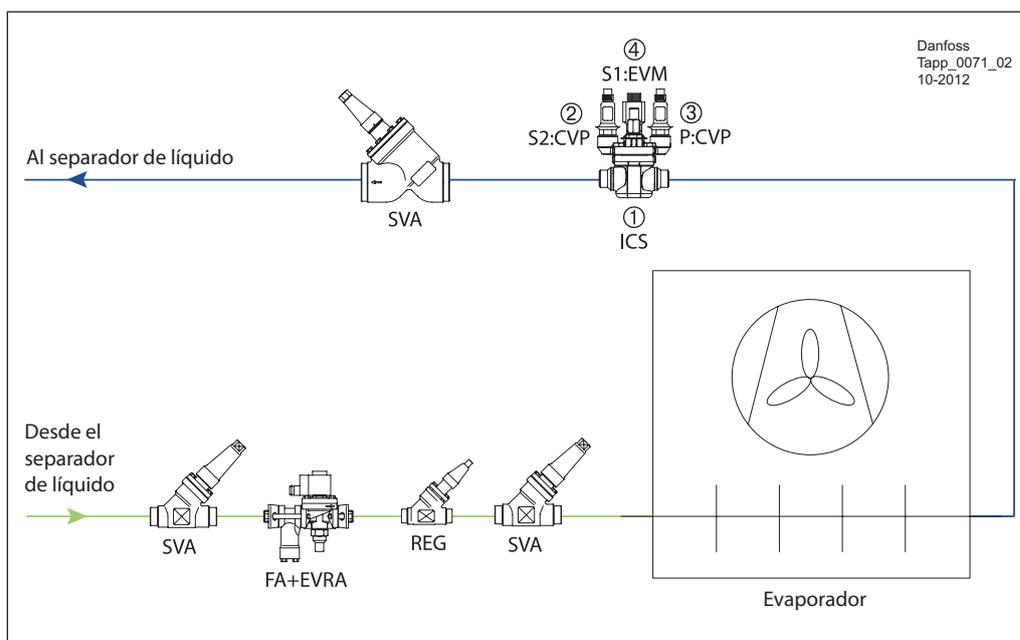
En los procesos industriales, es muy común usar un evaporador para diferentes ajustes de temperatura.

Cuando un evaporador debe funcionar a dos presiones de evaporación diferentes fijas, esto puede conseguirse usando una válvula servoaccionada ICS con dos válvulas piloto de presión constante.

Ejemplo de aplicación 5.5.1:
Control de la presión de evaporación con conversión entre dos presiones

■ Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
■ Refrigerante líquido, LP

- ① Válvula de regulación de presión
- ② Válvula piloto de regulación de presión
- ③ Válvula piloto de regulación de presión
- ④ Válvula solenoide piloto



Danfoss
Tapp_0071_02
10-2012

El ejemplo de aplicación 5.5.1 muestra una solución para controlar dos presiones de evaporación en evaporadores. Esta solución puede utilizarse para evaporadores DX o de circulación de líquido bombeado con cualquier tipo de sistema de desescarche.

La válvula servoaccionada ICS incorpora una válvula solenoide piloto EVM (NC) en la conexión S1 y dos válvulas piloto de presión constante CVP en las conexiones S2 y P, respectivamente.

La válvula CVP de la conexión S2 se ajusta a la presión de funcionamiento más baja, mientras que la de la conexión P se ajusta a la presión de funcionamiento más alta.

Cuando el solenoide de la conexión S1 se energice, la presión del evaporador se adaptará al ajuste de la válvula piloto CVP de la conexión S1. Cuando el solenoide se desenergice, la presión del evaporador se regirá por el ajuste de la válvula piloto CVP de la conexión P.

Ejemplo:

	I	II
Temperatura de salida del aire	+3 °C	+8 °C
Temperatura de evaporación	-2 °C	+2 °C
Cambio de temperatura	5 K	6 K
Refrigerante	R 717	R 717
Presión de evaporación	3,0	3,6

S2: válvula piloto CVP ajustada a 3,0 bar; y,
P: válvula piloto CVP ajustada a 3,6 bar.

- I: La válvula piloto EVM se abre.
Por tanto, la válvula piloto CVP de la conexión S2 controla la presión de evaporación.
- II: La válvula piloto EVM se cierra.
Por tanto, la válvula piloto CVP de la conexión P controla la presión de evaporación.

No se muestran todas las válvulas.
La información no debe utilizarse con fines de construcción.

5.6 Control de la temperatura del medio

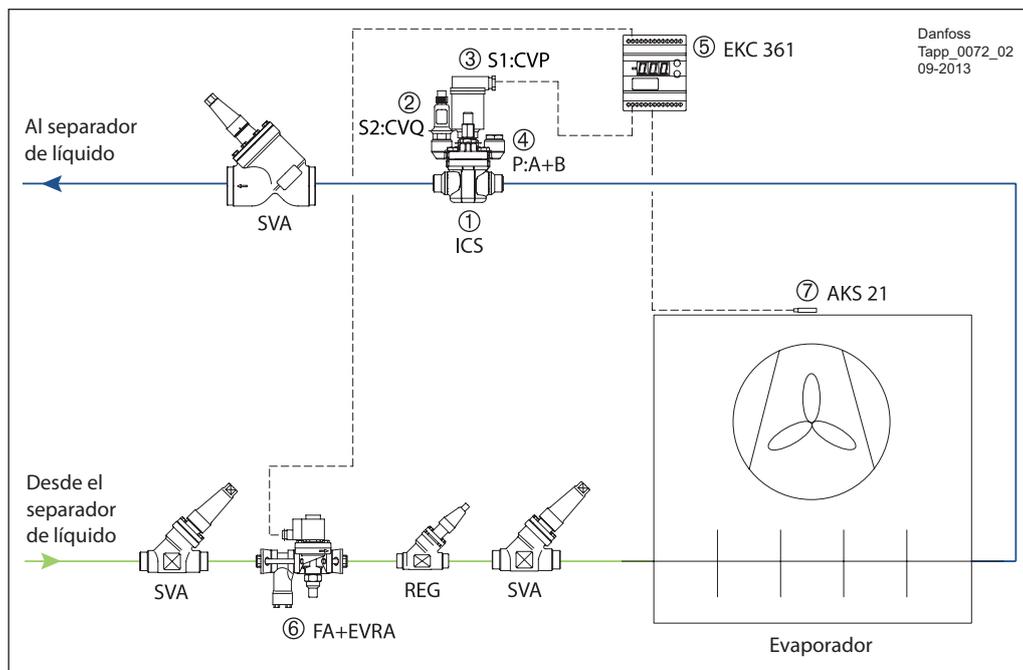
Suministramos soluciones para aquellos casos en los que existen requisitos estrictos de control preciso de la temperatura asociados a los sistemas de refrigeración. Por ejemplo:

- Cámaras frigoríficas para frutas y productos alimenticios.
- Instalaciones del sector alimenticio.
- Refrigeración de proceso de líquidos.

Ejemplo de aplicación 5.6.1: Control de la temperatura del medio usando una válvula pilotada ICS

- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Refrigerante líquido, LP

- ① Válvula de regulación de presión
- ② Válvula piloto de regulación de presión
- ③ Válvula piloto electrónica
- ④ Tapón obturador
- ⑤ Controlador
- ⑥ Válvula solenoide con filtro
- ⑦ Sensor de temperatura



Danfoss
Tapp_0072_02
09-2013

El ejemplo de aplicación 5.6.1 muestra una solución para conseguir un control exacto de la temperatura del medio. Además, existe la necesidad de proteger el evaporador frente a presiones demasiado bajas para evitar la congelación de los productos de la aplicación.

Esta solución puede usarse para evaporadores DX o de circulación de líquido bombeado con cualquier tipo de sistema de desescarche.

En la conexión S2 existe una válvula de control ICS 3 con una válvula piloto CVQ, controlada por un controlador de temperatura del medio EKC 361, mientras que en la conexión S1 hay una válvula piloto CVP. La conexión P se aísla usando el tapón obturador A+B.

La válvula piloto CVP se ajusta de acuerdo con la presión más baja admisible para la aplicación.

El controlador de temperatura del medio EKC 361 controlará la temperatura en la aplicación según el valor deseado; para ello, regulará la apertura de la válvula piloto CVQ y, de esa manera, la presión de evaporación para equilibrar la carga de enfriamiento requerida y la temperatura.

Esta solución controlará la temperatura con una precisión de $\pm 0,25$ °C. Si la temperatura cae por debajo de este rango, el controlador EKC puede cerrar la válvula solenoide de la línea de líquido.

El controlador de temperatura del medio EKC 361 controlará todas las funciones del evaporador, incluidos el termostato y las alarmas.

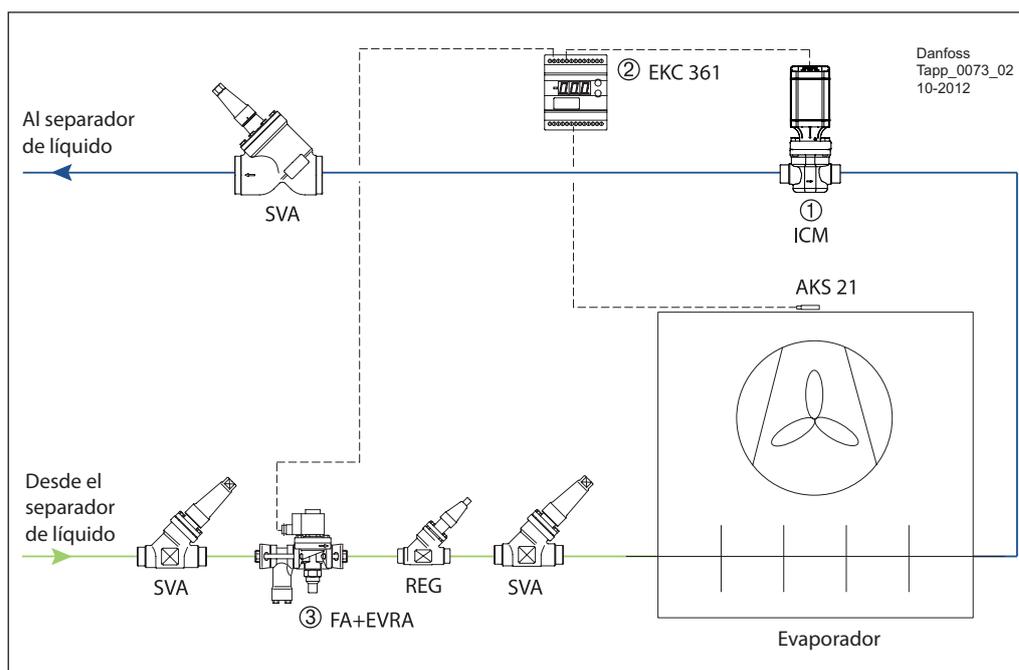
Para obtener más información, consulte el manual del controlador EKC 361.

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Ejemplo de aplicación 5.6.2:
Control de la temperatura del medio usando una válvula de accionamiento directo

■ Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
■ Refrigerante líquido, LP

- ① Regulador de presión (válvula motorizada)
- ② Controlador
- ③ Válvula solenoide con filtro



El ejemplo de aplicación 5.6.2 muestra una solución para conseguir un control exacto de la temperatura del medio sin control de arranque/parada.

Este diseño puede usarse para evaporadores DX o de circulación de líquido bombeado con cualquier tipo de sistema de desescarche.

Para ello se utiliza una válvula motorizada ICM controlada por un controlador de temperatura del medio EKC 361.

El controlador de temperatura del medio EKC 361 controlará la temperatura en la aplicación según el valor deseado; para ello, regulará el grado de apertura de la válvula motorizada ICM y, de esa manera, la presión de evaporación para equilibrar la carga de enfriamiento requerida y la temperatura.

Esta solución controlará la temperatura del medio con una precisión de $\pm 0,25$ °C. Si la temperatura cae por debajo de este rango, el controlador EKC puede cerrar la válvula solenoide de la línea de líquido.

El controlador de temperatura del medio EKC 361 controlará todas las funciones del evaporador, incluidos el termostato y las alarmas.

Para obtener más información, consulte el manual específico del controlador EKC 361.

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

5.7

Resumen

Solución		Aplicación	Ventajas	Limitaciones
Control de expansión directa				
Evaporador DX con control de expansión termostático con válvulas TEA y EVRA y controlador EKC 202		Todos los sistemas DX.	Instalación sencilla sin separador y sistema de bombeo.	Capacidad y eficiencia más bajas que las de los sistemas de circulación. Incompatible con refrigerantes inflamables.
Evaporador DX con control de expansión electrónico con solución ICM/ICF, válvula EVRA y controlador EKC 315A		Todos los sistemas DX.	Recalentamiento optimizado. Respuesta rápida. Posibilidad de control remoto. Rango de capacidad amplio.	Incompatible con refrigerantes inflamables.
Control de circulación de líquido bombeado				
Evaporador de circulación de líquido bombeado con control de expansión con válvulas REG y EVRA y controlador EKC 202		Sistemas de circulación por bomba.	Evaporador de elevada capacidad y eficiencia.	Fluctuaciones y alta carga de refrigerante.
Control del desescarche por gas caliente: enfriadores de aire DX				
Evaporador DX con sistema de desescarche por gas caliente		Todos los sistemas DX.	Desescarche rápido. El gas caliente puede extraer los restos de aceite del evaporador de baja temperatura.	No apto para sistemas con menos de 3 evaporadores.
Control del desescarche por gas caliente: enfriadores de aire de circulación de líquido bombeado				
Evaporador de circulación de líquido bombeado con desescarche por gas caliente		Todos los sistemas con circulación por bomba.	Desescarche rápido. El gas caliente puede extraer los restos de aceite del evaporador de baja temperatura.	No apto para sistemas con menos de 3 evaporadores.
Evaporador de circulación de líquido bombeado con desescarche por gas caliente controlado por una válvula SV 1/3		Todos los sistemas con circulación por bomba.	Desescarche rápido. El gas caliente puede extraer los restos de aceite del evaporador de baja temperatura. La válvula de flotador es eficiente y estable a la hora de regular el flujo de gas caliente.	No apto para sistemas con menos de 3 evaporadores.
Conversión de multitemperatura				
Control de multitemperatura con válvula ICS y válvulas piloto CVP		Evaporadores que necesitan trabajar con diferentes niveles de temperatura.	El evaporador puede alternar entre dos niveles de temperatura diferentes.	Caída de presión en la línea de aspiración.
Control de temperatura del medio				
Control de temperatura del medio con válvula ICS y válvulas piloto CVQ y CVP		Control de temperatura muy preciso, combinado con una protección de presión mínima (formación de escarcha). Existe la opción de que pueda funcionar a diferentes temperaturas.	La válvula piloto CVQ controla con precisión la temperatura. La válvula piloto CVP puede mantener la presión por encima del nivel mínimo admisible.	Caída de presión en la línea de aspiración.
Control de temperatura del medio con válvula motorizada ICM		Control de temperatura muy preciso. Existe la opción de que pueda funcionar a diferentes temperaturas.	La válvula ICM consigue un control muy preciso de la temperatura gracias al ajuste del grado de apertura.	La capacidad máxima corresponde a la válvula ICM 65.

5.8
Documentos de referencia

Puede encontrar una descripción por orden alfabético de todos los documentos de referencia en la página 146.

Folleto técnico/manual

Tipo	Código del documento
AKS 21	RK0YG
AKS 33	RD5GH
AKVA	PD.VA1.B
CVP	PD.HN0.A
CVQ	PD.HN0.A
EVM	PD.HN0.A
EKC 202	RS8DZ
EKC 315A	RS8CS
EKC 361	RS8AE
EVRA(T)	PD.BM0.B
FA	PD.FM0.A

Tipo	Código del documento
FIA	PD.FN1.A
GPLX	PD.BO0.A
ICF	PD.FT1.A
ICM	PD.HT0.B
ICS	PD.HS2.A
NRVA	PD.FK0.A
OFV	PD.HQ0.A
ICLX	PD.HS1.A
REG	PD.KM1.A
SV 1-3	PD.GE0.B
SVA	PD.KD1.A
TEA	PD.AJ0.A

Instrucciones del producto

Tipo	Código del documento
AKS 21	RI14D
AKS 32R	PI.SB0.A
AKS 33	PI.SB0.A
AKVA	PI.VA1.C / PI.VA1.B
CVP	PI.HN0.C
CVQ	PI.VH1.A
EVM	PI.HN0.N
EKC 202	RI8JV
EKC 361	RI8BF
EVRA(T)	PI.BN0.L
FA	PI.FM0.A

Tipo	Código del documento
FIA	PI.FN1.A
GPLX	PI.BO0.A
ICF	PI.FT0.C
ICM 20-65	PI.HT0.A
ICM 100-150	PI.HT0.B
ICS 25-65	PI.HS0.A
ICS 100-150	PI.HS0.B
NRVA	PI.FK0.A
OFV	PI.HX0.B
ICLX	PI.HS1.A/B
REG	PI.KM1.A
SV 1-3	PI.GE0.C
SVA	PI.KD1.A
TEA	PI.AJ0.A

Para descargar la versión más reciente de los documentos, visite el sitio web de Danfoss.

6. Sistemas de aceite

Los compresores de refrigeración industrial generalmente se lubrican con aceite, que se hace llegar mediante una bomba de aceite o por la diferencia de presión entre los lados de alta y baja presión a las piezas móviles de los compresores (cojinetes, rotores, paredes de los cilindros, etc.). Con el fin de garantizar un funcionamiento fiable y eficiente del compresor, se deben controlar los siguientes parámetros del aceite:

- Temperatura del aceite: Debe mantenerse dentro de los límites especificados por el fabricante. El aceite debe tener la viscosidad correcta y la temperatura se debe mantener por debajo del punto de inflamación.
- Presión del aceite: La diferencia de presión de aceite se debe mantener por encima del nivel mínimo aceptable.

Generalmente existen algunos componentes y equipos de soporte en los sistemas de refrigeración

para la limpieza del aceite, la separación del aceite del refrigerante, el retorno del aceite desde el lado de baja presión y la compensación del nivel de aceite en sistemas con varios compresores de pistón, así como puntos de drenaje de aceite. La mayor parte de estos los suministra el fabricante del compresor.

El diseño del sistema de aceite de una planta de refrigeración industrial depende del tipo de compresor (de tornillo o pistón) y del refrigerante (amoníaco, HFC/HCFC o CO₂). Habitualmente se emplea aceite inmisible para el amoníaco y miscible para los refrigerantes fluorados. Como los sistemas de aceite están muy relacionados con los compresores, algunos de los puntos mencionados anteriormente se tratan en los controles de compresores (sección 2) y los sistemas de seguridad (sección 7).

6.1 Refrigeración de aceite

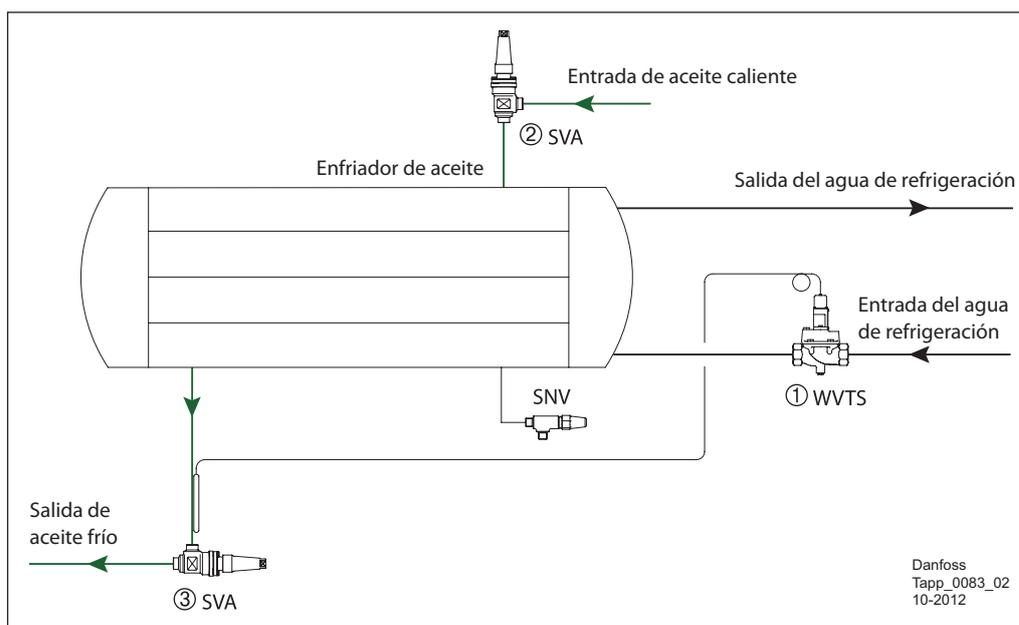
Los compresores de refrigeración (incluidos todos los compresores de tornillo y algunos compresores de pistón) requieren generalmente refrigeración de aceite. Las temperaturas de descarga demasiado altas pueden dañar el aceite, lo que a su vez provocará daños en el compresor. También es importante que el aceite tenga la viscosidad correcta, lo que depende en gran parte del valor de temperatura. Esto no es suficiente para mantener la temperatura por debajo del límite crítico, sino que también es necesario controlarlo. Normalmente, la temperatura del aceite la especifica el fabricante del compresor.

Existen diversos tipos de sistemas de refrigeración de aceite usados en aplicaciones de refrigeración. Los tipos más comunes son:

- Refrigeración con agua.
- Refrigeración con aire.
- Refrigeración con termosifón.

El aceite también puede enfriarse mediante inyección de refrigerante líquido directamente en la conexión intermedia del compresor. Para los compresores de pistón, es bastante común que no exista ningún sistema de refrigeración de aceite especial, ya que la temperatura es menos crítica que para los compresores de tornillo, en los que el aceite se enfría en el cárter.

Ejemplo de aplicación 6.1.1:
Refrigeración de aceite con agua



— Agua
— Aceite

- ① Válvula de agua
- ② Válvula de cierre
- ③ Válvula de cierre

Este tipo de sistemas normalmente se usan en plantas que disponen de fuentes de agua baratas. Por otra parte, es necesario instalar una torre de refrigeración para enfriar el agua. Los enfriadores de aceite refrigerados por agua son bastante comunes en las plantas de refrigeración marinas.

Contacte con su distribuidor local Danfoss para verificar la compatibilidad de los componentes que vayan a utilizarse con agua marina como medio de refrigeración.

El flujo de agua se controla mediante una válvula de agua WVTS ① que actúa en función de la temperatura del aceite.

Datos técnicos

	Válvula de agua WVTS
Material	Cuerpo de la válvula: hierro fundido
Medio	Agua potable y salmuera neutra
Presión de trabajo máx. [bar]	10
Rango de temp. de funcionamiento [°C]	Bulbo: de 0 a 90 Líquido: de -25 a 90
DN [mm]	De 32 a 100
Valor K, máx. [m ³ /h]	De 12,5 a 125

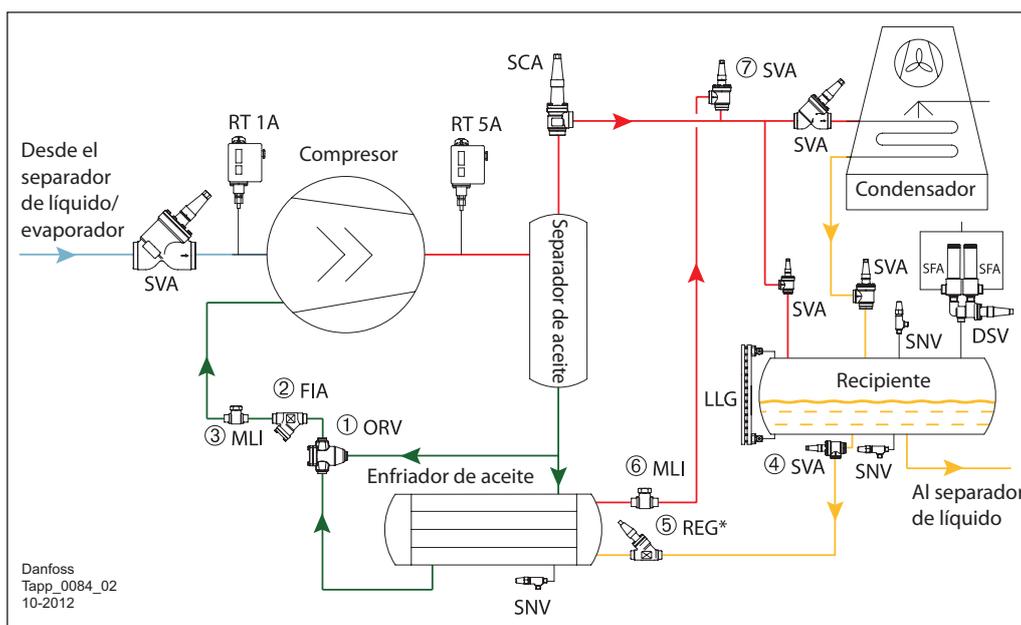
	Válvula de agua AVTA
Medio	Agua potable y salmuera neutra
Presión de trabajo máx. [bar]	16
Rango de temp. de funcionamiento [°C]	Bulbo: de 0 a 90 Líquido: de -25 a 130
DN [mm]	De 10 a 25
Valor K, máx. [m ³ /h]	De 1,4 a 5,5

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Ejemplo de aplicación 6.1.2:
Refrigeración de aceite con
termosifón

- Vapor de refrigerante, HP
- Refrigerante líquido, HP
- Vapor de refrigerante, LP
- Aceite

- ① Válvula reguladora de aceite
- ② Filtro
- ③ Visor de líquido
- ④ Válvula de cierre
- ⑤ Válvula de regulación manual
- ⑥ Visor de líquido
- ⑦ Válvula de cierre



Estos sistemas resultan muy cómodos, ya que el aceite se enfría en su interior. Solo es necesario aumentar el tamaño del condensador de acuerdo con la cantidad de calor absorbida del enfriador de aceite. Por otra parte, la refrigeración de aceite con termosifón requiere un sistema de tuberías adicional en las instalaciones y algunas veces exige instalar un recipiente prioritario adicional (si no existe recipiente de líquido a alta presión o está situado a un nivel demasiado bajo).

El refrigerante líquido a alta presión fluye por gravedad desde el recipiente hasta el enfriador de aceite, donde se evapora y enfría el aceite. El vapor de refrigerante vuelve al recipiente o, en ciertos casos, a la entrada del condensador. Es esencial que la caída de presión en las tuberías de alimentación y retorno sea mínima.

De lo contrario, el refrigerante no retornará del enfriador de aceite y el sistema no funcionará. Solo debe instalarse el número imprescindible de válvulas de cierre SVA. No se permiten válvulas solenoides dependientes de la presión. Se recomienda instalar en la tubería de retorno un visor de líquido MLI ⑥.

La temperatura del aceite se mantiene en el valor correcto mediante la válvula de tres vías ORV ①. La válvula ORV mantiene la temperatura del aceite dentro de los límites definidos por su elemento termostático. Si la temperatura del aceite se eleva demasiado, todo el aceite retornará al enfriador de aceite. Si es demasiado baja, todo el flujo de aceite circulará por un *bypass* con respecto al enfriador de aceite.

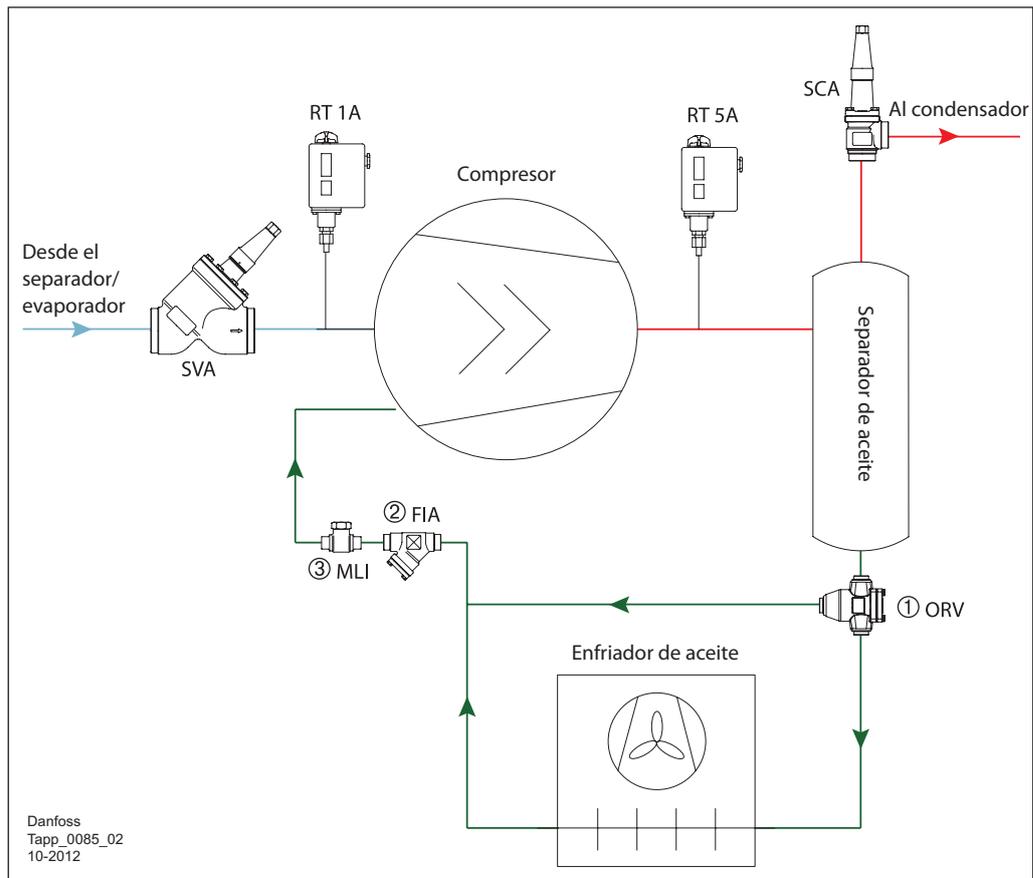
* La válvula de regulación REG puede ser útil si el enfriador del aceite está excesivamente sobredimensionado.

Datos técnicos

	Válvula de regulación de aceite ORV
Materiales	Cuerpo de la válvula: acero resistente al frío
Medio	Todos los aceites de refrigeración y refrigerantes comunes, incluido el R-717
Presión de trabajo máx. [bar]	40
Rango de temperatura [°C]	Funcionamiento continuo: De -10 a 85 Funcionamiento breve: De -10 a 120
DN [mm]	De 25 a 80

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Ejemplo de aplicación 6.1.3:
Refrigeración de aceite con aire



— Vapor de refrigerante, HP
— Vapor de refrigerante, LP
— Aceite

- ① Válvula reguladora de aceite
- ② Filtro
- ③ Visor de líquido

Es muy común utilizar enfriadores de aceite refrigerados por aire en los grupos de refrigeración de compresores de tornillo semiherméticos.

En este caso, la válvula ORV divide el flujo desde el separador de aceite y realiza el control de acuerdo con los cambios de la temperatura de descarga del aceite.

No se muestran todas las válvulas.
La información no debe utilizarse con fines de construcción.

La válvula de temperatura de aceite se controla mediante la válvula reguladora de aceite ORV ①.

6.2 Control de la presión diferencial de aceite

Durante el funcionamiento normal del compresor de refrigeración, la circulación del aceite se consigue mediante la bomba de aceite y/o la diferencia de presión entre los lados de alta y baja presión. La fase más crítica es el arranque.

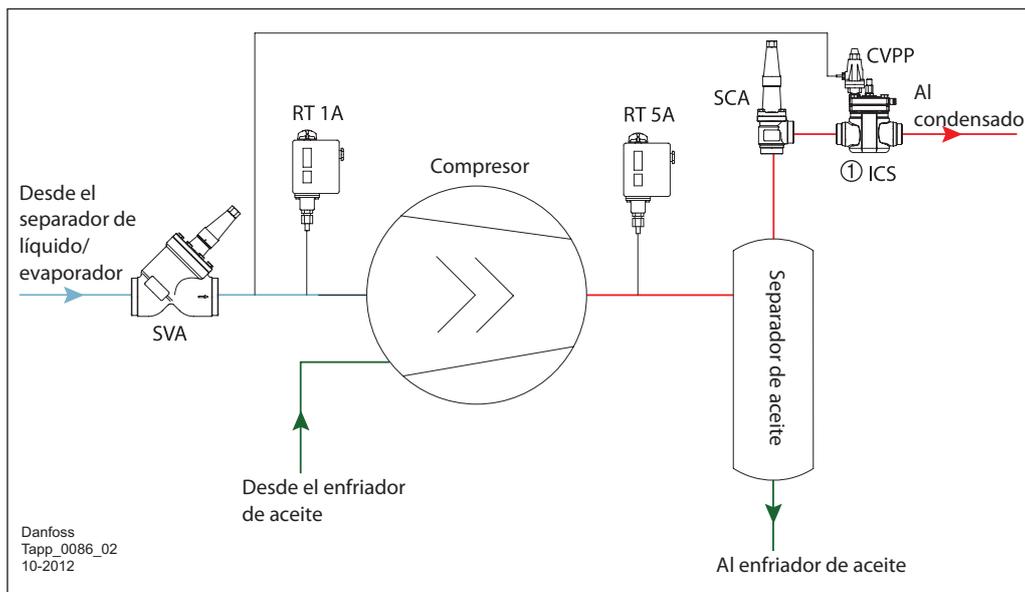
En primer lugar, puede utilizarse una bomba de aceite externa; en segundo lugar, puede instalarse una válvula de control en la línea de descarga del compresor, después del separador de aceite.

Es vital disponer de una acumulación rápida de presión de aceite; de lo contrario, el compresor puede sufrir daños.

Para este último método, es necesario verificar si el fabricante del compresor permite que este funcione en seco durante algunos segundos. Normalmente, esto resulta posible para los compresores de tornillo con cojinetes de bolas, pero no para aquellos con cojinetes de deslizamiento.

Existen dos formas básicas de acumular rápidamente presión diferencial de aceite en el compresor de refrigeración.

Ejemplo de aplicación 6.2.1: Control de la presión diferencial de aceite con una válvula ICS y una válvula piloto CVPP



— Vapor de refrigerante, HP
— Vapor de refrigerante, LP
— Aceite

① Regulador de presión diferencial

En esta aplicación, debe usarse una válvula servoaccionada ICS ① con una válvula piloto diferencial CVPP. La línea piloto de la válvula CVPP está conectada a la línea de aspiración antes del compresor. La válvula ICS ① se cierra en el momento de la puesta en marcha del compresor.

para conseguir que la válvula se abra completamente y el compresor funcione en condiciones normales.

La principal ventaja de esta solución es su flexibilidad, ya que la presión diferencial puede reajustarse sobre el terreno y la válvula ICS también puede realizar otras funciones usando otras válvulas piloto.

Como la tubería entre el compresor y la válvula es muy corta, la presión de descarga aumenta rápidamente. Requiere un tiempo muy reducido

Datos técnicos

	Válvula servoaccionada pilotada ICS
Material	Cuerpo: acero para bajas temperaturas
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes, incluidos el R-717 y el R-744
Rango de temp. del medio [°C]	De -60 a 120
Presión de trabajo máx. [bar]	52
DN [mm]	De 20 a 150
Capacidad nominal* [kW]	De 20 a 4.000

* Condiciones: R-717, línea de gas caliente, T_{liq} = 30 °C, P_{desc} = 12 bar, ΔP = 0,2 bar, T_{desc} = 80 °C y T_e = -10 °C.

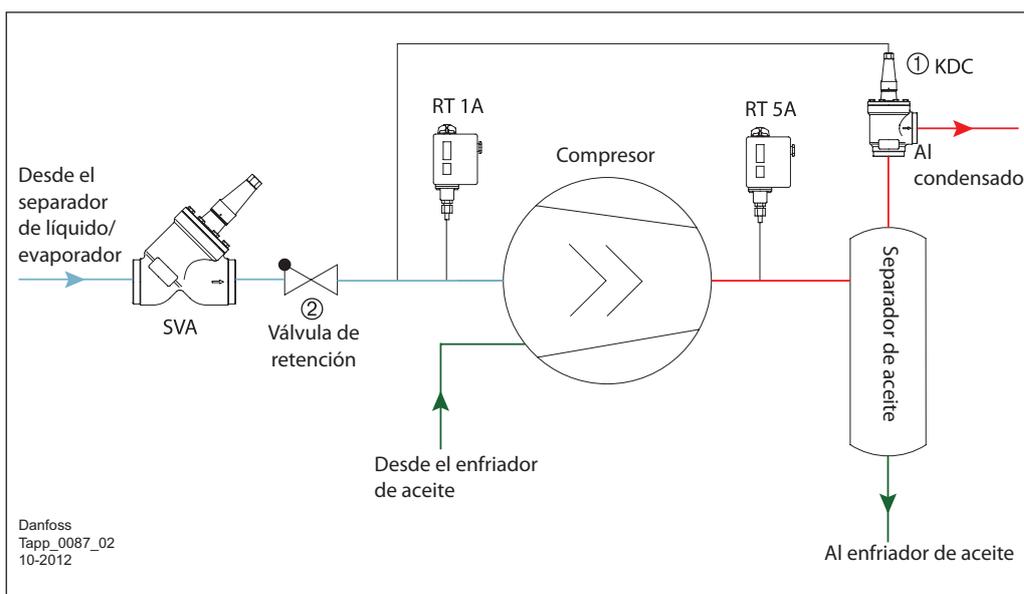
	Válvula piloto de presión diferencial CVPP
Material	Cuerpo: acero inoxidable
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes no inflamables, incluido el R-717
Rango de temp. del medio [°C]	De -50 a 120
Presión de trabajo máx. [bar]	CVPP, LP: 17 CVPP, HP: hasta 40
Rango de regulación [bar]	CVPP, LP: de 0 a 7 CVPP, HP: de 0 a 22
Valor K _v [m ³ /h]	0,4

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Ejemplo de aplicación 6.2.2:
Control de la presión diferencial de aceite con una válvula KDC

— Vapor de refrigerante, HP
— Vapor de refrigerante, LP
— Aceite

- ① Regulador de presión diferencial
- ② Válvula de retención (integrada normalmente en el compresor)



El principio de funcionamiento de este ejemplo es el mismo que el del ejemplo 6.2.1. La válvula de compresor multifuncional KDC ① se mantiene abierta mientras la diferencia de presión entre el separador de aceite y la línea de aspiración supera el valor de ajuste y, al mismo tiempo, la presión en el separador de aceite es mayor que la presión de condensación.

La válvula KDC ① tiene algunas ventajas, ya que también puede funcionar como válvula de retención (la presión de salida no puede abrirla) y ofrece una caída de presión menor cuando está abierta.

Sin embargo, la válvula KDC ① también tiene algunas limitaciones. No puede ajustarse y dispone de un número limitado de valores de presión diferencial; además, es necesario instalar una válvula de retención ② en la línea de aspiración.

Si esta válvula de retención no se instala, puede producirse una importante inversión de flujo a través del compresor desde el separador de aceite. Tampoco debe existir una válvula de retención entre el compresor y el separador de aceite; de lo contrario, el cierre de la válvula KDC puede requerir demasiado tiempo.

Datos técnicos

	Válvula de compresor multifuncional KDC
Material	Acero para bajas temperaturas
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes, incluido el R-717
Rango de temp. del medio [°C]	De -50 a 150
Presión de trabajo máx. [bar]	40
DN [mm]	De 65 a 200
Capacidad nominal* [kW]	De 435 a 4.207

* Condiciones: R-717, 35/-15 °C y ΔP = 0,05 bar.

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

6.3 Sistema de recuperación de aceite

Los compresores de los sistemas de refrigeración industriales con amoníaco suelen ser los únicos componentes que requieren lubricación con aceite. Por lo tanto, la función del separador de aceite del compresor es impedir que parte del aceite lubricante pase al sistema de refrigeración.

Sin embargo, el aceite puede atravesar el separador de aceite y llegar al sistema de refrigeración; a menudo se acumula en el lado de baja presión, en los separadores de líquido y en los evaporadores, reduciendo su eficiencia.

Si pasa demasiado aceite desde el compresor al sistema, disminuirá la cantidad de aceite en el compresor y habrá riesgo de que el nivel de

aceite caiga por debajo del límite mínimo establecido por el fabricante del compresor. Los sistemas de retorno de aceite se usan principalmente junto con refrigerantes que puedan mezclarse con el aceite (por ejemplo, refrigerantes HFC/HCFC). Los sistemas de retorno de aceite pueden, por lo tanto, tener dos funciones:

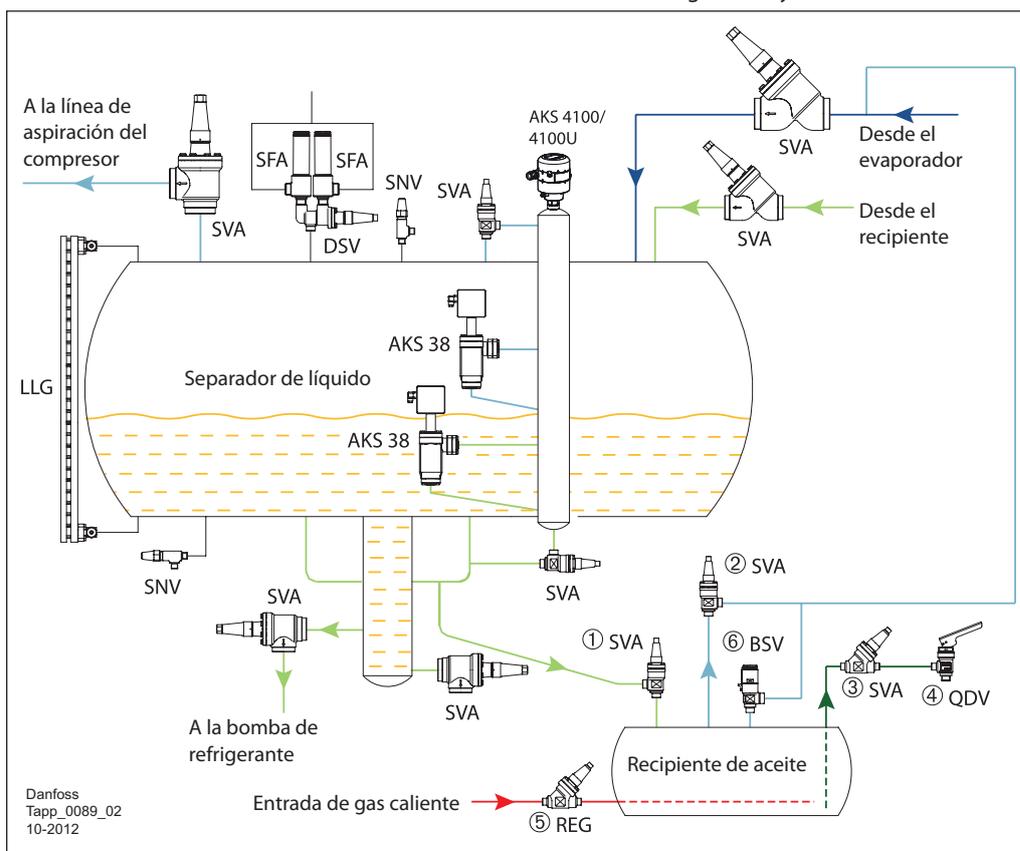
- Eliminar el aceite del lado de baja presión.
- Devolver el aceite al compresor.

Sin embargo, es extremadamente importante saber que el aceite retirado del lado de baja presión del sistema de refrigeración con amoníaco normalmente no es apto para su uso posterior en el compresor, por lo que debe eliminarse del sistema de refrigeración y desecharse.

Ejemplo de aplicación 6.3.1: Drenaje de aceite de sistemas con amoníaco

- █ Vapor de refrigerante, HP
- █ Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- █ Vapor de refrigerante, LP
- █ Refrigerante líquido, LP
- █ Aceite

- ① Válvula de cierre
- ② Válvula de cierre
- ③ Válvula de cierre
- ④ Válvula de drenaje de aceite y cierre rápido
- ⑤ Válvula de regulación
- ⑥ Válvula de alivio



En los sistemas con amoníaco se utiliza aceite inmiscible. Como el aceite es más denso que el amoníaco líquido, permanece en el fondo del separador de líquido y no puede retornar al compresor a través de la línea de aspiración.

Por consiguiente, el aceite en los sistemas con amoníaco se drena normalmente desde el separador de líquido hacia el recipiente de aceite. Esto hace que sea más fácil separar el aceite del amoníaco.

A la hora de drenar el aceite, cierre las válvulas de cierre ① y ② y abra la línea de gas caliente para que el gas aumente la presión y caliente el aceite frío.

Luego drene el aceite usando la válvula de drenaje de aceite y cierre rápido QDV ④, que puede cerrarse rápidamente después de la evacuación del aceite y cuando el amoníaco empiece a salir.

Debe instalarse una válvula de cierre SVA ③ entre la válvula QDV y el recipiente. Esta válvula se abre antes de la evacuación del aceite y se cierra posteriormente.

Deben tomarse las precauciones necesarias a la hora de drenar el aceite del amoníaco.

Datos técnicos

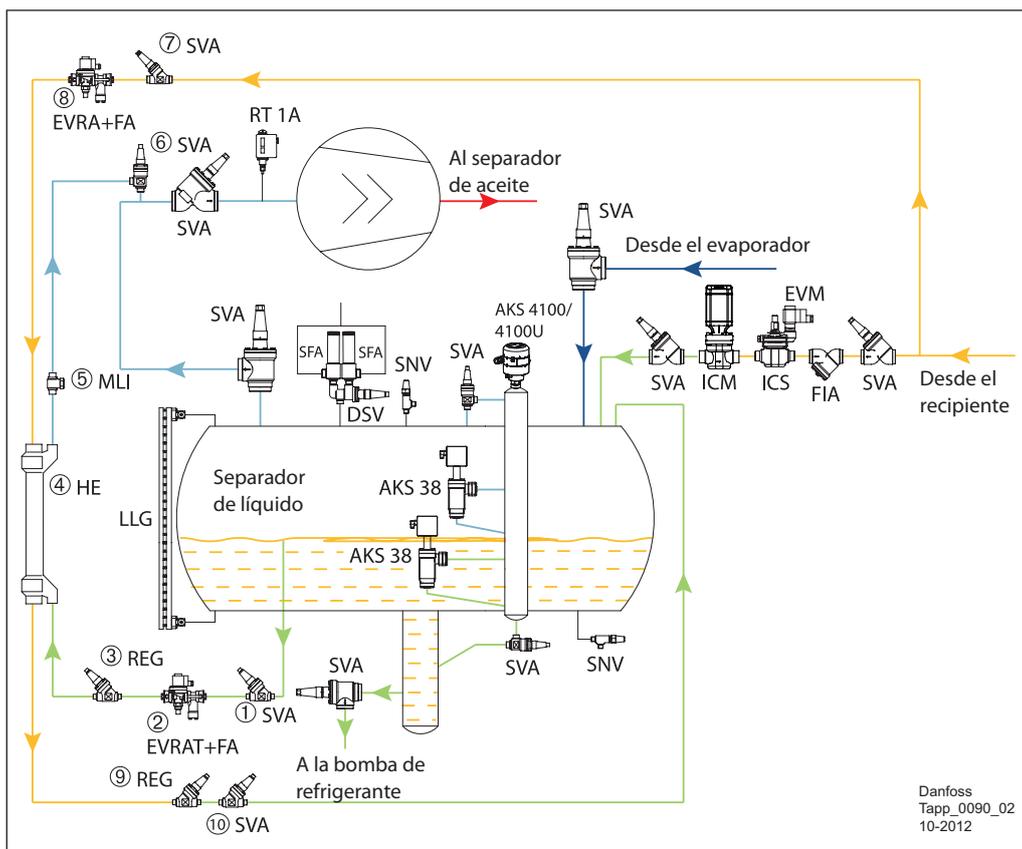
	Válvula de drenaje y cierre rápido QDV
Material	Carcasa: acero
Refrigerantes	Usada comúnmente con el refrigerante R-717; compatible con todos los refrigerantes comunes no inflamables
Rango de temp. del medio [°C]	De -50 a 150
Presión de trabajo máx. [bar]	25
DN [mm]	15

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Ejemplo de aplicación 6.3.2:
Drenaje de aceite de sistemas fluorados

- Vapor de refrigerante, HP
- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Vapor de refrigerante, LP
- Refrigerante líquido, LP

- ① Válvula de cierre
- ② Válvula solenoide
- ③ Válvula de regulación
- ④ Intercambiador de calor
- ⑤ Visor de líquido
- ⑥ Válvula de cierre
- ⑦ Válvula de cierre
- ⑧ Válvula solenoide
- ⑨ Válvula de regulación
- ⑩ Válvula de cierre



Danfoss
Tapp_0090_02
10-2012

En los sistemas fluorados se usa predominantemente aceite miscible. En sistemas con tuberías bien diseñadas (pendientes, circuitos de aceite, etc.) no es necesario recuperar el aceite, ya que retorna con el vapor del refrigerante.

