

Desescarche por gas caliente mareando el gas.

F. Sanz¹, Ibón Vadillo²

1 Danfoss S.A. C/ Caléndula nº 93. Edificio I – Minipark III 28109 Alcobendas (Madrid) email.: felix.sanz@danfoss.com

2 Danfoss S.A. C/ Caléndula nº 93. Edificio I – Minipark III 28109 Alcobendas (Madrid) email.: ibon.vadillo@danfoss.com

Resumen: Esta ponencia analiza uno de los distintos sistemas para fundir el hielo acumulado en los evaporadores.

El trabajo intenta acotar las condiciones de funcionamiento durante el desescarche por gas caliente para mejorar los acoplamientos entre componentes y reducir costes.

Este sistema solo es válido en sistemas 1:1 (1/2 evaporadores y 1 compresor).

Es importante tomar conciencia de precauciones, como puede ser, evitar los retornos de líquido al compresor, evitar que se mezclen gases o líquidos caliente con líquido fríos reduciendo los fenómenos de implosión y colapso de vapor, evitar golpes de presión por arrastre de líquido al abrir en las líneas de vapor las válvulas de solenoide cuando están sometidas a una gran diferencia de presión, así como evitar la expansión de líquido en la línea de aspiración.

La ventaja fundamental respecto al desescarche eléctrico es que actúa directamente en los mismos puntos donde se acumula el hielo, ya que el gas caliente sigue el mismo camino que el refrigerante al evaporarse. Esto le hace más efectivo que el desescarche eléctrico consumiendo menos de energía.

La generación de la caída de presión en el ciclo de desescarche antes de la entrada en el evaporador, es la parte más importante para el correcto funcionamiento.

El desescarche por gas caliente mareando el gas, no es una solución energéticamente óptima, pero es válida y aporta rapidez y economía en el desescarche. Solo la precaución de una selección correcta de los componentes utilizados es suficiente para un funcionamiento correcto y sin problemas.

Palabras clave: Desescarche, gas caliente, control, golpes de líquido, solenoide.

1. INTRODUCCIÓN

Para conocer el proceso de desescarche es necesario entender los mecanismos de formación y fusión del hielo, así como todos los elementos involucrados en dichos procesos. En las páginas siguientes se explican conceptos sobre dichos mecanismos a la vez que se analizan circuitos con desescarches especiales.

En los equipos de refrigeración, existen distintos sistemas para fundir el hielo acumulado en los evaporadores. Resistencias eléctricas, por circulación de aire o agua, o por circulación de gas caliente. Se analizará el método de desescarche por gas caliente mareando el gas.

2. FORMACIÓN DEL HIELO

En un evaporador de aire de tiro natural o forzado se tienen dos fluidos. El refrigerante, y el aire con su correspondiente contenido de humedad. La formación de escarcha, nieve o hielo dependerá de las condiciones internas y externas del evaporador.

La cantidad de agua es calculable en función de la humedad relativa y temperatura. Como en el interior del evaporador la temperatura suele ser menor a la de rocío del agua (punto en el cual el agua comienza a condensar), el agua condensa en el exterior del evaporador. Si además la temperatura en el interior es inferior a cero grados, lo cual es muy normal, el agua condensada se congela formando escarcha, nieve o hielo.

Cuando comienza el proceso de formación de hielo, lo primero que se produce es escarcha en la superficie de los tubos y aletas. La escarcha está formada por una multitud de cristales que incrementan de forma sustancial la superficie de intercambio de calor, y en un principio mejoran la transmisión de calor. Posteriormente, según aumenta el volumen de escarcha acumulado, disminuye drásticamente la velocidad del aire a través de las aletas perdiéndose potencia frigorífica. Cuando esto sucede, esta escarcha o nieve se debe fundir con el aire de circulación parando la inyección, y cuando ya está fundida, volver a inyectar para congelar rápidamente el agua líquida remanente

formando un hielo denso y buen transmisor del calor.

Cuando la temperatura de evaporación es bastante inferior a cero grados, el proceso de formación de escarcha y nieve casi no se manifiesta y se produce directamente hielo denso.

Todo esto afecta al funcionamiento del evaporador disminuyendo la transmisión de calor del exterior del evaporador al interior. Por un lado el hielo se coloca sobre el tubo y aletas del evaporador como si de un aislante térmico se tratase, y por otro lado ocupa un volumen junto a las aletas reduciendo la sección de paso del aire, con lo cual se reduce el caudal de aire a través del evaporador. En este punto deberá considerarse la calidad de los ventiladores, ya que si la curva de caudal y pérdida de presión del evaporador es muy plana (baja calidad) entonces el caudal de aire se reduce considerablemente perjudicando doblemente a la refrigeración.

El hielo, disminuye la transmisión de calor del exterior del evaporador al interior. Es un aislante térmico y reduce el caudal de aire a través del evaporador. Si el hielo no se elimina, el producto termina estropeándose.

En la práctica salvo los sistemas de desescarche adaptativos con balances energéticos, el desescarche se ejecuta de forma experimental ajustando un número de desescarches cada cierto tiempo, con una duración máxima definida y un corte del aporte de calor cuando se ha alcanzado una temperatura positiva en las aletas o tubos del evaporador entre los 5-8°C.

3. DESECARCHE POR GAS O LÍQUIDO CALIENTE

El sistema de desescarche por gas caliente es el sistema más complejo, pero energéticamente es el método más interesante.

La fuente de calor en estos sistemas, es el calor presente en los gases de descarga, en el gas tomado del recipiente o en el líquido que sale del recipiente.

De forma general se puede decir que al no utilizar una fuente de calor externa, no es necesario gastar dinero para realizar el desescarche excepto el de la inversión inicial. Es necesario que el compresor esté en funcionamiento y que ciertos servicios estén produciendo frío a la vez que en otros durante el desescarche se produce la condensación del refrigerante. En sistemas individuales esto se verá convertido en una bomba de calor reversible. La excepción, la presenta el desescarche por gas caliente mareando el gas, donde el calor de desescarche es básicamente igual al consumo del compresor.

En todos los circuitos de desescarche por gas caliente es muy difícil evitar cambios bruscos de temperaturas en el evaporador con la correspondiente fatiga térmica que puede ocasionar en los materiales, y no es fácil evitar la mezcla de gas caliente con líquido frío cuando comienza el desescarche. La mezcla de gas muy caliente con líquido frío puede producir una vaporización brusca de parte del líquido con micro explosiones e incrementos locales de presión, así como condensación súbita del vapor con micro-colapsos, que pueden afectar al funcionamiento y vida de los equipos utilizados en la instalación.

Para reducir posibles retornos de líquido, micro-explosiones y micro-colapsos, se deberán realizar determinadas temporizaciones en los procesos de apertura y cierre de válvulas, tal y como se realiza en las inversiones de ciclo de bombas de calor reversible.

Para reducir las influencias negativas de las dilataciones por los cambios de temperatura, se pueden montar bucles en tramos rectos de la tubería, que permiten el movimiento en tres direcciones.

3.1. Desescarche por gas caliente en sistemas individuales 1:1

En sistemas 1:1 (1 evaporador/1 compresor), el desescarche por gas caliente se hace con una inversión de ciclo donde el condensador se transforma en evaporador y el evaporador en condensador.

En este caso se utiliza el calor sensible del vapor y el calor latente de condensación. La realización de la inversión del ciclo de refrigeración se ejecuta por medio de un juego de válvulas de dos, tres o

cuatro vías. El esquema frigorífico es el mismo que en las bombas de calor reversibles. En estos circuitos el calor necesario para fundir el hielo, procede del calor robado en un intercambiador de calor al ambiente más el producido en el compresor como muestra la figura 2.

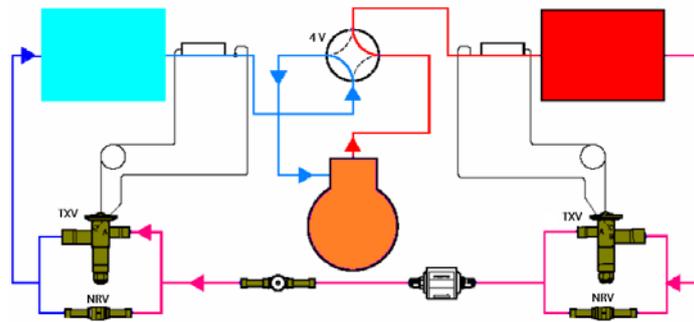


Figura 1. Desescarche por inversión de ciclo. Circuito

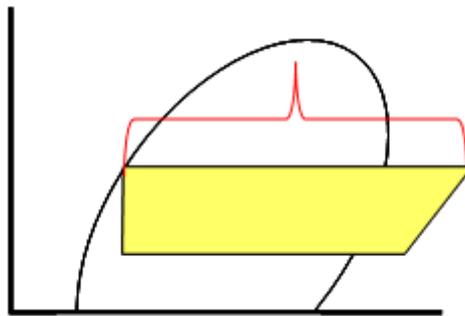


Figura 2. Desescarche por inversión de ciclo. Calor utilizado

Es interesante seguir la circulación del refrigerante en el circuito de la figura 1.