Sin embargo, en las plantas de baja temperatura el aceite puede permanecer en los recipientes de baja presión. El aceite es más ligero que los refrigerantes fluorados usados comúnmente, siendo imposible drenarlo de forma sencilla como en los sistemas con amoníaco.

El aceite permanece sobre el refrigerante y el nivel fluctúa junto con el nivel del refrigerante.

En este sistema el refrigerante fluye por gravedad del separador de líquido al intercambiador de calor ④.

El refrigerante líquido de alta presión calienta el refrigerante de baja presión y este se evapora.

El vapor de refrigerante mezclado con el aceite retorna a la línea de aspiración. El refrigerante del separador de líquido se toma del nivel de trabajo.

La válvula de regulación REG ③ se ajusta de manera que no se observen gotas de refrigerante líquido en el visor de líquido MLI ⑤. El intercambiador de calor HE de Danfoss puede usarse para recuperar el aceite.

El refrigerante también puede tomarse de las líneas de descarga de las bombas. En este caso, no importa si el refrigerante se toma del nivel de trabajo o no.

Datos técnicos

	Intercambiador de calor HE
Refrigerantes	Todos los refrigerantes fluorados
Rango de temp. del medio [°C]	De -60 a 120
Presión de trabajo máx. [bar]	HE 0,5, 1,0, 1,5 y 4,0: 28 HE 8,0: 21,5
DN [mm]	Línea de líquido: De 6 a 16 Línea de aspiración: De 12 a 42

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

6.4
Resumen

Solución		Aplicación	Ventajas	Limitaciones
Sistemas de refrigeración de aceite				
Refrigeración con agua y válvula de agua WVTS		Instalaciones marinas y plantas que dispongan de fuentes de agua fría económicas.	Sencillez y eficiencia.	Puede ser caro y requiere tuberías de agua independientes.
Refrigeración con termosifón y válvula ORV		Todos los tipos de plantas de refrigeración.	El refrigerante enfría el aceite sin que la instalación pierda eficiencia.	Requiere tuberías adicionales y un recipiente de líquido de alta presión instalado a una determinada altura.
Refrigeración con aire y válvula ORV		Grandes sistemas de refrigeración comercial con grupos de alimentación eléctrica.	Sencillez; no requiere tuberías adicionales ni agua.	Pueden producirse grandes fluctuaciones de la temperatura del aceite en distintas épocas del año. El enfriador de aire puede ser demasiado grande en las instalaciones de mayor tamaño.
Control de presión diferencial de aceite				
Válvula ICS + válvula piloto CVPP			Flexibilidad; permite distintos ajustes.	Requiere instalar una válvula de retención.
Válvula KDC		Compresores de tornillo (debe confirmarse con los fabricantes de los compresores).	No requiere válvula de retención de descarga y la caída de presión es menor que la solución con válvula ICS.	Es necesario instalar una válvula de retención en la línea de aspiración. No permite realizar cambios en los ajustes.
Válvula KDC + válvula piloto EVM			Idéntica a la configuración anterior, pero no requiere instalar una válvula de retención en la línea de aspiración.	Requiere tuberías externas. No permite realizar cambios en los ajustes.
Sistemas de recuperación de aceite				
Recuperación de aceite en sistemas con amoníaco, válvula QDV		Todas las plantas con amoníaco.	Sencillez y seguridad.	Requiere accionamiento manual.
Recuperación de aceite en sistemas fluorados, intercambiador de calor HE		Sistemas fluorados de baja temperatura.	No requiere accionamiento manual.	El ajuste puede ser complicado.

6.5 Documentos de referencia

Puede encontrar una descripción por orden alfabético de todos los documentos de referencia en la página 146.

Folleto técnico/manual

Tipo	Código del documento
BSV	PD.IC0.A
CVPP	PD.HN0.A
EVM	PD.HN0.A
FIA	PD.FN0.A
HE	PD.FD0.A
ICS	PD.HS2.A
KDC	PD.FQ0.A

Tipo	Código del documento
MLI	PD.GH0.A
ORV	PD.HP0.B
QDV	PD.KL0.A
REG	PD.KM1.A
SVA	PD.KD1.A

Instrucciones del producto

Tipo	Código del documento
BSV	PI.IC0.A
CVPP	PI.HN0.C
EVM	PI.HN0.N
FIA	PI.FN0.A
HE	PI.FD0.A
ICS 25-65	PI.HS0.A
ICS 100-150	PI.HS0.B
KDC	PI.FQ0.A

Tipo	Código del documento
MLI	PI.GH0.A
ORV	PI.HP0.A
QDV	PI.KL0.A
REG	PI.KM1.A
SVA	PI.KD1.A

Para descargar la versión más reciente de los documentos, visite el sitio web de Danfoss.

7. Sistemas de seguridad

Todos los sistemas de refrigeración industrial se diseñan con diferentes sistemas de seguridad para protegerlos de condiciones inseguras, como una presión excesiva.

Cualquier presión interna excesiva previsible debe evitarse o aliviarse con un riesgo mínimo para las instalaciones, las personas y el medio ambiente.

Los requisitos de los sistemas de seguridad están sujetos a rigurosos controles por parte de las autoridades competentes; por lo tanto, los requisitos siempre deben comprobarse en la legislación local vigente del país correspondiente.

Los **dispositivos de alivio de presión** (por ejemplo, las válvulas de seguridad) están diseñados para aliviar automáticamente el exceso de presión a una presión que no rebase el límite permitido y cerrarse una vez que la presión haya caído por debajo de dicho límite.

Los **dispositivos limitadores de temperatura** (o simplemente limitadores de temperatura) se activan en función de la temperatura y están diseñados para evitar temperaturas inseguras, con el fin de realizar una parada parcial o total del sistema en caso de avería o funcionamiento incorrecto.

Los **limitadores de presión** son dispositivos que protegen los sistemas contra las altas o bajas presiones y disponen de rearme automático.

Interruptores de presión de seguridad

Los interruptores de seguridad están diseñados para limitar la presión y disponen de rearme manual.

Los **interruptores de nivel de líquido** son dispositivos accionados por un nivel de líquido y diseñados para evitar niveles de líquido inseguros.

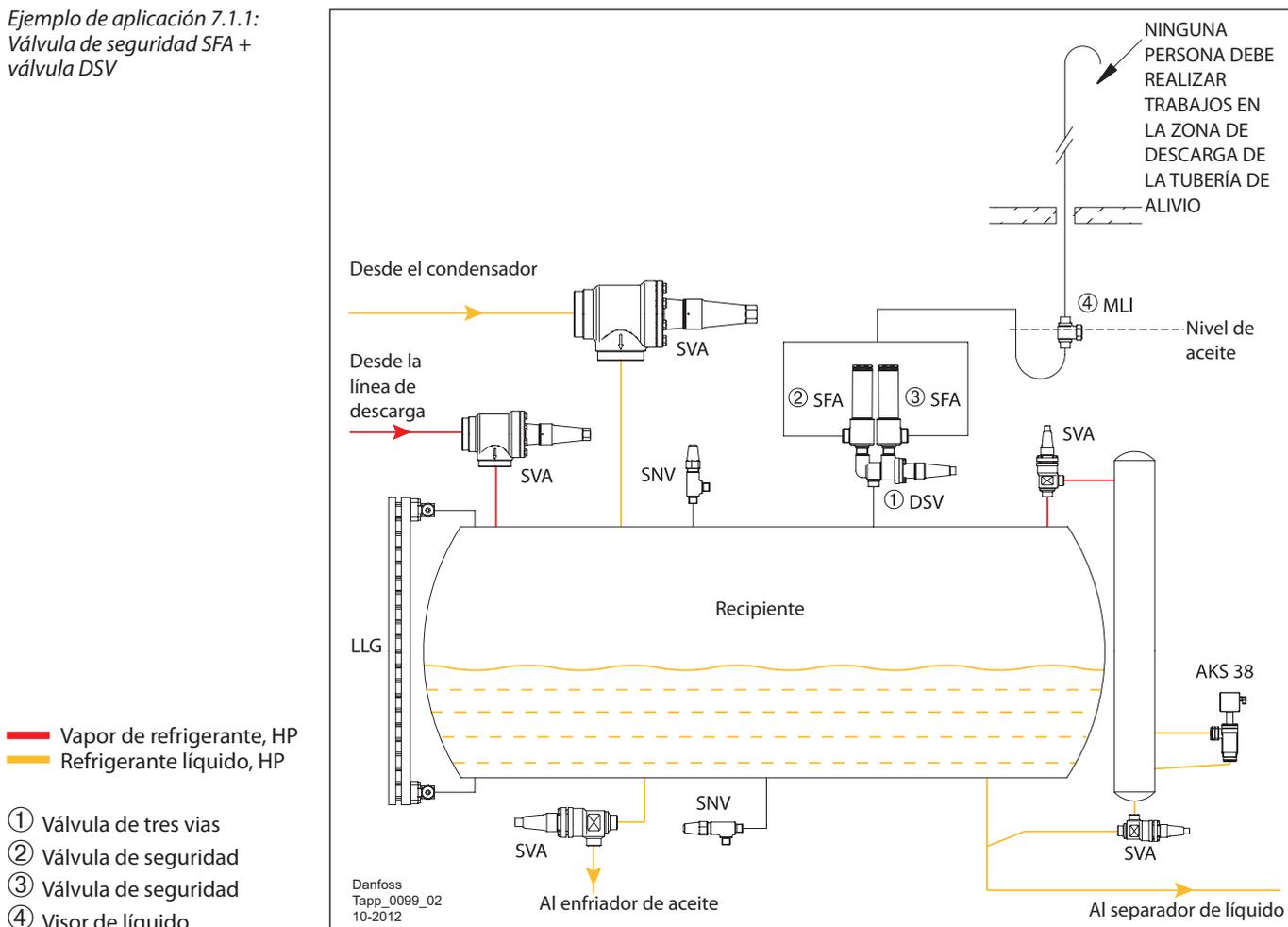
Los **detectores de refrigerante** son dispositivos detectores que se activan ante una concentración predefinida de gas refrigerante en su entorno. Danfoss fabrica detectores de refrigerante GD. Para obtener más información, consulte el manual de aplicaciones específico.

7.1 Dispositivos de alivio de presión

Las válvulas de seguridad se instalan con el propósito de evitar que la presión en el sistema se eleve por encima de la presión máxima admisible de cualquier componente y del conjunto del sistema. Si se produce una presión excesiva, las válvulas de seguridad expulsarán el refrigerante del sistema de refrigeración.

Los principales parámetros de las válvulas de seguridad son la presión de alivio y la presión de cierre. Normalmente, la presión de alivio no debe superar en más de un 10 % las presiones ajustadas. Asimismo, si la válvula no se cierra o se cierra a una presión muy baja, puede producirse una pérdida significativa de refrigerante en el sistema.

Ejemplo de aplicación 7.1.1:
Válvula de seguridad SFA +
válvula DSV



Los dispositivos de alivio de presión deben ser instalados en todos los recipientes en los sistemas, así como en los compresores.

Generalmente, las válvulas de seguridad de alivio (SFA) dependientes de la presión del recipiente, son usadas normalmente. Las válvulas de seguridad deben instalarse con una válvula de tres vías DSV ① para facilitar el mantenimiento de una de las válvulas mientras la otra permanece en funcionamiento.

Los dispositivos de alivio de presión deben montarse cerca de la parte del sistema que estén protegiendo. Con el fin de verificar si la válvula de alivio ha descargado a la atmósfera, puede instalarse un sifón lleno de aceite con un visor de líquido MLI ④ después de la válvula.

Nota: En algunos países no se permite la instalación de sifones.

La tubería de descarga de la válvula de seguridad debe diseñarse de forma que las personas no se vean expuestas a peligros en caso de descarga del refrigerante.

La caída de presión en la tubería de descarga hacia las válvulas de seguridad es importante para el funcionamiento de estas. Se recomienda verificar las normas correspondientes para obtener recomendaciones sobre cómo dimensionar estas tuberías.

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Datos técnicos

	Válvula de seguridad SFA 15 (dependiente de la presión de salida)
<i>Material</i>	Carcasa: acero especial homologado para el funcionamiento a baja temperatura
<i>Refrigerantes</i>	R-717, R-744, HFC, HCFC y otros refrigerantes (en función de la compatibilidad del material de las juntas)
<i>Rango de temp. del medio [°C]</i>	De -30 a 100
<i>Área de flujo [mm²]</i>	133
<i>Ajuste de presión [bar]</i>	De 10 a 40

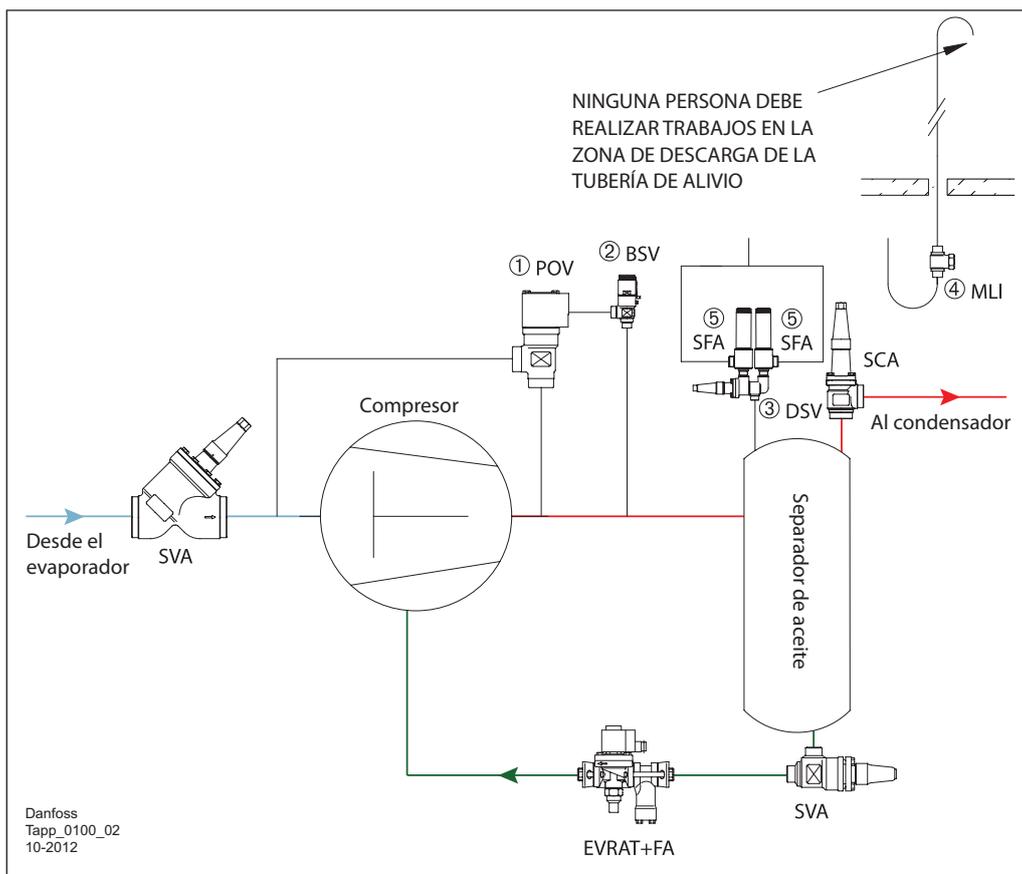
	Válvula de seguridad SFV 20-25 (dependiente de la presión de salida)
<i>Material</i>	Carcasa: acero especial homologado para el funcionamiento a baja temperatura
<i>Refrigerantes</i>	R-717, R-744, HFC, HCFC y otros refrigerantes (en función de la compatibilidad del material de las juntas)
<i>Rango de temp. del medio [°C]</i>	De -30 a 100
<i>Área de flujo [mm²]</i>	SFV 20: 254/SFV 25: 415
<i>Ajuste de presión [bar]</i>	De 10 a 25

	Válvula de tres vías DSV 1/2
<i>Material</i>	Carcasa: acero especial homologado para el funcionamiento a baja temperatura
<i>Refrigerantes</i>	Todos los refrigerantes comunes no inflamables, incluido el R-717
<i>Rango de temp. del medio [°C]</i>	De -50 a 100
<i>Presión de operación máx. [bar]</i>	40
<i>Valor K, [m³/h]</i>	DSV 1: 17,5 DSV 2: 30

Ejemplo de aplicación 7.1.2:
Válvulas de seguridad internas
BSV y POV

- Vapor de refrigerante, HP
- Vapor de refrigerante, LP
- Aceite

- ① Válvula de seguridad interna pilotada
- ② Válvula de seguridad interna
- ③ Válvula de tres vías
- ④ Visor de líquido
- ⑤ Válvula de seguridad



Para descargar refrigerante del lado de alta presión al de baja presión, solo deben utilizarse válvulas de seguridad independientes de la presión de salida (BSV/POV).

La válvula BSV ② puede actuar como válvula de alivio directo de baja capacidad o como válvula piloto de la válvula principal POV ①. Cuando la presión de descarga supere la presión ajustada, la válvula BSV abrirá la válvula POV para descargar vapor de alta presión hacia el lado de baja presión.

Las válvulas de seguridad independientes de la presión de salida se instalan sin válvula de tres vías. Si es necesario reemplazar o reajustar las válvulas, el compresor deberá pararse.

Si se monta una válvula de cierre en la línea de descarga del separador de aceite, será necesario proteger este y el compresor contra la presión excesiva causada por el calentamiento externo o el calentamiento por compresión.

Esta protección puede obtenerse con válvulas de seguridad SFA ⑤ estándar combinadas con una válvula de tres vías DSV ③.

Datos técnicos

	Válvula de seguridad BSV (independiente de la presión de salida)
Material	Carcasa: acero especial homologado para el funcionamiento a baja temperatura
Refrigerantes	R-717, R-744, HFC, HCFC y otros refrigerantes (en función de la compatibilidad del material de las juntas)
Rango de temp. del medio [°C]	De -30 a 100 como válvula de alivio externa De -50 a 100 como válvula piloto para una válvula POV
Ajuste de presión [bar]	De 10 a 25
Área de flujo [mm ²]	50
	Válvula de seguridad interna pilotada POV
Material	Carcasa: acero
Refrigerantes	R-717, HFC, HCFC y otros refrigerantes (en función de la compatibilidad del material de las juntas)
Rango de temp. del medio [°C]	De -50 a 150 como válvula piloto para una válvula POV
Ajuste de presión [bar]	De 15 a 25
Área de flujo [mm ²]	POV 600: 835 POV 1050: 1.244 POV 2150: 2.734
DN [mm]	40/50/80

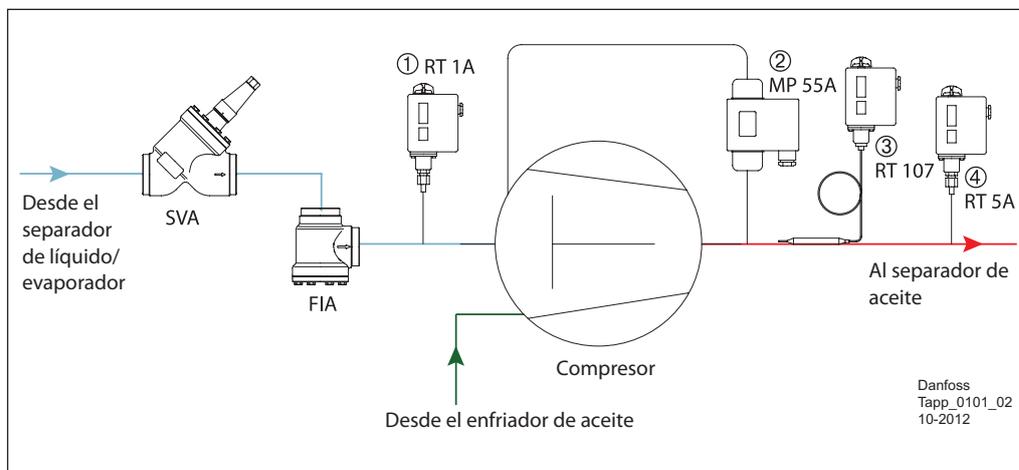
No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

7.2
Dispositivos limitadores
de presión y temperatura

Ejemplo de aplicación 7.2.1:
Interruptor de presión/
temperatura para compresores

— Vapor de refrigerante, HP
— Vapor de refrigerante, LP
— Aceite

- ① Interruptor de baja presión
- ② Interruptor de presión diferencial baja
- ③ Interruptor de alta temperatura
- ④ Interruptor de alta presión



Para proteger el compresor de temperaturas y presiones de descarga demasiado altas o presiones de aspiración demasiado bajas se utilizan interruptores KP/RT. controles de baja presión (RT 1A ①), controles de alta presión (RT 5A ④) y termostatos (RT 107 ③).

El ajuste de los controles de alta presión debe estar por debajo del ajuste de las válvulas de seguridad del lado de alta presión. El ajuste del interruptor de baja presión lo especifica el fabricante del compresor.

Para los compresores de pistón, se utiliza el interruptor diferencial de aceite MP 54/55 ② para detener el compresor si la presión de aceite es demasiado baja.

El interruptor diferencial de aceite desconecta el compresor si este no ha acumulado suficiente presión diferencial durante la puesta en marcha una vez transcurrido el período de tiempo definido (0-120 s).

Datos técnicos

	Termostato RT
Refrigerantes	R-717 y refrigerantes fluorados
Protección	IP 66/54
Temperatura máx. del bulbo [°C]	De 65 a 300
Temperatura ambiente [°C]	De -50 a 70
Rango de regulación [°C]	De -60 a 150
Diferencial, Δt [°C]	De 1,0 a 25,0

	Control de presión diferencial MP 54/55/55A
Refrigerantes	MP 54/55: refrigerantes fluorados MP 55A: R-717
Protección	IP 20
Rango de regulación, ΔP [bar]	MP 54: 0,65/0,9 MP 55/55A: de 0,3 a 4,5
Presión de trabajo máx. [bar]	17
Presión de prueba máx. [bar]	22
Rango de funcionamiento en el lado LP [bar]	De -1 a 12

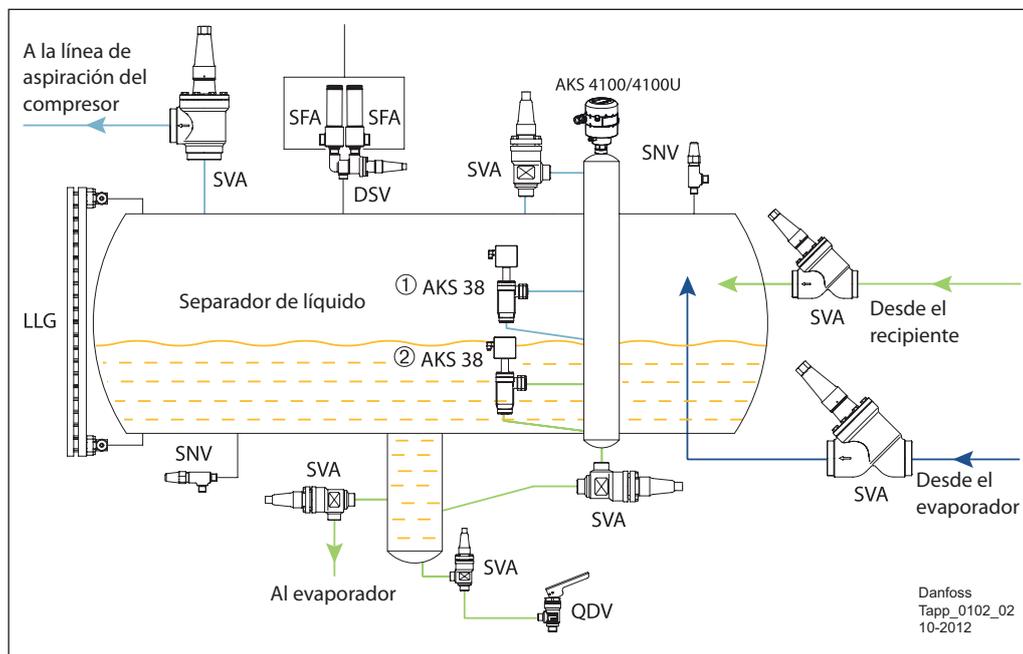
No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

7.3
Dispositivos de nivel de líquido

Ejemplo de aplicación 7.3.1:
Controles de nivel alto/bajo para el separador de líquido

- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Vapor de refrigerante, LP
- Refrigerante líquido, LP

- ① Interruptor de nivel alto
- ② Interruptor de nivel bajo



Los recipientes en el lado de alta presión y el lado de baja presión tienen interruptores de nivel de líquido diferentes.

Los recipientes de alta presión solo necesitan un interruptor de nivel bajo (AKS 38) para garantizar un nivel de refrigerante mínimo para alimentar los dispositivos de expansión.

También puede instalarse un visor de líquido LLG para controlar visualmente el nivel de líquido.

Los recipientes de baja presión normalmente tienen tanto un interruptor de nivel alto como otro de nivel bajo. El interruptor de nivel bajo se instala para garantizar que exista una carga de

refrigerante suficiente para evitar la cavitación de las bombas.

Para proteger los compresores contra el fenómeno de golpe de ariete se instala un interruptor de nivel alto.

También debe instalarse un visor de nivel de líquido LLG para tener una indicación visual del nivel de líquido.

Los visores de nivel de líquido LLG para recipientes de baja presión pueden requerir montar un adaptador que posibilite observar el nivel incluso aunque se forme una cierta cantidad de escarcha sobre el indicador de nivel.

Datos técnicos

	Interruptor de nivel AKS 38
Material	Carcasa: hierro fundido con cromato de zinc
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes no inflamables, incluido el R-717
Rango de temp. del medio [°C]	De -50 a +65
Presión de trabajo máx. [bar]	28
Rango de medida [mm]	De 12,5 a 50

	Visor de líquido LLG
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes no inflamables, incluido el R-717
Rango de temp. del medio [°C]	De -10 a 100 o de -50 a 30
Presión de trabajo máx. [bar]	25
Longitud [mm]	De 185 a 1.550

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

7.4
Detectores de refrigerante

Los equipos de detección de gas se utilizan habitualmente en instalaciones fijas e incluyen diversos sensores ubicados en zonas en las que el refrigerante podría acumularse si se producen fugas en la planta.

¿Cuántos sensores se necesitan? ¿Dónde y cómo deberían colocarse y calibrarse?

Dichos puntos dependerán de la distribución de las salas de máquinas y los espacios adyacentes a estas, de la configuración de la planta y también del refrigerante en cuestión.

¿Qué límites de alarma son adecuados? ¿Cuántos se necesitan? ¿Cómo se procesa la información sobre alarmas?

Antes de seleccionar un equipo de detección de gas adecuado deben responderse algunas preguntas:

¿Qué gases deben medirse y en qué cantidades?
¿Qué principio de detección es el más apropiado?

7.4.1
Tecnologías de sensores

Danfoss ha seleccionado el sensor más adecuado para cada refrigerante, en función de este y del rango de concentración (ppm) requerido.

¿Qué sensor es el más adecuado para un determinado refrigerante?

	Semiconductor	Electroquímico	Catalítico	Infrarrojos
Amoníaco a concentraciones bajas (< 100 ppm)	-	✓	-	-
Amoníaco a concentraciones medias (< 1.000 ppm) ¹⁾	(✓)	✓	-	(✓)
Amoníaco a concentraciones altas (< 10.000 ppm)	✓	-	✓	(✓)
Amoníaco a concentraciones muy altas (> 10.000 ppm)	-	-	✓	(✓)
Dióxido de carbono CO ₂	-	-	-	✓
HC Hidrocarburos	(✓)	-	✓	(✓)
HCFC-HFC Hidrocarburos halogenados	✓	-	-	(✓)

Solución óptima

 Compatible, sin ser idóneo

 Incompatible

¹⁾ Rango de medida: 0-1.000 ppm. Puede ajustarse dentro de ese rango completo.

7.4.2

Necesidad de la detección de gas

Existen distintas razones por las que la detección de gas resulta necesaria. Como es evidente, el cumplimiento de la reglamentación vigente es un importante motivo, pero también influyen los siguientes aspectos:

- Reducción del coste de mantenimiento (gas de repuesto e intervenciones de mantenimiento).
- Reducción del coste de consumo energético asociado a la falta de refrigerante.
- Riesgo de dañar los productos en stock a causa de fugas importantes.
- Posible reducción del coste de los seguros.
- Impuestos sobre los refrigerantes no respetuosos con el medio ambiente.
- Distintas aplicaciones de refrigeración que requieren sistemas de detección de gas por diversas razones.

El **amoníaco** está clasificado como sustancia tóxica y posee un olor inconfundible, que actúa como "alarma automática". No obstante, los detectores de gas resultan muy útiles en las salas de máquinas, en las que habitualmente no hay personal presente que pueda adoptar las medidas oportunas. Además, el amoníaco es el único refrigerante común menos denso que el aire.

Los **hidrocarburos** están clasificados como sustancias inflamables. Por tanto, es muy importante verificar que la concentración en el entorno del sistema de refrigeración no supere el límite de inflamabilidad.

Todos los **refrigerantes fluorados** generan un cierto impacto sobre el medio ambiente. Por este motivo, es muy importante evitar que se produzcan fugas de estas sustancias.

El **dióxido de carbono (CO₂)** juega un papel activo en el proceso respiratorio, por lo que debe tratarse adecuadamente. En el aire existe una concentración aproximada de CO₂ del 0,04 %. A concentraciones mayores, produce ciertos efectos adversos que comienzan con el aumento de la frecuencia respiratoria (aprox. 100 % con una concentración de CO₂ del 3 %), pudiendo llegar a conducir a la pérdida de consciencia y la muerte (concentraciones de CO₂ superiores al 10 %).

Oxígeno: los sensores de concentraciones bajas de oxígeno pueden utilizarse en algunas aplicaciones, pero Danfoss no los comercializa y no se describirán con mayor detalle en el presente manual.

Nota: Nunca deben utilizarse sensores de oxígeno en instalaciones con CO₂.

Legislación y normativa

Existen diferentes requisitos en materia de detección de gases en muchos países de todo el planeta.

7.5
Resumen

Solución		Aplicación
Válvulas de seguridad		
Válvulas de seguridad SFA + válvula de tres vías DSV		Protección de recipientes, compresores e intercambiadores de calor frente a presiones excesivas.
Válvula de seguridad BSV + válvula de seguridad pilotada POV		Protección de compresores y bombas frente a presiones excesivas.
Controles con interruptores de presión		
Interruptor de presión RT		Protección de compresores frente a presiones de descarga demasiado altas y presiones de aspiración demasiado bajas.
Interruptor de presión diferencial MP 55		Protección de compresores alternativos frente a presiones de aceite demasiado bajas.
Termostato RT		Protección de compresores frente a temperaturas de descarga demasiado altas.
Dispositivos de nivel de líquido		
Interruptor de nivel de líquido AKS 38		Protección del sistema frente a niveles de refrigerante demasiado altos/bajos en los recipientes.
Visor de nivel de líquido LLG		Control visual del nivel de refrigerante líquido en los recipientes.
Detección de refrigerante		
Sensores de detección de gas GD		Detección de gas refrigerante en la atmósfera.

7.6
Documentos de referencia

Puede encontrar una descripción por orden alfabético de todos los documentos de referencia en la página 146.

Folleto técnico/manual

Tipo	Código del documento
AKS 38	PD.GD0.A
BSV	PD.IC0.A
DSV	PD.IE0.A
LLG	PD.GG0.A
MLI	PD.GH0.A
MP 55 A	PD.CG0.B

Instrucciones del producto

Tipo	Código del documento
POV	PD.ID0.A
RT 1A	PD.CB0.A
RT 107	PD.CB0.A
RT 5A	PD.CB0.A
SFA	PD.IF0.A
GD	PD.S00.A

Tipo	Código del documento
AKS 38	PI.GD0.A
BSV	PI.IC0.A
DSV	PI.IE0.A / PI.IE0.B1
LLG	PI.GG0.A
MLI	PI.GH0.A
MP 55 A	PI.CG0.E

Tipo	Código del documento
POV	PI.ID0.A
RT 1A	RI5BC
RT 5A	RI5BC
SFA	PI.IB0.A
GD	PI.S00.A

Para descargar la versión más reciente de los documentos, visite el sitio web de Danfoss.

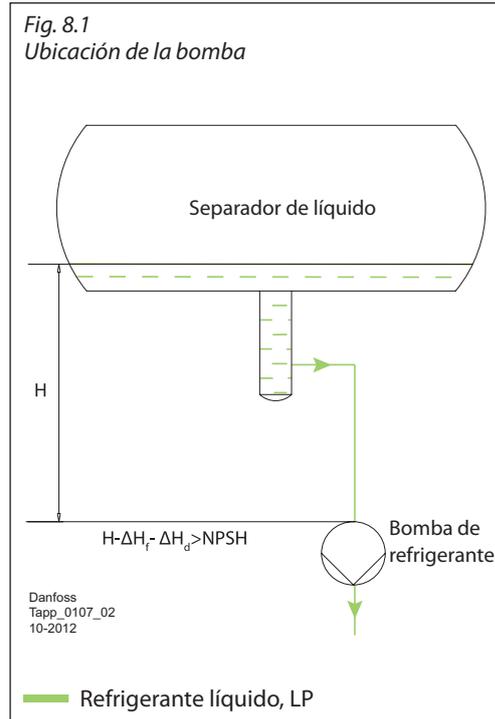
8. Controles de bombas de refrigerante

Generalmente, en los sistemas de refrigeración industrial existe circulación de refrigerante líquido por bomba. La circulación por bomba presenta algunas ventajas en comparación con los sistemas de expansión directa (DX):

- Las bombas proporcionan una distribución eficiente de refrigerante líquido a los evaporadores y retornan la mezcla vapor-líquido al separador de la bomba.
- Es posible reducir el recalentamiento hasta casi 0 K, lo que aumenta la eficiencia de los evaporadores sin riesgo de que el fenómeno de golpe de ariete afecte al compresor.

Cuando instale la bomba, debe extremar las precauciones para evitar la cavitación. La cavitación solo puede ocurrir si la presión estática de líquido refrigerante en la entrada de la bomba es menor que la presión de saturación correspondiente a la temperatura del líquido en este punto.

Por tanto, la altura de líquido H sobre la bomba debe ser por lo menos capaz de compensar la pérdida de presión por fricción ΔH_f a través de la tubería y las válvulas, la caída a la entrada de la tubería ΔH_d y la aceleración del líquido hacia el impulsor de la bomba ΔH_p (carga de aspiración positiva neta de la bomba o NPSH), como se muestra en la fig. 8.1.

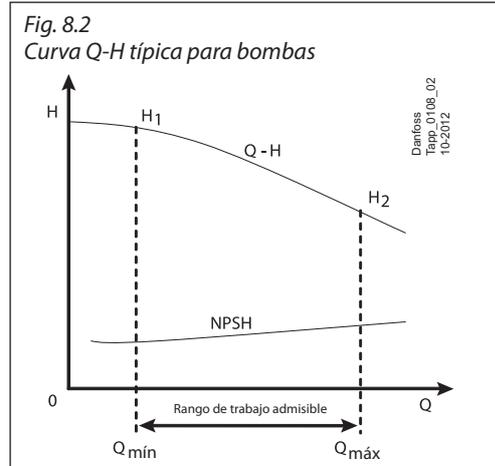


Para que la bomba de refrigerante pueda funcionar sin dificultades, debe mantenerse el caudal a través de esta dentro del rango de trabajo permitido (consulte la fig. 8.2).

Si el caudal es demasiado bajo, el calor del motor puede evaporar parte del refrigerante y producir el funcionamiento en seco o la cavitación de la bomba.

Por contra, si es demasiado alto, la carga de aspiración positiva neta (NPSH) característica de la bomba disminuirá hasta un punto en el que la carga de aspiración positiva disponible será demasiado baja y no podrá impedir la cavitación.

Por consiguiente, los sistemas deben diseñarse de forma que la bomba de refrigerante pueda mantener el caudal dentro del rango de trabajo.



8.1 Protección de la bomba con control de presión diferencial

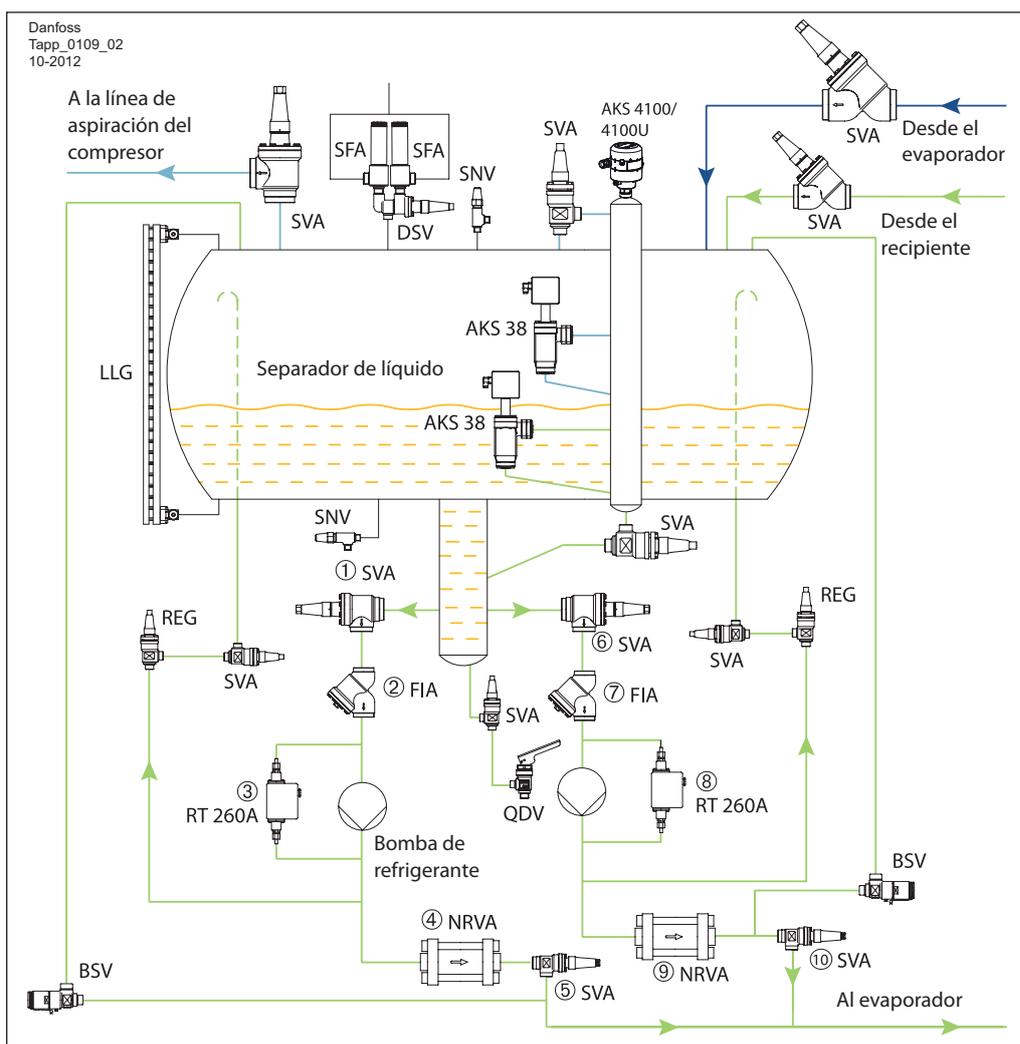
Las bombas pueden resultar fácilmente dañadas por la cavitación. Para evitar la cavitación, es importante mantener una carga de aspiración positiva suficiente para la bomba. Para conseguirlo, se instala en el separador de líquido un interruptor de nivel bajo AKS 38.

Sin embargo, aunque se instale un interruptor de nivel bajo en el separador de líquido y este se mantenga por encima del nivel mínimo aceptable, la cavitación podría producirse.

Por ejemplo, el funcionamiento incorrecto de los evaporadores podría causar un incremento del caudal a través de la bomba, el interruptor de nivel bajo podría fallar, el filtro situado antes de la bomba podría obstruirse, etc.

Todo esto puede dar lugar a la cavitación. Por consiguiente, es necesario desconectar la bomba para protegerla cuando la presión diferencial cae por debajo del valor H_2 de la fig. 8.2 (equivalentes a $Q_{m\acute{a}x}$).

Ejemplo de aplicación 8.1.1:
Protección de la bomba con
control de presión diferencial
RT 260A



- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Vapor de refrigerante, LP
- Refrigerante líquido, LP

- ① Válvula de cierre
- ② Filtro
- ③ Interruptor de presión diferencial
- ④ Válvula de retención
- ⑤ Válvula de cierre
- ⑥ Válvula de cierre
- ⑦ Filtro
- ⑧ Interruptor de presión diferencial
- ⑨ Válvula de retención
- ⑩ Válvula de cierre

Los controles de presión diferencial ofrecen protección contra diferencias de presión demasiado bajas. Los controles RT 260A ③ y ⑧ se suministran sin un relé temporizador y causan una desconexión momentánea cuando la presión diferencial cae por debajo de su valor de ajuste.

Los filtros FIA ② y ⑦ se instalan en la línea de la bomba para retirar partículas y proteger las válvulas de control automáticas y las bombas de los daños, las obstrucciones y el desgaste. El filtro puede instalarse tanto en la línea de aspiración como en la línea de descarga de la bomba.

Si el filtro se instala en la línea de aspiración antes de la bomba, protegerá principalmente la bomba contra las partículas. Esto es particularmente importante durante la limpieza inicial en el transcurso de la puesta en servicio.

Dado que la caída de presión puede inducir la cavitación, se recomienda instalar una malla de

500 µm. Se pueden utilizar mallas más finas durante la limpieza, pero debe asegurarse de tener en cuenta la caída de presión cuando diseñe la tubería. Además, la malla deberá sustituirse cada cierto tiempo.

Si el filtro se instala en la línea de descarga, la caída de presión no será tan crucial y podrá utilizarse un filtro de 150-200 µm. Es importante tener en cuenta que, con esta configuración, las partículas pueden entrar en la bomba antes de eliminarse del sistema.

Las válvulas de retención NRVA ④ y ⑨ se instalan en las líneas de descarga de las bombas para proteger estas contra la inversión del flujo (presión) en estado de reposo. Para este propósito también puede utilizarse la válvula de cierre y retención SCA (las válvulas NRVA y SVA se sustituyen por la válvula SCA; consulte el ejemplo de aplicación 8.1.2).

Datos técnicos

	Control de presión diferencial RT 260A/252A/265A/260AL
Refrigerantes	R-717 y refrigerantes fluorados
Protección	IP 66/54
Temperatura ambiente [°C]	De -50 a 70
Rango de regulación [bar]	De 0,1 a 11
Presión de trabajo máx. [bar]	22/42

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

8.2 Control de flujo con bypass de la bomba

Ejemplo de aplicación 8.2.1: Control del flujo con bypass de la bomba con válvula OFV

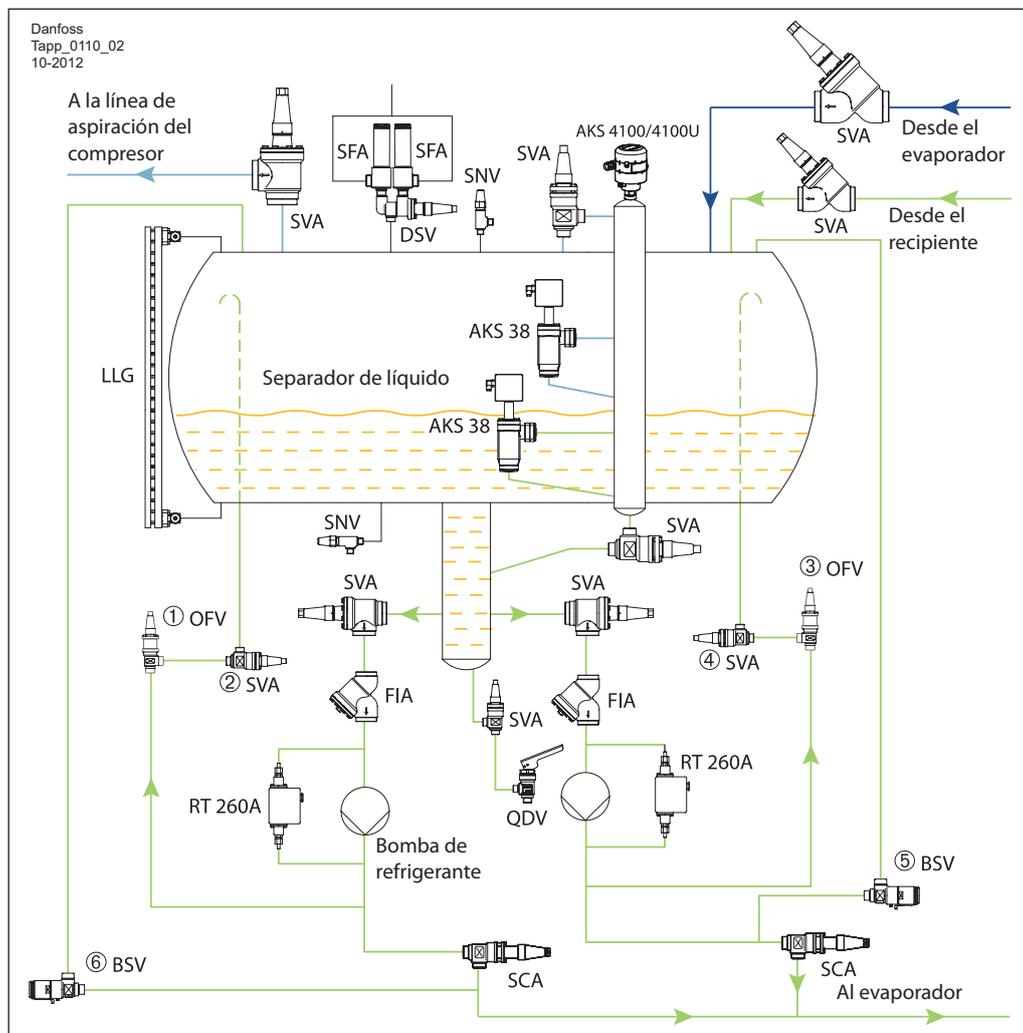
La manera más común de mantener el caudal a través de la bomba por encima del valor mínimo permitido (Q_{min} ; consulte la fig. 8.2) es diseñar un *bypass* para la bomba.