Cuando el circuito está produciendo frío de forma normal, el gas de descarga del compresor pasa al condensador del cual sale en forma de líquido y tras pasar por la válvula de retención (NRV) que se encuentra en paralelo a una termostática (TXV) llega al filtro deshidratador-antiácido y al visor, de donde al no poder pasar a través de la válvula de retención NRV lo hace por la segunda válvula de expansión (TXV), llegando al evaporador donde el líquido se evapora y es aspirado por el compresor.

Cuando se produce el desescarche por gas caliente, el ventilador de la cámara se para y la válvula de 4 vías (4 V) cambia el sentido de circulación del gas de forma que la descarga se dirige a lo que antes era evaporador y en el cual, está acumulado el hielo. En este lugar el gas caliente transmite su calor al hielo. El hielo funde y el gas condensa. El gas, ya condensado, continúa su recorrido hacia la salida de la batería por la válvula de retención (NRV) conectada en paralelo a la válvula termostática. Tras pasar por el visor y el filtro deshidratador llega a la válvula de expansión y entra en el evaporador (antes era condensador) donde tras evaporarse, pasa al compresor.

Otra forma muy habitual de desescarche por gas caliente en sistemas 1:1 es mareando el gas caliente.

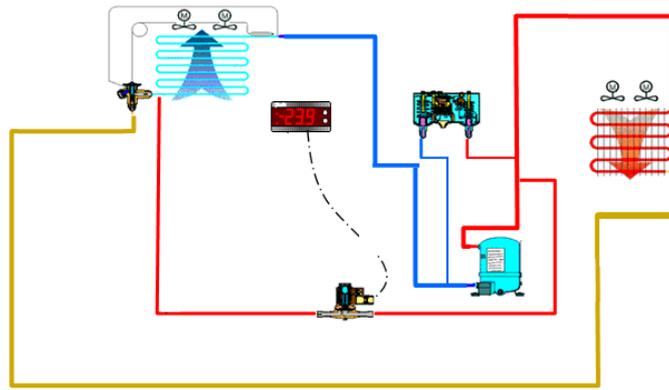


Figura 3. Gas caliente mareando el gas. Circuito

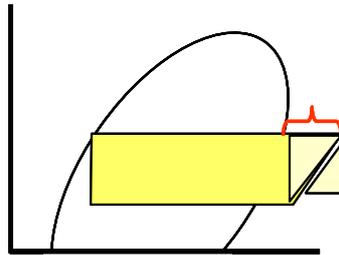


Figura 4. Gas caliente mareando el gas. Calor utilizado

La idea es muy sencilla y consiste en conectar la descarga de gas caliente del compresor a la entrada del evaporador con hielo. La entrada de gas caliente se realiza por la entrada al evaporador después del sistema de expansión (capilar, válvula de expansión termostática o electrónica). La figura 3 muestra un circuito con desescarche mareando el gas que emplea solamente el calor producido en el compresor como efecto de la compresión tal como muestra la figura 4.

3.2. Desescarche por gas caliente mareando el gas

Este sistema solo es válido en sistemas 1:1 (1/2 evaporadores y 1 compresor).

Al no utilizar el calor latente de condensación no es muy interesante energéticamente ya que no ahorra apenas energía, y prácticamente sirve para decir que se hace desescarche por gas caliente.

La ventaja fundamental respecto al desescarche eléctrico es que dado que el gas caliente sigue el mismo camino que el refrigerante al evaporarse, actúa directamente en los mismos puntos donde se acumula el hielo. No tiene que calentar otras partes antes de llegar al hielo. Esto le hace más efectivo que el desescarche eléctrico consumiendo algo menos de energía que el desescarche eléctrico.

La instalación es más sencilla y reducida ya que solo consta de una válvula de solenoide adicional en la línea que une la descarga del compresor con la entrada del evaporador como en la figura 5.