El diseño de la línea de *bypass* puede incluir una válvula de regulación REG, una válvula de alivio de presión diferencial OFV o incluso simplemente un orificio.

Incluso si se detiene el suministro de líquido a todos los evaporadores del sistema, la línea de *bypass* puede mantener un caudal mínimo a través de la bomba.

■ Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
 ■ Vapor de refrigerante, LP
 ■ Refrigerante líquido, LP

- ① Válvula de alivio
- ② Válvula de cierre
- ③ Válvula de alivio
- ④ Válvula de cierre
- ⑤ Válvula de seguridad interna
- ⑥ Válvula de seguridad interna



La línea de *bypass* se diseña para cada bomba e incluye una válvula de alivio OFV. La válvula de alivio interna BSV actúa como válvula de seguridad si se produce una presión

excesiva. Por ejemplo, cuando las válvulas de cierre están cerradas, el refrigerante líquido atrapado en las tuberías puede calentarse y alcanzar una presión excesivamente alta.

Datos técnicos

	Válvula de alivio OFV
Material	Cuerpo: acero
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes, incluido el R-717
Rango de temp. del medio [°C]	De -50 a 150
Presión de trabajo máx. [bar]	40
DN [mm]	20/25
Rango de presión diferencial de apertura [bar]	De 2 a 8
	Válvula de seguridad BSV (independiente de la presión de salida)
Material	Carcasa: acero especial homologado para el funcionamiento a baja temperatura
Refrigerantes	R-717, R-744, HFC, HCFC y otros refrigerantes (en función de la compatibilidad del material de las juntas)
Rango de temp. del medio [°C]	De -30 a 100 como válvula de alivio externa De -50 a 100 como válvula piloto para una válvula POV
Ajuste de presión [bar]	De 10 a 25
Área de flujo [mm ²]	50

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

8.3
Control de presión de la bomba

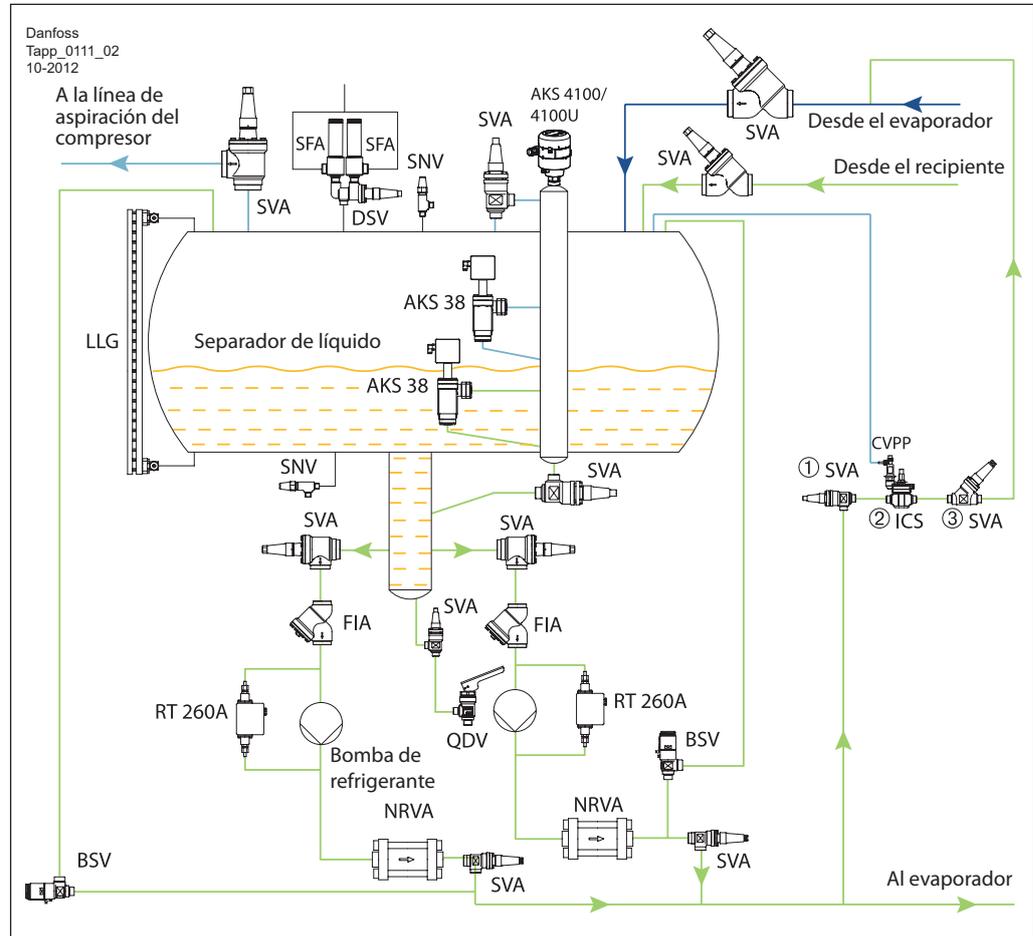
Ejemplo de aplicación 8.3.1:
Control de presión diferencial de la bomba con válvula ICS y válvula piloto CVPP

En algunos tipos de sistemas de circulación por bomba, es muy importante mantener una presión diferencial constante a través de la válvula de regulación con ajuste fijo existente antes del evaporador.

El uso de una válvula servoaccionada pilotada ICS y una válvula piloto CVPP permite mantener una presión diferencial constante a través de la bomba y, por consiguiente, a través de la válvula de regulación.

- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Vapor de refrigerante, LP
- Refrigerante líquido, LP

- ① Válvula de cierre
- ② Regulador de presión diferencial
- ③ Válvula de cierre



Datos técnicos

	Válvula servoaccionada pilotada ICS
Material	Cuerpo: acero para bajas temperaturas
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes, incluidos el R-717 y el R-744
Rango de temperatura del medio [°C]	De -60 a 120
Presión de trabajo máx. [bar]	52
DN [mm]	De 20 a 150

	Válvula piloto de presión diferencial CVPP
Refrigerantes	Todos los refrigerantes comunes no inflamables, incluido el R-717
Rango de temp. del medio [°C]	De -50 a 120
Presión de trabajo máx. [bar]	CVPP, LP: 17 CVPP, HP: hasta 40
Rango de regulación [bar]	CVPP, LP: de 0 a 7 CVPP, HP: de 0 a 22
Valor K _v [m ³ /h]	0,4

No se muestran todas las válvulas.
La información no debe utilizarse con fines de construcción.

8.4
Resumen

Solución		Aplicación	Ventajas	Limitaciones
Protección de la bomba con control de presión diferencial				
Protección de la bomba con control de presión diferencial RT 260A		Aplicable a todos los sistemas de circulación por bomba.	Sencillez. Protección eficaz de la bomba contra presiones diferenciales bajas (correspondientes a caudales altos).	No puede utilizarse con refrigerantes inflamables.
Filtro y válvula de retención				
Filtro FIA y válvula de retención NRVA en la línea de la bomba		Aplicable a todos los sistemas de circulación por bomba.	Sencillez. Protección eficaz de la bomba contra el reflujo y las partículas.	Si el filtro se instala en la línea de aspiración, puede provocar cavitación si se obstruye. Si el filtro se instala en la línea de descarga, permite que las partículas entren en la bomba.
Control de flujo con bypass de la bomba				
Control de flujo con <i>bypass</i> de la bomba con válvula REG y válvula de alivio BSV		Aplicable a todos los sistemas de circulación por bomba.	Sencillez. Sistema eficaz y fiable para mantener el caudal mínimo necesario para la bomba. La válvula de seguridad puede evitar de forma eficaz las presiones excesivas.	Parte de la energía de bombeo se desperdicia.
Control de presión de la bomba				
Control de presión de la bomba con válvula ICS y válvula piloto CVPP		Aplicable a los sistemas de circulación por bomba que requieren una presión diferencial constante a través de las válvulas de regulación antes de los evaporadores.	Proporciona una presión diferencial y una relación de circulación constantes para los evaporadores.	Parte de la energía de bombeo se desperdicia.

8.5
Documentos de referencia

Puede encontrar una descripción por orden alfabético de todos los documentos de referencia en la página 146.

Folleto técnico/manual

Tipo	Código del documento
BSV	PD.IC0.A
CVPP	PD.HN0.A
FIA	PD.FM1.A
ICS	PD.HS2.A

Tipo	Código del documento
NRVA	PD.FK0.A
REG	PD.KM1.A
RT 260A	PD.CB0.A
SVA	PD.KD1.A

Instrucciones del producto

Tipo	Código del documento
BSV	PI.IC0.A
CVPP	PI.HN0.C
FIA	PI.FN1.A
ICS 25-65	PI.HS0.A
ICS 100-150	PI.HS0.B

Tipo	Código del documento
NRVA	PI.FK0.A
REG	PI.KM1.A
RT 260A	RI5BB
SVA	PI.KD1.A

Para descargar la versión más reciente de los documentos, visite el sitio web de Danfoss.

9. Otras aplicaciones

9.1 Filtros secadores en sistemas fluorados

En los sistemas de refrigeración fluorados aparecen naturalmente agua, ácidos y partículas. El agua puede entrar en el sistema durante los trabajos de instalación y mantenimiento, debido a filtraciones, etc.

La descomposición del refrigerante y el aceite da lugar a la formación de ácido.

Las partículas se generan a partir de residuos de soldadura, de la reacción entre el refrigerante y el aceite, etc.

Si no se mantiene el contenido de ácidos, agua y partículas dentro de los límites aceptables, se reducirá significativamente la vida útil del sistema de refrigeración e incluso se podría quemar el compresor.

Un exceso de humedad en los sistemas con temperaturas de evaporación por debajo de 0 °C puede dar lugar a la formación de hielo, que puede bloquear las válvulas de control, las válvulas solenoides, los filtros y otros componentes. Las partículas aumentan el desgaste natural del compresor y las válvulas, así como la posibilidad de que se produzcan obstrucciones. Los ácidos no son corrosivos en ausencia de agua. Sin embargo, los ácidos disueltos en agua pueden corroer las tuberías y formar incrustaciones en las superficies calientes de los cojinetes del compresor.

Estas incrustaciones también se acumulan sobre superficies de contacto calientes como las de la

bomba de aceite, el cigüeñal, las bielas, los anillos de pistón, las láminas de las válvulas de descarga y aspiración, etc. Asimismo, provocan que los cojinetes funcionen a mayor temperatura, ya que el hueco de lubricación existente en ellos se hace más pequeño a medida que el espesor de las incrustaciones crece.

La refrigeración de los cojinetes se reduce debido a la menor circulación de aceite a través del hueco existente. Esto provoca que esos componentes se calienten cada vez más. Los discos de las válvulas comenzarán a sufrir fugas, generando un recalentamiento de descarga más elevado. A medida que los problemas aumenten, más inminente será el fallo del compresor.

Los filtros secadores están diseñados para evitar todas las situaciones anteriores. Realizan dos funciones: secado y filtración.

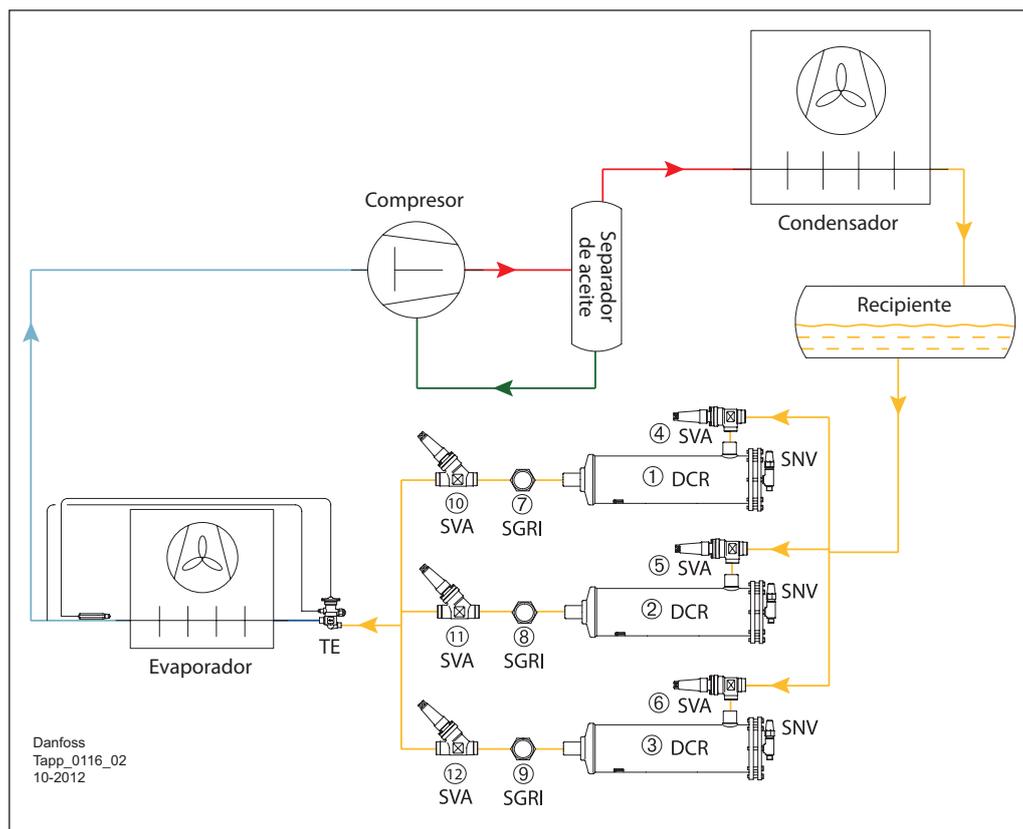
La función de secado sirve como protección química e incluye la adsorción del agua y los ácidos. Su propósito es prevenir la corrosión de las superficies metálicas y la descomposición del aceite y el refrigerante, así como evitar que se quemen los motores.

La función de filtración sirve como protección física y consiste en la retención de partículas e impurezas de todo tipo. Esto minimiza el desgaste del compresor, lo protege contra posibles daños y prolonga su vida útil significativamente.

Ejemplo de aplicación 9.1.1:
Filtros secadores en sistemas fluorados

- Vapor de refrigerante, HP
- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Vapor de refrigerante, LP
- Aceite

- ① Filtro secador
- ② Filtro secador
- ③ Filtro secador
- ④ Válvula de cierre
- ⑤ Válvula de cierre
- ⑥ Válvula de cierre
- ⑦ Visor de líquido
- ⑧ Visor de líquido
- ⑨ Visor de líquido
- ⑩ Válvula de cierre
- ⑪ Válvula de cierre
- ⑫ Válvula de cierre



En los sistemas fluorados, los filtros secadores normalmente se instalan en la línea de líquido, antes de la válvula de expansión. En esta línea solo existe flujo de líquido puro a través del filtro secador (al contrario que el flujo de dos fases existente después de la válvula de expansión).

La caída de presión a través del filtro secador es menor en esta línea y tiene poca influencia sobre el rendimiento del sistema. La instalación del filtro secador también puede prevenir la formación de hielo en la válvula de expansión.

En las instalaciones industriales, la capacidad de un filtro secador normalmente no basta para todo el sistema, por lo que pueden instalarse varios filtros secadores en paralelo.

El filtro secador DCR dispone de núcleos sólidos intercambiables. Existen tres tipos de núcleos sólidos: DM, DC y DA.

- **DM:** Núcleo sólido de tamiz molecular (100 %), apto para refrigerantes HFC y CO₂.
- **DC:** Núcleo sólido de tamiz molecular (80 %) y alúmina activada (20 %), apto para refrigerantes CFC y HCFC y compatible con refrigerantes HFC.
- **DA:** Núcleo sólido de tamiz molecular (30 %) y alúmina activada (70 %), apto para operaciones de limpieza en compresores quemados y compatible con refrigerantes CFC/HCFC/HFC.

Además de los núcleos sólidos comunes citados anteriormente, Danfoss también suministra otros núcleos hechos a medida del cliente. Asimismo, Danfoss pone a su disposición filtros secadores con núcleos sólidos fijos. Para obtener más información, consulte el catálogo de productos o contacte con su distribuidor local.

El visor de líquido con indicador SGRI para refrigerantes HCFC/CFC se instala después del filtro secador para conocer el contenido de agua después del secado. También disponemos de visores de líquido con indicador para otros tipos de refrigerantes. Para obtener más información, consulte el catálogo de productos de Danfoss.

Datos técnicos

	Filtro secador DCR
Refrigerantes	CFC/HFC/HCFC/R-744
Material	Carcasa: acero
Presión de trabajo máx. [bar]	HP: 46
Rango de temp. de funcionamiento [°C]	De -40 a 70
Núcleos sólidos	DM/DC/DA

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

9.2 Eliminación de agua en sistemas con amoníaco

El problema del agua es específico de los sistemas con amoníaco, si se comparan con los sistemas fluorados y con CO₂.

Las estructuras moleculares del amoníaco y el agua son similares: ambas moléculas son pequeñas y polares, por lo que el amoníaco y el agua son completamente solubles.

Debido a la semejanza de las moléculas del amoníaco y el agua, no existen filtros secadores eficientes para el amoníaco. Además, la alta solubilidad del agua en el amoníaco hace que el agua residual sea difícil de extraer de la disolución.

El agua y el amoníaco coexistirán y actuarán como una especie de refrigerante azeotrópico con una relación P-T saturada distinta de la del amoníaco anhidro.

Estos factores explican por qué los sistemas de amoníaco se utilizan muy pocas veces como sistemas de expansión directa (DX): por un lado, el amoníaco líquido resulta difícil de evaporar por completo si hay agua presente, lo que produciría un fenómeno de golpe de ariete; por otro lado, una válvula de expansión termostática no puede funcionar correctamente si la relación P-T saturada varía.

Los sistemas de circulación de líquido bombeado permiten evitar adecuadamente los posibles daños generados por el agua en los compresores. Con la entrada exclusiva de vapor en la línea de aspiración se evita el fenómeno de golpe de ariete; asimismo, siempre que no exista demasiada agua en el líquido, el vapor apenas contendrá agua (concentración inferior al valor recomendado: 0,3 %, máx.), lo que puede evitar de manera efectiva la contaminación del aceite con agua.

Los sistemas de circulación de líquido bombeado evitan eficazmente los daños en los compresores y, además, anulan el resto de efectos nocivos del agua:

- **Reducción de la eficiencia (COP) del sistema**
Cuando existe contenido de agua, la relación P-T saturada del refrigerante es diferente de la del amoníaco puro. En concreto, el refrigerante se evaporará a una temperatura más alta a una determinada presión. Esto disminuirá la capacidad de refrigeración del sistema y aumentará el consumo de energía.
- **Corrosión**
El amoníaco se vuelve corrosivo en presencia de agua y comienza a corroer las tuberías, válvulas, recipientes, etc.
- **Problemas en los compresores**
Si entra agua en los compresores (por ejemplo, debido a la ineficiencia de los separadores de líquido), esto conducirá a problemas con el aceite y de corrosión en los compresores.

Por consiguiente, para que el sistema funcione de manera eficiente y sin problemas es recomendable comprobar regularmente si existe agua y emplear algún método de eliminación de agua cuando el contenido de agua se encuentre por encima del nivel aceptable.

Básicamente, existen tres maneras de tratar la contaminación por agua:

- **Cambio de la carga**
Resulta adecuado para sistemas con cargas pequeñas (por ejemplo, enfriadores con evaporadores de placas); deben cumplirse los requisitos legales locales vigentes.
- **Purga de algunos evaporadores**
Resulta adecuada para algunos sistemas con flujo por gravedad sin desescarche por gas caliente. En estos sistemas, el agua permanece en el líquido cuando el amoníaco se evapora y se acumula en los evaporadores.
- **Rectificador de agua**
Parte del amoníaco contaminado se drena hacia el rectificador y ahí se calienta, de forma que el amoníaco se evapora y el agua se drena. En los sistemas de circulación de líquido bombeado es la única manera de eliminar agua.

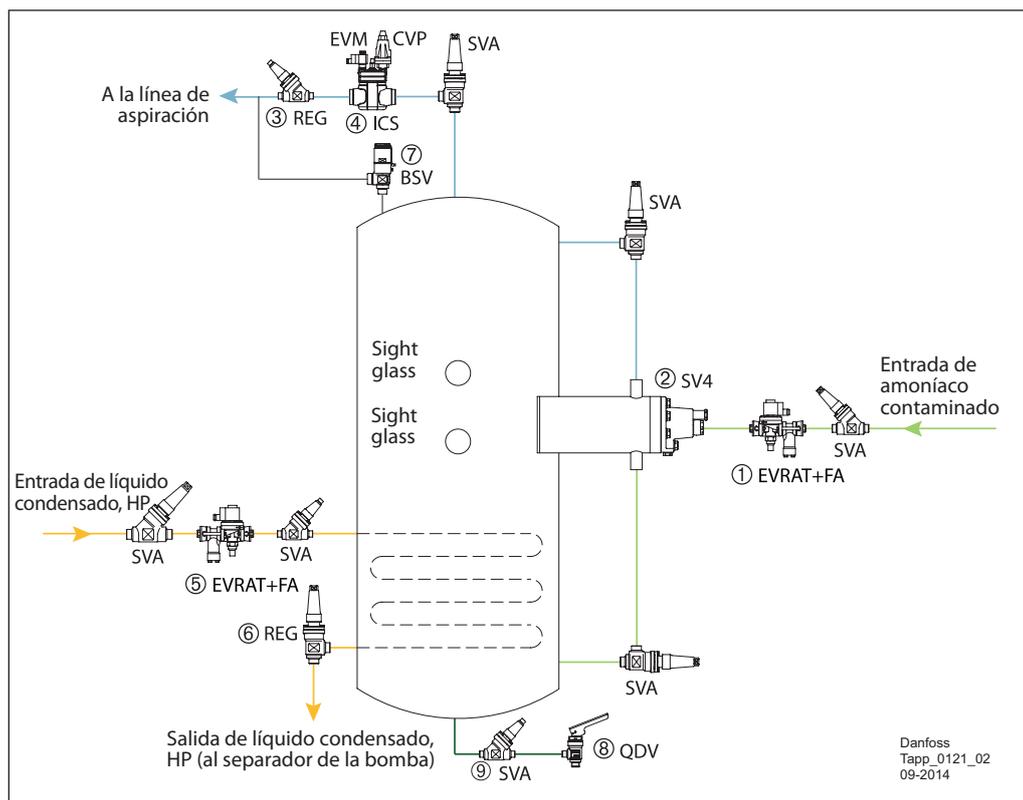
Para obtener más información sobre la contaminación por agua y la eliminación de esta en sistemas de refrigeración, consulte el boletín IAR 108.

Debe mencionarse que un contenido de agua demasiado bajo presenta una desventaja: puede producirse un tipo especial de corrosión del acero. Sin embargo, no es un fenómeno probable en las plantas reales.

Ejemplo de aplicación 9.2.1:
Rectificador de agua calentado por gas caliente y controlado por válvulas de flotador

- Vapor de refrigerante, HP
- Refrigerante líquido, HP
- Vapor de refrigerante, LP
- Refrigerante líquido, LP
- Aceite

- ① Válvula solenoide
- ② Válvula de flotador
- ③ Válvula de regulación manual
- ④ Válvula de regulación de presión
- ⑤ Válvula solenoide
- ⑥ Válvula de regulación manual
- ⑦ Válvula de seguridad interna
- ⑧ Válvula de drenaje rápido
- ⑨ Válvula de cierre



Danfoss
Tapp_0121_02
09-2014

Procedimiento de eliminación de agua:

1. Energice las válvulas solenoides EVRAT ① e ICS+EVM ④. El amoníaco contaminado se drenará en el recipiente de rectificación. La válvula de flotador SV 4 ② se cerrará cuando el nivel de líquido en el recipiente alcance el valor ajustado. Energice la válvula solenoide EVRAT ⑤.
2. El líquido condensado se transfiere al serpentín del recipiente y comienza a calentar el amoníaco contaminado. El amoníaco comienza a evaporarse y el líquido contaminado permanece en el recipiente. Cuando el amoníaco se evapora en el recipiente y el nivel de líquido disminuya, la válvula de flotador SV4 ② se abrirá y permitirá la entrada de más amoníaco contaminado en el recipiente. Tras un cierto tiempo (según las observaciones realizadas), podrá darse paso al drenaje del líquido contaminado.
3. Desenergice la válvula solenoide EVRAT ①. Tras un cierto tiempo, todo el amoníaco se habrá evaporado y sólo quedará líquido contaminado en el recipiente. Para drenar el líquido contaminado del recipiente, la presión en su interior debe aumentar hasta superar los 0 °C. Es posible conseguirlo desenergizando la válvula solenoide ICS+EVM ④. Al hacerlo, el control de la presión en el interior del recipiente recaerá sobre la válvula solenoide ICS+CVP ④.

- Abra la válvula de cierre SVA ⑨ un par de vueltas y, con cuidado, abra la válvula de drenaje QDV ⑧ para drenar el líquido contaminado que quede en el recipiente.
4. Cierre la válvula de drenaje QDV ⑧ y la válvula de cierre SVA ⑨. Desenergice entonces la válvula solenoide ⑤, para detener el proceso de eliminación de líquido contaminado o, si es necesario, repita el paso 1 para continuar con el mismo.

Por razones de seguridad, existe una válvula de alivio BSV ⑦ en el recipiente que impide la acumulación de una presión excesiva.

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

9.3
Sistemas de purga de aire

Presencia de gases no condensables

Los gases no condensables están presentes en los sistemas de refrigeración al inicio del proceso de instalación, cuando las tuberías y las conexiones están llenas de aire. Por consiguiente, si no se aplica un buen vacío de proceso, el aire puede quedar atrapado en el sistema.

Además, el aire puede entrar en el sistema debido a fugas, al abrir el sistema para realizar su mantenimiento, a través de los componentes del sistema, debido a fugas en conexiones soldadas en las que la presión del amoníaco sea menor que la presión atmosférica (temperaturas de evaporación inferiores a -34 °C), al añadir aceite, etc.

Asimismo, las impurezas del refrigerante y/o la descomposición del refrigerante o el aceite lubricante debido a las altas temperaturas de descarga pueden generar gases no condensables (por ejemplo, el amoníaco se descompone en nitrógeno e hidrógeno).

Ubicación y detección

Los gases no condensables están presentes en el lado de alta presión del sistema de refrigeración, principalmente en los puntos más fríos y menos agitados del condensador.

Una manera sencilla de verificar la presencia de gases no condensables en el sistema es comparar la diferencia de presión entre la presión de condensación real (lectura del manómetro del recipiente) y la presión saturada correspondiente a la temperatura medida a la salida del condensador.

Por ejemplo, si la temperatura a la salida del condensador en un sistema de amoníaco es de 30 °C, la presión saturada asociada será de 10,7 barg; si la lectura del manómetro es de 11,7 barg, existirá una diferencia de 1 bar debida a la presencia de gases no condensables.

Problemas generados

El aire tiende a formar una película sobre las tuberías del condensador, aislando la superficie de transferencia de calor del refrigerante en el condensador. El resultado es una reducción de la capacidad del condensador y, por tanto, un aumento de la presión de condensación. La eficiencia energética disminuirá y, en función de la presión de condensación, las posibilidades de que se produzcan problemas asociados al aceite aumentarán.

La reducción de la capacidad del condensador es una realidad, pero resulta muy difícil de determinar. Los fabricantes de sistemas de purga de aire han

proporcionado algunos datos que indican una reducción de capacidad del 9-10 % por cada bar de aumento de la presión de condensación. Si se requiere un cálculo más exacto, la ASHRAE proporciona algunas directrices sobre cómo realizarlo, así como algunos ejemplos de investigaciones emprendidas con los resultados obtenidos (manual de sistemas y equipos HVAC, gases no condensables).

Otros fabricantes estiman los riesgos y los costes asociados correspondientes al lado del compresor. A medida que la presión de condensación y la temperatura de descarga aumenten, habrá más riesgos para los cojinetes debido a problemas con el aceite, así como un incremento del coste de funcionamiento del compresor. Sobre la estimación de costes influirán el tipo y el tamaño de los compresores de la planta.

En definitiva, la presencia de gases no condensables es tan indeseable como inevitable, por lo que a menudo se usan equipos de purga de aire.

Sistemas de purga de aire

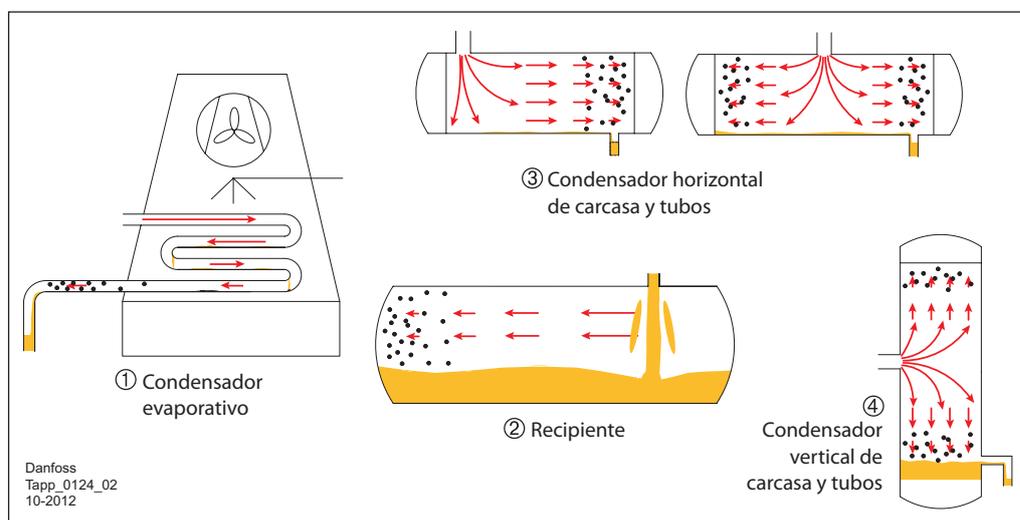
El aire o los gases no condensables pueden purgarse y eliminarse del sistema manualmente. Esta operación la realiza el personal de mantenimiento y puede generar pérdidas excesivas de refrigerante.

Otra forma de purga es la llamada purga refrigerada: los gases procedentes de los puntos de muestreo se enfrían dentro de una cámara con aceite de refrigeración, con el propósito de condensar el refrigerante y devolverlo al sistema. Los gases que queden en la cámara deben purgarse a la atmósfera. La idea de la refrigeración y la condensación es reducir las emisiones de refrigerante.

El refrigerante usado en el serpentín de refrigeración puede ser el mismo que el de la planta de refrigeración u otro diferente.

La ubicación de la conexión de purga es bastante difícil de determinar y depende del sistema y el tipo de condensador. A continuación se incluyen algunos ejemplos de puntos de purga. En la imagen, las flechas de los serpentines del condensador y los recipientes representan las velocidades de flujo. Cuanto más corta sea la flecha, menor será la velocidad.

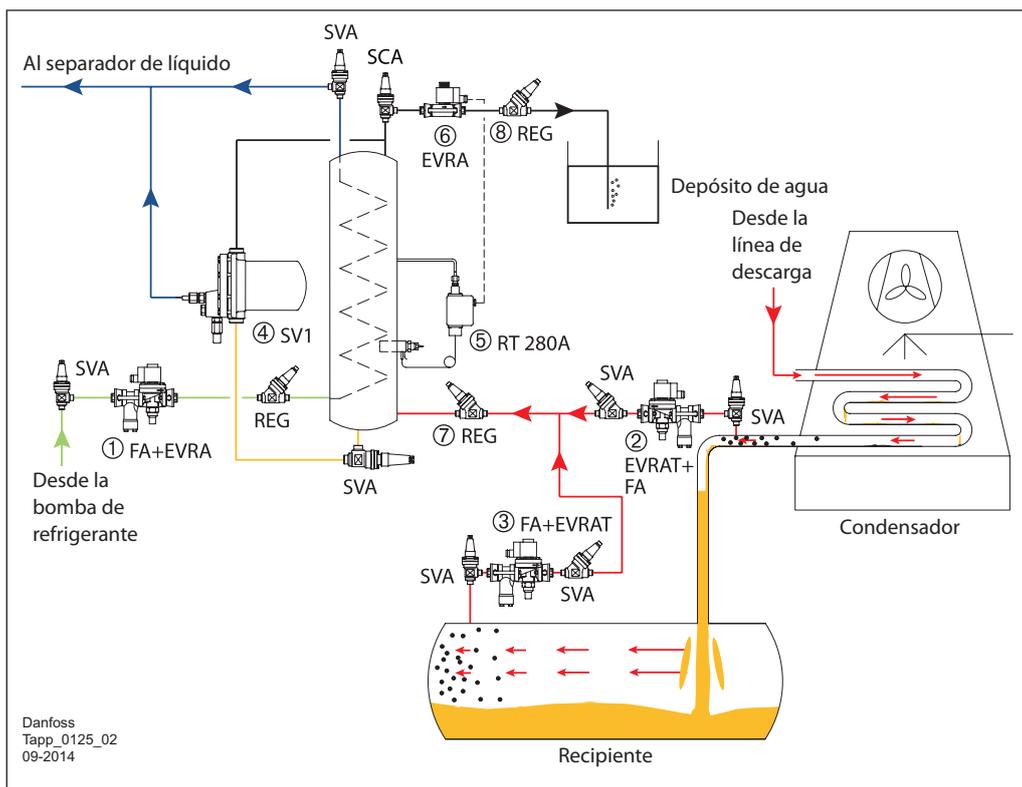
La acumulación de aire se muestra mediante los puntos negros. En los lugares con alto contenido de aire es donde deben tomarse las muestras para realizar la purga.



Ejemplo de aplicación 9.3.1:
Sistema de purga automática
de aire usando refrigerante de
la planta

- Vapor de refrigerante, HP
- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Refrigerante líquido, LP
- Aire

- ① Válvula solenoide
- ② Válvula solenoide
- ③ Válvula solenoide
- ④ Válvula de flotador
- ⑤ Interruptor de presión
- ⑥ Válvula solenoide
- ⑦ Válvula de regulación manual
- ⑧ Válvula de regulación manual



Pasos para la realización de la purga de aire:

1. Energice la válvula solenoide EVRA ①, de forma que el refrigerante líquido de baja presión entre en el serpentín y enfíe el refrigerante contenido en el recipiente.
2. Energice la válvula solenoide EVRAT ② o ③ (únicamente UNA de ellas). El gas refrigerante con aire acumulado se introducirá en el recipiente, dentro del cual el vapor de refrigerante condensará; por su parte, el aire ascenderá hasta la parte superior del recipiente. La válvula de flotador SV 1 ④ permite drenar automáticamente el refrigerante líquido condensado.
3. Al acumularse aire en la parte superior del recipiente, la presión total dentro de este aumentará en comparación con la presión saturada del refrigerante líquido. Cuando la presión alcance el ajuste del interruptor de presión RT 280A ⑤, se abrirá la válvula solenoide EVRA ⑥ y se purgará parte del aire del recipiente.

La válvula de regulación ⑧ debe ajustarse a un grado de apertura relativamente bajo para que la purga del aire acumulado en el recipiente tenga lugar de forma controlada/lenta.

La válvula de regulación ⑦ debe ajustarse a un grado de apertura relativamente bajo, ya que su misión es crear una caída de presión tal que dé lugar a una presión tan baja como sea posible en el interior del purgador de aire. Otra posibilidad es practicar un pequeño orificio después de la válvula de regulación ⑦.

No se muestran todas las válvulas.
La información no debe utilizarse con fines de construcción.

9.4 Sistema de recuperación de calor

El calor libre de desrecalentamiento y/o condensación del condensador puede recuperarse si existen necesidades de calentamiento en la planta. Entre ellas se incluyen el calentamiento de aire en oficinas o tiendas, el calentamiento de agua de lavado o proceso, el precalentamiento del agua de alimentación de la caldera, etc.

Para conseguir que la recuperación de calor resulte una solución económica, es importante cerciorarse de que exista una correspondencia entre el calor libre y las necesidades de calentamiento en términos de sincronización, valores de temperatura y flujo de calor. Por ejemplo, para producir agua caliente (es decir, cuando se requiere calentar hasta alcanzar un alto valor de temperatura) puede aprovecharse el calor de desrecalentamiento, mientras que para la calefacción de oficinas habitualmente puede emplearse la recuperación de todo el calor del condensador.

Un sistema de control bien diseñado es de gran importancia para conseguir un funcionamiento sin problemas y eficiente de los sistemas de refrigeración con recuperación de calor.

El propósito del control es coordinar la recuperación de calor y la refrigeración:

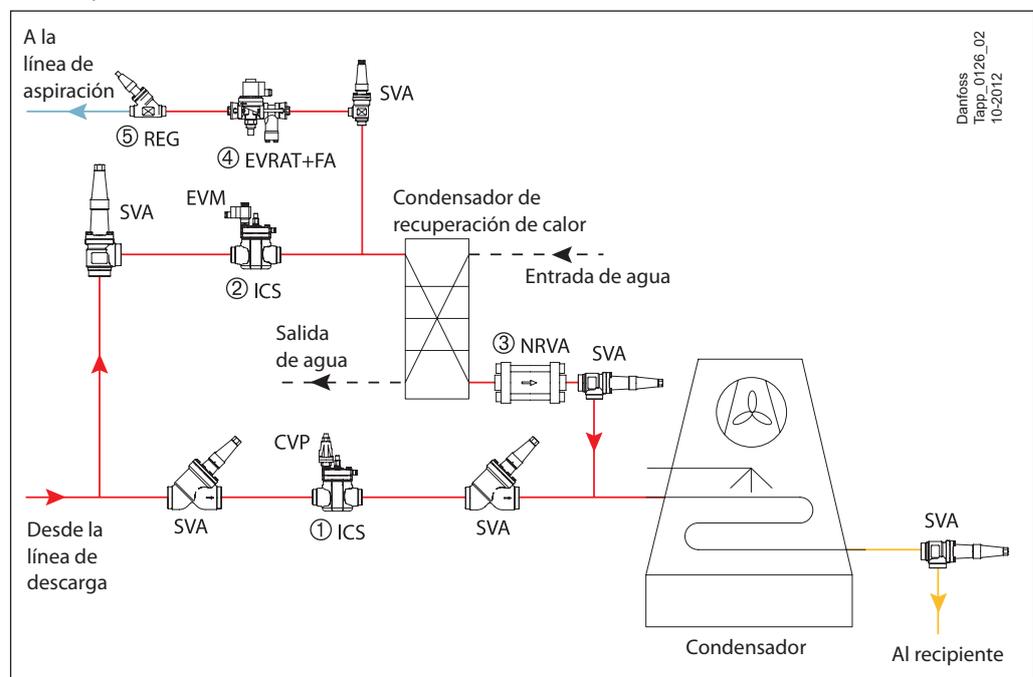
1. La función básica de refrigeración debe garantizarse tanto si la recuperación de calor funciona como si no. La presión de condensación no debería ser muy alta cuando se detenga la recuperación del calor. Además, para los sistemas de expansión directa (DX) la presión de condensación tampoco debería ser demasiado baja (consulte la sección 3).
2. Los requisitos para la recuperación de calor (por ejemplo, la temperatura y el flujo de calor) deben cumplirse.
3. Control de tipo ON/OFF sin problemas para el circuito de recuperación de calor en función de la demanda.

El control de la recuperación de calor requiere un diseño muy sofisticado, que puede variar en función de la planta. A continuación se indican algunos ejemplos:

Ejemplo de aplicación 9.4.1: Control para una configuración en serie de intercambiador de calor de recuperación y condensador

- Vapor de refrigerante, HP
- Refrigerante líquido, HP
- Vapor de refrigerante, LP
- Agua

- ① Regulador de presión
- ② Válvula solenoide
- ③ Válvula de retención
- ④ Válvula solenoide
- ⑤ Válvula de regulación manual



Este sistema de recuperación de calor puede aplicarse tanto al aire como al agua.

Ciclo de refrigeración sin recuperación de calor

El gas caliente de la línea de descarga se lleva directamente hasta el condensador principal a través de la válvula servoaccionada pilotada ICS ① con válvula piloto de presión constante CVP (HP). La válvula de retención NRVA ③ evita el reflujó hacia el condensador de recuperación de calor.

Ciclo de recuperación de calor

La válvula servoaccionada pilotada ICS ② se controla mediante la conmutación de tipo ON/OFF de la válvula piloto de solenoide EVM a través de un temporizador, termostato, etc. El gas caliente entra en el condensador de recuperación.

La válvula ICS ① normalmente se cerrará debido al aumento de la capacidad de condensación y la disminución de la presión de descarga. Si la presión de descarga aumenta, la válvula piloto de presión constante CVP (HP) abrirá la válvula servoaccionada ICS ①, de forma que parte del gas caliente podrá fluir hacia el condensador principal.

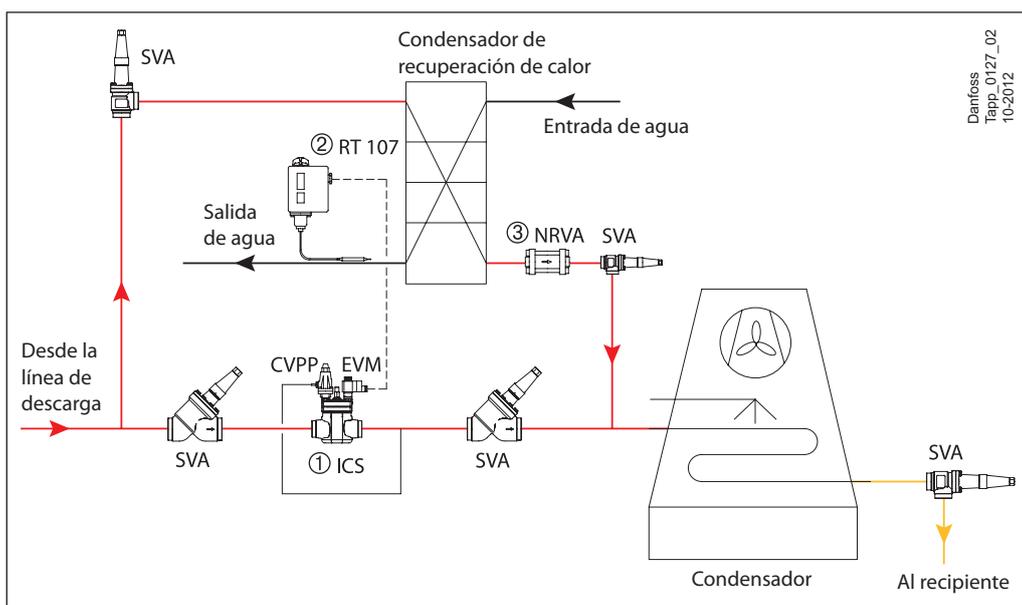
En época de verano, el condensador de recuperación de calor permanecerá inactivo durante periodos de tiempo extensos. Para evitar el riesgo de acumulación de líquido en este condensador, una válvula solenoide EVRA ④ y una válvula de regulación REG ⑤ aseguran la evaporación periódica del condensado del condensador de recuperación.

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Ejemplo de aplicación 9.4.2:
Control para una configuración
en serie de intercambiador
de calor de recuperación y
condensador

— Vapor de refrigerante, HP
— Refrigerante líquido, HP
— Agua

- ① Regulador de presión diferencial
- ② Termostato
- ③ Válvula de retención



Danfoss
Tapp_0127_02
10-2012

Este sistema de recuperación de calor puede aplicarse en plantas de refrigeración centralizada con varios compresores.

Siempre que solo se use una pequeña parte de la capacidad del compresor, todo el gas de descarga atravesará el condensador de recuperación y llegará después al condensador principal.

Cuanto mayor sea la fracción de la capacidad del compresor utilizada, mayor será la caída de presión en el condensador de recuperación.

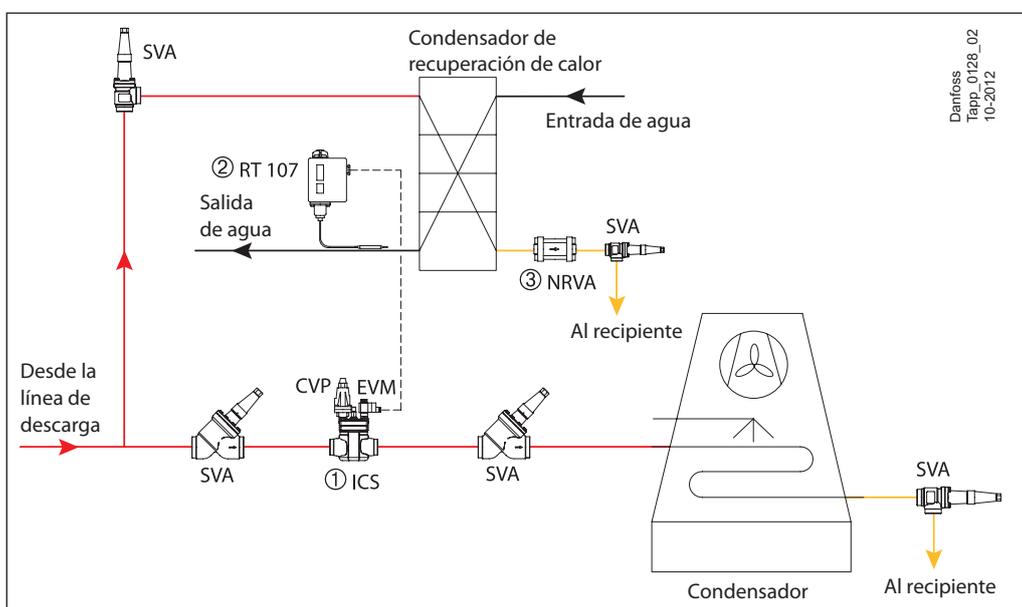
Cuando el valor de caída de presión supere el ajuste de la válvula piloto de presión diferencial CVPP (HP), la válvula servoaccionada ICS ① se abrirá parcialmente y el exceso de presión de gas se conducirá directamente al interior del condensador principal.

Una vez se alcance la temperatura deseada del aire o el agua gracias al condensador de recuperación de calor, el termostato RT 107 ② activará la válvula piloto de tipo ON/OFF EVM y la válvula servoaccionada ICS ① se abrirá completamente.

Ejemplo de aplicación 9.4.3:
Control para una configuración
en paralelo de intercambiador
de calor de recuperación y
condensador

— Vapor de refrigerante, HP
— Refrigerante líquido, HP
— Agua

- ① Regulador de presión y válvula solenoide
- ② Termostato
- ③ Válvula de retención



Danfoss
Tapp_0128_02
10-2012

Este sistema de recuperación de calor puede aplicarse en sistemas con varios compresores (por ejemplo, para el calentamiento de agua en sistemas de calefacción centralizada).

En condiciones de funcionamiento normales, la válvula servoaccionada ICS ① se mantiene abierta por la conmutación de tipo ON/OFF de la válvula piloto de solenoide EVM, activada por un control externo conectado al termostato RT 107.

Durante el invierno, cuando la demanda de calefacción requiera la recuperación de calor, la válvula piloto de solenoide EVM se cerrará y eso hará que la válvula servoaccionada ICS ① también se cierre. Si la presión de condensación supera el ajuste de la válvula piloto de presión constante CVP (HP), la válvula servoaccionada ICS 3 se abrirá y la presión de gas en exceso se conducirá hasta el condensador principal.

La válvula de retención NRVA evita el reflujo del refrigerante hacia el condensador de recuperación.

No se muestran todas las válvulas.
La información no debe utilizarse con fines de construcción.

9.5

Documentos de referencia

Puede encontrar una descripción por orden alfabético de todos los documentos de referencia en la página 146.

Folleto técnico/manual

Tipo	Código del documento
BSV	PD.IC0.A
CVP	PD.HN0.A
DCR	PD.EJ0.A
EVM	PD.HN0.A
EVRA(T)	PD.BM0.B
ICS	PD.HS2.A
NRVA	PD.FK0.A

Tipo	Código del documento
REG	PD.KM1.A
RT 107	PD.CB0.A
SGR	PD.EK0.A
SNV	PD.KB0.A
SVA	PD.KD1.A
SV 1-3	PD.GE0.B
SV 4-6	PD.GE0.D

Instrucciones del producto

Tipo	Código del documento
BSV	PI.IC0.A
CVP	PI.HN0.C
DCR	PI.EJ0.B
EVM	PI.HN0.N
EVRA(T)	PI.BN0.L
ICS 25-65	PI.HS0.A
ICS 100-150	PI.HS0.B
NRVA	PI.FK0.A

Tipo	Código del documento
REG	PI.KM1.A
SGR	PI.EK0.A
SNV	PI.KB0.A
SVA	PI.KD1.A
SV 1-3	PI.GE0.C
SV 4-6	PI.GE0.B

Para descargar la versión más reciente de los documentos, visite el sitio web de Danfoss.

10. Uso del CO₂ en sistemas de refrigeración industrial

El uso de dióxido de carbono (CO₂) en sistemas de refrigeración no es algo nuevo. El primero que propuso el dióxido de carbono como refrigerante fue Alexander Twining (ref. [1]) en una patente británica fechada en 1850 de la que fue autor. Thaddeus S. C. Lowe experimentó con el CO₂ en el campo de los globos militares, pero también diseñó una máquina de hielo con CO₂ en 1867. Lowe también desarrolló una máquina para el transporte de carne congelada a bordo de buques.

En las referencias bibliográficas puede comprobarse que durante los años siguientes se desarrollaron sistemas refrigerados por CO₂, que alcanzaron su apogeo durante los años 20 y el comienzo de los años 30 del siglo XX. El CO₂ fue generalmente la opción preferida en el sector naval, ya que no era tóxico ni inflamable, mientras que el uso de amoníaco (NH₃ o R-717) fue más común en las aplicaciones industriales (ref. [2]). El CO₂ desapareció del mercado principalmente debido a la irrupción del Freon, un nuevo "refrigerante milagroso" cuya comercialización resultó muy exitosa.

El amoníaco continuó siendo el refrigerante predominante en las aplicaciones de refrigeración industrial a lo largo de los años. En los años 90 resurgió el interés por las ventajas que ofrece el uso del CO₂, debido al potencial de reducción de ozono (ODP) y el potencial de calentamiento global (GWP) de los refrigerantes CFC y HFC y a la imposición de límites en relación con las cargas de refrigerante para los grandes sistemas con amoníaco.

El CO₂ se clasifica como un refrigerante natural, junto con el amoníaco, los hidrocarburos como el propano y el butano y el agua. Todos estos refrigerantes presentan ciertas desventajas.

El amoníaco es tóxico, los hidrocarburos son inflamables y el agua tiene un potencial de aplicación limitado. Por el contrario, el CO₂ no es tóxico ni inflamable.

El CO₂ se diferencia del resto de refrigerantes comunes en muchos aspectos y posee algunas propiedades únicas. El desarrollo tecnológico que se ha producido desde los años 20 del siglo pasado ha permitido eliminar muchas de las barreras que dificultaban el uso del CO₂, pero aun así los usuarios deben ser muy conscientes de sus propiedades únicas y adoptar las medidas necesarias para evitar problemas en sus sistemas de refrigeración.

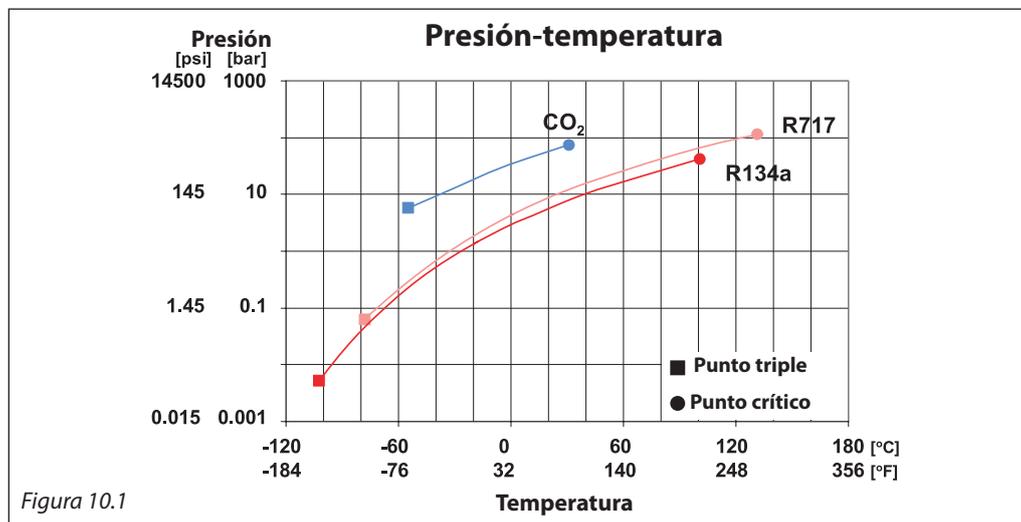
En el gráfico de la fig. 10.1 se muestran las curvas presión-temperatura del CO₂, el refrigerante R-134a y el amoníaco. Entre las propiedades más destacadas del CO₂ en comparación con otros refrigerantes se incluyen las siguientes:

- Presión de funcionamiento más alta para una determinada temperatura.
- Rango más estrecho de temperaturas de funcionamiento.
- Punto triple a una presión mucho más alta.
- Punto crítico a muy baja temperatura.

Aunque el punto triple y el punto crítico no suelen ser importantes para los refrigerantes comunes, el caso del CO₂ es distinto. Presenta un punto triple relativamente alto a 5,2 bar (75,1 psi) y, lo que es más importante, superior a la presión atmosférica.

Esto puede generar problemas salvo que se adopten las precauciones oportunas. Por otra parte, el punto crítico del CO₂ es muy bajo: solo 31,1 °C (88,0 °F), lo que afecta notablemente a los requisitos de diseño.

En la tabla inferior se comparan distintas propiedades del CO₂ con las del refrigerante R-134a y el amoníaco.



Refrigerante		R-134a	NH ₃	CO ₂
Sustancia natural		NO	SÍ	SÍ
Potencial de reducción de ozono (ODP)*		0	0	0
Potencial de calentamiento global (GWP)*		1.300	-	1
Punto crítico	bar [psi]	40,7 [590]	113 [1.640]	73,6 [1.067]
	°C [°F]	101,2 [214]	132,4 [270]	31,1 [87,9]
Punto triple	bar [psi]	0,004 [0,06]	0,06 [0,87]	5,18 [75,1]
	°C [°F]	-103 [-153]	-77,7 [-108]	-56,6 [-69,9]
Inflamable o explosivo		NO	(SÍ)	NO
Tóxico		NO	SÍ	NO

10.1
El CO₂ como refrigerante

El CO₂ puede emplearse como refrigerante en distintos tipos de sistemas, incluidos tanto sistemas subcríticos como supercríticos. En cualquier tipo de sistema con CO₂ deben tenerse en cuenta tanto el punto crítico como el punto triple.

El ciclo de refrigeración clásico con el que todos estamos familiarizados es subcrítico; es decir, todo el rango de temperaturas y presiones se sitúan por debajo del punto crítico y por encima del punto triple. Un sistema con CO₂ subcrítico de una sola etapa es sencillo, pero también presenta desventajas debido a su rango de temperatura limitado y su alta presión (consulte la fig. 10.1.2).

Los sistemas con CO₂ transcíticos en la actualidad solo resultan interesantes para pequeñas aplicaciones y aplicaciones comerciales; por ejemplo, sistemas de aire acondicionado móviles, bombas de calor pequeñas y sistemas de refrigeración para supermercados, pero no para sistemas industriales (consulte la fig. 10.1.3). Los sistemas transcíticos no se describen en este manual.

La presión de funcionamiento de los ciclos subcríticos habitualmente comprende un rango entre 5,7 y 35 bar (entre 83 y 507 psi), al que corresponde un rango de temperatura entre -55 y 0 °C (entre -67 y 32 °F). Si los evaporadores se someten a un desescarche por gas caliente, en ese caso la presión de funcionamiento será aproximadamente 10 bar (145 psi) superior.

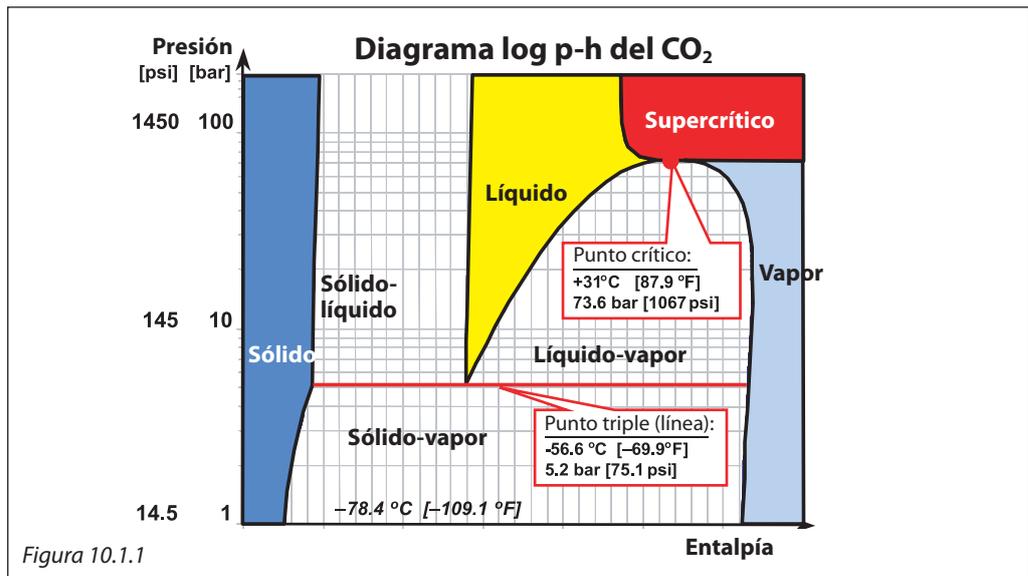


Figura 10.1.1

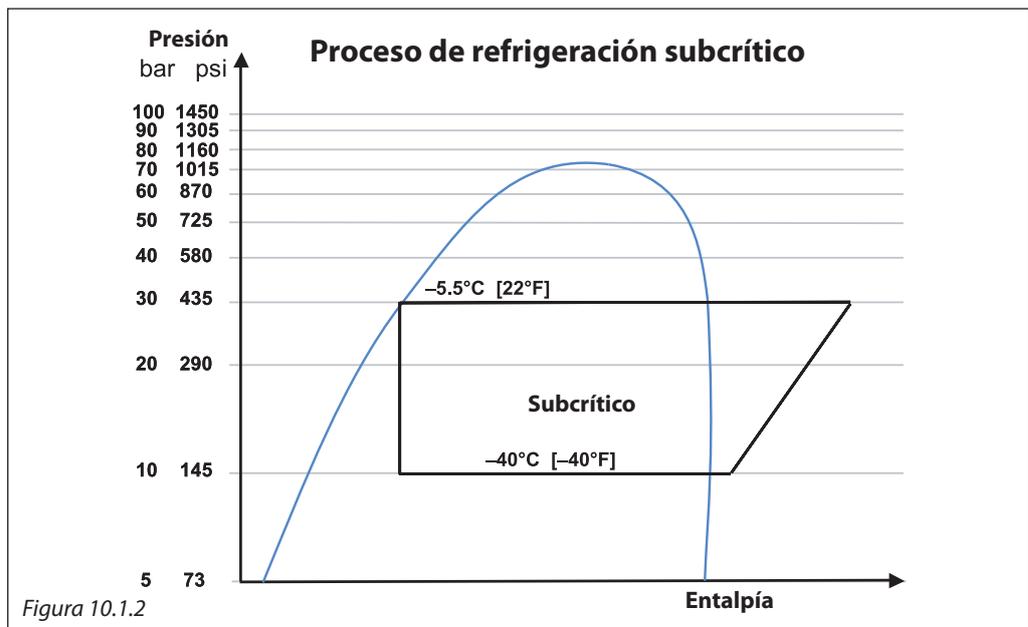
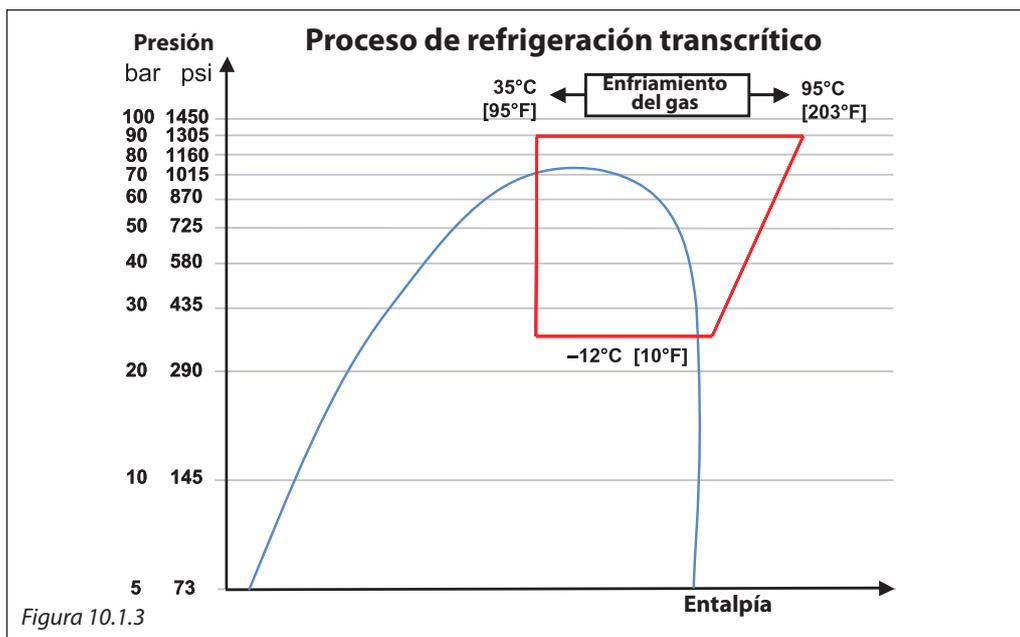


Figura 10.1.2

10.1
El CO₂ como refrigerante
(continuación)



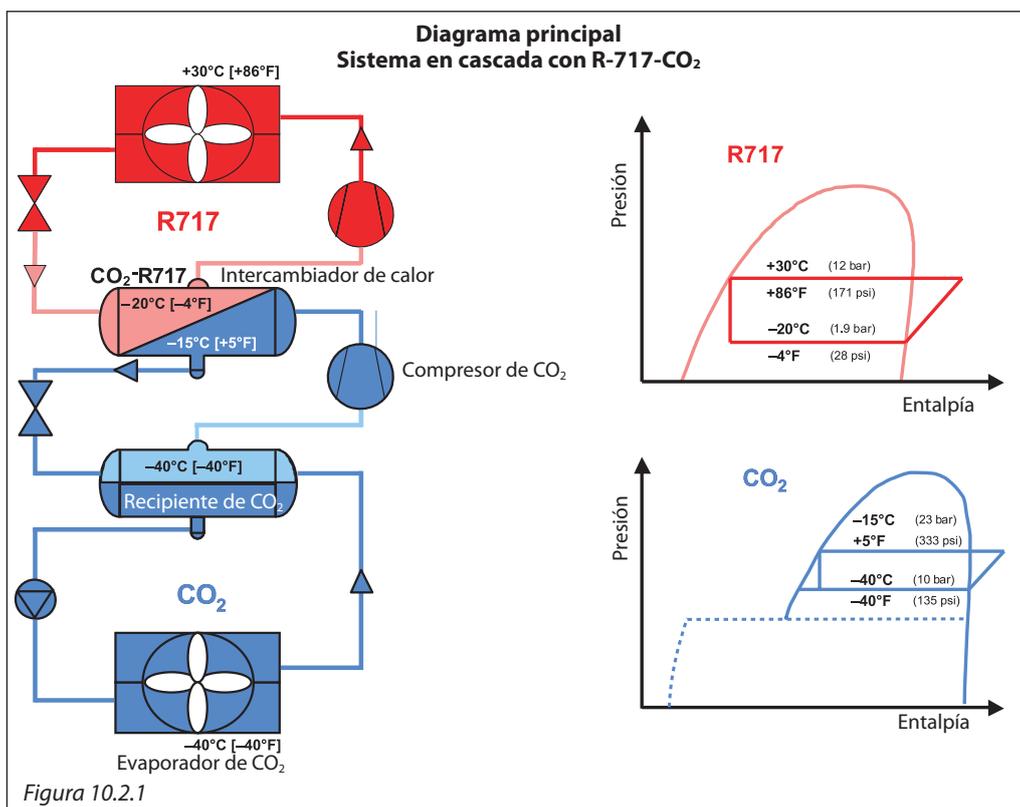
El CO₂ se emplea principalmente en sistemas de refrigeración industrial en cascada o híbridos, ya que su presión puede limitarse de tal manera que permite utilizar componentes comerciales como compresores, controles y válvulas.

Los sistemas con CO₂ en cascada pueden presentar distintos diseños; por ejemplo, sistemas de expansión directa, sistemas de circulación por bomba, CO₂ en sistemas secundarios volátiles de "salmuera" o distintas combinaciones de los anteriores.

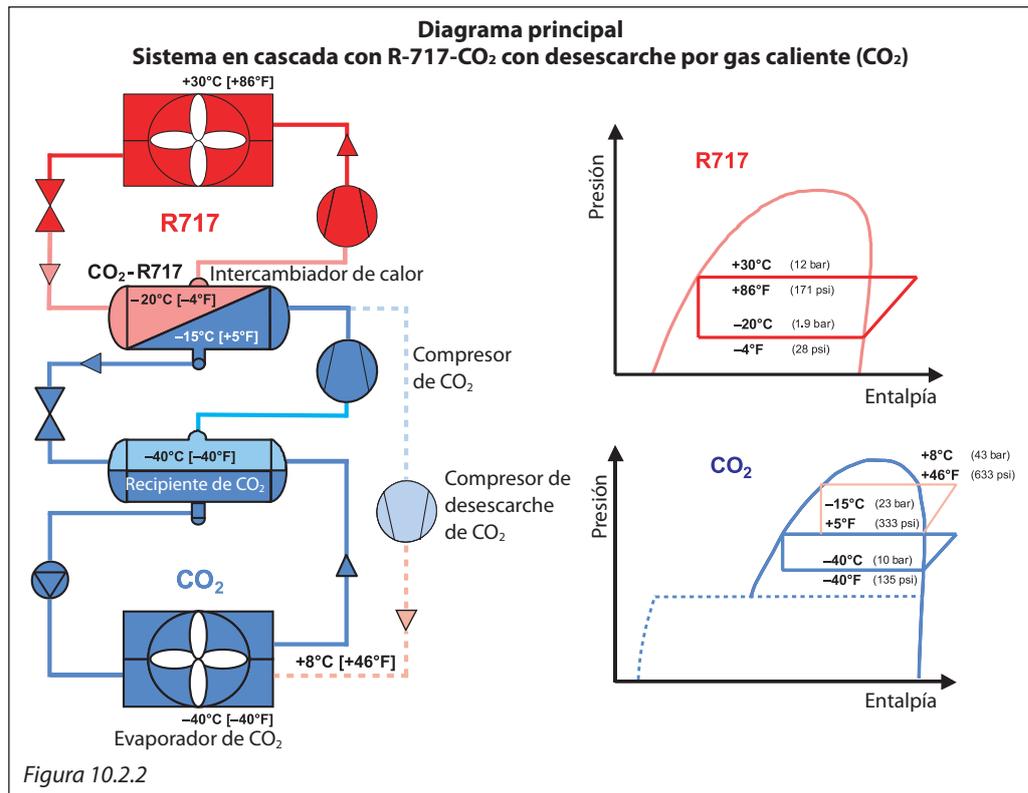
10.2
El CO₂ como refrigerante en
sistemas industriales

En la fig. 10.2.1 se muestra un sistema de refrigeración de baja temperatura a -40 °C (-40 °F) en el que se utiliza CO₂ como refrigerante de

cambio de fase en un sistema en cascada con amoníaco en el lado de alta presión.



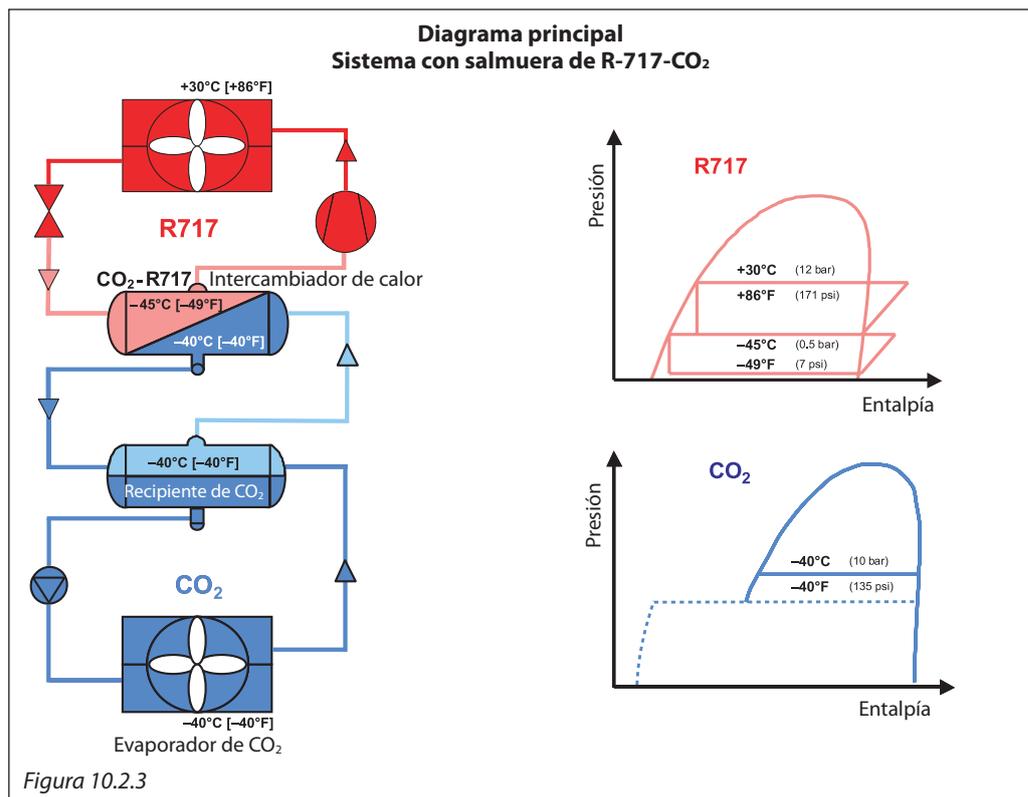
10.2
El CO₂ como refrigerante en sistemas industriales
 (continuación)



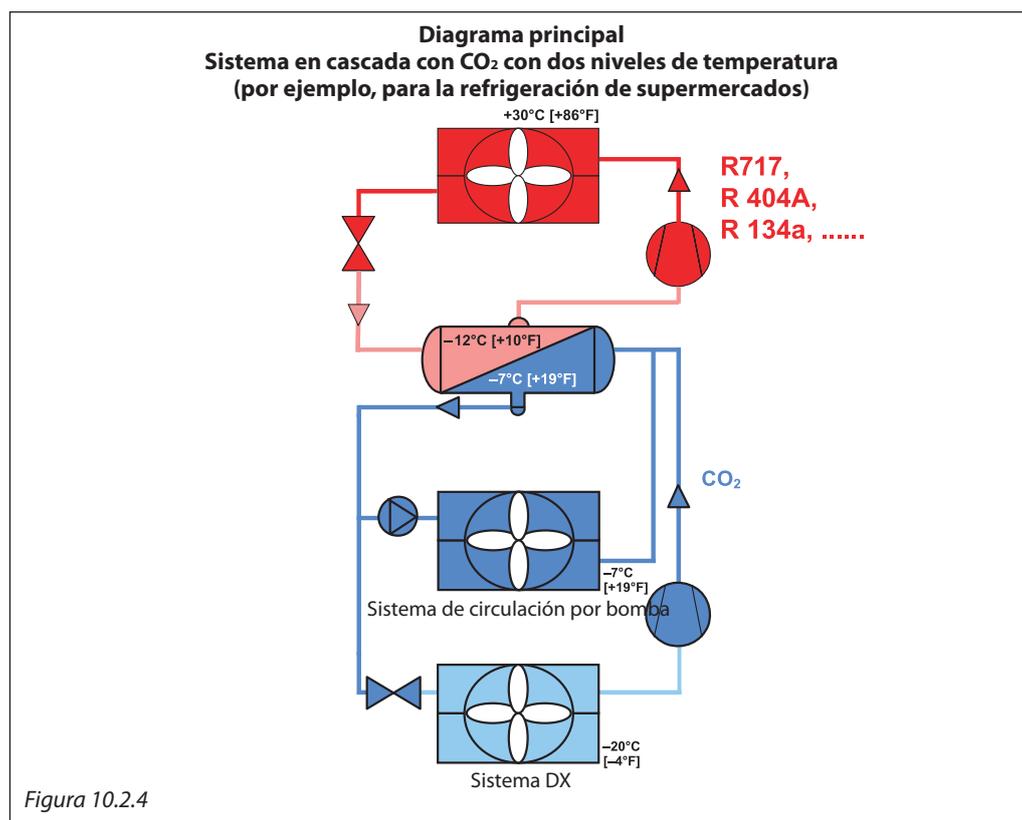
El sistema con CO₂ es un sistema de circulación por bomba en el que el CO₂ líquido se bombea desde el recipiente hasta el evaporador, en el que se evapora parcialmente antes de retornar al recipiente. A continuación, el CO₂ evaporado se comprime en un compresor de CO₂ y se condensa en el intercambiador de calor CO₂-NH₃. El intercambiador de calor actúa

como un evaporador en el sistema con NH₃. En comparación con un sistema convencional con amoníaco, en el sistema en cascada indicado anteriormente puede emplearse una carga alrededor de 10 veces menor de esta sustancia.

En la fig. 10.2.2 se muestra el mismo sistema que en la fig. 10.2.1, con la diferencia de que incluye un sistema de desescarche por gas caliente (CO₂).



10.2 El CO₂ como refrigerante en sistemas industriales (continuación)



En la fig. 10.2.3 se muestra un sistema de refrigeración de baja temperatura a -40 °C (-40 °F) en el que se utiliza un sistema con una "salmuera" de CO₂ y amoníaco en el lado de alta presión. El sistema con CO₂ es un sistema de circulación por bomba en el que el CO₂ líquido se bombea desde el recipiente hasta el evaporador. En este último se evapora parcialmente antes de retornar al recipiente.

Acto seguido, el CO₂ evaporado se condensa en el intercambiador de calor CO₂-NH₃. El intercambiador de calor actúa como un evaporador en el sistema con NH₃.

En la fig. 10.2.4 se muestra un sistema mixto con un sistema inundado y de expansión directa (DX); por ejemplo, para un sistema de refrigeración de un supermercado en el que se requieran dos niveles de temperatura.

10.3 Presión de diseño

A la hora de determinar la presión de diseño de los sistemas con CO₂, los dos aspectos más importantes a tener en cuenta son los siguientes:

- La presión *en estado de reposo*.
- La presión requerida durante el desescarche.

Algo importante es que, si no existen controles de presión, la presión del sistema en *estado de reposo* (es decir, cuando el sistema esté desconectado) aumentará debido al calor aportado por el aire del ambiente. Si la temperatura alcanzase los 0 °C (32 °F), la presión sería de 34,9 bar (505 psi) o 57,2 bar (830 psi) a 20 °C (68 °F). En los sistemas de refrigeración industrial, resultaría muy costoso diseñar un sistema capaz de soportar la presión de compensación (es decir, la presión de saturación correspondiente a la temperatura ambiente) en *estado de reposo*. Por este motivo, es habitual instalar una pequeña unidad condensadora auxiliar para limitar la presión máxima en *estado de reposo* a un valor razonable; por ejemplo, 30 bar (435 psi).

El CO₂ posibilita emplear numerosos tipos distintos de desescarche (por ejemplo, natural, por agua, eléctrico o por gas caliente). El desescarche por gas caliente es el método más eficiente, en especial a bajas temperaturas, pero también es el que requiere la presión más elevada. Con una presión de diseño de 52 barg (754 psig), puede alcanzarse una temperatura de desescarche de aprox. 10 °C (50 °F).

La presión saturada a 10 °C (50 °F) es de 45 bar (652 psi). Añadiendo un 10 % para las válvulas de seguridad y aproximadamente un 5 % para los picos de presión, la presión de trabajo máxima admisible sería de aprox. 52 barg (aprox. 754 psig); consulte la fig. 10.3.2 y la fig. 10.3.3.

10.3
Presión de diseño
(continuación)

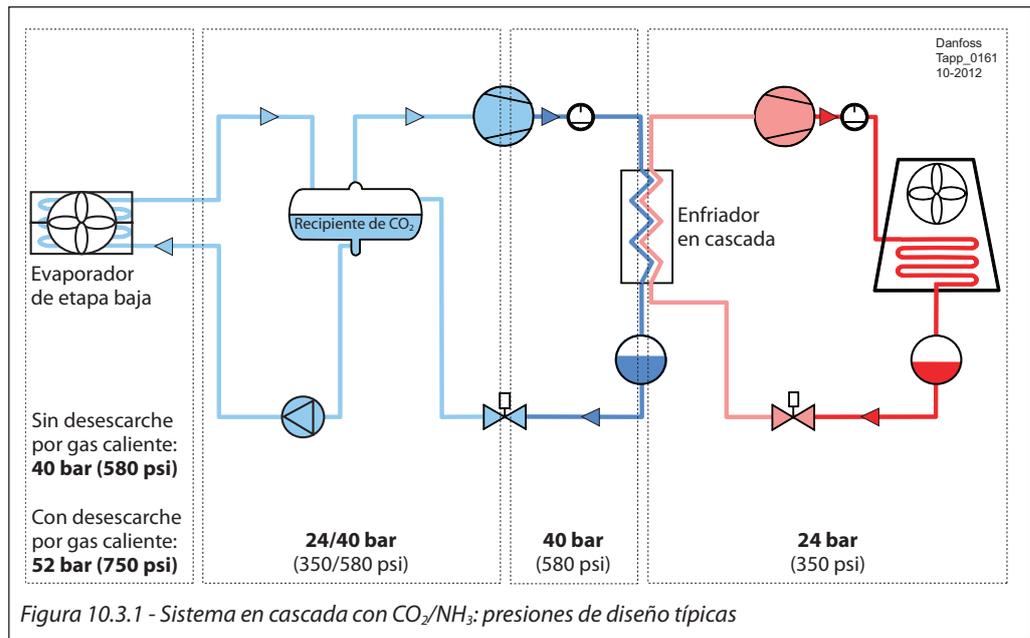


Figura 10.3.1 - Sistema en cascada con CO₂/NH₃; presiones de diseño típicas

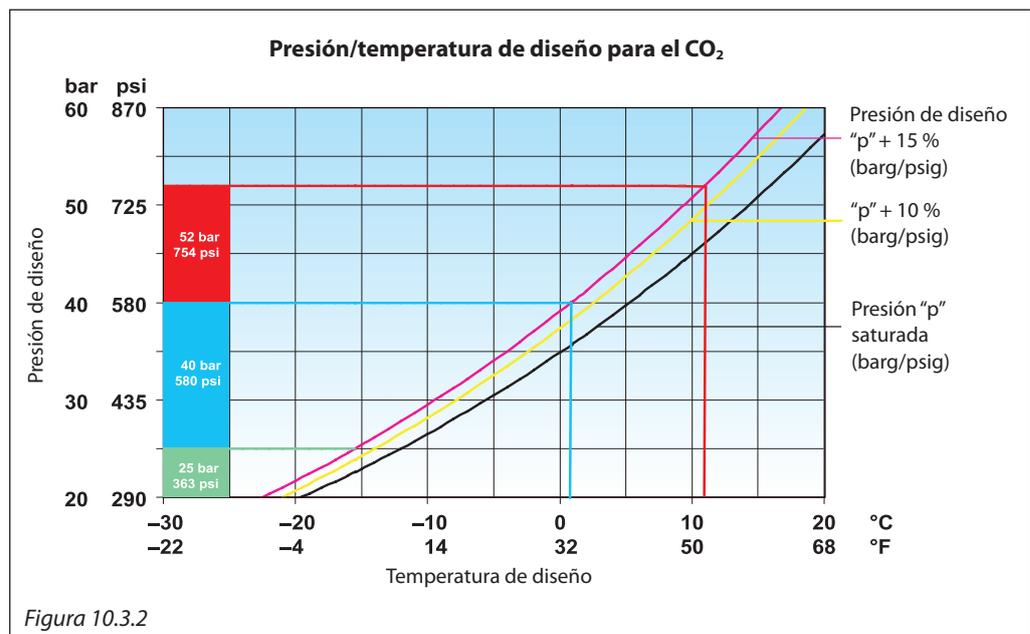


Figura 10.3.2

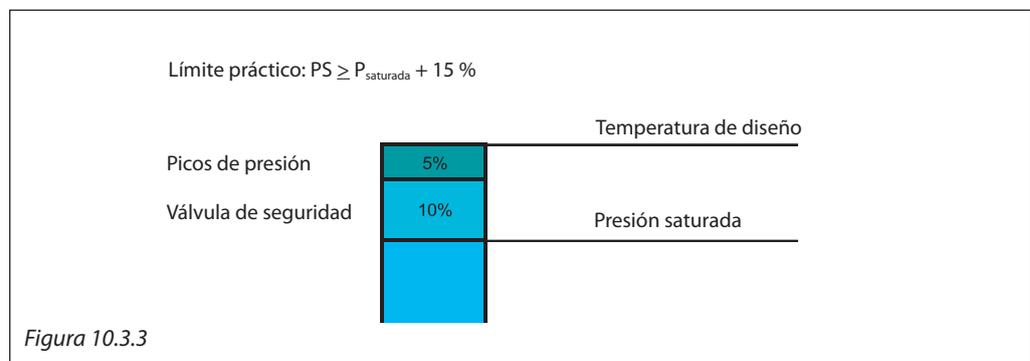


Figura 10.3.3

10.4 Seguridad

El CO₂ es una sustancia inodora e incolora clasificada como un refrigerante no inflamable y no tóxico; sin embargo, aunque aparentemente sus propiedades sean muy atractivas, presenta algunos inconvenientes.

El CO₂, al ser inodoro, no resulta sencillo de detectar de primeras en caso de fuga (ref. [6]).

Además, el CO₂ es más denso que el aire, por lo que tiende a acumularse sobre el suelo o el terreno. Esto puede generar situaciones peligrosas, en especial en fosos o espacios confinados. El CO₂ puede desplazar el oxígeno en un grado tal que la mezcla resultante puede llegar a ser letal. La densidad relativa del CO₂ es de 1,529; aire = 1 a 0 °C (32 °F). Debe prestarse una especial atención a este riesgo durante el diseño y el funcionamiento de los sistemas. Siempre deben utilizarse sistemas de detección de fugas y/o ventilación de emergencia.

En comparación con el amoníaco, el CO₂ es un refrigerante más seguro. El valor umbral límite (TLV) es la concentración máxima de vapor de CO₂ en el aire tolerable durante un turno de trabajo de 8 horas (en total, 40 horas por semana). El valor límite de seguridad (TLV) del amoníaco es de 25 ppm, mientras que el del CO₂ es de 5.000 ppm (0,5 %).

En el aire existe una concentración aproximada de CO₂ del 0,04 %.

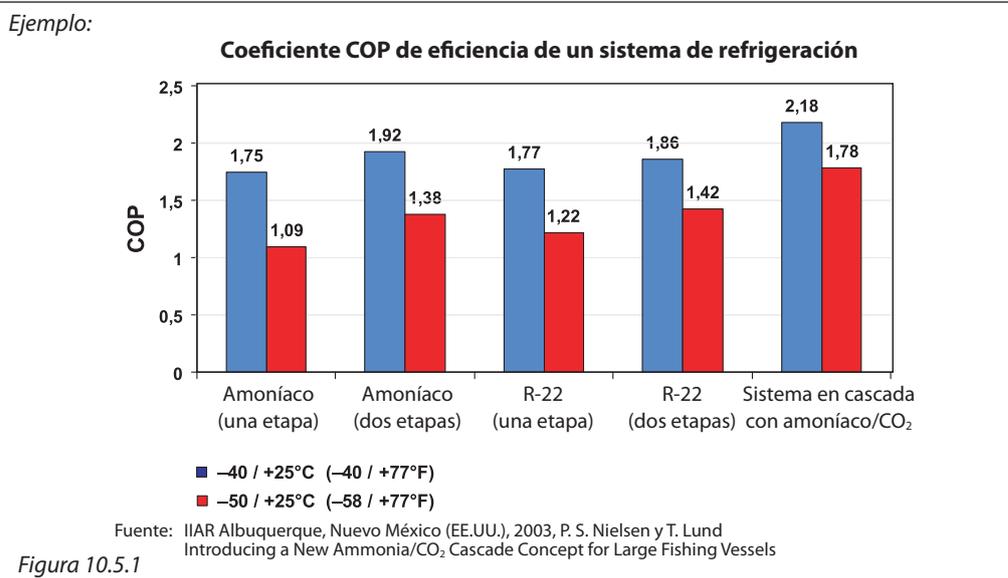
A mayores concentraciones se ha comprobado que se producen diversos efectos adversos:

- 2 % Aumento de la frecuencia respiratoria en un 50 %.
- 3 % Aumento de la frecuencia respiratoria en un 100 %.
- 5 % Aumento de la frecuencia respiratoria en un 300 %.
- 8-10 % La respiración natural sufre alteraciones, de forma que respirar resulta prácticamente imposible. Dolor de cabeza, mareos, sudoración y desorientación.
- > 10 % Puede producir la pérdida de consciencia e incluso la muerte.
- > 30 % Puede producir rápidamente la muerte.

10.5
Eficiencia

En los sistemas en cascada con CO₂-NH₃ debe utilizarse un intercambiador de calor. El uso de intercambiadores de calor reduce la eficiencia del sistema, debido a la necesidad de mantener una diferencia de temperatura entre ambos fluidos.

Sin embargo, los compresores de CO₂ presentan una mayor eficiencia y mejoran la transferencia de calor. La eficiencia total de un sistema en cascada CO₂-NH₃ no es menor cuando se compara con un sistema convencional con NH₃ (consulte la fig. 10.5.1 y la ref. [3]).



10.6
Aceite en los sistemas con CO₂

En los sistemas con CO₂ con compresores de refrigeración convencionales se emplean aceites tanto miscibles como inmiscibles (consulte la tabla inferior).

En el caso de los lubricantes inmiscibles, como las polialfaolefinas (PAO), el sistema de gestión del lubricante es relativamente complejo. La densidad de las PAO es menor que la del CO₂ líquido. Por tanto, el lubricante sobrenadará el refrigerante y resultará más difícil de eliminar que en los sistemas con amoníaco. Asimismo, para evitar la obstrucción de los evaporadores, la separación del aceite del compresor debe ser enormemente eficaz (básicamente, la recomendación es que en el sistema apenas exista aceite).

Para los lubricantes miscibles, como los poliolésteres (POE), el sistema de gestión del aceite puede ser mucho más sencillo. Los POE presentan una gran afinidad por el agua, por lo que el desafío a la hora de utilizarlos es garantizar la estabilidad del lubricante.

En los sistemas con *salmueras volátiles* que emplean el CO₂ como refrigerante secundario y en los sistemas de recirculación con compresores sin aceite, en el CO₂ circulado no existirá aceite. Desde el punto de vista de la eficiencia, se trata de una solución óptima ya que consigue unos buenos coeficientes de transferencia de calor en los evaporadores. Sin embargo, requiere que todas las válvulas, los controles y otros componentes puedan funcionar *en seco*.

CO₂ y aceite

Tipo de aceite	PAO Aceite de polialfaolefina (aceite sintético)	POE Aceite de polioléster (aceite de base éster)
Solubilidad	Baja (inmiscible)	Alta (miscible)
Hidrólisis	Baja	Elevada afinidad por el agua
Sistema de separación de aceite	Requisitos especiales: <ul style="list-style-type: none"> • Rendimiento de filtración alto. <ul style="list-style-type: none"> • Filtros coalescentes de múltiples etapas. • Filtro de carbón activado. 	No existen requisitos especiales (Requisitos del sistema como refrigerantes HCFC/HFC)
Sistema de retorno de aceite	Requisito especial: <ul style="list-style-type: none"> • Drenaje de aceite desde el recipiente de baja temperatura (densidad del aceite menor que la del CO₂, al contrario que en el caso del NH₃). 	Sencillo. (Requisitos del sistema como refrigerantes HCFC/HFC)
Aspectos problemáticos	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de separación y de retorno de aceite. • Acumulación de aceite a largo plazo (por ejemplo, en los evaporadores). 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada afinidad por el agua. • Estabilidad a largo plazo del aceite. • Requiere un sistema de refrigerante "limpio".

10.6
Aceite en los sistemas con CO₂
(continuación)

La concentración de aceite en el separador de la bomba aumenta progresivamente ya que el aceite no puede aspirarse junto con el gas para retornarlo al compresor. Si la concentración de aceite en el evaporador aumenta demasiado, las fuerzas adhesivas harán que el aceite se "adhiera" a las superficies de transferencia de calor. Esto reducirá la capacidad de la planta.

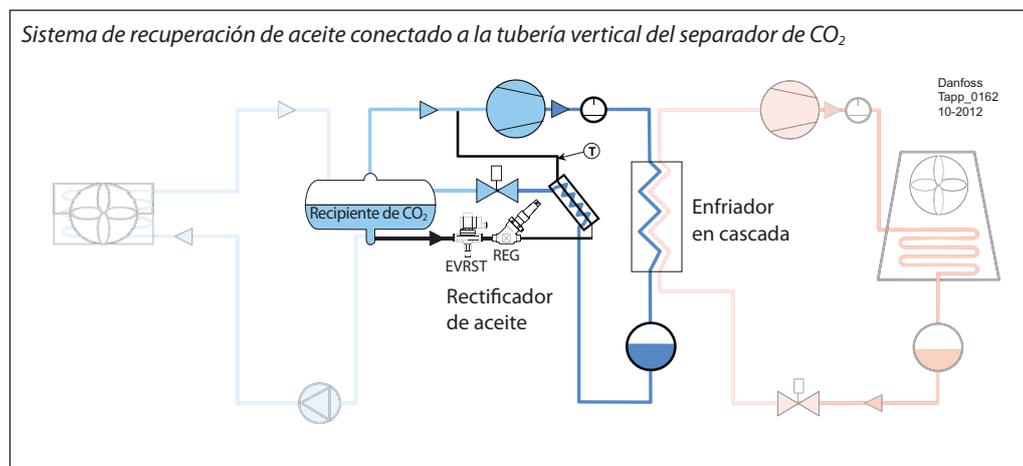
Mediante la ebullición continua de parte de la mezcla líquida aceite/CO₂ del separador de la bomba se podrá mantener una concentración baja en la planta. Durante el proceso de ebullición en el rectificador de aceite, el CO₂ líquido estará

subenfriado y la mezcla líquida aceite/CO₂ del separador de CO₂ se evaporará y se introducirá de nuevo en el compresor de CO₂.

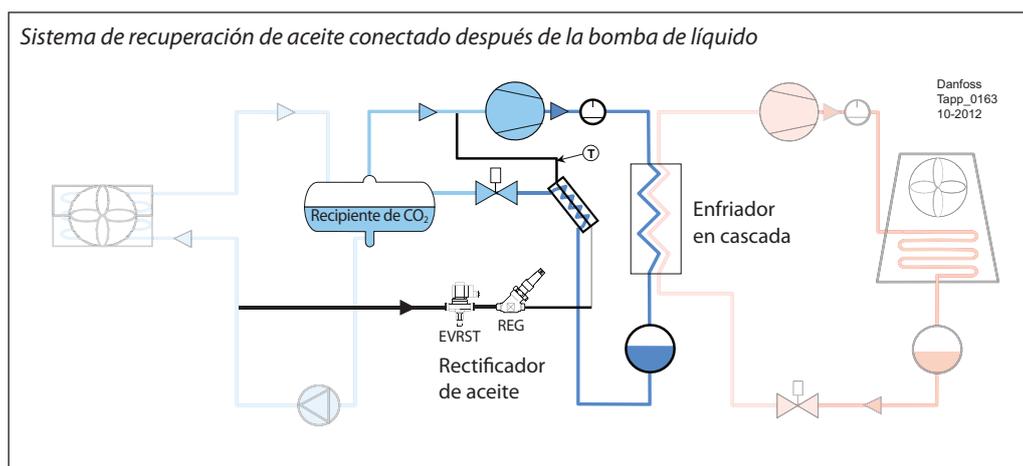
El CO₂ líquido puro nunca debe volver al compresor, ya que lo dañaría; es decir, el CO₂ a la salida del intercambiador de calor debe estar recalentado.

El recalentamiento puede controlarse mediante una válvula REG instalada después de la válvula solenoide.

*Ejemplo 10.6.1:
Sistema de gestión de aceite para sistemas con aceites solubles (miscibles)*



*Ejemplo 10.6.2:
Sistema de gestión de aceite para sistemas con aceites solubles (miscibles)*

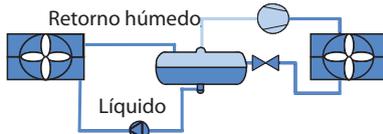


No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

10.7 Comparación de los requisitos de los componentes de los sistemas con CO₂, amoníaco y R-134a

El CO₂ presenta múltiples diferencias en comparación con el amoníaco y el refrigerante R-134a. La siguiente comparación pone de manifiesto este hecho. Con el fin de poder realizar una comparación "realista", las condiciones de funcionamiento como la temperatura de evaporación y la temperatura de condensación se han mantenido constantes.