La orden de ejecución para realizar el desescarche la realiza un controlador, termostato, autómatas, etc. el cual utiliza cualquiera de los sistemas de inicio por temporizaciones fijas, por tiempo de inyección acumulado, por diferencias de temperaturas o por cualquiera de los sistemas inteligentes existentes. La finalización del desescarche se realiza en base a una sonda de temperatura.

El circuito básico, figura 3, nos muestra que durante la refrigeración, al estar cerrada la válvula de solenoide de gas caliente, el líquido del condensador pasara a través del sistema de expansión y tras convertirse en vapor, produciendo el frío requerido en el evaporador, llega al compresor.

Sin embargo durante el proceso de desescarche, al estar abierta la válvula de solenoide de gas caliente se establece una doble circulación. Una principal de gas caliente por la línea de descarga, evaporador y vuelta al compresor y otra difícil de determinar de líquido a través del condensador y sistema de expansión. Este líquido se mezcla con el gas caliente y junto a él alcanzara el compresor

bien en estado de vapor o de líquido.

Junto con la configuración básica indicada, existen otras configuraciones bastante habituales en los circuitos con desescarche por gas caliente mareando el gas como son circuitos que incluyen separadores de aspiración, limitadores en la presión de aspiración para proteger al compresor de presiones de aspiración elevadas o reguladores de presión de aspiración con bypass de gas caliente

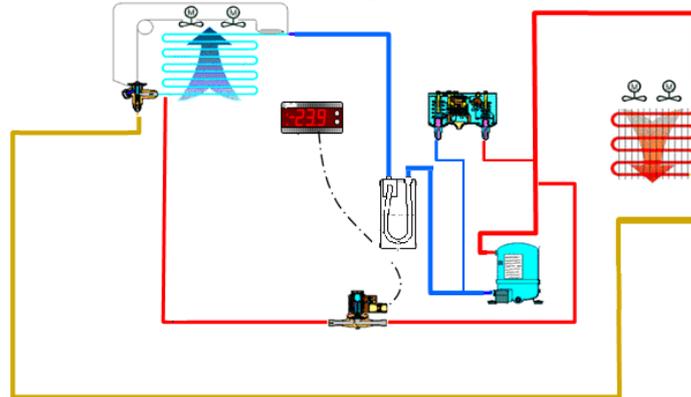


Figura 5. Separador de aspiración.

La figura 5, muestra la instalación de un separador de aspiración antes del compresor, el cual minimiza los problemas de retornos de líquido. El separador de aspiración regula la entrada de líquido de forma lenta al compresor de forma que evaporándose con el calor del aceite del cárter puede no dañar al compresor.

La figura 6, muestra el desescarche por gas caliente con una reguladora de presión de aspiración. Es un circuito de desescarche curioso, consistiendo en un bypass de gas caliente de la tubería de descarga a la entrada del evaporador con una válvula reguladora de la presión de aspiración, de forma que asegura la entrada de gas caliente mientras la presión de aspiración sea inferior al valor ajustado equivalente a 5-8°C.

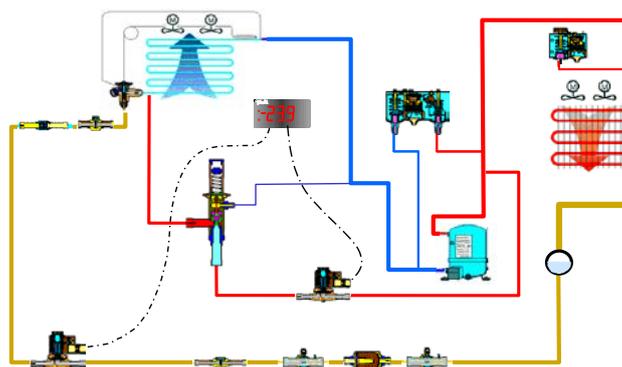


Figura 6. V. reguladora de presión.

Dado que las reguladoras de presión no suelen ser válvulas de cierre hermético, debe ir acompañada de una válvula de solenoide para que cierre el paso al gas caliente durante los ciclos de refrigeración.

La figura 7, muestra el desescarche por gas caliente con una válvula limitadora de la presión de aspiración que protege al compresor para evitar sobrecargas térmicas.