Comparación de las secciones de las tuberías
Líneas de retorno húmedo y de líquido

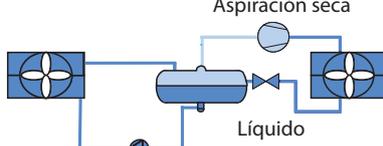


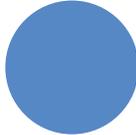
Refrigerante		R-134a	R-717	CO ₂
Capacidad	kW [TR]	250 [71]	250 [71]	250 [71]
Línea de "retorno húmedo"	ΔT	0,8 [1,4]	0,8 [1,4]	0,8 [1,4]
	Δp	0,0212 [0,308]	0,0303 [0,439]	0,2930 [4,249]
	Velocidad	11,0 [36,2]	20,2 [66,2]	8,2 [26,9]
				
Diámetro	mm [in]	215 [8,5]	133 [5,2]	69 [2,7]
Sección de "retorno húmedo"	mm ² [in ²]	36.385 [56,40]	13.894 [21,54]	3.774 [5,85]
Línea de "líquido"	Velocidad	0,8 [2,6]	0,8 [2,6]	0,8 [2,6]
				
	Diámetro	mm [in]	61 [2,4]	36 [1,4]
Sección de "líquido"	mm ² [in ²]	2.968 [4,6]	998 [1,55]	2.609 [4,04]
Sección total de las tuberías	Área de "retorno húmedo" + "líquido"	39.353 [61,0]	14.892 [23,08]	6.382 [9,89]
Sección de líquido	%	8	7	41

$L_{eqv} = 50$ [m]/194 [ft] - Circ. por bomba: $\eta_{circ} = 3$ - Temp. de evaporación: TE = -40 [°C]/-40 [°F]

Tabla 1

Comparación de las secciones de las tuberías
Líneas de aspiración seca/de líquido



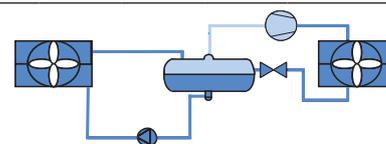
Refrigerante		R-134a	R-717	CO ₂
Capacidad	kW [TR]	250 [71]	250 [71]	250 [71]
Línea de "aspiración seca"	ΔT	0,8 [1,4]	0,8 [1,4]	0,8 [1,4]
	Δp	0,0212 [0,308]	0,0303 [0,439]	0,2930 [4,249]
	Velocidad	20,4 [67]	37,5 [123]	15,4 [51]
				
Diámetro	mm [in]	168 [6,6]	102 [4,0]	53 [2,1]
Sección de "aspiración seca"	mm ² [in ²]	22.134 [34,31]	8.097 [12,55]	2.242 [3,48]
Línea de "líquido"	Velocidad	0,8 [2,6]	0,8 [2,6]	0,8 [2,6]
				
	Diámetro	mm [in]	37 [1,5]	21 [0,8]
Sección de "líquido"	mm ² [in ²]	1.089 [1,69]	353 [0,55]	975 [1,51]
Sección total de las tuberías	Sección de "aspiración seca" + líquido"	23.223 [36,00]	8.450 [13,10]	3.217 [4,99]
Sección de líquido	%	5	4	30

$L_{eqv} = 50$ [m]/194 [ft] - Temp. de evaporación: TE = -40 [°C]/-40 [°F] - Temp. de condensación: TE = -15 [°C]/-5 [°F]

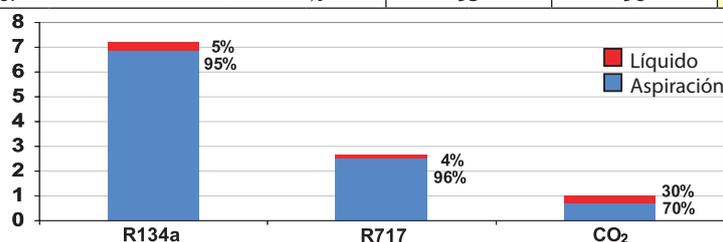
Tabla 2

10.7

Comparación de los requisitos de los componentes de los sistemas con CO₂, amoníaco y R-134a
(continuación)

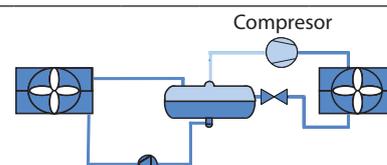
Comparación de las secciones de las tuberías
Líneas de aspiración seca/de líquido


Refrigerante			R-134a	R-717	CO ₂
Capacidad	kW [TR]		250 [71]	250 [71]	250 [71]
Línea de "aspiración seca"	Sección de "aspiración seca"	mm ² [in ²]	22.134 [34,31]	8.097 [12,55]	2.242 [3,48]
Línea de "líquido"	Sección de "líquido"	mm ² [in ²]	1.089 [1,69]	353 [0,55]	975 [1,51]
Sección total de las tuberías	Sección de "aspiración seca + líquido"	mm ² [in ²]	23.223 [36,00]	8.450 [13,10]	3.217 [4,99]
Sección relativa	-		7,2	2,6	1,0
Sección de líquido	%		5	4	30
Sección de vapor	%		95	96	70



L_{equiv} = 50 [m]/194 [ft] - Temp. de evaporación: TE = -40 [°C]/-40 [°F] - Temp. de condensación: TE = -15 [°C]/-5 [°F]

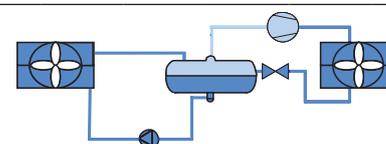
Tabla 3

Comparación del desplazamiento del compresor


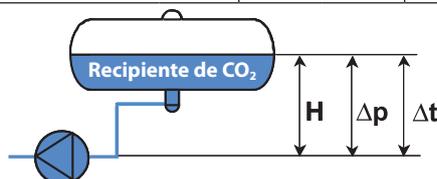
Refrigerante			R-134a	R-717	CO ₂
Capacidad de refrigeración	kW [TR]		250 [71]	250 [71]	250 [71]
Desplazamiento requerido del compresor	m ³ /h [ft ³ /h]		1.628 [57.489]	1.092 [38.578]	124 [4.387]
Desplazamiento requerido	-		13,1	8,8	1,0

Temp. de evaporación: TE = -40 [°C]/-40 [°F] - Temp. de condensación: TE = -15 [°C]/-5 [°F]

Tabla 4

Comparación de la presión y el subenfriamiento generado en tuberías verticales de líquido


Refrigerante			R-134a	R-717	CO ₂
Altura de la tubería vertical de líquido, "H"	m [ft]		3 [9,8]	3 [9,8]	3 [9,8]
Presión generada en la tubería vertical de líquido, "Δp"	bar [psi]		0,418 [6,06]	0,213 [2,95]	0,329 [4,77]
Subenfriamiento generado en la tubería vertical de líquido, "Δt"	K [°F]		14,91 [26,8]	5,21 [9,4]	0,88 [1,6]



Temp. de evaporación: TE = -40 [°C]/-40 [°F]

Tabla 5

Líneas de retorno húmedo en sistemas con recirculación

Si se comparan los sistemas de circulación por bomba, puede observarse que los sistemas con CO₂ permiten utilizar tuberías mucho más pequeñas en las líneas de retorno húmedo que los sistemas con amoníaco o refrigerante R-134a (consulte la tabla 3). En las líneas de retorno húmedo con CO₂, la caída de presión admisible para una determinada caída de

temperatura es aproximadamente 10 veces mayor que en las líneas de retorno húmedo con amoníaco o refrigerante R-134a. Este fenómeno se debe a la densidad relativamente alta del vapor de CO₂. Para la comparación anterior se utilizó una tasa de circulación igual a 3. Los resultados son ligeramente diferentes si la tasa de circulación se optimiza para cada refrigerante.

Líneas de aspiración en sistemas de expansión seca

Los resultados obtenidos para las líneas de "aspiración seca" son muy similares a los de la comparación anterior en términos de caída de presión y tamaño de la línea (consulte la tabla 2).

Líneas de líquido

Tanto en los sistemas con recirculación como en los de expansión seca, los tamaños de las líneas de CO₂ líquido son mucho mayores que para el amoníaco, aunque solo ligeramente mayores que para el refrigerante R-134a (consulte las tablas 1 y 2). Esto se debe a que el calor latente del amoníaco es mucho mayor que el del CO₂ y el refrigerante R-134a.

Se ha calculado la capacidad requerida del compresor para unas cargas de refrigeración idénticas para los tres refrigerantes (consulte la 4). Como puede observarse, el sistema con CO₂ necesita un compresor mucho más pequeño que los sistemas con amoníaco o refrigerante R-134a.

Si nos fijamos en la tabla que muestra las secciones relativas para el líquido y el vapor para los tres refrigerantes (tabla 1), la sección total del sistema con CO₂ es aproximadamente 2,5 veces más pequeña que la de un sistema con amoníaco y 7 veces más pequeña que la de un sistema con refrigerante R-134a. Este resultado tiene interesantes efectos en los costes de instalación correspondientes de los sistemas con estos tres refrigerantes.

Para compresores con un desplazamiento idéntico, la capacidad del compresor con CO₂ es 8,8 veces superior que con amoníaco y 13 veces mayor que con refrigerante R-134a.

Debido al pequeño volumen relativo de vapor del sistema con CO₂ y a su gran capacidad volumétrica de refrigeración, el sistema con CO₂ es relativamente sensible a las fluctuaciones de capacidad. Por tanto, es importante diseñar el separador de líquido con un volumen adecuado que permita compensar el pequeño volumen de vapor de las tuberías.

También se ha calculado el subenfriamiento generado en una tubería vertical de líquido de una determinada altura "H" para los tres refrigerantes (consulte la tabla 5). El subenfriamiento de la tubería vertical de CO₂ líquido es mucho menor que en los casos del amoníaco y el refrigerante R-134a. Esta característica debe tenerse en cuenta a la hora de diseñar sistemas con CO₂, con el fin de evitar la cavitación y otros problemas asociados a las bombas de CO₂ líquido.

10.8 Agua en sistemas con CO₂

En los sistemas con amoníaco, el aceite se cambia periódicamente y los gases no condensables se purgan frecuentemente para minimizar la acumulación de aceite, agua y partículas sólidas contaminantes que puedan generar problemas.

debieron a la congelación de agua en el sistema. Los sistemas modernos incluyen filtros secadores para mantener el contenido de agua en el sistema en unos valores aceptables.

En comparación con los sistemas con amoníaco, el CO₂ es menos sensible; no obstante, podrían producirse problemas si hay agua presente. En algunas de las primeras instalaciones con CO₂ se produjeron problemas en los equipos de control, entre otros componentes. Las investigaciones revelaron que muchos de esos problemas se

La concentración de agua admisible en los sistemas con CO₂ es muy inferior a la permitida para otros refrigerantes comunes. El diagrama de la fig. 10.8.1 muestra la solubilidad del agua tanto en la fase líquida como en la fase vapor del CO₂ en función de la temperatura. La solubilidad en la fase líquida es mucho mayor que en la fase vapor. La solubilidad en la fase vapor también se conoce como *punto de rocío*.

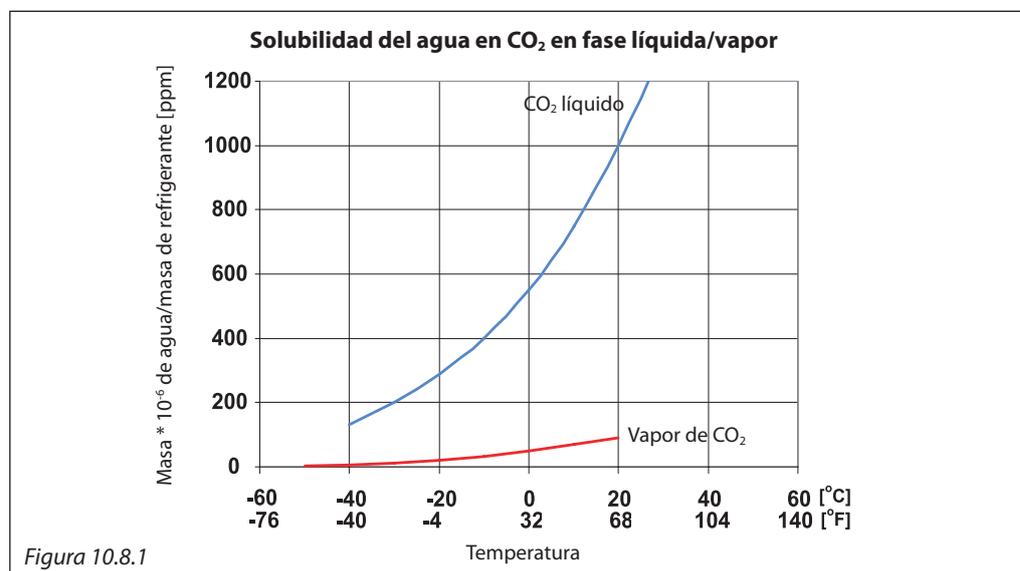
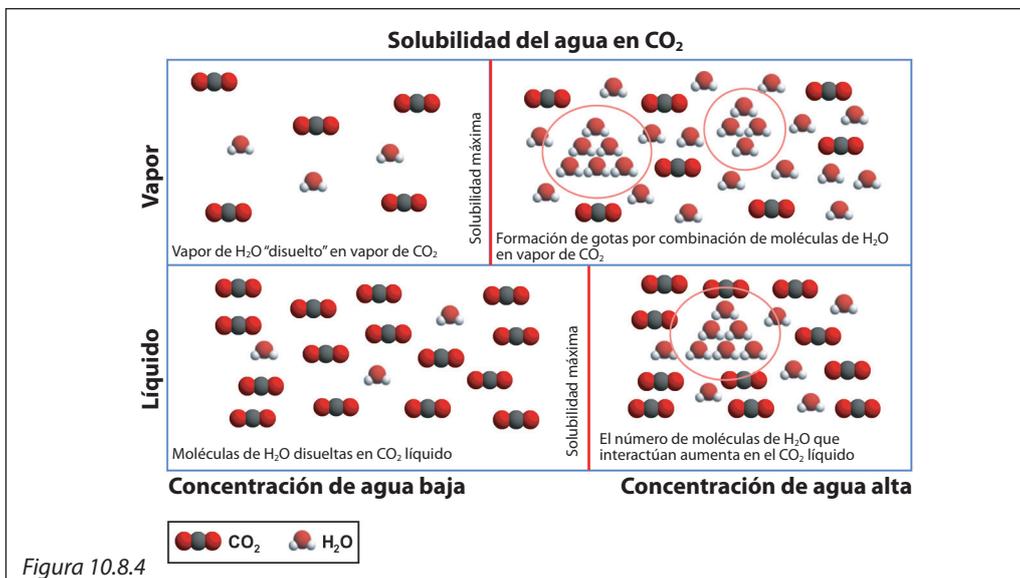
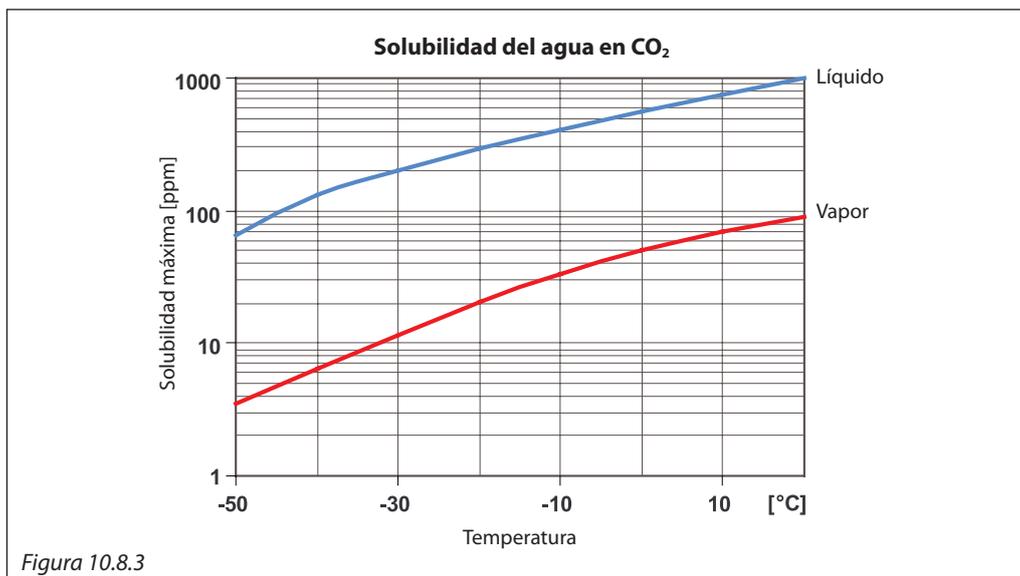
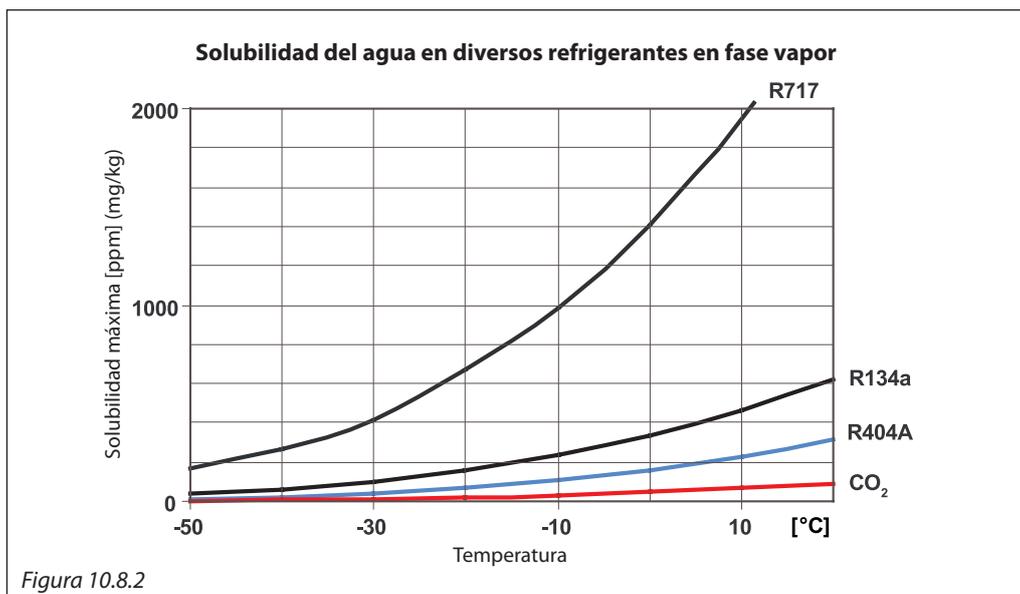


Figura 10.8.1

10.8
 Agua en sistemas con CO₂
 (continuación)



10.8
Agua en sistemas con CO₂
(continuación)

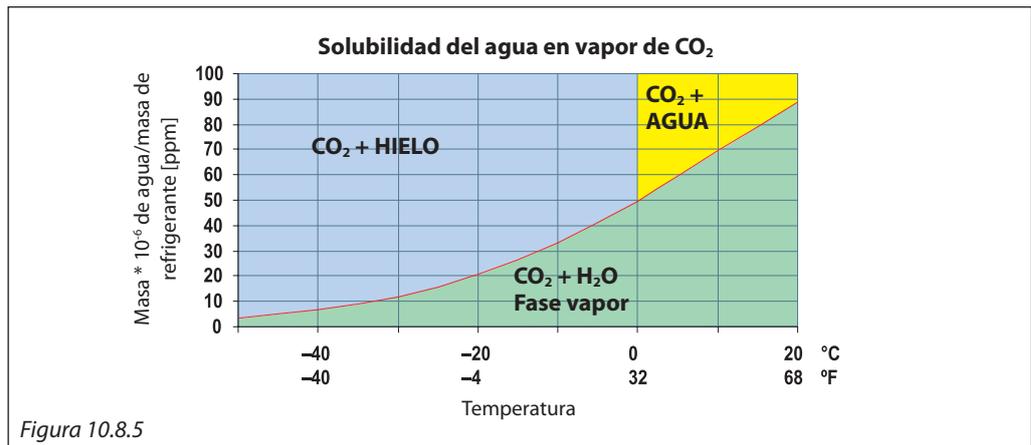


Figura 10.8.5

El diagrama de la fig. 10.8.1 muestra que la solubilidad del CO₂ en agua es mucho menor que la del refrigerante R-134a o el amoníaco. La solubilidad en la fase líquida a -20 °C [-4 °F] es la siguiente:

- 20,8 ppm para el CO₂.
- 158 ppm para el refrigerante R-134a.
- 672 ppm para el amoníaco.

Por debajo de estas concentraciones, el agua permanecerá disuelta en el refrigerante y no producirá daños en el sistema. Tal como se muestra en la fig. 10.8.4, las moléculas de agua (H₂O) permanecerán disueltas si la concentración es inferior al límite de solubilidad máxima, pero

precipitarán de la solución en forma de gotas si la concentración de agua es superior a ese límite. Si se permite que la concentración de agua supere ese límite en un sistema con CO₂ pueden producirse problemas, en especial a temperaturas inferiores a 0 °C. En ese caso, el agua se congelará y es posible que los cristales de hielo bloqueen las válvulas de control, las válvulas solenoides, los filtros y otros equipos (consulte la fig. 10.8.5). Este problema resulta especialmente grave en los sistemas con CO₂ inundados y de expansión directa, mientras que es menos importante en los sistemas secundarios volátiles ya que los equipos que se emplean en ellos son menos sensibles.

Reacciones químicas

Debe tenerse en cuenta que las reacciones descritas a continuación no se producen en aquellos sistemas con CO₂ adecuadamente mantenidos, en los que el contenido de agua esté por debajo del límite de solubilidad máxima.

En un sistema cerrado (como un sistema de refrigeración), el CO₂ puede reaccionar con aceite, oxígeno y agua, en especial a temperaturas y presiones elevadas. Por ejemplo, si se deja que el contenido de agua aumente y supere el límite de solubilidad máxima, el CO₂ podrá formar ácido carbónico de acuerdo con las siguientes reacciones (ref. [4] y [5]):

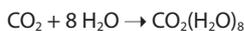


(CO₂ + agua → ácido carbónico)

En los sistemas con producción de CO₂, en los que las concentraciones de agua pueden aumentar hasta valores elevados, se sabe que el ácido carbónico puede resultar bastante corrosivo para diferentes tipos de metales; sin embargo, esta reacción no se produce en aquellos sistemas con CO₂ adecuadamente mantenidos ya que el contenido de agua se mantiene en ellos por debajo del límite de solubilidad máxima.

Agua en fase vapor

Si la concentración de agua es relativamente elevada, el CO₂ y el agua en fase vapor pueden reaccionar para formar un hidrato gaseoso de CO₂:



(CO₂ + agua → CO₂ hidratado)

El hidrato gaseoso de CO₂ es una molécula grande que resulta estable a temperaturas superiores a 0 °C (32 °F). Puede generar problemas similares a los provocados por el hielo en los equipos de control y los filtros.

Aceite POE

Generalmente, los ésteres como las poliolefinas (POE) reaccionan con el agua de la siguiente forma:



(éster + agua → alcohol + ácido orgánico)

Tal como se muestra, si hay agua presente esta reaccionará con las poliolefinas (POE) para formar un alcohol y un ácido orgánico (ácido carboxílico) relativamente fuerte que puede corroer los metales del sistema. Por tanto, resulta esencial limitar la concentración de agua en los sistemas con CO₂ si se utilizan aceites POE.

Aceite PAO



(aceite + oxígeno → agua + ácido)

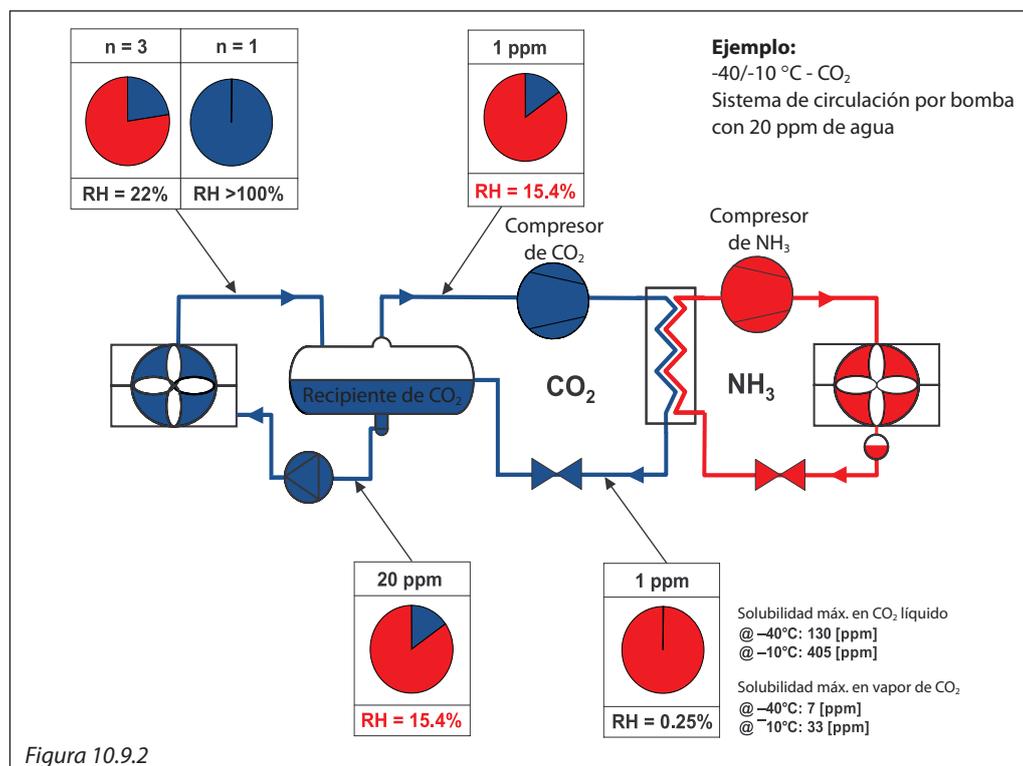
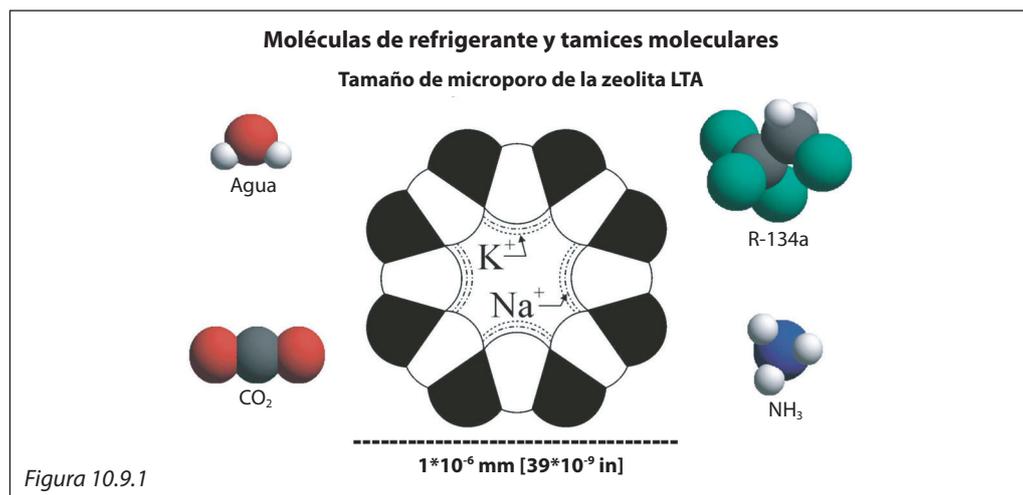
El aceite PAO también se conoce como aceite sintético. Habitualmente, el aceite PAO es muy estable. Sin embargo, en presencia de una cantidad suficiente de oxígeno libre (como la que podría existir debido a la corrosión de las tuberías), reaccionará con él para formar un ácido carboxílico.

10.9 Eliminación de agua

El control del contenido de agua de un sistema de refrigeración es un método muy eficaz para evitar las reacciones químicas indicadas anteriormente.

En los sistemas con freones se emplean habitualmente filtros secadores con un núcleo de zeolitas para eliminar el agua. Las zeolitas presentan poros de un tamaño extremadamente pequeño y actúan como tamices moleculares (consulte la fig. 10.9.1).

Las moléculas de agua son lo suficientemente pequeñas como para atravesar el tamiz y, al tener carácter muy polar, se adsorben en las moléculas de las zeolitas. Las moléculas del refrigerante R-134a son demasiado grandes y no pueden penetrar en el tamiz. Al sustituir el núcleo intercambiabile, el agua se elimina junto con él.



10.9
Eliminación de agua
(continuación)

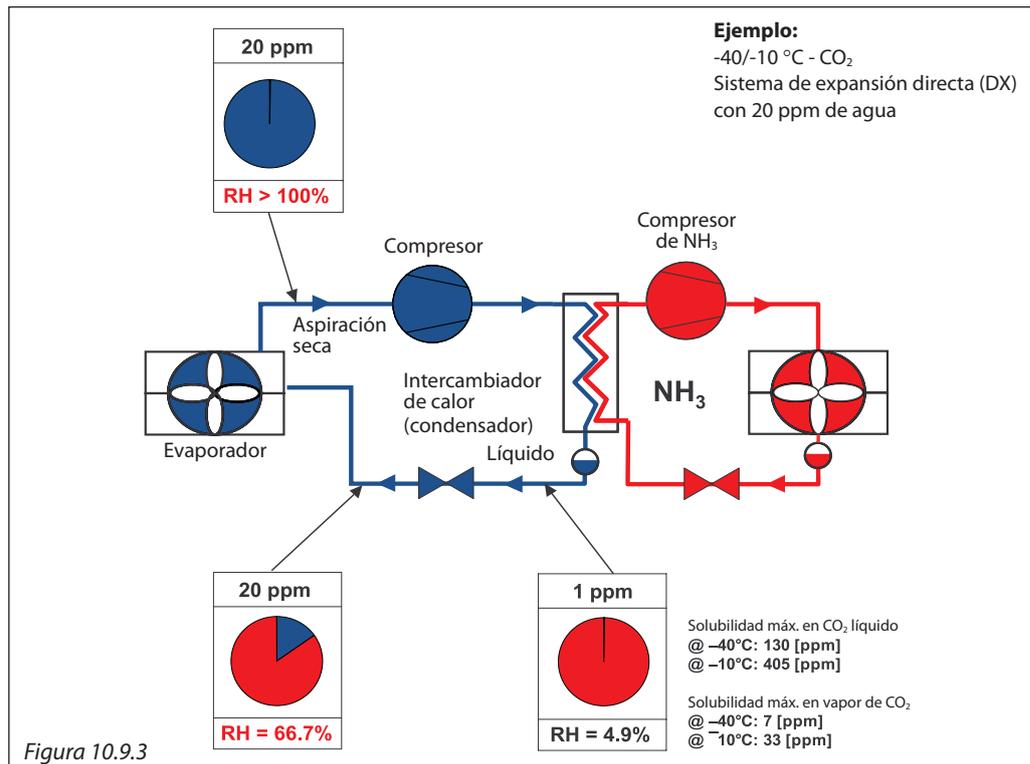


Figura 10.9.3

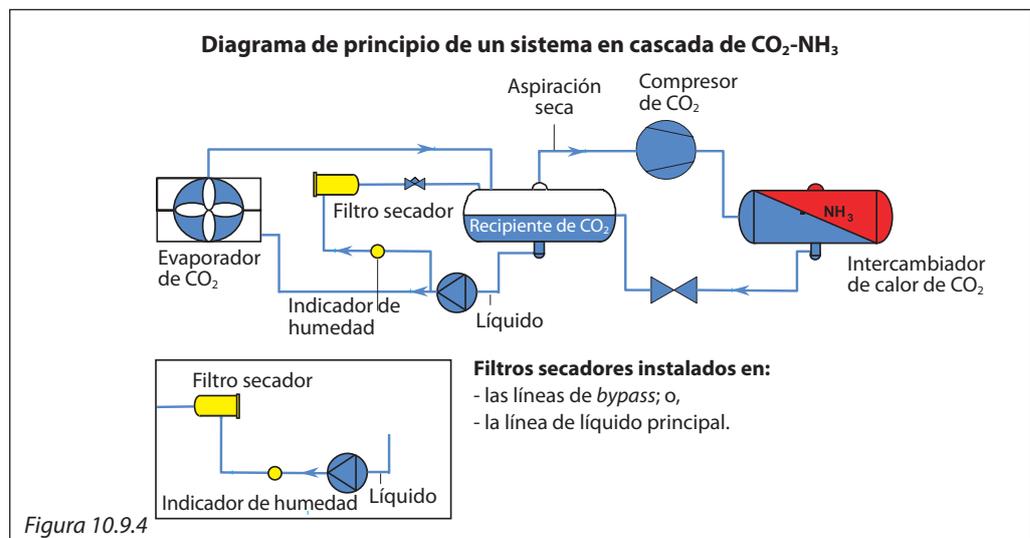


Figura 10.9.4

El CO₂ es una molécula apolar, por lo que su proceso de eliminación es diferente. Al igual que las moléculas de agua, las moléculas de CO₂ son lo suficientemente pequeñas como para atravesar el tamiz molecular. Sin embargo, las moléculas de agua adsorbidas en el tamiz molecular tienden a desplazar las moléculas de CO₂ debido a la diferencia de polaridad. Los filtros secadores con zeolitas no pueden utilizarse en sistemas con amoníaco, ya que tanto este como el agua son muy polares. A pesar de que los filtros secadores presenten ciertas diferencias de funcionamiento en los sistemas con CO₂, su eficiencia es bastante buena. Su capacidad de retención de agua es similar a la que tienen en los sistemas con refrigerante R-134a.

La ubicación más efectiva para la detección y eliminación del agua es aquella en la que la concentración sea alta. La solubilidad del agua en CO₂ es mucho menor en fase vapor que en

fase líquida, por lo que las líneas de líquido pueden transportar más agua.

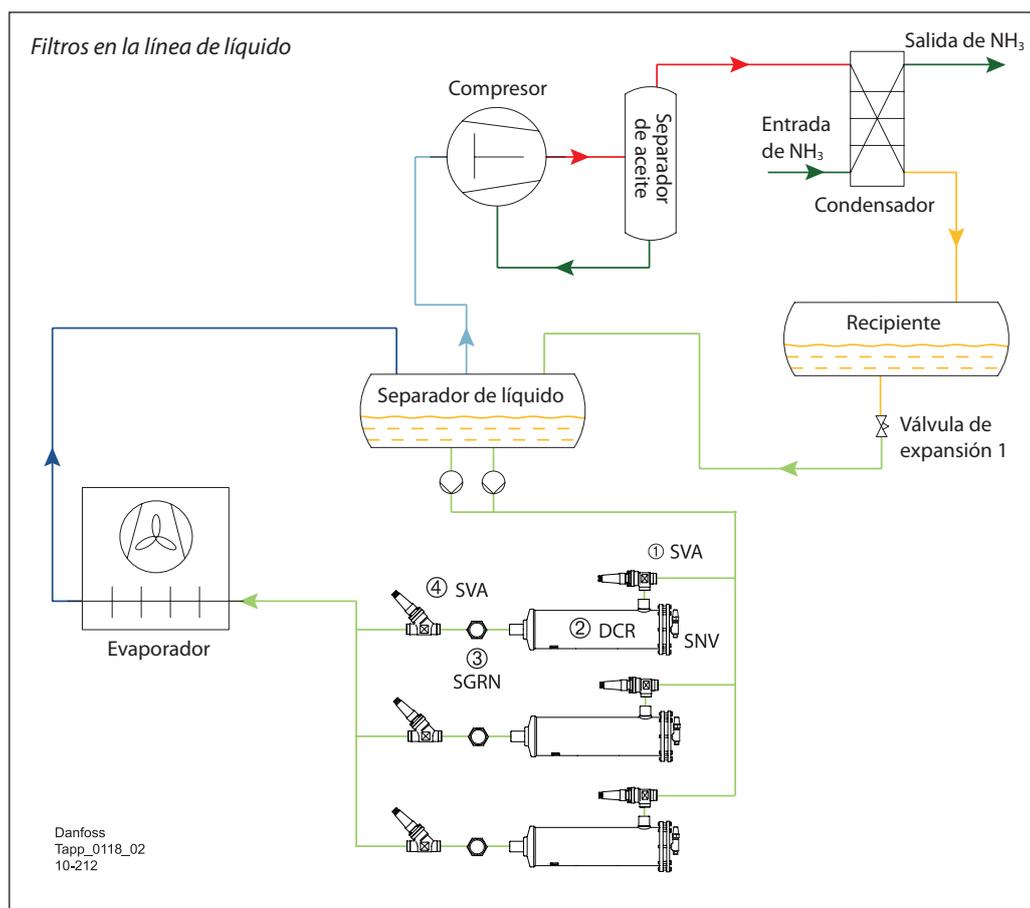
En la fig. 10.9.2 se muestra la variación de la humedad relativa en un sistema de circulación por bomba con una temperatura de funcionamiento de -40 °C. Como puede observarse, la línea de retorno húmedo presenta una humedad relativa máxima, cuyo valor depende de la tasa de circulación. En un sistema de expansión directa (DX) la variación de la humedad relativa es distinta, de forma que en este caso la concentración máxima se da en la línea de aspiración (consulte la fig. 10.9.3).

Tomando como referencia este principio, los indicadores de humedad y los filtros secadores habitualmente se instalan en una línea de líquido o una línea de *bypass* de líquido que parta del recipiente (consulte la fig. 10.9.4 y la fig. 10.9.5).

Ejemplo de aplicación 10.9.5:
Filtros secadores en sistemas con CO₂ con circulación de líquido bombeado

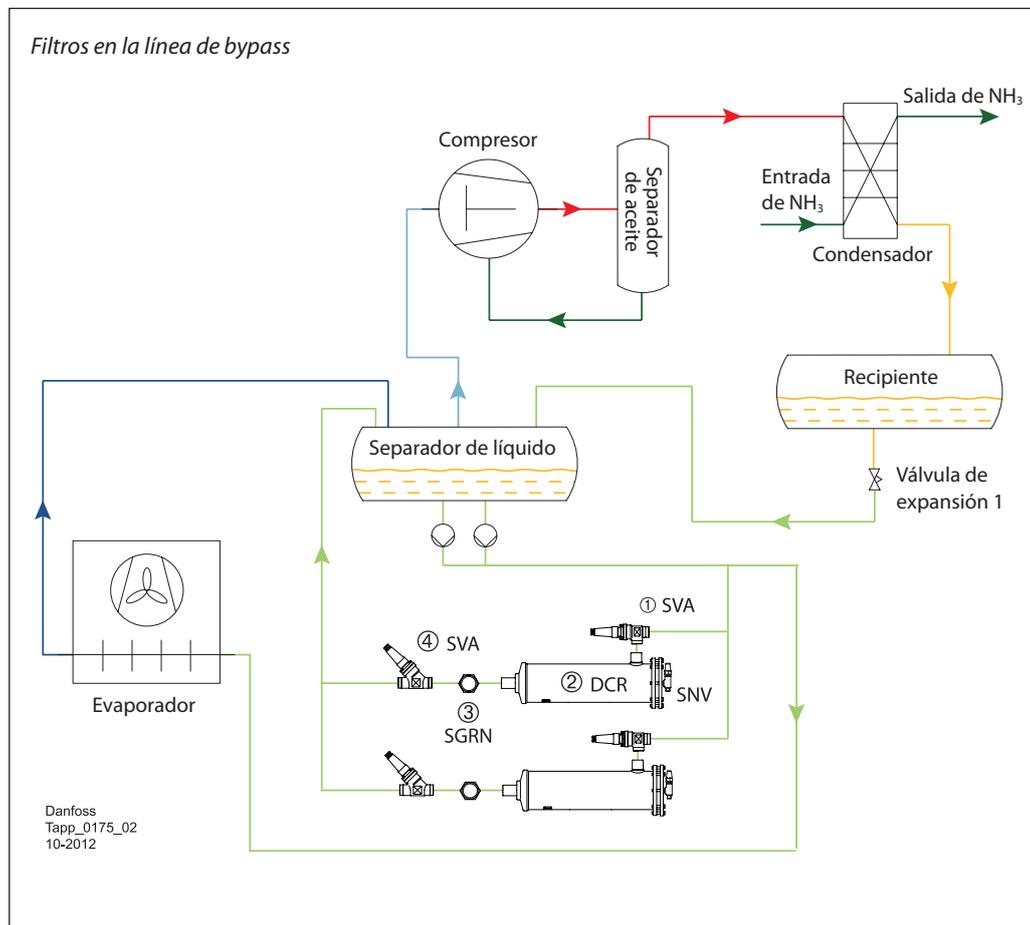
- Vapor de refrigerante, HP
- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Vapor de refrigerante, LP
- Refrigerante líquido, LP
- Aceite

- ① Válvula de cierre
- ② Filtro secador
- ③ Visor de líquido
- ④ Válvula de cierre



- Vapor de refrigerante, HP
- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Vapor de refrigerante, LP
- Refrigerante líquido, LP
- Aceite

- ① Válvula de cierre
- ② Filtro secador
- ③ Visor de líquido
- ④ Válvula de cierre



No se muestran todas las válvulas.
La información no debe utilizarse con fines de construcción.

*Ejemplo de aplicación 10.9.6:
Filtros secadores en sistemas con CO₂ con circulación de líquido bombeado (continuación)*

Para instalar un filtro secador en un sistema con CO₂ deben considerarse los siguientes criterios:

- **Humedad relativa**
La humedad relativa debería ser alta.
- **Caída de presión**
La caída de presión a través del filtro secador debería ser pequeña. Asimismo, el rendimiento del sistema no debería ser sensible a esta caída de presión.
- **Flujo bifásico**
Debería evitarse el flujo bifásico a través del filtro secador, ya que conllevará riesgo de congelación y obstrucción debido a las especiales características de solubilidad del agua.

En los sistemas con CO₂ con circulación de líquido bombeado se recomienda instalar los filtros secadores en las líneas de líquido antes de los evaporadores. En estas líneas existe una HR alta y no existe flujo bifásico ni sensibilidad a la caída de presión.

No se recomienda su instalación en otras posiciones por las siguientes razones:

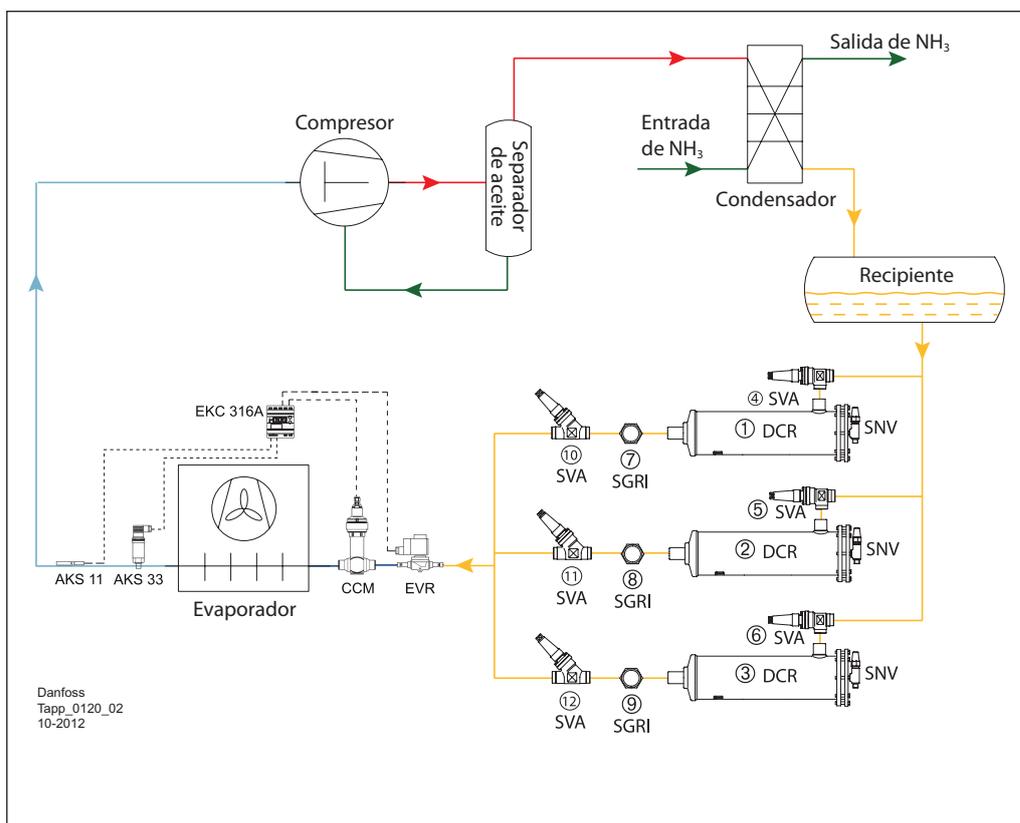
1. En el circuito del compresor, el condensador y la válvula de expansión existe una HR baja. En el separador de líquido, más del 90 % del agua se encuentra en fase líquida debido a que es mucho menos soluble en el vapor de CO₂ que en el CO₂ líquido. Por consiguiente, el vapor de aspiración arrastrará poca agua al interior del circuito del compresor. Si los filtros secadores se instalan en este circuito, su capacidad será demasiado pequeña.
2. En la línea de aspiración húmeda existe riesgo de congelación debido al flujo bifásico, tal como se ha mencionado previamente.
3. La caída de presión en la línea de líquido antes de las bombas de refrigerante aumenta el riesgo de que las bombas sufran cavitación.

Si la capacidad de un filtro secador no es suficiente, podría considerarse la opción de usar varios filtros secadores en paralelo.

*Ejemplo de aplicación 10.9.7:
Filtros secadores en sistemas de expansión directa (DX) con CO₂*

- Vapor de refrigerante, HP
- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Vapor de refrigerante, LP
- Aceite

- ① Filtro secador
- ② Filtro secador
- ③ Filtro secador
- ④ Válvula de cierre
- ⑤ Válvula de cierre
- ⑥ Válvula de cierre
- ⑦ Visor de líquido
- ⑧ Visor de líquido
- ⑨ Visor de líquido
- ⑩ Válvula de cierre
- ⑪ Válvula de cierre
- ⑫ Válvula de cierre



En un sistema de expansión directa (DX) con CO₂ la concentración de agua es la misma en todo el sistema, por lo que la HR solo depende de la solubilidad del agua en el refrigerante.

A pesar de que la HR en la línea de líquido antes de la válvula de expansión sea relativamente baja, debido a la alta solubilidad del agua en el CO₂ líquido a alta temperatura, se recomienda instalar filtros secadores en esta línea (en la misma posición que en los sistemas fluorados) por las siguientes razones:

1. En la línea de aspiración y la línea de descarga existe sensibilidad a la caída de presión; además, en la línea de aspiración existe un elevado riesgo de congelación. No se recomienda instalar filtros secadores en esas posiciones, a pesar de que la HR sea alta.
2. La instalación de filtros secadores también debe evitarse en la línea de líquido después de la válvula de expansión, debido al flujo bifásico.

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

10.10
¿Cómo se introduce el agua en un sistema de CO₂?

A diferencia de algunos sistemas con amoníaco, la presión en los sistemas con CO₂ siempre es superior a la presión atmosférica. No obstante, el agua puede encontrar formas de entrar en los sistemas con CO₂.

El agua puede contaminar un sistema con CO₂ a través de cinco mecanismos distintos:

1. Difusión.
2. Actividades de mantenimiento y reparación.
3. Eliminación incompleta del agua durante la instalación/puesta en servicio.
4. Introducción de lubricante contaminado con agua en el sistema.
5. Introducción de CO₂ contaminado con agua en el sistema.

Obviamente, todos estos mecanismos deben anularse o minimizarse.

Pongamos un ejemplo en el que puede producirse contaminación por agua de un sistema: un contratista, que cree que el CO₂ es un refrigerante muy seguro, piensa que puede manipularse sin necesidad de aplicar los requisitos de seguridad habituales para el amoníaco. Es posible que abra el sistema y realice una reparación. Tras abrir el sistema, entrará aire y la humedad que este contiene se condensará en las tuberías. Si el contratista no realiza una purga minuciosa del sistema, pueden quedar restos de agua en este.

Otra situación que podría darse es que el contratista olvide que el aceite lubricante POE que se utiliza en el sistema presenta una gran afinidad por el agua y deje el depósito destapado. Tras introducir el aceite POE en el sistema, el agua podría comenzar a generar problemas.

10.11 Aspectos diversos que deben tenerse en cuenta en los sistemas de refrigeración con CO₂

Válvula de seguridad

El punto triple especialmente elevado del CO₂ puede provocar que se forme CO₂ sólido en determinadas condiciones. En la fig. 10.11.1 se muestran los procesos de expansión que se producen en las válvulas de alivio con tres

situaciones de partida distintas. Si el ajuste de presión de una válvula de alivio de fase vapor es de 35 bar (507 psi) o inferior (línea situada más a la derecha), la presión en la línea de alivio atravesará el punto triple a 5,2 bar (75,1 psi). Por debajo del punto triple, el CO₂ tomará la forma de vapor puro.

*Expansión del CO₂: cambios de fase
Válvulas de seguridad*

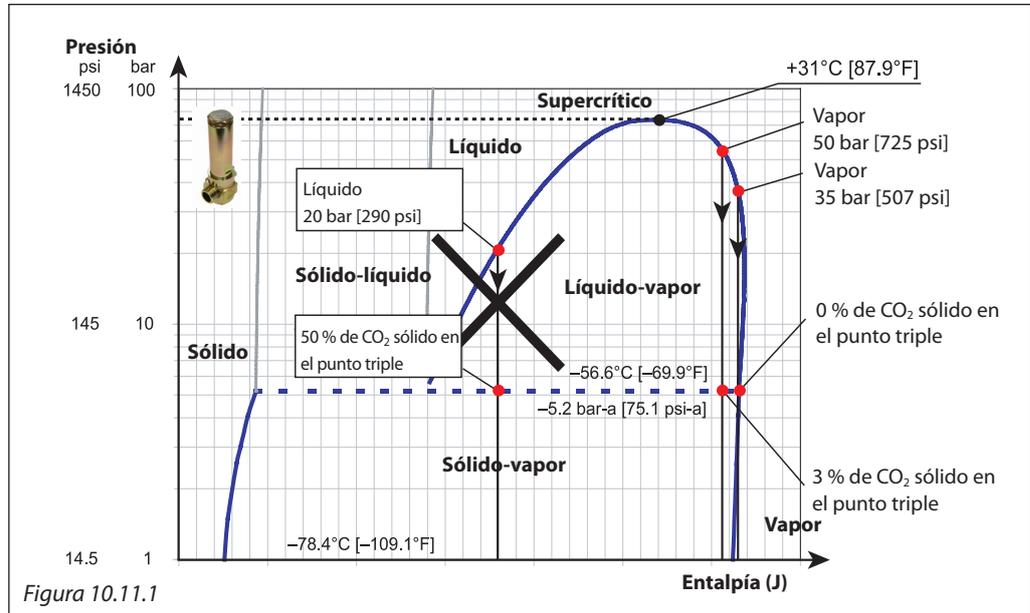


Figura 10.11.1

Si el ajuste de presión de una válvula de seguridad de fase vapor es de 50 bar (725 psi), situación que se corresponde con la línea intermedia, la presión en la línea de alivio atravesará el punto triple y el 3 % del CO₂ pasará al estado sólido durante la descarga. En el escenario más desfavorable (por ejemplo, una línea de alivio larga con muchos codos), el CO₂ podría llegar a bloquear la línea. La solución más efectiva a este problema es montar la válvula de seguridad sin línea de alivio, de forma que el sistema descargue directamente a la atmósfera. El cambio de fase del CO₂ no se producirá en la válvula sino justo después de esta (en este caso, en la atmósfera).

Si la válvula de alivio de presión se ajusta para aliviar líquido a una presión de 20 bar (290 psi), los productos descargados atravesarán el punto triple y el 50 % del CO₂ pasará al estado sólido según avance la descarga, generando un importante riesgo de obstrucción de la línea de alivio. Por tanto, para proteger de forma segura las líneas de líquido contra la formación de hielo seco, las válvulas de alivio deben conectarse a un punto del sistema en el que exista una presión mayor que la del punto triple; es decir, superior a 5,2 bar (75,1 psi).

Carga del CO₂

Es importante comenzar con CO₂ en fase vapor y continuar hasta que la presión alcance los 5,2 bar (75,1 psi). Por este motivo, se recomienda decididamente redactar un procedimiento para la carga de los sistemas con CO₂. A la hora de cargar un sistema con refrigerante, uno debe ser consciente de que hasta que la presión no alcance el punto

triple el CO₂ únicamente podrá estar en forma de sólido o vapor en el interior del sistema de refrigeración. Asimismo, el sistema presentará temperaturas muy bajas hasta que la presión aumente lo suficiente (consulte la fig. 10.11.1). Por ejemplo, a 1 bar (14,5 psi) la temperatura de sublimación será de -78,4 °C (-109 °F).

Limpieza de filtros

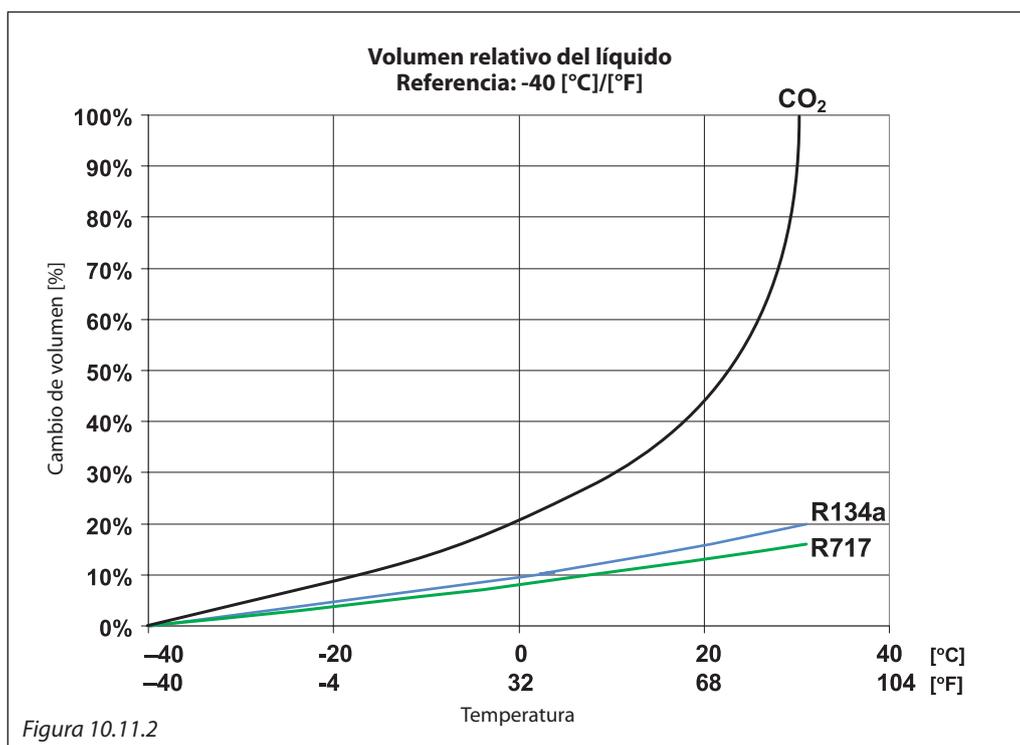
Las mismas consideraciones se aplican a la limpieza de filtros (incluidos los filtros de líquido). Aunque el CO₂ no sea tóxico, no se debe drenar el líquido sin más al exterior del sistema. Una vez que el CO₂ líquido entra en contacto con la atmósfera, parte de la fase líquida pasa al estado sólido y la temperatura disminuye rápidamente, tal como se

explicó en el ejemplo anterior. Esta caída brusca de temperatura es una descarga térmica para los materiales del sistema y puede llegar a producir daños en estos. Ese procedimiento debe considerarse como una violación de los códigos ya que estos equipos no están diseñados normalmente para soportar temperaturas tan bajas.

Líquido atrapado

El líquido atrapado es un riesgo potencial de seguridad en los sistemas con refrigerante y debe evitarse en todos los casos. Dicho riesgo es aún mayor en los sistemas con CO₂ que en los sistemas con amoníaco o refrigerante R-134a. En el diagrama de la fig. 10.11.2 se muestra el

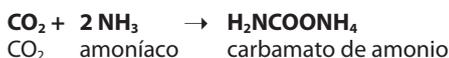
cambio del volumen relativo del líquido para los tres refrigerantes. Tal como se observa, el CO₂ líquido se expande mucho más que el amoníaco y el refrigerante R-134a, sobre todo cuando la temperatura se aproxima al punto crítico del CO₂.



Fugas en sistemas en cascada con CO₂-NH₃

El punto de fuga más crítico en los sistemas en cascada con CO₂-NH₃ se corresponde con los intercambiadores de calor de las corrientes de CO₂ y NH₃. La presión del CO₂ será mayor que la del NH₃, de forma que la fuga se producirá hacia el sistema con NH₃ y este resultará contaminado.

El carbamato de amoníaco es una sustancia sólida que se forma instantáneamente cuando el CO₂ entra en contacto con NH₃. Se trata de una sustancia corrosiva (ref. [5]).



Compatibilidad de materiales

El CO₂ es compatible con prácticamente todos los materiales metálicos comunes, a diferencia del NH₃. No existen limitaciones de compatibilidad a la hora de utilizar cobre o latón. La compatibilidad del CO₂ y los polímeros es un tema mucho más complejo. El CO₂ es una sustancia muy inerte y estable, por lo que no genera problemas de reacción química con los polímeros. Los principales problemas del CO₂ se asocian a sus efectos fisicoquímicos, como la permeación, el hinchamiento y la generación de cavidades y fracturas internas en los materiales. Estos efectos están relacionados con la solubilidad y la difusividad del CO₂ en el material correspondiente.

Danfoss ha realizado diversos ensayos para garantizar que los componentes comercializados para su uso con CO₂ puedan soportar todos los impactos que produce dicha sustancia.

Estos ensayos han puesto de manifiesto que el CO₂ es un compuesto muy particular y han conducido a la modificación de algunos productos. Debe tenerse en cuenta la gran cantidad de CO₂ que puede disolverse en los polímeros. Algunos polímeros de uso común no son compatibles con el CO₂, mientras que otros requieren emplear diferentes métodos de fijación (por ejemplo, en que respecta a los materiales de las juntas). Cuando la presión se aproxima a la presión crítica y la temperatura es elevada, el impacto del CO₂ sobre los polímeros es mucho más extremo. Sin embargo, esas condiciones no son importantes en las aplicaciones de refrigeración industrial, ya que en estos sistemas habitualmente se utilizan presiones y temperaturas más bajas.

Conclusión

El CO₂ posee buenas propiedades, en particular a baja temperatura, pero no es un buen sustituto del amoníaco. Los sistemas de refrigeración industrial con CO₂ más comunes son los sistemas híbridos, con amoníaco en el lado de alta temperatura del sistema.

El CO₂ es, en muchos aspectos, un refrigerante muy sencillo; no obstante, cabe destacar que posee ciertas características que lo diferencian de otros refrigerantes comunes. Conocer tales diferencias y tenerlas en cuenta durante el diseño, la instalación, la puesta en servicio y el funcionamiento permite prevenir los problemas.

La disponibilidad de componentes para sistemas de refrigeración industrial con CO₂ con presiones de hasta, aproximadamente, 40 bar, es buena. Ciertos fabricantes de equipos para refrigerantes tradicionales también suministran componentes para sistemas con CO₂. La disponibilidad de los componentes para sistemas de refrigeración industrial con CO₂ de alta presión es limitada, y la disponibilidad de componentes críticos es un factor importante a tener en cuenta a la hora de contemplar la tasa de crecimiento del uso del CO₂.

Referencias

[1]	Bondinus, William S.	ASHRAE Journal. Abril de 1999.
[2]	Lorentzen, Gustav	Reedición de las actas de la convención IIR Conference de 1994. "New Applications of Natural Working Fluids in Refrigeration and Air Condition".
[3]	P. S. Nielsen y T. Lund	IIAR. Albuquerque (Nuevo México), 2003. "Introducing a New Ammonia/CO ₂ Cascade Concept for Large Fishing Vessels".
[4]	Broesby-Olsen, Finn	Laboratorio de química física, Danfoss A/S. Simposio internacional sobre refrigerantes alternativos a los HCFC. Kobe, 1998. Comisiones del IIF – IIR B1, B2 y E2, Universidad Purdue.
[5]	Broesby-Olsen, Finn	Laboratorio de química física, Danfoss A/S. Comisiones del IIF – IIR B1, B2, E1 y E2. Aarhus (Dinamarca), 1996.
[6]	IoR.	"Safety Code for Refrigeration Systems Utilizing Carbon Dioxide". The Institute of Refrigeration, 2003.
[7]	Vestergaard N. P.	IIAR. Orlando, 2004. "CO ₂ in subcritical Refrigeration Systems".
[8]	Vestergaard N. P.	RAC. Revista sobre refrigeración y aire acondicionado, enero de 2004. "Getting to grips with carbon dioxide".

11. CO₂ bombeado en sistemas de refrigeración industrial

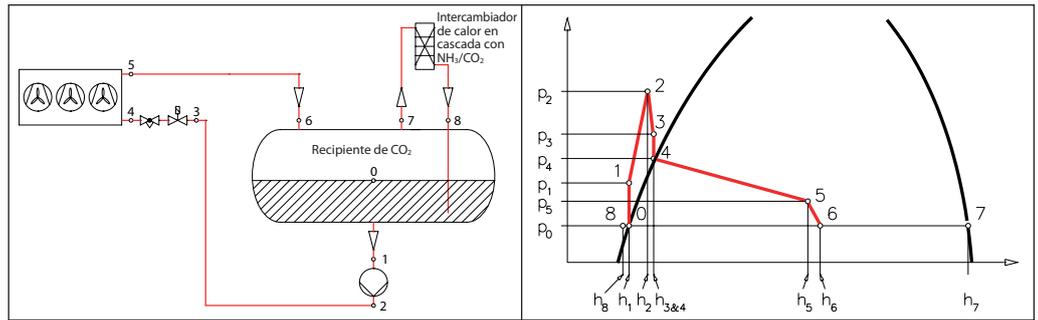


Fig. 11.1: Diagrama general de un sistema con CO₂ bombeado.

Descripción general de los sistemas

Esquema típico de un sistema de baja/media temperatura con NH₃/CO₂ (fig. 11.1) compuesto por:

- un sistema de refrigeración estándar con NH₃, con un intercambiador de calor en cascada actuando como evaporador;
- CO₂ como fluido volátil en los evaporadores (sistema inundado (1-6)).

El CO₂ circula por gravedad a través del intercambiador de calor en cascada, que proporciona un buen control de la temperatura del CO₂ en el recipiente.

El gas CO₂ fluye (7) hacia el intercambiador de calor en cascada, en el que se enfría empleando NH₃, se condensa y fluye de nuevo hacia el recipiente de CO₂ en forma de CO₂ líquido (8). En el lado de amoníaco, el ciclo de refrigeración se puede controlar empleando una válvula de flotador de alta presión (HFI) o, por expansión directa, en el evaporador (por ejemplo, empleando una válvula de expansión electrónica de tipo ICM y un controlador en cascada de tipo EKC 313).

Diferencias en comparación con los sistemas tradicionales con NH₃/salmuera

Rendimiento del sistema

Los sistemas con NH₃/CO₂ como fluido presentan un consumo energético notablemente inferior en comparación con los sistemas tradicionales con NH₃ y salmueras basadas en agua. El COP del sistema es mayor debido a lo siguiente:

- **Temperatura de evaporación y eficiencia de los PHE**
Por lo general, la temperatura de evaporación del lado de alta presión de un sistema con NH₃ es un par de grados superior. Ello se debe al mayor coeficiente de transferencia de calor del CO₂ en los enfriadores de aire y PHE, lo cual da lugar a una menor diferencia de temperatura en los intercambiadores de calor. El resultado es una reducción directa del consumo energético de los compresores de NH₃. Algunas cifras apuntan a que el COP de los sistemas con NH₃/CO₂ es cercano al que presentan los sistemas con NH₃ puros.

- **Energía de bombeo**
La energía de bombeo necesaria para hacer circular el CO₂ a través de los enfriadores de aire es notablemente inferior debido al hecho de que se necesita que circule menos CO₂ y a la menor densidad de este refrigerante. La tasa de recirculación por bombeo del CO₂ es relativamente baja también (normalmente se encuentra comprendida entre 1,1 y 2), lo cual hace posible usar una bomba más pequeña.

Tamaño de tubería y dimensiones de los componentes en un sistema inundado

Debido al elevado contenido de calor específico del CO₂ y su menor densidad, el tamaño de la tubería y las dimensiones de los componentes pueden reducirse en comparación con un sistema tradicional con salmuera, tanto para la tubería de alimentación como para la de retorno.

El menor volumen de CO₂ que debe circular permite el uso de bombas más pequeñas con un menor consumo energético para la capacidad de refrigeración que debe circular.

Las tuberías para CO₂, más pequeñas, poseen una superficie menor y, por tanto, presentan pérdidas de calor inferiores a las de las tuberías de salmuera/glicol, más grandes.

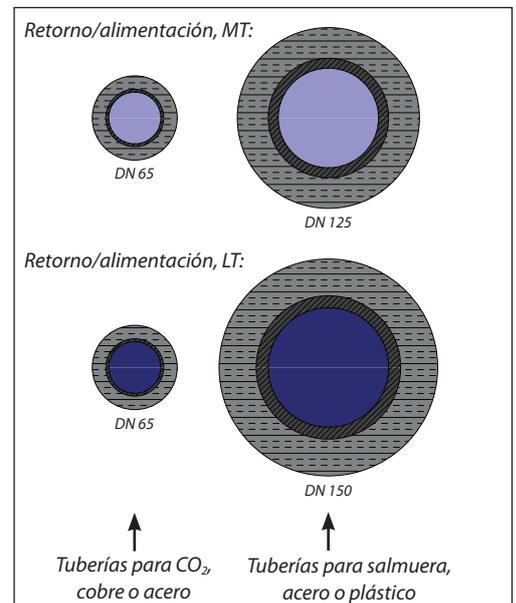


Fig. 11.2: Comparación del tamaño de las tuberías

Diferencias en comparación con los sistemas tradicionales con NH₃/salmuera (continuación)

Optimización de la gestión energética:
Los sistemas con NH₃/CO₂ hacen posible una mayor reducción del consumo energético empleando algoritmos de control inteligente. Una buena forma de mejorar la eficiencia (COP) del sistema es reducir la relación de presión en el compresor de NH₃. Existen dos formas de hacerlo:

- mantener el condensador a la mínima presión posible;
- mantener la evaporación a la máxima presión posible.

El control del condensador es similar al que llevan a cabo los sistemas tradicionales, en los que los ventiladores se pueden controlar por medio de un variador de frecuencia AKD 102 y la presión de condensación puede variar dependiendo de la temperatura ambiente.

Ello es posible empleando el controlador de grupo AK-PC 730/840 de Danfoss.

La gestión de la presión de aspiración es otra de las áreas en las que los sistemas con CO₂ en cascada presentan diferencias en comparación con los sistemas con salmuera/glicol.

Partiendo de un sistema como el de la fig. 11.3, es posible usar una señal de presión transmitida por el recipiente de CO₂ para controlar la capacidad de los compresores en cascada (el sistema con NH₃). Si la presión en el recipiente de CO₂ desciende, la velocidad de los compresores en cascada descenderá también para mantener la presión de CO₂. Esta función puede ser llevada a cabo por el controlador de grupo AK-PC 730/840.

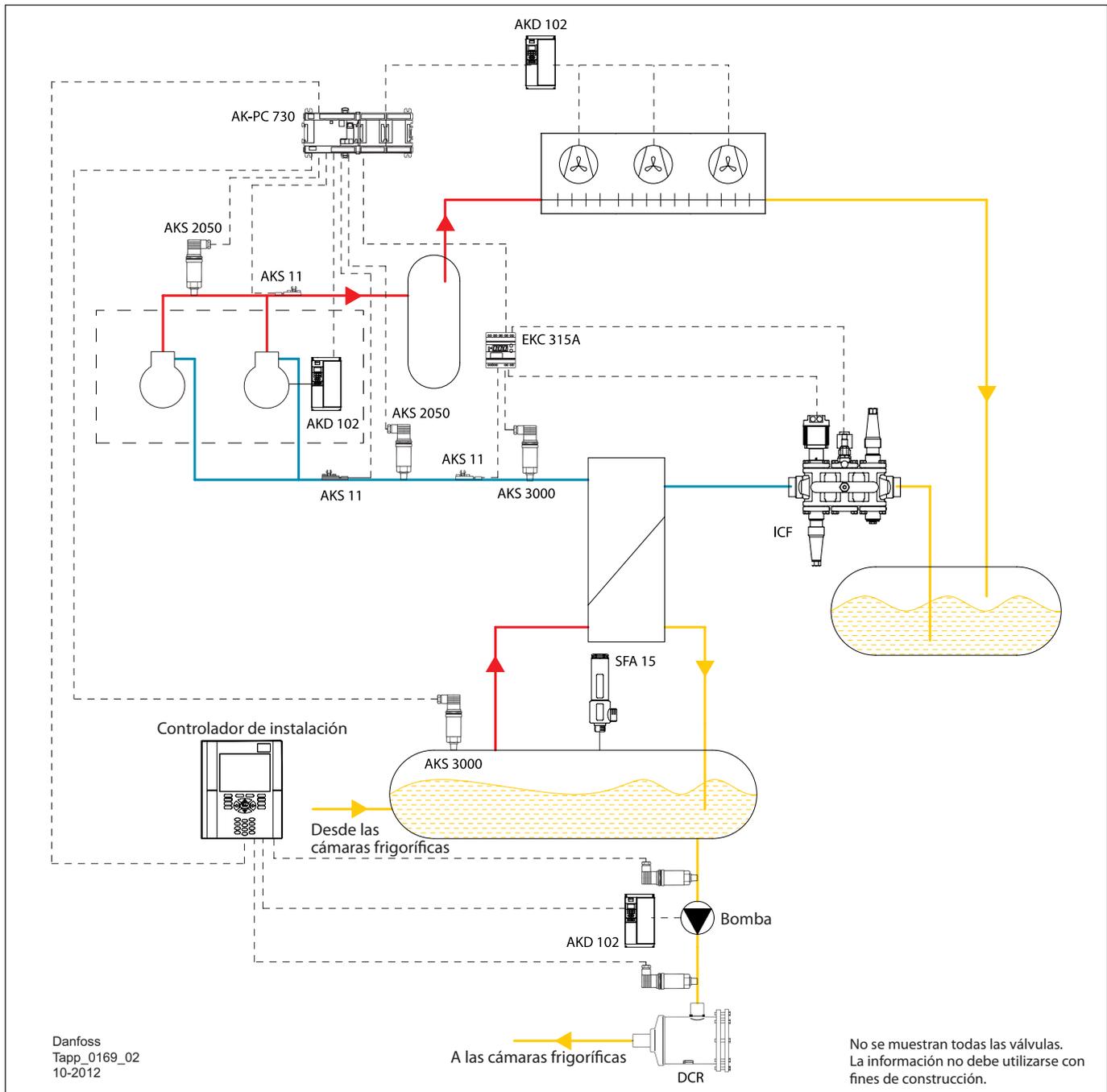


Fig. 11.3: Control integrado de sistemas con CO₂ equipados con bombas de circulación

Control por frecuencia de las bombas de CO₂

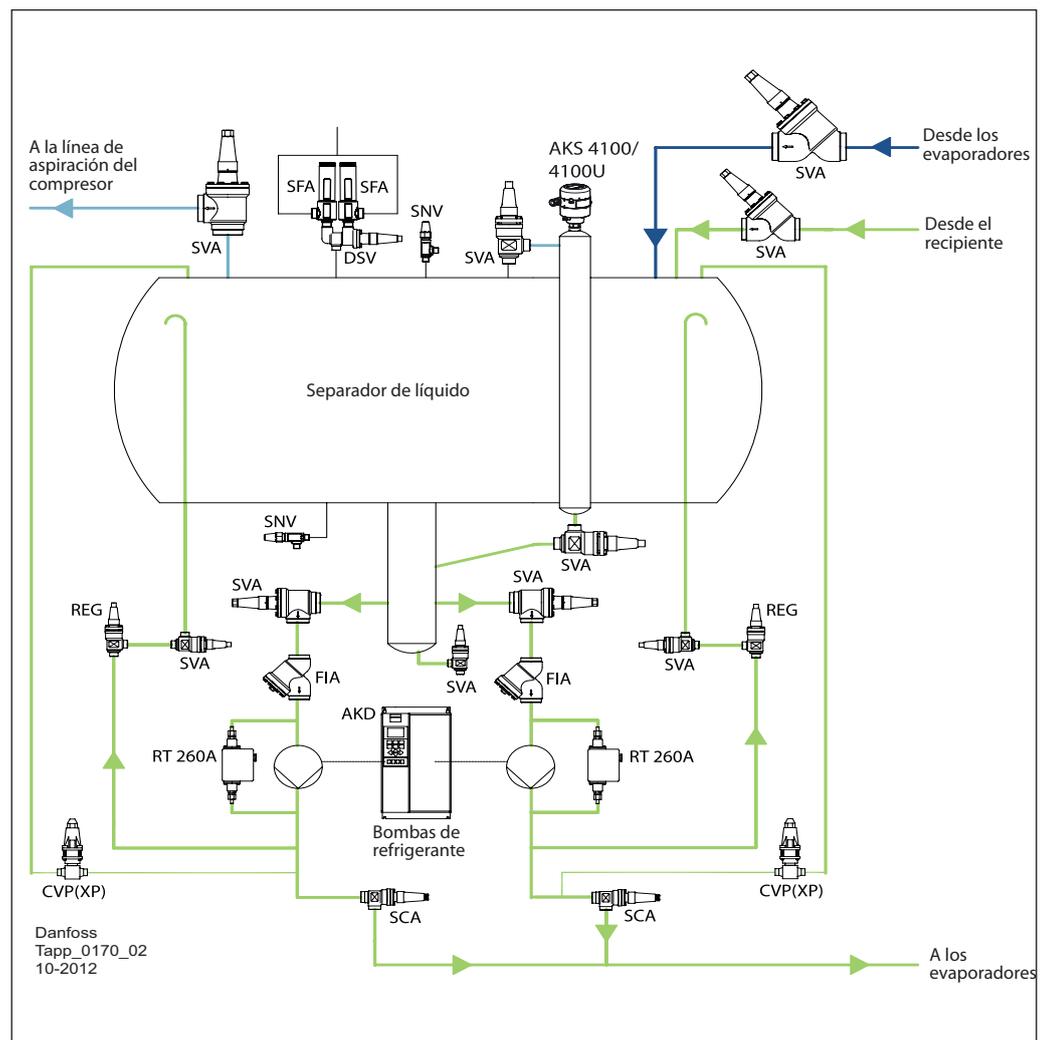


Fig. 11.4: Estaciones de bombeo de CO₂ con variador de frecuencia AKD y las válvulas y controles necesarios

Existen dos formas de controlar las bombas de CO₂ líquido: usar un control por etapas ON/OFF o un convertidor de frecuencia (de tipo AKD). El uso de convertidores de frecuencia es cada vez más popular por dos razones: el ahorro energético que proporcionan y la mejor distribución de líquido que consiguen en las bobinas del evaporador.

Ahorro energético

Normalmente, las bombas de CO₂ se controlan por medio de una diferencia de presión constante. En condiciones estándar, el consumo energético es similar, o ligeramente superior, al de una bomba de velocidad fija. En condiciones de carga parcial, una bomba de velocidad fija consumiría la misma energía debido a la mayor diferencia de presión. Una bomba de CO₂ líquido con un convertidor de frecuencia funcionará a menor velocidad y consumirá menos energía.

El ahorro variará dependiendo del tiempo de funcionamiento y las condiciones reales en las que este tenga lugar, pudiendo alcanzar el 50 % en comparación con las bombas de tipo ON/OFF que funcionan a toda velocidad.

Mejor distribución de líquido en los evaporadores

Uno de los requisitos para que un evaporador/enfriador de aire desarrolle un buen rendimiento es que el refrigerante líquido se distribuya bien por el sistema.

Una condición previa para la buena distribución del refrigerante líquido es contar con una diferencia de presión estable entre los evaporadores.

Las bombas controladas por convertidores de frecuencia pueden mantener la presión a un nivel estable en cualquier condición de carga. En condiciones de baja capacidad, el consumo energético será reducido y, en condiciones de alta capacidad, existirá caudal suficiente de CO₂.

La fig. 11.4 muestra un esquema de tuberías típico, con bombas de CO₂ controladas por convertidores de frecuencia (de tipo AKD). Otra ventaja de las bombas controladas por convertidores de frecuencia es que puede prescindirse de los orificios Q-max.

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Desescarche de sistemas con CO₂ bombeado (continuación)

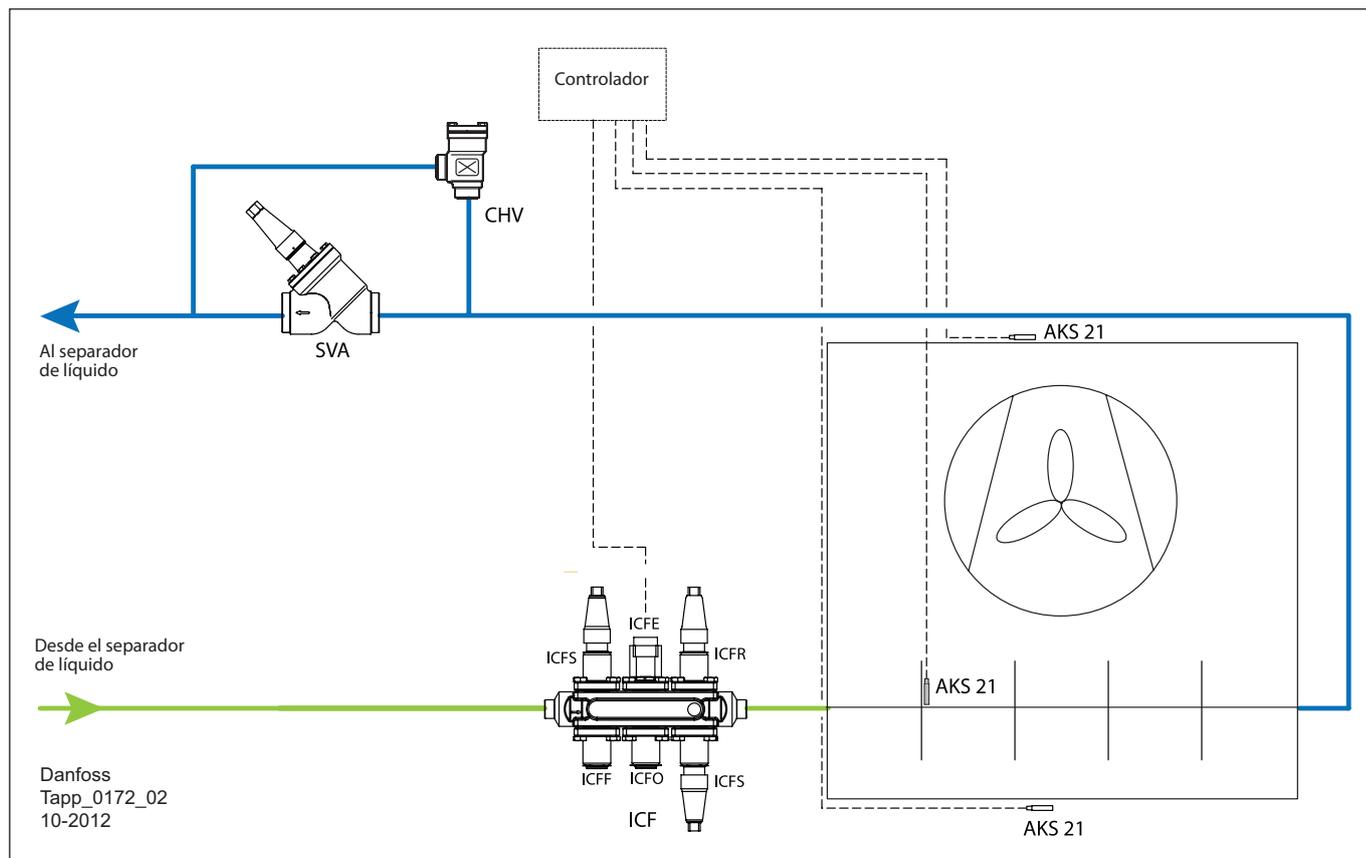


Fig. 11.6: Desescarche eléctrico con CO₂ o con salmuera

Control del evaporador en sistemas con CO₂ bombeado

Los sistemas de refrigeración industrial tradicionales son sistemas inundados (bombeados). En un sistema inundado, se inyecta en los evaporadores más líquido del necesario para que la evaporación tenga lugar por completo. La cantidad de líquido suministrada a los evaporadores viene definida por la "tasa de circulación".

La tasa de circulación es equivalente a 1 cuando se suministra la cantidad exacta de líquido que se evaporará por completo en el enfriador. Análogamente, la tasa de circulación será equivalente a 2 si se suministra el doble de dicha cantidad de líquido. Consulte la tabla siguiente.

Tasa de circulación n	Flujo másico de gas creado	Flujo másico de líquido suministrado	Flujo másico de líquido obtenido
1	x	x	0

La ventaja de una sobrealimentación de líquido es que los enfriadores desarrollan una mayor eficiencia como resultado del mejor uso de la superficie del evaporador, y se obtiene una mayor transferencia de calor resultante de un mayor coeficiente de transferencia de calor. Además, los sistemas inundados son relativamente fáciles de controlar.

Cuando se necesita líquido, se abre una válvula solenoide situada delante del evaporador. Suele instalarse una válvula de regulación manual después de la válvula solenoide para facilitar el ajuste de la tasa de circulación y la consecución del equilibrio hidráulico del sistema.

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

El líquido inyectado a la temperatura correcta se bombea desde un separador hasta los evaporadores.

Control del evaporador en sistemas con CO₂ bombeado (continuación)

El control de la temperatura de un evaporador puede llevarse a cabo de las siguientes formas:

- válvula de regulación para el control de la distribución + válvula solenoide ON/OFF para el control de la temperatura;
- válvula de regulación para el control de la distribución + válvula solenoide con modulación del ancho de pulso para el control de la temperatura; o
- válvulas AKV tanto para el control de la distribución (tamaño del orificio) como el control de la temperatura con modulación PWM.

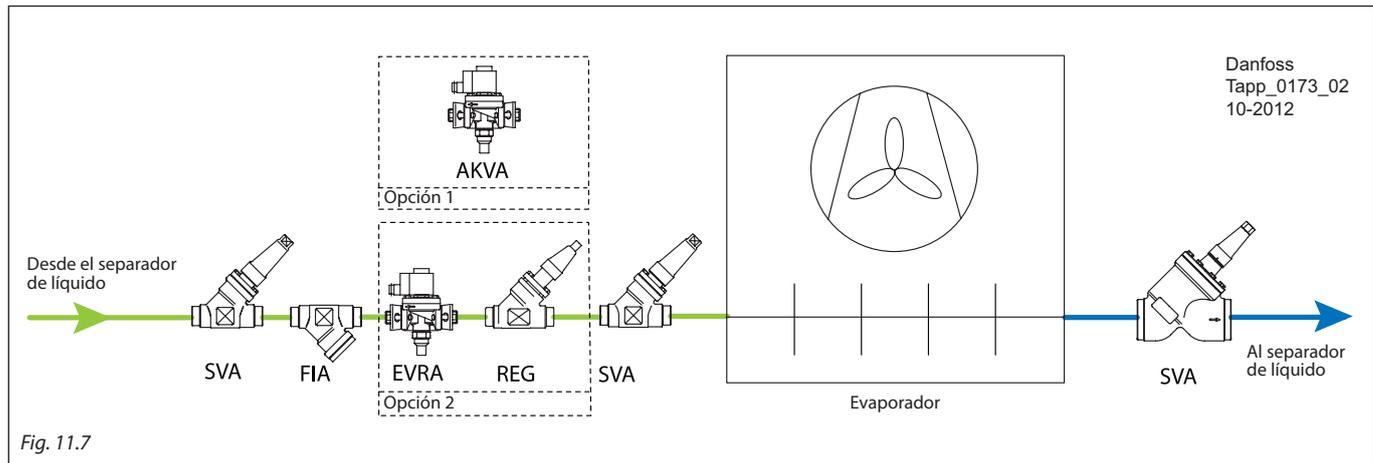


Fig. 11.7

Válvulas de inyección tradicionales en sistemas con CO₂ bombeado

En un sistema inundado tradicional, la inyección de líquido se controla empleando un termostato que mide constantemente la temperatura del aire.

La válvula solenoide permanece abierta durante varios minutos o hasta que la temperatura del aire alcanza el punto de consigna. Durante la inyección, la masa del flujo de refrigerante permanece constante.

Se trata de una forma muy sencilla de controlar la temperatura del aire; sin embargo, las fluctuaciones de la temperatura causadas por el diferencial del termostato pueden dar lugar a efectos secundarios no deseados en ciertas aplicaciones, como la deshumidificación o el control impreciso.

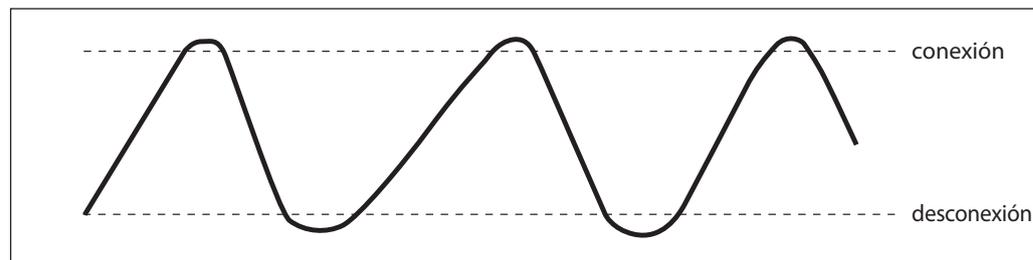
Capacidad del enfriador de aire

La capacidad de un enfriador de aire viene dada por las siguientes ecuaciones:

En función del refrigerante:
Q enfriador = flujo másico × Δh (1)
 Flujo másico [kg/s de líquido evaporado]
 Δh [kJ/K]

En función del refrigerante/aire:
Q enfriador = k × A × ΔT (2)
 K [W/m²·K]: Coeficiente de transferencia de calor total (dependiente del coeficiente de transferencia de calor del aire y el refrigerante, que depende a su vez del caudal de aire/refrigerante) y conductividad térmica de los materiales de los que se componen los enfriadores.
 A [m²]: Superficie de un enfriador
 ΔT [K]: Diferencia entre las temperaturas de evaporación y del aire.

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.



Inyección en un enfriador de aire empleando una válvula AKV(A) con modulación del ancho de pulso

En lugar de realizar la inyección periódicamente, según lo descrito anteriormente, otra posibilidad es adaptar constantemente la inyección de líquido a la necesidad real. Es posible conseguirlo empleando una válvula AKV(A) de tipo PWM, controlada por un controlador AK-CC 450.

La temperatura del aire se mide constantemente y se compara con la temperatura de referencia. Cuando la temperatura del aire alcanza el punto de consigna, la apertura de la válvula AKV(S) se reduce, siendo menor su ángulo de apertura durante un ciclo y dando lugar a una menor capacidad, y viceversa. La duración del ciclo se puede ajustar entre 30 y 900 segundos.

En principio, este sistema se regula aplicando una función PI. Ello da lugar a una menor fluctuación de la temperatura regulada del aire con cargas estables, resultando en una humedad del aire más constante.

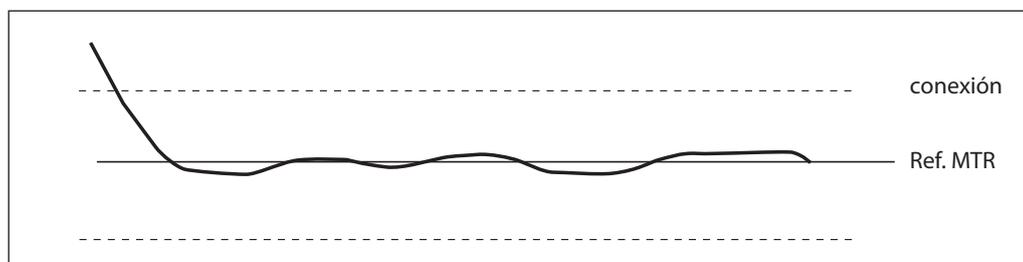
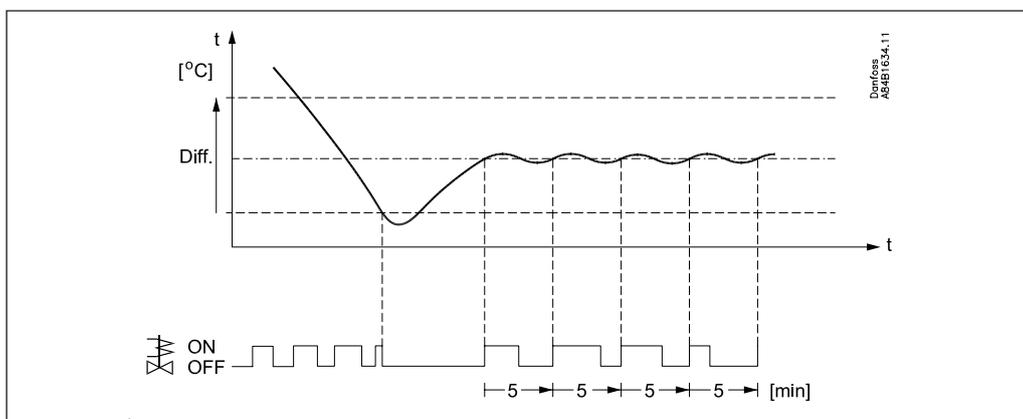
La función proporciona una regulación constante de la temperatura según un valor de temperatura situado a medio camino entre los valores de activación y desactivación del termostato.

Los parámetros de la función de regulación PI se optimizan automáticamente por medio de los valores predeterminados de activación y desactivación y el grado de apertura de la válvula. El diferencial afecta a la amplificación del regulador y, por tanto, no se puede ajustar a menos de 2 K para garantizar la estabilidad de la regulación.

En un sistema inundado, esto significa que el caudal medio de refrigerante se controla y adapta constantemente de acuerdo con la demanda, reduciéndose la tasa de circulación cuando se inyecta menos refrigerante.

Este planteamiento de la inyección de líquido en un sistema inundado ofrece una gran versatilidad. La cantidad de líquido inyectado se puede controlar con exactitud.

Un efecto directo de lo anterior es una temperatura superficial media del enfriador de aire más baja, lo cual da lugar a una menor ΔT entre el refrigerante y el aire. Gracias a ello, el sistema goza de una mayor precisión y mejora su eficiencia energética.



Observando las ecuaciones (1) y (2) puede concluirse que una reducción de la inyección resulta en:

- un descenso de ΔT (la temperatura de evaporación se acerca a la temperatura ambiente);
- un descenso del valor k;

- un descenso de la superficie de transferencia de calor en el enfriador de aire (menos superficie "húmeda").

Todo lo cual resulta en una menor capacidad del enfriador.

Este planteamiento de la inyección de líquido en un sistema inundado redundará en un mayor grado de flexibilidad operativa. La cantidad de líquido inyectado se puede controlar con exactitud, lo cual permite gozar de más precisión y una mayor eficiencia energética del sistema.

capacidad que un ciclo de almacenamiento (válvula AKV en modo de modulación PWM). Además, este tipo de cámaras frigoríficas se usa a menudo para diferentes cantidades y tipos de frutas, por lo que la adaptación a la carga es una función imprescindible.

Entre las aplicaciones típicas se encuentran las cámaras frigoríficas para frutas/verduras, en las que la adaptación a la carga real es necesaria con frecuencia. Un ciclo de refrigeración (válvula AKV completamente abierta) requiere de mucha más

Para obtener más información, consulte el manual del controlador AK-CC 450 de Danfoss.

¿Cómo seleccionar una válvula AKV(A) para una aplicación con CO₂ inundada?

Para seleccionar una válvula para un sistema inundado es preciso conocer la capacidad de refrigeración máxima necesaria con la tasa de circulación máxima o, en términos básicos, la cantidad máxima de líquido que se debe inyectar. En segundo lugar, debe definirse la caída de presión neta disponible a través de la válvula AKV(A). La selección puede realizarse fácilmente usando la herramienta CoolSelector.

En la práctica, se ha demostrado que la caída de presión mínima necesaria para que una válvula AKV(A) funcione satisfactoriamente como parte de un sistema inundado es de 1 bar (o más, si existe suficiente presión de bombeo disponible).

Recuerde que la presión de bombeo total necesaria depende de varios factores, como la caída de presión a través del sistema (distribuidores/boquillas de los enfriadores de aire, componentes, tuberías, codos, altura estática, etc.).