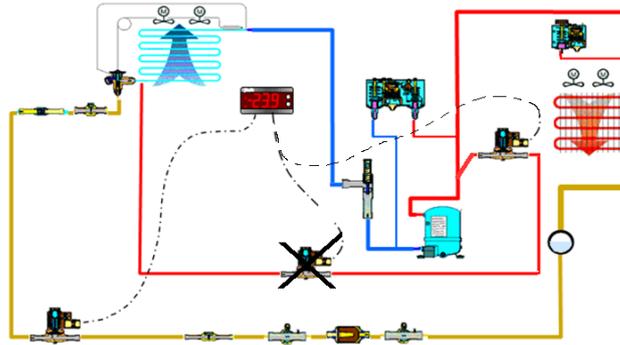


Figura 7. V. limitadora de presión. Ubicación solenoide

Esta válvula está colocada en el circuito de refrigeración para proteger al compresor y durante el desescarche está presente interfiriendo en el funcionamiento del ciclo de desescarche.

Durante el funcionamiento normal en ciclos de refrigeración, esta válvula reduce la presión del vapor de aspiración en un valor pequeño (caída de presión en la válvula inferior a 1-2 bar). Si el fluido a través de esta válvula es vapor, el estrangulamiento para proteger al compresor no genera dificultades.

Durante los ciclos de desescarche si a través de la válvula solo pasa vapor, no se producirá ningún problema incluso aunque la diferencia de presión sea superior a 2 bar. Sin embargo, si en el evaporador hay líquido al inicio del desescarche o se acumula líquido procedente de la condensación del vapor, este puede golpear y dañar partes internas de la válvula.

Simultáneamente se puede producir la expansión del líquido en el asiento de la válvula, siendo más acentuada cuanto mayor sea la diferencia de presión en ella. Este fenómeno de la expansión del líquido en la válvula, provoca vibraciones que pueden generar la rotura de su fuelle interno dejando de funcionar y produciéndose una fuga de refrigerante. El ajuste de presión de dicha válvula afecta al proceso de expansión descrito, lo que hace que en ocasiones simplemente ajustando una presión de aspiración más elevada el problema no llegue a manifestarse.

La línea de descarga hasta la válvula de solenoide, durante el funcionamiento en ciclo de refrigeración se llena de líquido, el cual golpea a la válvula de solenoide cuando se inicia el desescarche debido a la gran diferencia de presión que existe en ese instante. Por ello se recomienda que la tubería entre la línea de descarga del compresor y la válvula de solenoide sea lo más corta posible (figura 3 derecha).

5. DIAGRAMA DE MOLLIERE DURANTE EL DESESCARCHE POR GAS CALIENTE

La representación en el diagrama log P-H no estará completamente definido por no conocerse a priori las condiciones de trabajo. Las únicas condiciones introducidas para realizar el desescarche son que la temperatura en el evaporador para fundir el hielo sea superior a los 0°C, y para garantizar la fusión completa, que la temperatura en la salida del evaporador esté alrededor de 5°C.

Según el tipo de compresor, especialmente en los de baja temperatura de evaporación, se deberá incluir también una presión de aspiración máxima para evitar las sobrecargas que puedan dañar al compresor.

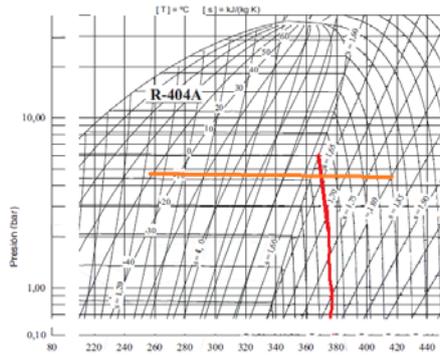


Figura 8. Límites de trabajo en el desescarche por gas caliente mareando el gas. Zonas de aspiración

La aspiración del vapor en el compresor deberá situarse por debajo de la presión de protección del compresor (línea marrón) y a la derecha de la isoterma de 0°C (línea roja).

En el caso del R404A, el punto de aspiración deberá estar a la derecha de la línea roja (isoterma de 0°C) y por debajo de la marrón (isobara de 4bar a -5,5°C)

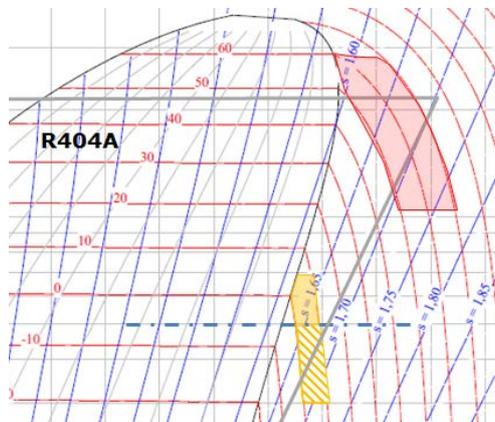


Figura 9. Límites de trabajo en el desescarche por gas caliente mareando el gas. Zonas de aspiración y descarga.