Ejemplo:

- Refrigerante: CO₂
- N = 1,5
- T_o = -8 °C
- Caída de presión disponible a través de la válvula: 1 bar
- Capacidad del enfriador: 30 kW

Search Criteria

Evaporator

Refrigerant: R744, Temperature: -8 °C, Cooling Capacity: 30 kW, Pressure: 27,98 bar, Mass Flow: 637 Kg/h, Circ. Rate: 1,5, Pressure Drop: 2 bar, Pump Pres. Lift: 2 bar

Design size, mm(in): Calculation basis: Pressure Drop, Calculation value: 1 bar

Errors and omission expected the data are subject to change without notice

Type	Product	Feedback	Size DN	Size in	Dp. Actual Load (bar)	Dt. Actual Load (K)	Vel. Actual load (m/s)
AKVA	AKVA 15-3	⚠	DN25	1	1,05	1,29	0,285
AKVA	AKVA 15-4	⚠	DN25	1	0,417	0,508	0,285
AKVA	AKVA 15-2	⚠	DN20	3/4.	2,61	3,27	0,466

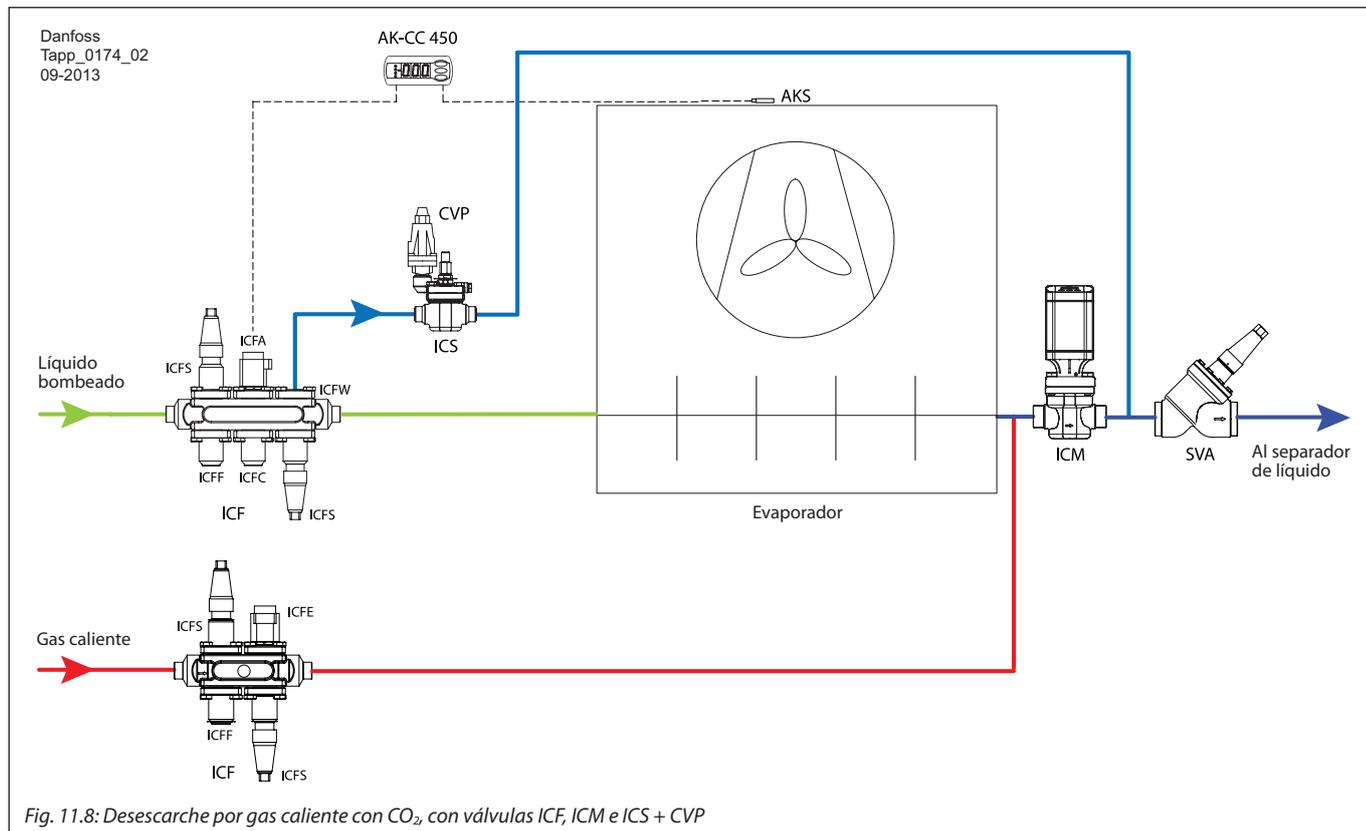
La herramienta CoolSelector recomienda una válvula AKVA 15-3 (K_v = 0,63 m³/h), que desarrolla 30 kW con una tasa de circulación de 1,5 y una caída de presión a través de la válvula de 1 bar. Si se necesita más capacidad, deberá instalarse una válvula más grande o disponerse de una mayor caída de presión a través de la válvula.

Recuerde que todas las válvulas AKVA soporta una presión PS de 42 bar; las válvulas AKV sólo soportan una presión PS de 42 bar en el caso de la gama AKV 10 y AKV 15-1, 2 y 3.

Sistemas bombeados con válvulas ICF

El ejemplo de la página anterior incorpora una válvula AKVA estándar. Una válvula multimodular de tipo ICF también sería una buena opción para esta aplicación.

Si el desescarche de los evaporadores se lleva a cabo empleando CO₂, se necesitará una versión con válvula de retención.



Debe extremarse la precaución en relación con la válvula solenoide de la línea de aspiración húmeda. Una de las temperaturas de desescarche más comunes es 9-10 °C, correspondiente a una presión de 44-45 bar (a) aguas arriba de esta válvula solenoide.

Dependiendo de la presión del separador, el diferencial MOPD de esta válvula podría no ser suficiente como para abrirla. Se recomienda usar una pequeña válvula de *bypass* (como la EVRST, con PS = 50 bar) para equilibrar la presión antes de la apertura de la válvula principal. El diferencial MOPD de la válvula ICM 20-32 es de 52 bar, por lo que siempre podrá abrirse tras un ciclo de desescarche, aun cuando la presión del separador sea cercana al punto triple de 5,2 bar (a).

Una de las ventajas de usar una válvula ICM es que la presión de desescarche se puede equilibrar abriendo lentamente la válvula. Una forma económica de conseguirlo es usar el modo ON/OFF de la válvula ICM y seleccionar una velocidad muy lenta (I04), o usar el modo de modulación, de manera que el módulo PLC controle totalmente el grado de apertura y la velocidad.

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Puede encontrar una descripción por orden alfabético de todos los documentos de referencia en la página 146.

Folleto técnico/manual

Tipo	Código del documento
AK-CC 450	RS8EU
AKD 102	PD.R1.B
AK-PC 730	RS8EG
AKS 21	RK0YG
AKS 33	RD5GH
AKS 4100/4100U	PD.SC0.C
AKVA	PD.VA1.B
CVC-XP	PD.HN0.A
CVC-LP	PD.HN0.A
CVP	PD.HN0.A
CVPP	PD.HN0.A
DCR	PD.EJ0.A
EKC 315A	RS8CS

Tipo	Código del documento
EKC 347	PS.G00.A
EVM	PD.HN0.A
EVRA / T	PD.BM0.B
FIA	PD.FN1.A
ICF	PD.FT1.A
ICM / ICAD	PD.HT0.B
ICS	PD.HS2.A
NRV	PD.FE0.A
OFV	PD.HQ0.A
REG	PD.KM1.A
RT 260A	PD.CB0.A
SCA	PD.FL1.A
SGR	PD.EK0.A
SNV	PD.KB0.A
SVA-S/L	PD.KD1.A

Instrucciones del producto

Tipo	Código del documento
AKD 102	MG11L
AKS 21	RI14D
AKS 32R	PI.SB0.A
AKS 33	PI.SB0.A
AKS 4100/4100U	PI.SC0.D / PI.SC0.E
AKVA	PI.VA1.B / PI.VA1.C
CVC-XP	PI.HN0.A
CVC-LP	PI.HN0.M
CVP	PI.HN0.C
CVPP	PI.HN0.C
DCR	PI.EJ0.B
EKC 347	PI.RP0.A
EVM	PI.HN0.N

Tipo	Código del documento
EVRA / T	PI.BN0.L
FIA	PI.FN1.A
ICF	PI.FT0.C
ICM / ICAD	PI.HT0.A (ICM) PI.HT0.B (ICAD)
ICS	PI.HS0.A / PI.HS0.B
NRV	PI.FE0.A
OFV	PI.HX0.B
REG	PI.KM1.A
RT 260A	RI5BB
SCA	PI.FL1.A
SGR	PI.EK0.A
SNV	PI.KB0.A
SVA-S/L	PI.KD1.A

Para descargar la versión más reciente de los documentos, visite el sitio web de Danfoss.

12. Métodos de control para sistemas con CO₂

- 2 Sistema de refrigeración auxiliar/unidad en reposo (refrigeración)
- 3 Válvula solenoide
- 4 Válvula de seguridad
- 5 Válvula de bypass

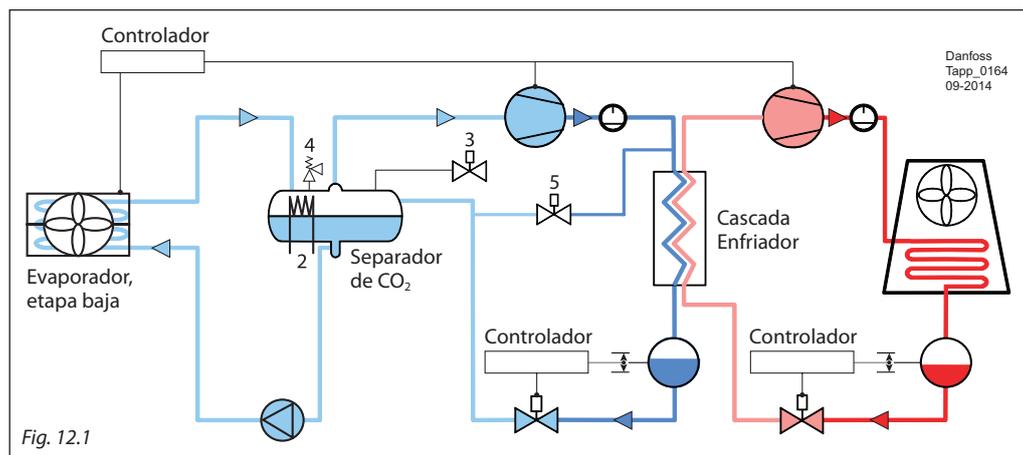


Fig. 12.1

Control del compresor

No existen diferencias en cuanto al modo en el que se controla un compresor en un sistema con CO₂ y aquel en el que se controla en una instalación de refrigeración industrial normal; no obstante, dado que se trata de un sistema en cascada, debe garantizarse que el compresor de NH₃ arranque/esté preparado para arrancar antes de que la señal de arranque llegue al compresor de CO₂ (consulte la sección relativa al control del compresor).

Control del nivel de líquido

No existen diferencias en cuanto al modo en el que se controla el nivel de líquido en un sistema con CO₂ y aquel en el que se controla en una instalación de refrigeración industrial normal (consulte la sección relativa al control del nivel de líquido).

Posibles dispositivos de control en caso de alta presión en el separador de CO₂

Si la presión en el separador de CO₂ aumenta por encima del nivel normal, pueden llevarse a cabo los pasos descritos a continuación para minimizar el escape de CO₂:

1. Es posible forzar el arranque del compresor de CO₂ y la interrupción del bombeo de CO₂ líquido para evitar el retorno de líquido relativamente caliente al separador de CO₂.
2. Si existe algún fallo que impida el arranque del compresor de CO₂, la presión continuará aumentando. Ello dará lugar al arranque forzado del sistema de refrigeración auxiliar.
3. Si la presión continúa aumentando, se podrá forzar la apertura de una válvula solenoide con objeto de liberar la presión de CO₂ de forma controlada y hacerla descender hasta un nivel de presión definido.
4. El último dispositivo es la válvula de seguridad, que se acciona a la presión ajustada.

Posibles dispositivos de control en caso de baja presión en el separador de CO₂

Si la presión en el separador de CO₂ desciende por debajo del nivel normal, pueden llevarse a cabo los pasos descritos a continuación para minimizar el riesgo de formación de hielo seco:

5. La apertura de una válvula de *bypass* permite al sistema mantener un nivel suficientemente alto de presión de aspiración en el separador de CO₂. Ello impide también la detención del compresor en caso de descenso repentino de la carga de refrigeración (por ejemplo, si el proceso de congelación se somete a variaciones de la carga de refrigeración). De este modo, se garantiza que el compresor continúe funcionando y mantenga el sistema preparado para un aumento repentino de la carga de refrigeración.
6. Es posible forzar la detención del compresor de CO₂ y, de este modo, evitar la formación de hielo seco.

13. Diseño de una instalación subcrítica con CO₂

En general, las tareas de diseño y selección de válvulas para una instalación subcrítica con CO₂ no difieren de las necesarias para una instalación tradicional con NH₃, a excepción de las mayores presiones de trabajo y el sistema de recuperación de aceite.

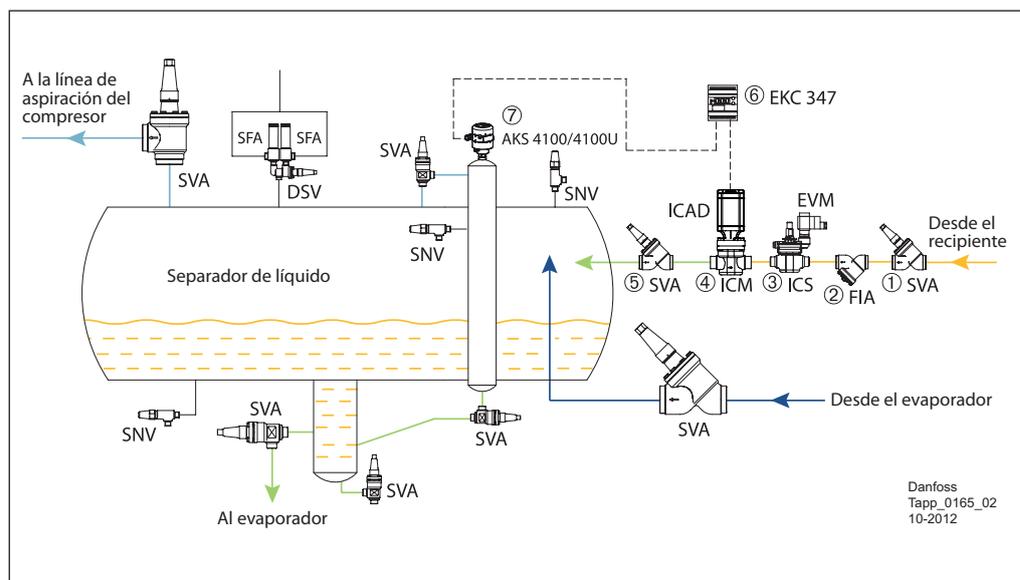
Los ejemplos descritos en las secciones anteriores de este manual, por tanto, son válidos también para CO₂. No obstante, en términos generales y en la medida de lo posible, se recomienda evitar el uso de conexiones embridadas en sistemas con CO₂.

13.1 Solución electrónica para el control del nivel de líquido

Ejemplo de aplicación 13.1.1: Solución electrónica para el control del nivel de líquido, LP

- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Vapor de refrigerante, LP
- Refrigerante líquido, LP

- ① Válvula de cierre
- ② Filtro
- ③ Válvula solenoide
- ④ Válvula motorizada
- ⑤ Válvula de cierre
- ⑥ Controlador
- ⑦ Transmisor de nivel



El transmisor de nivel AKS 4100/4100U ⑦, monitoriza el nivel de líquido en el separador y envía una señal de nivel al controlador de nivel de líquido EKC 347 ⑥, que a su vez envía una señal de modulación al actuador de la válvula motorizada ICM ④. La válvula motorizada ICM actúa como una válvula de expansión.

El controlador de nivel de líquido EKC 347 ⑥ también proporciona salidas de relé para límites de alta y baja y para el nivel de alarma.

Ejemplo de aplicación 13.1.2: Solución electrónica para el control del nivel de líquido, LP

- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Vapor de refrigerante, LP
- Refrigerante líquido, LP

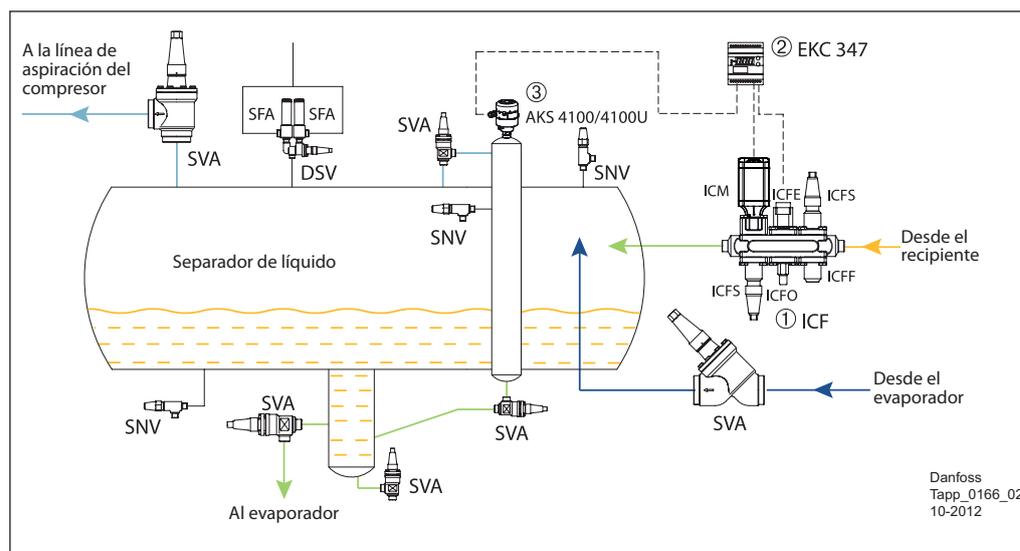
① La estación de válvulas ICF incluye:



- Válvula de cierre
- Filtro
- Válvula solenoide
- Dispositivo de apertura manual
- Válvula motorizada
- Válvula de cierre

- ② Controlador
- ③ Transmisor de nivel

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.



Danfoss puede suministrar una solución de válvula muy compacta ICF ①. Se pueden montar hasta seis módulos diferentes en un mismo cuerpo, el cual es fácil de instalar. El módulo ICM actúa como una válvula de expansión y el módulo ICFE es una válvula solenoide.

Esta solución funciona de manera idéntica al ejemplo 13.1.1. Consulte la documentación relativa a la solución de control ICF si desea obtener más información.

13.2 Desescarche por gas caliente para enfriadores de aire con circulación de líquido bombeado

Ejemplo de aplicación 13.2.1: Evaporador de circulación de líquido bombeado, con sistema de desescarche por gas caliente

- Vapor de refrigerante, HP
- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Refrigerante líquido, LP

Línea de líquido

- ① Válvula de cierre de entrada de líquido
- ② Filtro
- ③ Válvula solenoide
- ④ Válvula de retención
- ⑤ Válvula de regulación manual
- ⑥ Válvula de cierre de entrada del evaporador

Línea de aspiración

- ⑦ Válvula de cierre de salida del evaporador
- ⑧ Válvula motorizada
- ⑨ Válvula de cierre de línea de aspiración

Línea de gas caliente

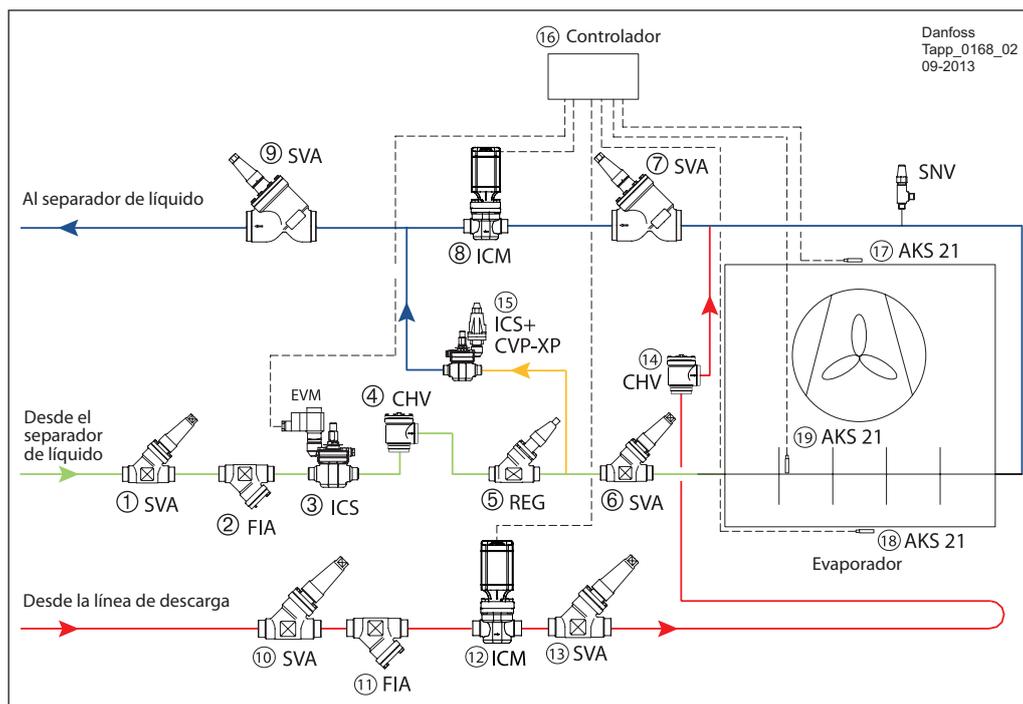
- ⑩ Válvula de cierre
- ⑪ Filtro
- ⑫ Válvula motorizada
- ⑬ Válvula de cierre
- ⑭ Válvula de retención

Línea de alivio

- ⑮ Válvula de alivio

Controles

- ⑯ Controlador
- ⑰ Controlador
- ⑱ Controlador
- ⑲ Controlador



El ejemplo de aplicación 13.2.1 muestra una instalación para evaporadores de circulación de líquido bombeado con desescarche por gas caliente equipada con válvulas ICF.

Ciclo de refrigeración

La válvula solenoide ICS ③ de la línea de líquido se mantiene abierta. La inyección de líquido se controla por medio de la válvula de regulación manual REG ⑤.

La válvula motorizada ICM ⑧ de la línea de aspiración se mantiene abierta, y la válvula motorizada ICM ⑩ del motor de desescarche se mantiene cerrada.

Ciclo de desescarche

Después del inicio del ciclo de desescarche, el módulo solenoide de alimentación de líquido ICFE de la válvula solenoide ICF ③ se cierra. El ventilador se mantiene en funcionamiento durante 120 a 600 segundos, dependiendo del tamaño del evaporador, con el fin de bombear el líquido del evaporador.

Los ventiladores se detienen y la válvula ICM ⑧ se cierra.

Se ofrece un retardo de 10 a 20 segundos para que el líquido del evaporador se asiente en el fondo sin burbujas de vapor. La válvula motorizada ICS ⑮ se abre a continuación y suministra gas caliente al evaporador.

Debido a la elevada presión diferencial entre la línea de gas caliente y el evaporador, se recomienda aumentar la presión lentamente para facilitar su compensación antes de la apertura completa; de este modo el funcionamiento continuará correctamente y se evitará el flujo intermitente de líquido a través del evaporador.

Una de las ventajas de usar una válvula motorizada ICM ⑧ es que la presión de desescarche se puede equilibrar abriendo lentamente la válvula. Una forma económica de conseguirlo es usar el modo ON/OFF de la válvula ICM y seleccionar una velocidad muy lenta, o usar el modo de modulación, de manera que el módulo PLC controle totalmente el grado de apertura y la velocidad.

Durante el ciclo de desescarche, el gas caliente condensado del evaporador se inyecta dentro del lado de baja presión. La presión de desescarche se controla por medio del conjunto ICS + CVP ⑮.

Cuando la temperatura en el evaporador (medida por el sensor AKS 21) alcanza el valor deseado, el desescarche termina, la válvula motorizada ICM ⑮ se cierra y después de un breve retardo la válvula motorizada ICM ⑧ se abre.

Debido a la elevada presión diferencial entre el evaporador y la línea de aspiración, es necesario aliviar la presión lentamente para facilitar su compensación antes de la apertura completa; de este modo el funcionamiento continuará correctamente y se evitará el flujo intermitente de líquido a través de la línea de aspiración.

Una de las ventajas de usar una válvula motorizada ICM ⑧ es que la presión de desescarche se puede equilibrar abriendo lentamente la válvula. Una forma económica de conseguirlo es usar el modo ON/OFF de la válvula ICM y seleccionar una velocidad muy lenta, o usar el modo de modulación, de manera que el módulo PLC controle totalmente el grado de apertura y la velocidad.

Una vez abierta completamente la válvula ICM, la válvula solenoide de alimentación de líquido ICS ③ se abre para iniciar el ciclo de refrigeración. El ventilador se pone en marcha después de un retardo, con el fin de congelar las gotas de líquido restantes en la superficie del evaporador.

En los filtros FIA (pos. 2 y 11) y, en general, en cualquier sistema con CO₂, se recomienda usar una malla de filtro plisada con superficie extragrande y un diseño más sólido.

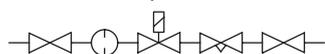
No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

13.2 Desescarche por gas caliente para enfriadores de aire con circulación de líquido bombeado

Ejemplo de aplicación 13.2.2: Evaporador de circulación por bomba con sistema de desescarche por gas caliente, totalmente soldado, usando válvula ICF para evaporador con desescarche por gas caliente.

- Vapor de refrigerante, HP
- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Refrigerante líquido, LP

① Solución de control ICF para línea de líquido con:



- Válvula de cierre
- Filtro
- Válvula solenoide
- Válvula de retención
- Válvula de regulación manual
- Válvula de cierre de entrada del evaporador

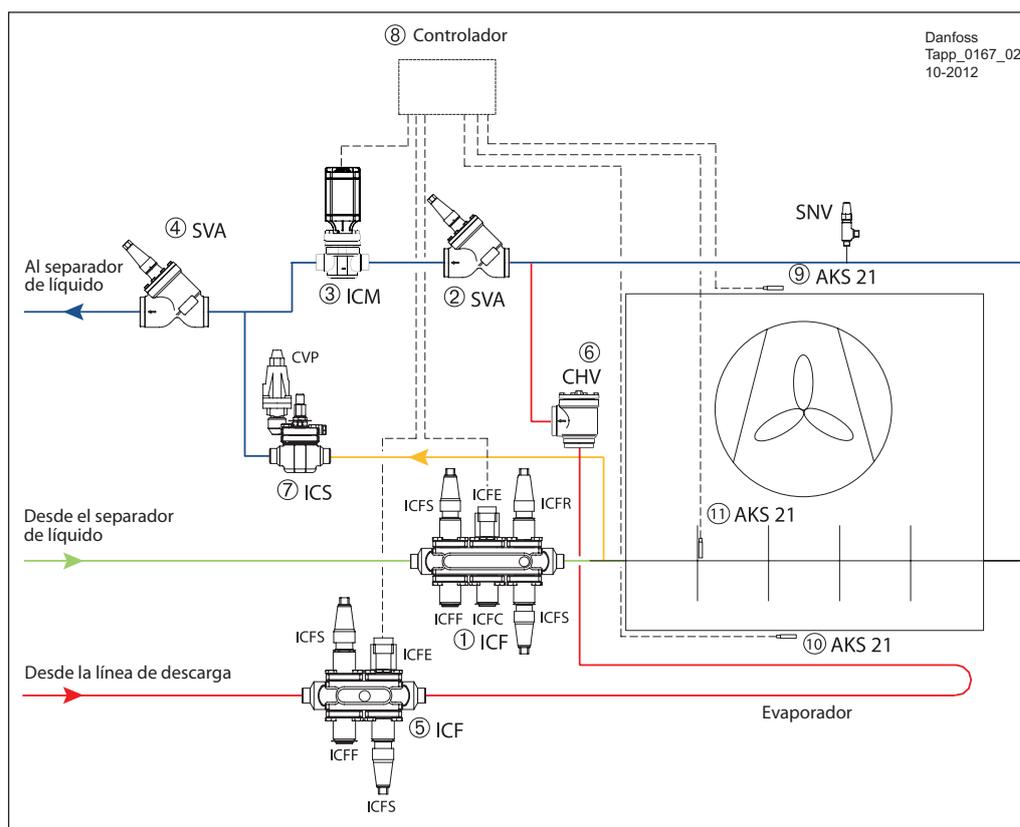
- ② Válvula de cierre de salida del evaporador
- ③ Regulador de presión (válvula motorizada)
- ④ Válvula de cierre de línea de aspiración
- ⑤ Solución de control ICF para línea de gas caliente con:



- Válvula de Cierre
- Filtro
- Válvula solenoide
- Válvula de cierre

- ⑥ Válvula de retención
- ⑦ Regulador de presión
- ⑧ Controlador
- ⑨ Sensores de temperatura
- ⑩ Sensores de temperatura
- ⑪ Sensores de temperatura

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.



Danfoss
Tapp_0167_02
10-2012

El ejemplo de aplicación 13.2.2 muestra una instalación para evaporadores de circulación de líquido bombeado con desescarche por gas caliente usando la nueva solución de control ICF.

La solución de control ICF puede albergar hasta seis diferentes módulos montados en la misma carcasa, ofreciendo una solución de control compacta y de fácil instalación.

Ciclo de refrigeración

La válvula solenoide ICFE de la solución de control ICF ① de la línea de líquido se mantiene abierta. La inyección de líquido se controla por medio de la válvula de regulación manual ICFR de la solución de control ICF ①.

La válvula motorizada ICM ③ de la línea de aspiración se mantiene abierta y la válvula solenoide de desescarche ICFE de la solución de control ICF ⑤ se mantiene cerrada.

Ciclo de desescarche

Después del inicio del ciclo de desescarche, el módulo solenoide de alimentación de líquido ICFE de la solución de control ICF ① se cierra. El ventilador se mantiene en funcionamiento durante 120 a 600 segundos, dependiendo del tamaño del evaporador, con el fin de bombear el líquido del evaporador.

Los ventiladores se detienen y la válvula ICM se cierra. Se ofrece un retardo de 10 a 20 segundos para que el líquido del evaporador se asiente en el fondo sin burbujas de vapor. La válvula solenoide ICFE de la solución de control ICF ⑤ se abre a continuación y suministra gas caliente al evaporador.

Durante el ciclo de desescarche, el gas caliente condensado del evaporador se inyecta en el lado de baja presión. La presión de desescarche se controla por medio del conjunto ICS + CVP ⑦.

Cuando la temperatura en el evaporador (medida por el sensor AKS 21) alcanza el valor deseado, el desescarche termina, la válvula solenoide ICFE de la solución de control ICF ⑤ se cierra y después de un breve retardo la válvula motorizada ICM ③ se abre.

Debido a la elevada presión diferencial entre el evaporador y la línea de aspiración, es necesario aliviar la presión lentamente para facilitar su compensación antes de la apertura completa; de este modo el funcionamiento continuará correctamente y se evitará el flujo intermitente de líquido a través de la línea de aspiración.

Una de las ventajas de usar una válvula motorizada ICM ③ es que la presión de desescarche se puede equilibrar abriendo lentamente la válvula. Una forma económica de conseguirlo es usar el modo ON/OFF de la válvula ICM y seleccionar una velocidad muy lenta. También se puede lograr usando el modo de modulación, de manera que el módulo PLC controle totalmente el grado de apertura y la velocidad.

Una vez abierta completamente la válvula ICM, la válvula solenoide de suministro de líquido ICFE de la solución de control ICF ① se abre para iniciar el ciclo de refrigeración. El ventilador se pone en marcha después de un retardo, con el fin de congelar las gotas de líquido restantes en la superficie del evaporador.

14. Componentes Danfoss para CO₂ subcrítico



En la actualidad, Danfoss ofrece una amplia gama de componentes industriales aptos para CO₂.

La mayoría de los componentes que recoge la tabla siguiente han sido evaluados y mejorados, y son, por tanto, válidos para CO₂ dentro de los rangos de presión y temperatura indicados en la documentación técnica. En particular, la presión es el factor limitador de este grupo de componentes.

Se han desarrollado también componentes para aplicaciones con CO₂ a alta presión. En las páginas siguientes se describen los tipos de válvulas más comunes.

Recuerde que, por lo general, las versiones especiales para alta presión sólo están disponibles bajo pedido y el tiempo de suministro puede ser superior al habitual.

Directiva de equipos a presión (PED)

Las válvulas de Refrigeración Industrial han sido homologadas según los requisitos establecidos por las normas europeas especificadas en la Directiva de equipos a presión y ostentan la marca CE.

Productos de refrigeración industrial

Componentes Danfoss para CO ₂ subcrítico			DN	PS 40 bar [580 psi]	PS 52 bar [754 psi]
Válvulas principales y válvulas solenoides	ICS 1, ICS 3	todo	20-150		
Válvula multifunción	ICF	todo	20-40		
Pilotos para válvulas ICS	CVP-XP				
	CVP-XP				
	CVC-XP				
	CVP-HP				
	CVPP-HP				
	EVM (NC)				
Válvulas de cierre	SVA-S	todo	6-200		
	SVA-L	todo	15-40		
Válvulas de regulación	REG-SA/SB	todo	15-65		
Válvulas de retención y cierre manual	SCA-X	todo	15-125		
Filtros	FIA	todo	15-200		
Válvulas de retención	CHV-X	todo	15-125		
Válvulas solenoides	EVRS/EVRST	todo	3-20		
	ICS + EVM	todo	20-150		
Válvulas de expansión electrónicas	AKVA	todo	10-20		
	ICM	todo	20-65		
	ICMST	todo	25		140 bar
	CCMT	todo	15		140 bar
Válvulas de seguridad y válvulas de paso	CCM	todo	15-25		90 bar
	SFA	15	-		
	DSV	1, 2	20-32		
Filtros secadores	POV	40, 50, 80	40-80		
	DCRH	Versión de alta presión			46 bar
Transmisor de nivel de líquido	AKS 4100/4100U	-	-		
Detectores de gases	GD				

El producto se puede usar en su versión estándar.
Todos los productos cuentan con homologación CE.

Debe fabricarse una versión especial del producto (mayor presión de prueba, marcas y documentación).
Todos los productos cuentan con homologación CE.

14.1
Componentes Danfoss para CO₂ subcrítico
(continuación)

Productos de refrigeración comercial

Componentes Danfoss para CO ₂ subcrítico Productos de refrigeración comercial		PS 42 bar [609 psi]	PS 46 bar [667 psi]	PS 52 bar [754 psi]	PS 90 bar [1.305 psi]	PS 140 bar [2.031 psi]
Válvulas solenoides	EVR 2-15					
	EVUL					
	EVUB					
Válvulas de cierre (válvulas de bola)	GBC para CO ₂					
Válvulas de retención	NRV para CO ₂					
Válvulas de expansión electrónicas	AKVH 10					
	AKV 15					
	ETS 12,5-100					
	CCM 10-40					
	CCMT 2-8					
	ICMTS					
Reguladores de presión automáticos	ICV					
	MBR					
Filtros secadores	DCR					
	DML					
	DMT					
Indicadores de humedad	SG (en línea)					
	SG (acoplamiento)					

El producto se puede usar en su versión estándar.
Todos los productos cuentan con homologación CE.

Debe fabricarse una versión especial del producto
(mayor presión de prueba, marcas y documentación).
Todos los productos cuentan con homologación CE.

Controles electrónicos para CO₂

Controladores de muebles frigoríficos:	AK-CC 550A y AK-CC 750
Controladores de evaporadores:	EKC 315A, AKC 316, EKD 316 y EKC 312
Controladores de controles frigoríficos:	EKC 331T, AK-PC 530, AK-PC 420, AK-PC 781 y AK-PC 840
Controles de enfriador:	AK-CH 650 y AK-CH 650A
Controlador de cascada:	EKC 313
Controlador de presión:	EKC 326A

Bobinas para válvulas solenoides



Debido a la elevada diferencia de presión entre el condensador y el evaporador, el diferencial de presión de apertura máxima (MOPD) de la válvula solenoide necesario para ciertas aplicaciones puede superar la capacidad de una bobina estándar.

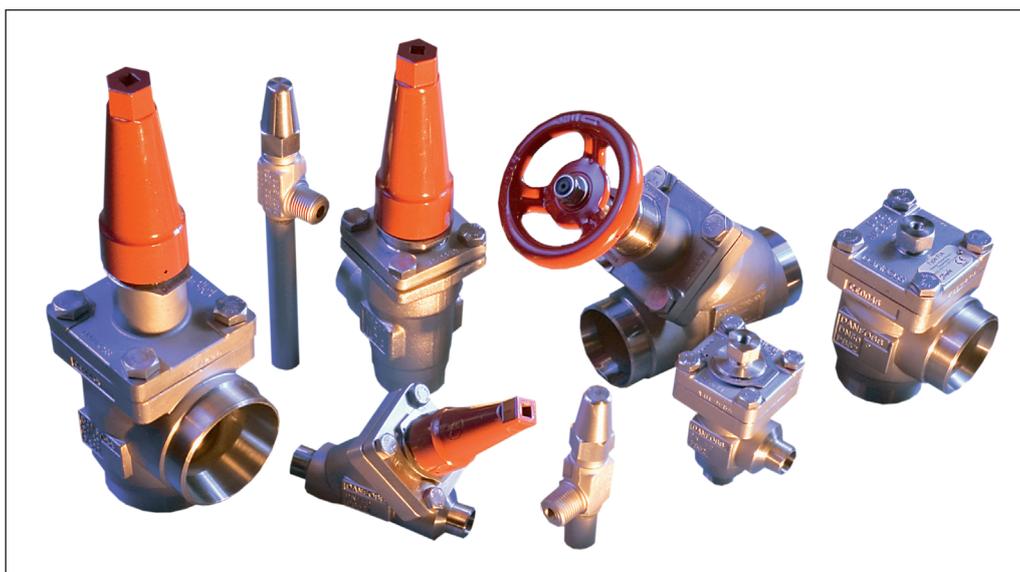
Ejemplos de aplicaciones típicas:

- Inyección de líquido para la refrigeración del compresor
- Desescarche por gas caliente
- Válvula de cierre antes de la válvula de expansión

Por ello, Danfoss ofrece una bobina de 20 W que cubre un rango de diferenciales MOPD de hasta 40 bar.

La gama de bobinas de 20 W contiene bobinas para tensiones de 24, 110 y 230 V c.a. a 50 Hz.

15. Gama completa de productos de acero inoxidable



La protección de la superficie es cada vez más importante, en especial en el caso de los sistemas de refrigeración para el sector de los alimentos, en los que es frecuente la limpieza con agentes agresivos.

Por ello, Danfoss ofrece versiones con paso en ángulo y paso recto de sus válvulas de acero inoxidable en tamaños DN 15 mm (1/2") a DN 125 mm (5").

- Válvulas de cierre SVA-SS
- Válvulas de regulación manual REG-SS
- Válvulas de cierre y retención SCA-SS (sólo paso en ángulo)
- Válvulas de retención CHV-SS (sólo paso en ángulo)
- Filtros FIA-SS
- Válvulas de alivio OFV-SS (sólo paso en ángulo)
- Válvulas de aguja SNV-SS

Esta gama de válvulas satisface los requisitos más estrictos, resultantes de:

1. La necesidad de una mayor protección de la superficie externa de las válvulas y los acoplamientos.
2. La necesidad de dar cabida a las tendencias actuales en el diseño de instalaciones.

En ciertas áreas específicas, como en el caso de las aplicaciones exteriores y las atmósferas corrosivas (instalaciones costeras, etc.) se hace necesario proporcionar una elevada protección a las superficies para evitar los fallos por corrosión.

Las normas de seguridad alimentaria actuales exigen a menudo la limpieza diaria con detergentes para proporcionar protección contra el crecimiento bacteriano, dando lugar de nuevo a la necesidad de aportar una elevada protección a las superficies.

- Compatible con todos los refrigerantes no inflamables, incluido el R-717, y gases/líquidos no corrosivos, dependiendo de la compatibilidad del material de la junta.
- Accesorios opcionales:

	Capuchón	Volante
SVA-SS	X	X
REG-SS	X	
SCA-SS	X	
CHV-SS		
FIA-SS		
OFV-SS	X	

- Diseñado para favorecer las condiciones de caudal.
- El asiento interno permite sustituir el sello del eje mientras la válvula se encuentra operativa, esto es, presurizada (SVA-SS, REG-SS, SCA-SS y OFV-SS).

- El cuerpo está hecho de un acero inoxidable especial resistente al frío, homologado para el funcionamiento a bajas temperaturas.
- Pueden desmontarse fácilmente a la hora de realizar inspecciones y operaciones de mantenimiento.
- Las válvulas de cierre SVA-SS permiten la dirección del flujo en cualquier sentido.
- Conexiones DIN de soldadura a tope.
- Presión de trabajo máx.: 52 barg (754 psig)
- Rango de temperatura: -60 a +150 °C (-76 a 3.020 °F).
- Válvulas compactas y ligeras para facilitar su manipulación e instalación.
- Clasificación: póngase en contacto con su distribuidor de Danfoss para solicitar una lista de certificaciones actualizada.

Válvulas solenoides de acero inoxidable EVRS y EVRST



La EVRS 3 es de accionamiento directo.
 Las EVRS 10, 15 y 20 son servoaccionadas.
 Las EVRST 10, 15 y 20 son servoaccionadas con carrera asistida y se utilizan en líneas de líquido, de aspiración, de gas caliente y retorno de aceite en circuitos de amoníaco o refrigerantes fluorados.

Las EVRS 3 y EVRST están diseñadas para mantenerse abiertas con una pérdida de carga de 0 bar.
 Las EVRS/EVRST 10, 15 y 20 están dotadas con apertura manual.
 Las EVRS y EVRST se suministran como componentes individuales, es decir, que el cuerpo de la válvula y la bobina deberán pedirse por separado.

Características

- Cuerpo de válvula y conexiones de acero inoxidable
- Presión de trabajo máx.: 50 barg
- Aptas para amoníaco y todos los refrigerantes fluorados
- Diferencial MOPD de hasta 38 bar con bobina de c.a. de 20 W
- Amplia gama de bobinas para c.a. y c.c.
- Diseñadas para temperaturas de hasta 105 °C
- Apertura manual en EVRS y EVRST 10, EVRST 15 y EVRST 20

16. Apéndice

16.1 Sistemas de refrigeración típicos

Los sistemas de refrigeración típicos están caracterizados básicamente por el ciclo de refrigeración y la manera de suministrar refrigerante al evaporador. Para el ciclo de refrigeración, los sistemas de refrigeración industrial son clasificados en tres tipos:

Sistemas de una etapa

Este es el ciclo más básico: compresión-condensación-expansión- evaporación.

Sistemas de dos etapas

En esta clase de sistema la compresión tiene lugar en dos etapas, normalmente por dos compresores. El enfriamiento inmediato se utiliza a menudo para optimizar el rendimiento del sistema.

Sistema en cascada

Este sistema es actualmente de dos ciclos básicos en cascada. El evaporador del ciclo de alta temperatura actúa también como condensador del ciclo de baja temperatura.

Con respecto al suministro de refrigerante a los evaporadores, los sistemas se pueden clasificar en dos tipos básicos:

Sistema de expansión directa

La mezcla de líquido/vapor de refrigerante después de la expansión alimenta directamente los evaporadores.

Sistema circulado

El líquido y el vapor de refrigerante, después de la expansión, se separan en un separador de líquido y sólo se introduce líquido en los evaporadores. La circulación de líquido puede ser por gravedad o por bomba.

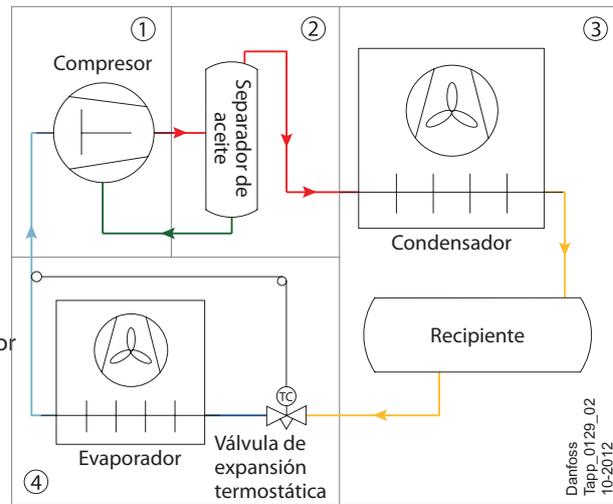
Estos tipos de sistemas de refrigeración serán ilustrados por algunos ejemplos:

Sistema de una etapa con expansión directa (DX)

Fig. 16.1.1 Sistema de refrigeración de una etapa con expansión directa

- Vapor de refrigerante, HP
- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Vapor de refrigerante, LP
- Aceite

- ① Zona de control del compresor
- ② Zona de control de aceite
- ③ Zona de control del condensador
- ④ Zona de control del evaporador



El sistema de refrigeración de una etapa con expansión directa es el sistema de refrigeración más básico, el cual es muy popular en aire acondicionado y sistemas de refrigeración pequeños (fig. 16.1.1). El ciclo de refrigeración es: el vapor de refrigerante a baja presión se comprime en el compresor y pasa al condensador, donde el vapor a alta presión se condensa en líquido a alta presión. El líquido a alta presión luego se expande a través de la válvula de expansión termostática dentro del evaporador, donde el líquido a baja presión se evapora, convirtiéndose en vapor a baja presión, y pasa de nuevo al compresor.

El separador de aceite y el recipiente no intervienen en el ciclo de refrigeración, pero interpretan un papel importante para el control:

El separador de aceite separa y acumula el aceite del refrigerante, y luego envía el aceite de vuelta al compresor. Este circuito de aceite es importante para garantizar el funcionamiento seguro y eficiente del compresor (entre otros, manteniéndolo bien lubricado). El control del aceite (sección 6) es fundamental para mantener la temperatura y la presión del aceite a niveles aceptables.

El recipiente puede absorber/liberar refrigerante cuando los contenidos de refrigerante en diferentes componentes varían con la carga o algunos componentes se cierran durante el servicio. El recipiente también puede mantener un suministro de refrigerante líquido en constante presión en la válvula de expansión.

La válvula de expansión termostática es controlada por el recalentamiento. Esto es de gran importancia para las funciones de ambos, el evaporador y el compresor:

- Al mantener un recalentamiento constante a la salida del evaporador, la válvula de expansión termostática suministra el flujo correcto de refrigerante líquido al evaporador de acuerdo a la carga.
- Un pequeño recalentamiento puede garantizar que sólo el vapor entra en la aspiración del compresor. Las gotas de líquido de la línea de aspiración pueden causar golpe de ariete, el cual equivale a dañar el motor.

Recuerde que la válvula de expansión termostática sólo puede mantener un recalentamiento constante, en vez de una temperatura de evaporación constante. Específicamente, si no ocurre otro control, la temperatura de evaporación aumentará con el aumento de carga y caerá con la disminución de carga. Dado que una temperatura de evaporación constante es el objetivo de la refrigeración, otros controles también son necesarios, por ejemplo el control del compresor y control del evaporador. El **control del compresor** permite ajustar la capacidad de refrigeración del sistema y el **control del evaporador** permite garantizar un caudal correcto de refrigerante al evaporador. Los detalles de estos dos tipos de controles se describen en la sección 2 y en la sección 5, respectivamente.

Teóricamente, mientras más baja sea la temperatura de condensación, más eficiente es el sistema. Pero en un sistema de expansión directa, si la presión en el depósito es demasiado baja, la diferencia de presión a través de la válvula de expansión será demasiado baja para suministrar caudal suficiente de refrigerante. Por consiguiente, los controles deben ser designados para prevenir una presión de condensación demasiado baja si es posible que la capacidad de condensación de un sistema de expansión directa varíe en gran medida. Esto se describe en la sección 3, **Controles para condensadores**.

El principal inconveniente de la expansión directa es la baja eficiencia. Dado que debe mantenerse un cierto recalentamiento:

- Parte del área de transferencia de calor del evaporador es ocupada por vapor y la eficiencia de la transferencia de calor es más baja.
- El compresor consume más energía para comprimir el vapor recalentado que el vapor saturado.