Partiendo de un punto en esta área, el compresor aumentará la presión del vapor. Aquí viene la segunda indefinición, ya que la presión en la descarga no está definida. Estará relacionada con las pérdidas de presión en tuberías y accesorios en el circuito de desescarche por gas caliente. Los componentes como tuberías de gas caliente, válvulas de solenoide, evaporador, línea de aspiración, separador de aspiración y válvulas limitadoras de la presión de aspiración son los encargados de crear esta diferencia de presión y deberán ser calculados para ello. Esta diferencia de presión deberá ser superior a la mínima permitida por el compresor 6,5 bar (P_c mínima 9,9bar/20°C menos la P_e máxima 3,4bar/-10°C), y sin exceder la ΔP de funcionamiento en frío, cuanto mayor sea, mejor.

La figura 9, muestra el área donde supuestamente se produce la aspiración (área amarilla rayada) y la zona de descarga (área roja).

La figura 10, muestra los límites para el ciclo de compresión durante el proceso de desescarche.

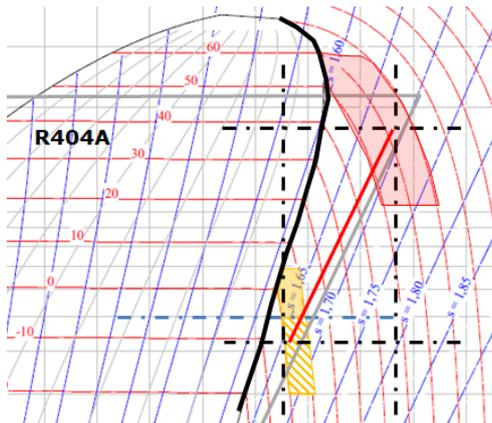


Figura 10. Límites teóricos para ciclo de trabajo por inversión de ciclo

La expansión del vapor desde la descarga a la aspiración pasando por el compresor se puede realizar por dos líneas límite (líneas azules) y por cualquier intermedia entre estas dos límites. La figura 11 izquierda, muestra las dos vías, una siguiendo la isobara hacia la izquierda y expansionando por la isoentálpica hasta el punto de aspiración y la otra vía con una primera expansión isoentálpica hasta alcanzar la presión de aspiración seguido de un enfriamiento isobárico del vapor hasta la temperatura de aspiración.

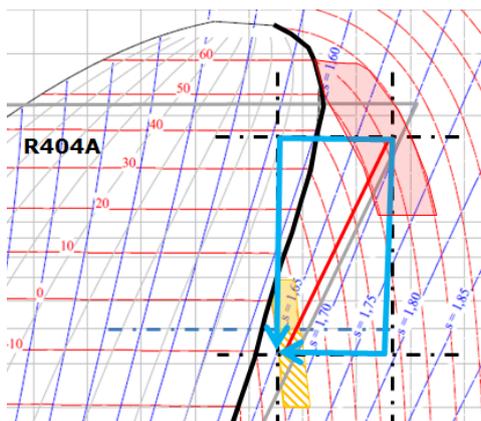


Figura 11. Límites ciclo desescarche. Líneas ciclo desescarche por inversión de ciclo.

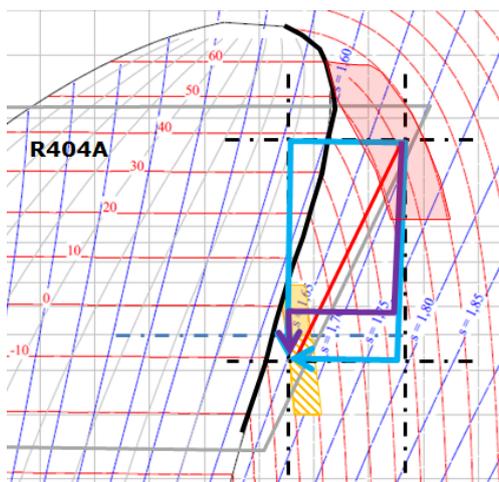


Figura 12. Límites ciclo desescarche. Líneas ciclo desescarche por inversión de ciclo.