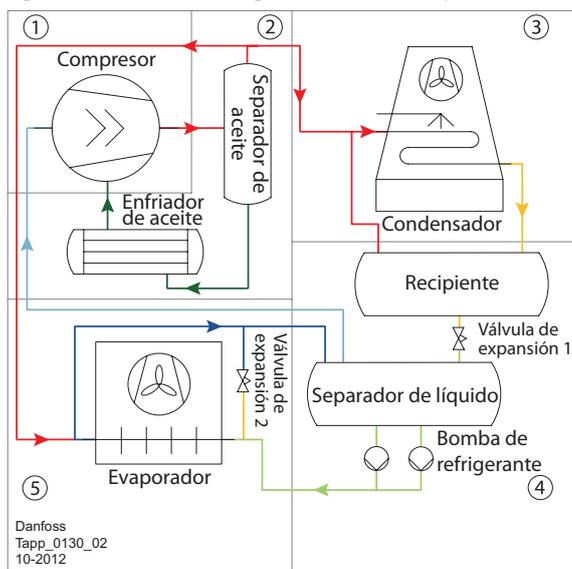
Este inconveniente llega a ser especialmente problemático en una planta de refrigeración de baja temperatura o en una planta de refrigeración de grandes dimensiones. En estos sistemas de refrigeración, se opta por un sistema circulado con circulación por bomba o circulación natural con el fin de ahorrar energía.

Sistema de una etapa con circulación por bomba de refrigerante

- Vapor de refrigerante, HP
- Refrigerante líquido, HP
- Mezcla de líquido/vapor de refrigerante
- Vapor de refrigerante, LP
- Refrigerante líquido, LP
- Aceite

- ① Zona de control del compresor
- ② Zona de control de aceite
- ③ Zona de control del condensador
- ④ Zona de control de nivel de líquido
- ⑤ Zona de control del evaporador

Fig. 16.1.2 Sistema de refrigeración de una etapa con circulación por bomba y desescarche por gas caliente



El circuito para un sistema de refrigeración de una sola etapa, como se muestra en la fig. 16.1.2, tiene muchas similitudes con el sistema DX mostrado en la fig. 16.1.1. La principal diferencia es que en este sistema el vapor de refrigerante que entra a la aspiración del compresor es vapor saturado en lugar de vapor recalentado.

Esto se produce por la instalación de un separador de líquido entre el evaporador y el compresor. En el separador de líquido, el líquido procedente de la mezcla de líquido/vapor proviene en parte del evaporador y en parte de la válvula de expansión 1. Sólo vapor saturado pasará a la aspiración del compresor, mientras que las bombas de refrigerante sólo enviarán líquido al evaporador.

Como el vapor de aspiración no está recalentado, la temperatura de evaporación será inferior que en un sistema DX. Debido a la inferior temperatura de evaporación el rendimiento del compresor será mayor. El evaporador proporcionará más capacidad porque su superficie se utiliza en su totalidad para enfriar y no parcialmente para recalentar el refrigerante. Por lo tanto, un sistema de circulación presenta un rendimiento mayor que un sistema DX equivalente.

La línea entre la entrada del condensador y el depósito está dedicada a la compensación de presión, para asegurar que el líquido del condensador pueda fluir hacia el depósito sin problemas.

En sistemas de circulación por bomba, es importante mantener la bomba funcionando, es decir, que el funcionamiento de la misma no sea interrumpido de forma no intencionada. Por lo tanto, el control de la bomba es importante para asegurar que tiene la diferencia de presión correcta, que está asegurado un suministro constante de líquido y que su estado no sea puesto en peligro. Este aspecto se trata en la sección 8.

En sistemas de circulación no hay recalentamiento que pueda utilizarse como variable de control para el funcionamiento de una válvula de expansión termostática.

La válvula de expansión 1 suele estar controlada por el nivel en el separador de líquido o, a veces, por el nivel en el depósito/condensador. A esto se le llama, en ocasiones, control de nivel de líquido, lo cual se explica en la sección 4.

Si los evaporadores son del tipo de tubo y aletas y se utilizan con aire y si la temperatura de evaporación es inferior a 0 °C, se formará una capa de escarcha/hielo sobre la superficie del evaporador debido a la humedad presente en el aire. Esta capa debe eliminarse regularmente, puesto que en caso contrario reducirá el flujo de aire del evaporador, con lo que disminuirá su capacidad de evaporación.

Los métodos de desescarche posibles son gas caliente, calor eléctrico, aire y agua. En la figura 16.1.2 se utiliza gas caliente para el desescarche. Parte del gas caliente del compresor se deriva hacia el evaporador para su desescarche.

El gas caliente calienta el evaporador y derrite la capa de hielo sobre él y, simultáneamente, el gas caliente se condensa y se convierte en líquido a alta presión. Utilizando una válvula de alivio, este líquido a alta presión puede devolverse al separador de líquido del conducto de aspiración.

El desescarche por gas caliente sólo puede utilizarse en sistemas que presenten al menos tres evaporadores paralelos.

Durante el desescarche, al menos dos de los evaporadores (por capacidad) deben estar enfriando y, como máximo, un evaporador debe estar desescarchando. En caso contrario, el gas disponible para el proceso de desescarche será insuficiente.

El método para cambiar entre los ciclos de refrigeración y desescarche se explica en la sección de control del evaporador (sección 5).

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

Sistema de dos etapas

En la figura 16.1.3 se muestra un sistema típico de dos etapas. Parte del refrigerante líquido del depósito, primero se expande a presión intermedia y se evapora para enfriar la otra parte del refrigerante líquido en el enfriador intermedio.

El vapor a presión intermedia se conduce después hacia la línea de descarga de presión de la etapa baja, enfría el vapor de descarga de la etapa baja y entra en el compresor de la etapa alta.

La energía usada para comprimir esta parte del vapor a la presión de aspiración hasta la presión intermedia se ahorra y la temperatura de descarga del compresor de la etapa alta es más baja.

De esta manera, el sistema de dos etapas es especialmente adecuado para sistemas de refrigeración de baja temperatura, por el alto rendimiento y la baja temperatura de descarga.

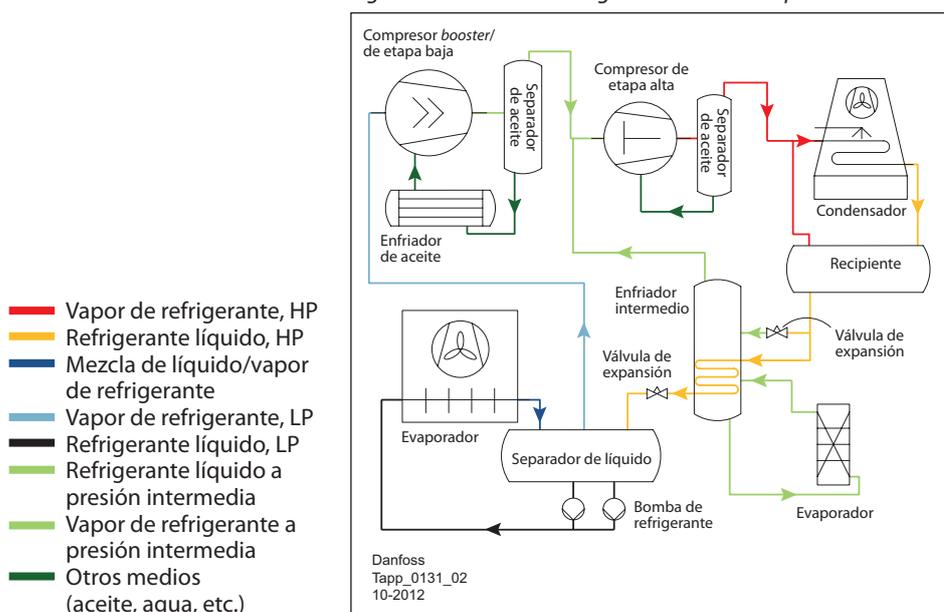
El enfriador intermedio también puede suministrar refrigerante a los evaporadores de temperatura intermedios. En la fig. 16.1.3, el intermedio suministra refrigerante al evaporador de placas haciéndolo circular por gravedad.

Comparado con la circulación por bomba, la circulación por gravedad tiene lugar por el efecto de termosifón en el evaporador, en vez de la bomba. La circulación natural es sencilla y más fiable (en caso de fallo de la bomba), pero la transferencia de calor no es generalmente tan buena como la que consigue la circulación por bomba.

El sistema de dos etapas puede ser teóricamente efectivo. Sin embargo, es difícil encontrar un tipo de refrigerante que sea adecuado para alta temperatura y baja temperatura en sistemas de refrigeración de baja temperatura.

A altas temperaturas, la presión del refrigerante será muy alta, presentando alta demanda en el compresor. A bajas temperaturas, la presión del refrigerante puede ser al vacío, lo cual induce a más fuga de aire dentro del sistema (el aire en el sistema reducirá la transferencia de calor del condensador; consulte la sección 9.3). Por consiguiente, el sistema de cascada puede ser una elección mejor para un sistema de refrigeración.

Fig. 16.1.3 Sistema de refrigeración de dos etapas



No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

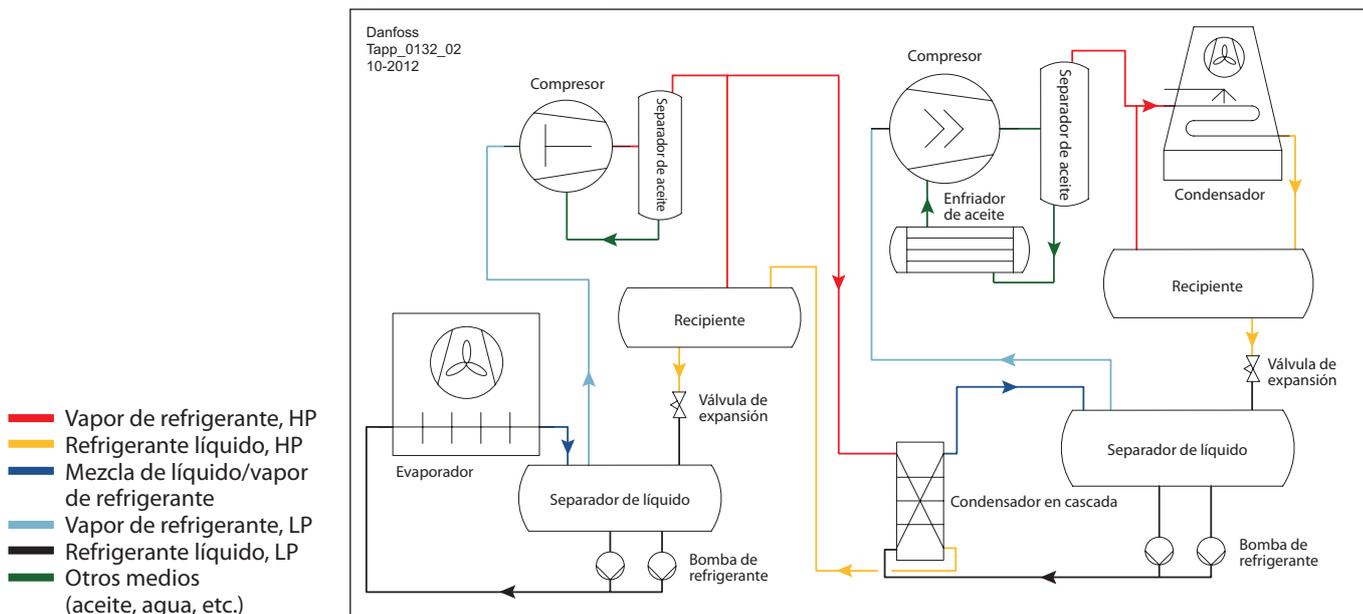
Sistema en cascada

Un sistema en cascada se compone de dos circuitos de refrigeración independientes, como se muestra en la fig. 16.1.4. Un condensador en cascada interconecta los dos circuitos actuando como condensador del circuito de alta temperatura y evaporador del circuito de baja temperatura.

Este sistema con CO₂/NH₃ necesita menos carga de amoníaco y demuestra ser más eficiente en refrigeración a baja temperatura que un sistema de dos etapas con amoníaco similar.

El refrigerante para los dos circuitos puede ser diferente y optimizado para cada circuito. Por ejemplo, el refrigerante puede ser NH₃ para el circuito de alta temperatura y CO₂ para el circuito de baja temperatura.

Fig. 16.1.4 Sistema de refrigeración en cascada



No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

17. Controles ON/OFF y modulante

A continuación se describe la teoría de los controles ON/OFF y de modulación. El objetivo es proporcionar un entendimiento básico sobre la teoría de control y los términos técnicos empleados. Además, se ofrecen sugerencias prácticas.

Abreviaturas y definiciones

P	Proporcional
I	Integración
D	Derivativo
PB	Banda proporcional [%] de un controlador P, PI o PID Porcentaje en el que debe cambiar una variable de proceso (PV) para que el controlador cambie la salida (y) del 0 al 100 %.
K_p	Factor de amplificación de un controlador P, PI o PID
T_i	Tiempo de integración [s] de un controlador PI o PID
T_d	Tiempo diferencial [s] de un controlador PID
PID	Un controlador típico que incluye funciones P, I y D
SP	Punto de consigna
PV	Variable de proceso (parámetro controlado: temperatura, presión, nivel de líquido, etc.)
desviación	
(x)	Diferencia entre el punto de consigna (SP) y la variable de proceso (PV)
y	Salida calculada de un controlador
tiempo muerto	Si la medida de la variable de proceso (PV) se monta físicamente, de modo que la señal posea siempre un retardo, en comparación con la medida de una variable de proceso (PV) instalada localmente sin retardo.

Referencias

[1] Reguleringsteknik, Thomas Heilmann/L. Alfred Hansen

17.1 Control ON/OFF

En algunos casos, en práctica, la aplicación del control se puede hacer con el control ON/OFF. Esto significa que el dispositivo de regulación (válvula o termostato) puede tener solamente dos posiciones: contactos cerrados o abiertos. Este principio de control se denomina control ON/OFF. Históricamente el ON/OFF fue ampliamente usado en refrigeración, especialmente en refrigeradores equipados con termostatos.

Sin embargo, los principios ON/OFF también pueden ser usados en sistemas avanzados donde se usan principios PID. Un ejemplo es una válvula ON/OFF (es decir, tipo AKV/A de Danfoss) usada para controlar el recalentamiento con parámetros PID disponibles en el controlador electrónico dedicado (tipo EKC 315A de Danfoss).

Un controlador ON/OFF sólo reaccionará dentro de algunos valores definidos, como por ejemplo máx. y mín. Fuera de estos límites, un controlador ON/OFF no puede realizar ninguna acción.

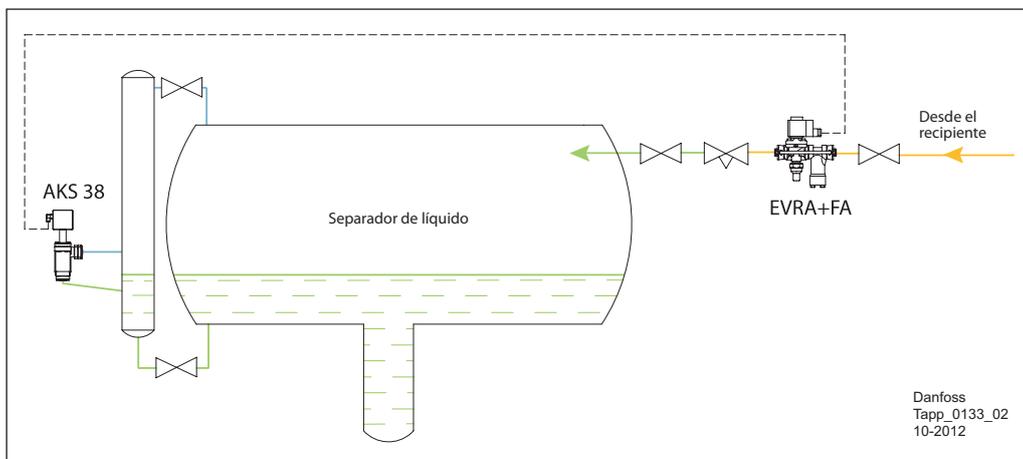
Normalmente se usa el control ON/OFF porque:

- Es barato y menos complicado, y no requiere bucles de realimentación.
- Puede aceptarse que PV varíe un poco de SP, junto con el dispositivo ON/OFF que está operando.
- El proceso tiene una capacidad lo suficientemente grande como para que el control ON/OFF no afecte a PV.
- En sistemas con tiempo muerto, el control ON/OFF puede ser ventajoso.

En sistemas ON/OFF usted tendrá una realimentación, como en sistemas de modulación, pero la característica de los sistemas ON/OFF es que PV varía y el sistema no puede eliminar ninguna desviación.

Ejemplo de aplicación 17.1.1 Control ON/OFF

Para controlar el nivel de líquido entre un nivel mínimo y máximo, se puede usar un dispositivo ON/OFF como el de tipo AKS 38 de Danfoss. El AKS 38 es un interruptor de flotador que puede controlar la conmutación de las válvulas solenoides ON/OFF.



- Refrigerante líquido, HP
- Vapor de refrigerante, LP
- Refrigerante líquido, LP

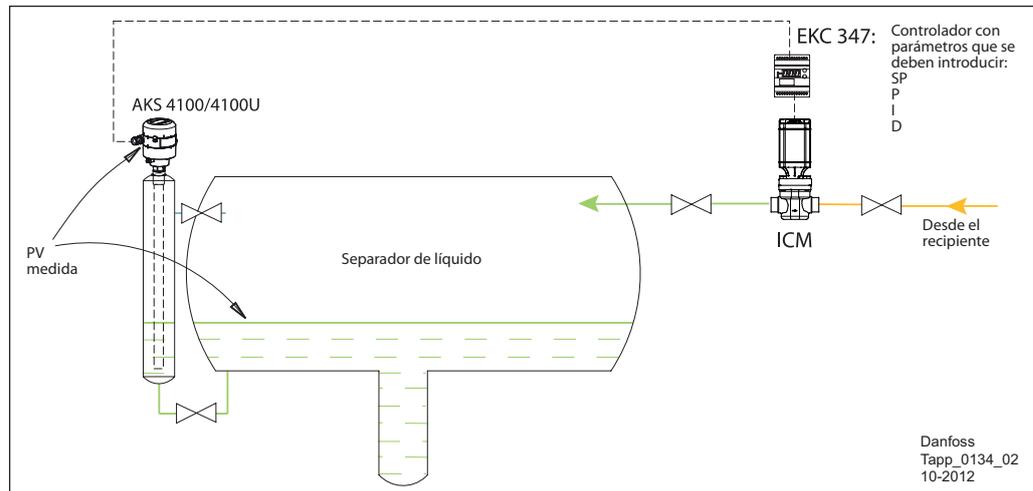
No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

17.2
Control modulante

La diferencia principal entre los controles de modulación y los sistemas ON/OFF es que los sistemas de modulación reaccionan constantemente cuando hay un cambio en el valor PV.

Además, los controladores electrónicos ofrecen la posibilidad de cambiar el parámetro de control (P, I y D). Ello proporciona un mayor grado de flexibilidad que, de nuevo, resulta útil debido a que el controlador puede ajustarse en función de diferentes aplicaciones.

Ejemplo de aplicación 17.2.1
Control modulante



— Refrigerante líquido, HP
— Refrigerante líquido, LP

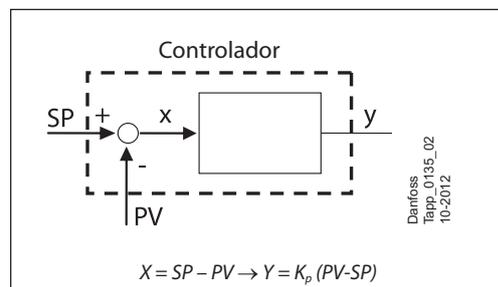
Principios P, I y D básicos

Por lo general, en los controladores más comunes es posible ajustar los parámetros P, PI o PID.

- En un controlador P es posible ajustar: PB o K_p.
- En un controlador PI es posible ajustar: PB o K_p y T_i.
- En un controlador PID es posible ajustar: PB o K_p, T_i y T_d.

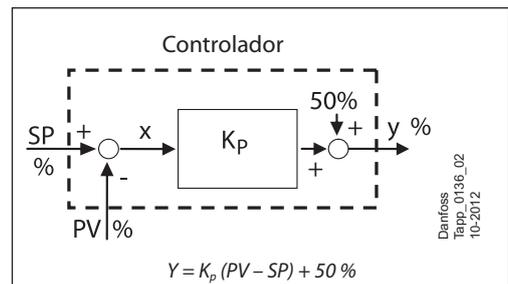
Controlador P

En cada controlador, existe un componente P. En un controlador P, hay una relación lineal entre entrada y salida.



En la práctica, los controladores P se diseñan para que cuando SP = PV el controlador deba ofrecer una salida correspondiente a la carga normal del sistema.

Normalmente, esto significa que la salida será el 50 % de la salida máxima. Por ejemplo, una válvula motorizada funcionará con el tiempo al 50 % del grado de apertura para mantener el valor de SP.



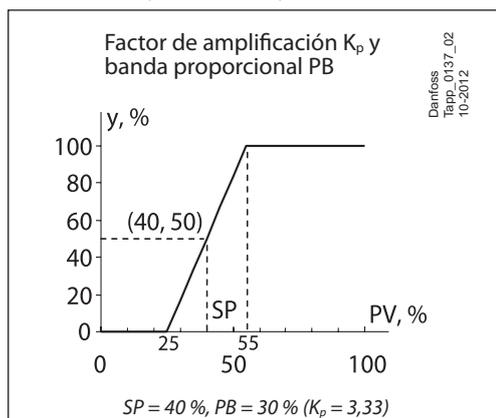
Algunos controladores no usan PB, sino K_p. La relación entre PB y K_p es: PB [%] = 100/K_p

Recuerde que PB puede ser superior al 100 %, siempre que K_p sea menor que 1.

No se muestran todas las válvulas. La información no debe utilizarse con fines de construcción.

17.2
Control modulante
(continuación)

Controlador P (continuación)



Cuando $PV = SP = 40\%$, el regulador proporciona una salida (y) del 50 %. (Esto significa que la válvula tiene un grado de apertura del 50 %).

Si PV aumenta hasta el 46 %, hay una desviación entre los valores PV y SP del 6 %. Como K_p se asume que equivale a 3,33, una desviación del 6 % dará lugar a un aumento de la salida del 6 % x 3,33 = 20 %; es decir, si PV sube hasta el 46 %, la salida aumentará en un 50 % + 20 % = 70 %.

La desviación del 6 % es una desviación que un regulador P no puede superar. La desviación resultante procede de la función básica de un regulador P.

Para conseguir una desviación mínima es importante que el dispositivo de regulación (la válvula) se diseñe de forma que la salida (y) del regulador pueda controlar el proceso para que equivalga a la carga media estándar. Entonces la desviación siempre será lo más pequeña posible y con el tiempo se aproximará a cero.

Características de ajuste del controlador P

P es el componente control primario. En la mayoría de los casos, P creará un desequilibrio permanente que puede ser pequeño e insignificante, o también inaceptablemente grande. Sin embargo, un control P es mejor que ninguno (sin realimentación, sin circuito cerrado).

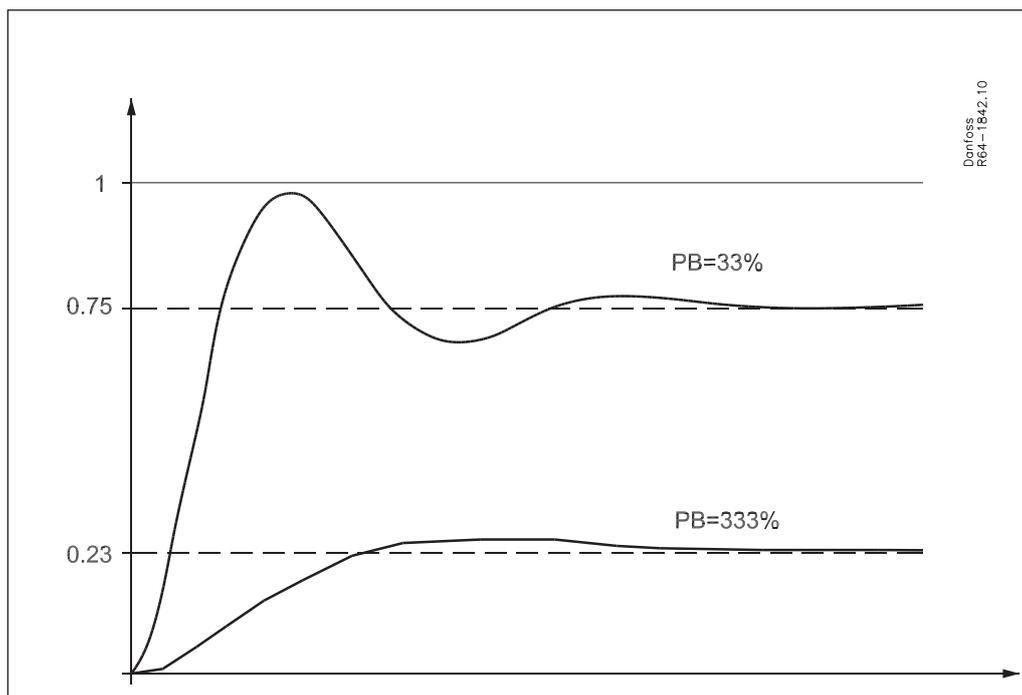
El cambio de PB tiene dos efectos importantes:

- Un PB más pequeño (amplificación más grande) ofrece un menor desequilibrio (es decir, mejor efecto contra cambios de carga), pero también una mayor tendencia a fluctuaciones.
- Una banda P más grande (amplificación más pequeña) ofrece un mayor desequilibrio, pero también una menor tendencia a fluctuaciones.

- Un PB más pequeño significa que, teóricamente, el control está llegando a la operación ON/OFF.

El esquema presentado a continuación es de validez universal para un circuito con control P directo.

Muestra las respuestas diferentes por un circuito que tiene $PB = 33\%$ y $PB = 333\%$ cuando el circuito con control P influido por SP se cambia en +1 unidad.



17.2
Control modulante
(continuación)

Controlador I

La característica más importante de un controlador I es que elimina la desviación, y es por eso por lo que se usa. El controlador I continúa cambiando su salida mientras que existe desviación. Sin embargo, la posibilidad de eliminar completamente la desviación está directamente relacionada en la práctica con que esté correctamente proporcionado.

Esta buena propiedad del controlador I para eliminar la desviación también tiene una cara

negativa: aumenta la tendencia a fluctuaciones en un circuito de control. Básicamente, la tendencia a fluctuaciones es peor para un controlador I que para un controlador P.

La neutralización de los cambios de carga es más lenta para un controlador I que para un controlador P.

Controlador PI

La combinación de las ventajas y desventajas de ambos, P e I, permite que sea ventajoso combinar P e I en un controlador PI.

En un controlador PI es posible ajustar: PB y T_i. T_i se introduce normalmente en segundos o minutos.

Al introducir T_i, ha de alcanzarse un compromiso entre estabilidad y eliminación de la desviación.

Una disminución de T_i (mayor influencia de la integración) significa una eliminación más rápida de la desviación, pero también una mayor tendencia al aumento de las fluctuaciones.

Controlador D

La característica más importante de un controlador D (derivativo) es que puede reaccionar a los cambios. Esto también significa que si existe una desviación constante, un controlador D no será capaz de realizar ninguna acción para eliminar la desviación. El componente D hace que el sistema responda rápidamente ante cambios de carga.

El efecto de D mejora la estabilidad y aporta rapidez al sistema. Esto no afecta de ningún modo a la desviación, pero reduce la tendencia a fluctuaciones. D reacciona a los cambios de error y el circuito reacciona más rápido contra los cambios de carga que sin D. La reacción rápida a los cambios significa una amortiguación de todas las fluctuaciones.

En controladores con influencia de D, T_d se puede ajustar. T_d se introduce normalmente en segundos o minutos.

Debe recordarse no introducir un T_d demasiado grande, ya que la influencia al cambiar, por ejemplo, el valor SP, sería demasiado drástica. Durante el arranque de plantas, puede ser ventajoso eliminar simplemente la influencia de D. (T_d = 0)

Lo mencionado anteriormente significa que un controlador D nunca se usará de forma aislada. Es típico usar una combinación como PD o PID por su capacidad para amortiguar fluctuaciones.

Controlador PID

La combinación de los tres componentes dentro de un controlador PID ha llegado a ser de uso general.

Las directrices generales/propiedades de un controlador PID son:

- PB reducido, que mejora la desviación (menos desviación), pero empeora la estabilidad.
- Componente I, que elimina la desviación. Un I mayor (menor T_i) da lugar a una eliminación más rápida de la desviación.

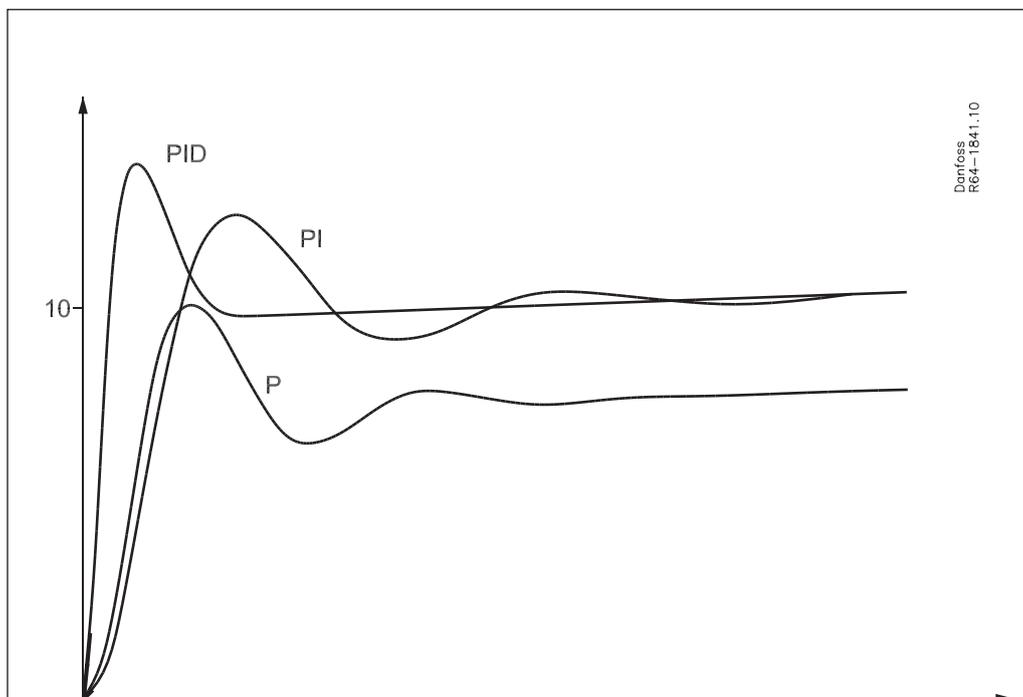
- Componente I, que aumenta la tendencia a fluctuaciones.
- Componente D, que amortigua la tendencia a fluctuaciones y hace el control más rápido. Un D mayor (mayor T_d) da lugar a una mayor influencia sobre lo anterior, no obstante, hasta un límite específico. Un T_d demasiado grande significa una reacción demasiado fuerte a los cambios repentinos y la inestabilidad del circuito de control.

17.2
Control modulante
(continuación)

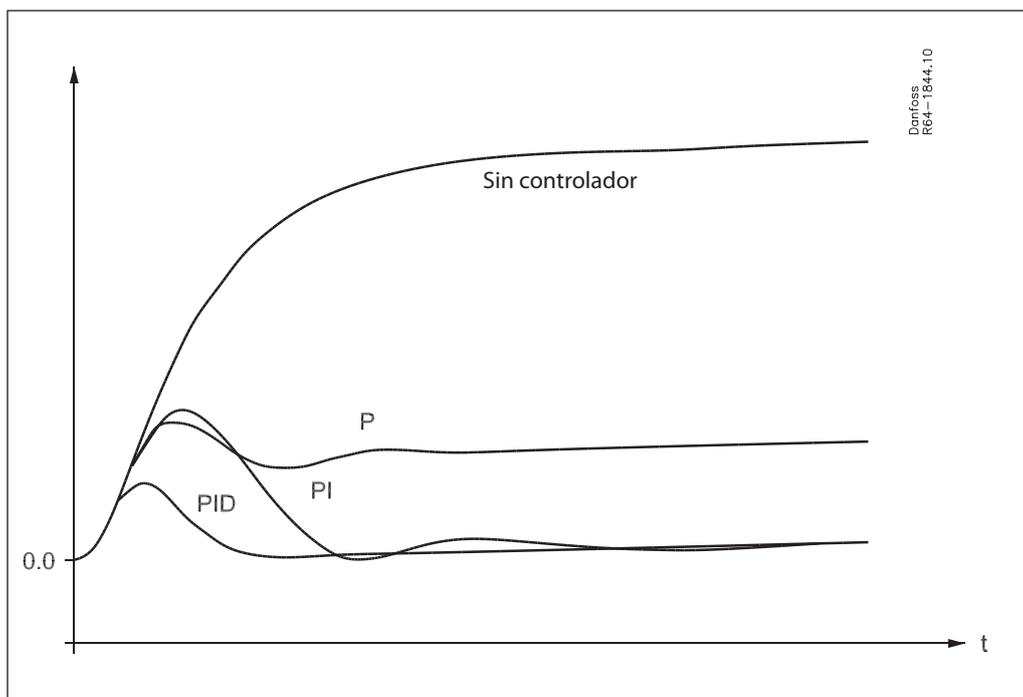
Curvas de estado transitorio típicas para un controlador PID, 1: configuración de PID óptima

Parámetros:

	PB	T _i	T _d
P	66,7 %	-	-
PI	100 %	60 s	-
PID	41,7 %	40 s	12 s



La figura anterior representa los diferentes principios de control cuando la influencia de SP se cambia en +1 unidad.



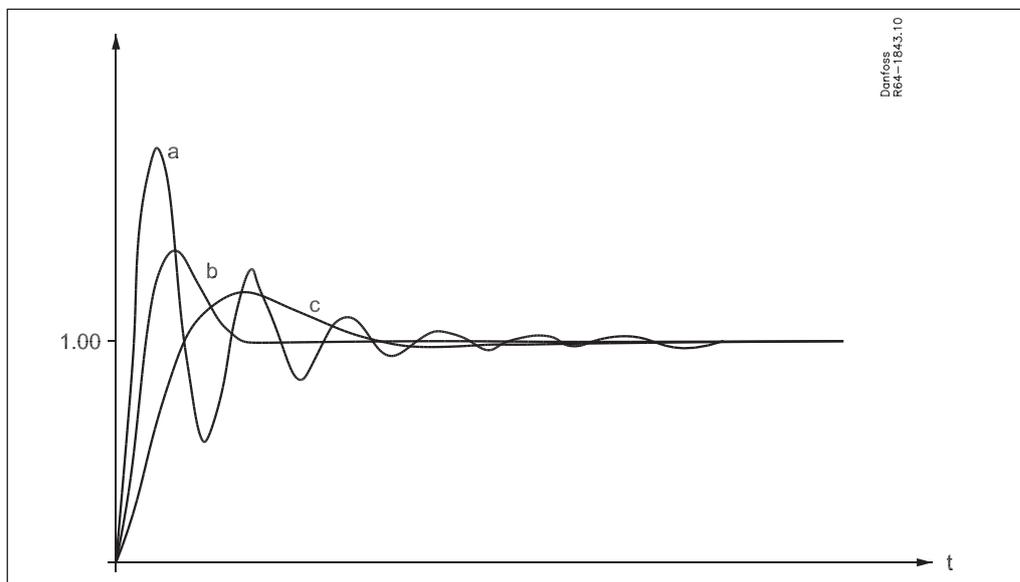
Configuración similar a la anterior. Expuesto a un cambio de carga de 1.

17.2
Control modulante
(continuación)

Curvas de estado transitorio típicas para un controlador PID, 2: cambio de PB

Parámetros:

	PB	T _i	T _d
PID-a	25,0 %	40 s	12 s
PID-b	41,7 %	40 s	12 s
PID-c	83,3 %	40 s	12 s



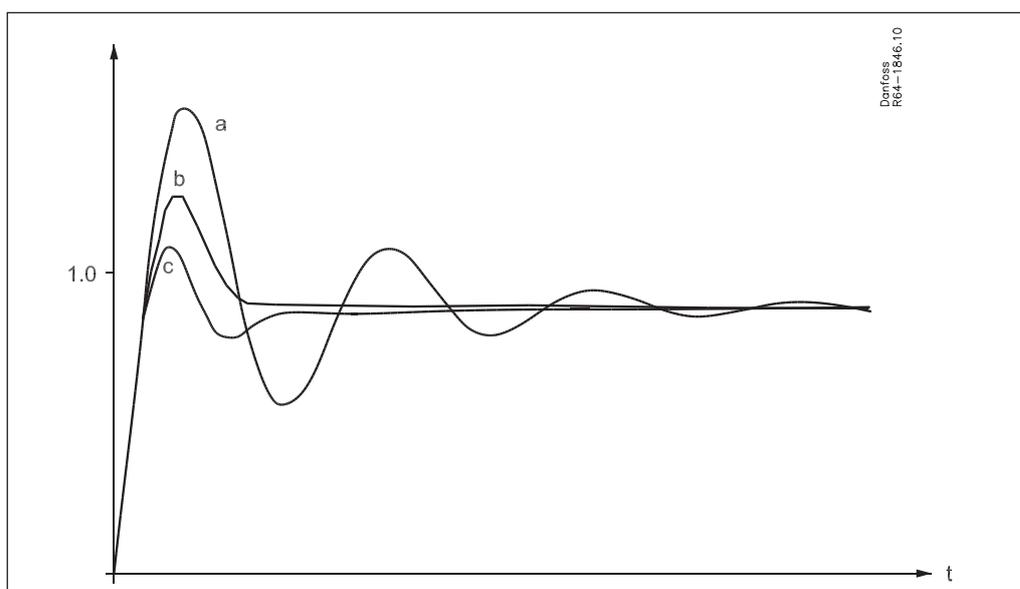
La figura anterior representa la variación de PB de un control PID cuando la influencia de SP se cambia en +1 unidad. Ello demuestra que cuando PB es demasiado pequeño, los sistemas

se hacen más inestables (oscilatorios). Cuando PB es demasiado grande, los sistemas se hacen demasiado lentos.

Curvas de estado transitorio típicas para un controlador PID, 3: cambio de T_i

Parámetros:

	PB	T _i	T _d
PID-a	41,7 %	20 s	12 s
PID-b	41,7 %	40 s	12 s
PID-c	41,7 %	120 s	12 s



La figura anterior representa la variación del T_i de un control PID cuando la influencia de SP se cambia en +1 unidad. Ello demuestra que

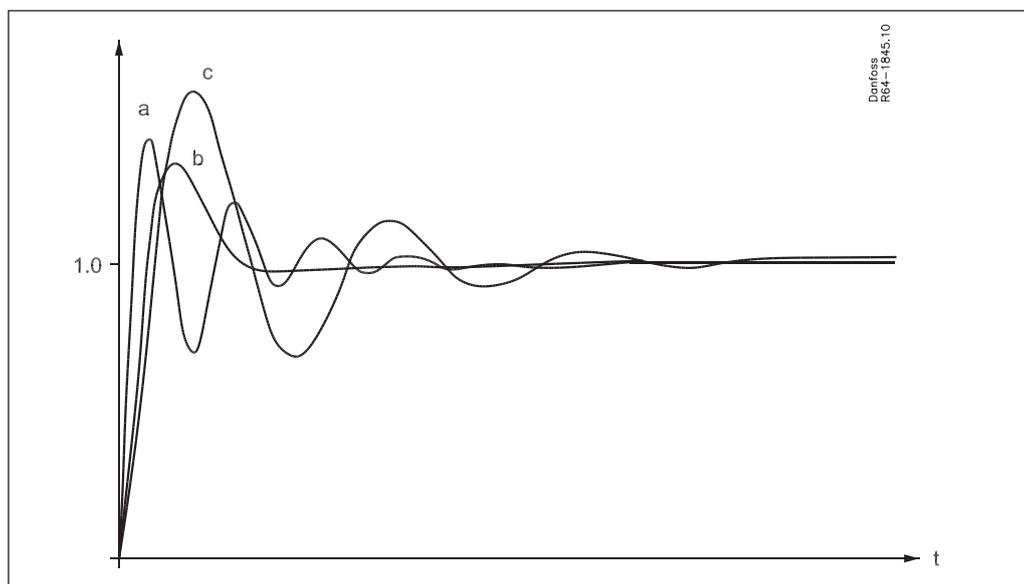
cuando T_i es demasiado pequeño, los sistemas se hacen más inestables (oscilatorios). Cuando T_i es demasiado grande, se necesita mucho tiempo para eliminar la última desviación.

17.2
Control modulante
(continuación)

Curvas de estado transitorio típicas para un controlador PID, 4: cambio de T_d

Parámetros:

	PB	T _i	T _d
PID-a	41,7 %	40 s	24 s
PID-b	41,7 %	40 s	12 s
PID-c	41,7 %	40 s	6 s



La figura anterior representa la variación del T_d de un control PID cuando la influencia de SP se cambia en +1 unidad. Ello demuestra que cuando

T_d es demasiado pequeño o demasiado grande en comparación con el valor óptimo ($T_d = 12$), los sistemas se hacen más inestables (oscilatorios).

Lista alfabética de documentos de referencia

Tipo	Título	Folleto técnico/ manual	Instrucciones del producto	
AKD 102	Convertidor de frecuencia	PD.R1.B	MG11L	
AKS 21	Sensor de temperatura	RK0YG	RI14D	
AKS 32R	Transmisor de presión		PI.SB0.A	
AKS 33	Transmisor de presión	RD5GH	PI.SB0.A	
AKS 38	Interruptor de flotador	PD.GD0.A	PI.GD0.A	
AKS 4100/4100U	Sensor de nivel de líquido	PD.SC0.C	PI.SC0.D	PI.SC0.E
AKVA	Válvula de expansión electrónica	PD.VA1.B	PI.VA1.C	PI.VA1.B
AMV 20	Actuador controlado de tres puntos	ED95N	EI96A	
BSV	Válvula de seguridad	PD.IC0.A	PI.IC0.A	
CVC-XP	Válvulas piloto para válvula principal servoaccionada	PD.HN0.A	PI.HN0.A	
CVC-LP	Válvulas piloto para válvula principal servoaccionada	PD.HN0.A	PI.HN0.M	
CVP	Válvulas piloto para válvula principal servoaccionada	PD.HN0.A	PI.HN0.C	
CVPP	Válvulas piloto para válvula principal servoaccionada	PD.HN0.A	PI.HN0.C	
CVQ	Válvulas piloto para válvula principal servoaccionada	PD.HN0.A	PI.VH1.A	
DCR	Filtro secador	PD.EJ0.A	PI.EJ0.B	
DSV	Válvula de tres vías (para válvula de seguridad)	PD.IE0.A	PI.IE0.A	RI.7D.A
EKC 202	Controlador para control de temperatura	RS8DZ	RI8JV	
EKC 315A	Controlador para control de evaporador industrial	RS8CS		
EKC 331	Controlador de capacidad	RS8AG	RI8BE	
EKC 347	Controlador de nivel de líquido	PS.G00.A	PI.RP0.A	
EKC 361	Controlador para control de temperatura del medio	RS8AE	RI8BF	
EVM	Válvulas piloto para válvula principal servoaccionada	PD.HN0.A	PI.HN0.N	
EVRA / EVRAT	Válvula solenoide	PD.BM0.B	PI.BN0.L	
FA	Filtro	PD.FM0.A	PI.FM0.A	
FIA	Filtro	PD.FN1.A	PI.FN1.A	
GD	Sensor de detección de gas	PD.S00.A	PI.S00.A	
GPLX	Válvula de cierre accionada por gas	PD.B00.A	PI.B00.A	
HE	Intercambiador de calor	PD.FD0.A	PI.FD0.A	
ICF	Solución de control	PD.FT1.A	PI.FT0.C	
ICM / ICAD	Válvula motorizada	PD.HT0.B	PI.HT0.A	PI.HT0.B
ICS	Válvula servoaccionada	PD.HS2.A	PI.HS0.A	PI.HS0.B
KDC	Válvula de descarga para compresor	PD.FQ0.A	PI.FQ0.A	
LLG	Visor de nivel de líquido	PD.GG0.A	PI.GG0.A	
MLI	Visor de líquido	PD.GH0.A	PI.GH0.A	
MP 55 A	Control de presión diferencial	PD.CG0.B	PI.CG0.E	
NRVA	Válvula de retención para amoníaco	PD.FK0.A	PI.FK0.A	
OFV	Válvula de alivio	PD.HQ0.A	PI.HX0.B	
ORV	Válvula de regulación de aceite	PD.HP0.B	PI.HP0.A	
PMFL / PMFH	Regulador modulante de nivel de líquido	PD.GE0.C	PI.GE0.D	PI.GE0.A
ICLX	Válvula solenoide de dos etapas ON/OFF	PD.HS1.A	PI.HS1.A/B	
POV	Válvula de seguridad interna accionada por piloto	PD.ID0.A	PI.ID0.A	
QDV	Válvula de drenaje de aceite de cierre rápido	PD.KL0.A	PI.KL0.A	
REG-SA/SB	Válvula de regulación manual	PD.KM1.A	PI.KM1.A	
RT 107	Termostato diferencial	PD.CB0.A		
RT 1A	Control de presión, control de presión diferencial	PD.CB0.A	RI5BC	
RT 260A	Control de presión, control de presión diferencial	PD.CB0.A	RI5BB	
RT 5A	Control de presión, control de presión diferencial	PD.CB0.A	RI5BC	
SCA-X	Válvula de cierre y retención	PD.FL1.A	PI.FL1.A	
SFA	Válvula de seguridad	PD.IF0.A	PI.IB0.A	
SGR	Visor de líquido	PD.EK0.A	PI.EK0.A	
SNV	Válvula de cierre de aguja	PD.KB0.A	PI.KB0.A	
SV 1-3	Regulador modulante de nivel de líquido	PD.GE0.B	PI.GE0.C	
SV 4-6		PD.GE0.D	PI.GE0.B	
SVA-S/L	Válvula de cierre	PD.KD1.A	PI.KD1.A	
TEA	Válvula de expansión termostática	PD.AJ0.A	PI.AJ0.A	
TEAT		PD.AU0.A	PI.AU0.A	
VM 2	Válvula de presión equilibrada	ED97K	VIHBC	
WVS	Válvula de agua	PD.DA0.A	PI.DA0.A	

Para descargar la versión más reciente de los documentos, visite el sitio web de Danfoss.

Gama Flexline™ de Danfoss

Sencillez. Eficiencia. Flexibilidad.

Diseñada para proporcionar una simplicidad inteligente, la máxima eficiencia y una avanzada flexibilidad, la serie Flexline™ se compone de tres populares categorías:



ICV Flexline™
Control valves and solenoid valves



ICF Flexline™
Valve stations



SVL Flexline™
Line components

Todos los productos se basan en un diseño modular; la carcasa no incorpora ninguna función. Este tipo de configuración minimiza la complejidad durante las etapas de diseño, instalación, puesta en marcha y mantenimiento. Todo ello está destinado a reducir los costes totales asociados al ciclo de vida y proporcionar el máximo ahorro.

Experiencia internacional

Soporte local

Más de 60 años de experiencia en la fabricación de válvulas y controladores para aplicaciones de refrigeración industrial convierten a Danfoss en un sólido colaborador al que recurrir para el suministro de componentes de calidad.

Nuestra profesionalidad a nivel internacional, combinada con el soporte local que prestamos, ponen a su alcance los productos y servicios de mayor calidad del mercado.