El ciclo real (línea morada) muestra una pérdida de presión, en la línea de descarga y solenoide, antes de la transferencia de calor y otra pérdida de presión en la línea de aspiración.

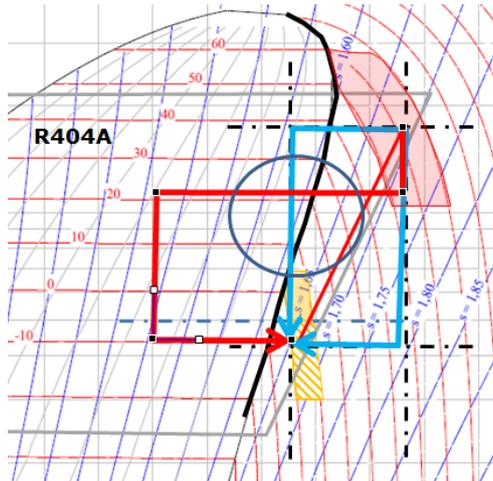


Figura 13. Límites ciclo desescarche. Líneas ciclo desescarche por inversión de ciclo.

Dependiendo de la ejecución y diseño del sistema, tal como muestran la figura 13, el ciclo real puede penetrar en gran medida en la zona de líquido/vapor produciéndose la condensación parcial del vapor, el cual llegara después a la zona de aspiración.

El líquido condensado puede expansionarse en la línea de aspiración cuando existe una válvula limitadora de la presión de aspiración y evaporarse creando un bloque de hielo externo, fuera del evaporador. Esta expansión es negativa para la vida de esta válvula. Como no está diseñada para expansionar líquido, las vibraciones que la expansión genera fatigan fuelles internos y llega a producirse su rotura con fuga de refrigerante.

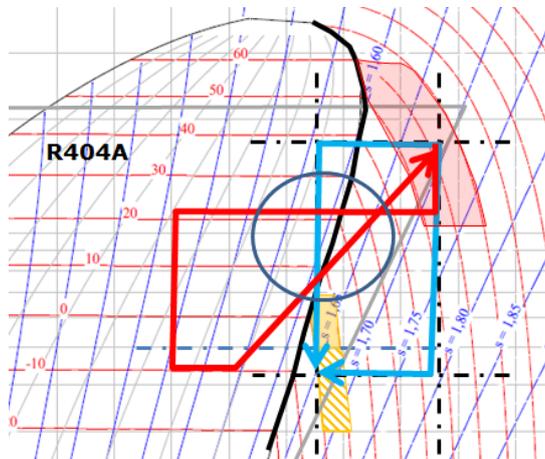


Figura 14. Límites ciclo desescarche. Líneas ciclo desescarche por inversión de ciclo.

También puede haber un retorno de líquido al compresor, como muestra la figura 14, la cual puede reducir sus efectos dañinos utilizando un separador de aspiración.

Analizadas esas figuras, se puede afirmar que cuanto mayor sea la expansión en la zona de descarga antes de la entrada del evaporador, donde se tiene que realizar el desescarche, es mejor. Aunque la temperatura de entrada pueda disminuir desde los 60-70 °C hasta los 50-40°C con una pérdida de presión superior a los 10 bar, el vapor tiene calor y temperatura suficiente para realizar el desescarche sin problemas. De esta forma se reducen las posibilidades de entrar dentro de la zona de líquido en el evaporador desapareciendo la necesidad de los separadores de aspiración y los problemas asociados en las válvulas limitadoras de presión.

6. SELECCIÓN DE LA VÁLVULA DE SOLENOIDE

Para realizar la pérdida en torno a 10 bar en la línea de descarga, deben colocarse válvulas cuyo diseño tolere estas caídas de presión. Las válvulas de solenoide con diafragma no son recomendables, ya que el diafragma está pensado para flotar en un fluido con reducidas pérdidas de presión (inferiores a 1 bar). Las válvulas de solenoide de accionamiento directo o de pistón son más adecuadas para esta aplicación. Otra forma interesante para generar esta caída de presión es realizar el desescarche con una válvula reguladora de la presión de aspiración (figura 3 central), la cual por diseño modula para mantener la presión en la aspiración creando la diferencia de presión que en cada instante se necesita entre el vapor de descarga y el de aspiración.

Para la selección de los componentes, es importante el uso de programas de software, ya que los catálogos no tienen capacidades para pérdidas de carga superiores a 1 bar en las válvulas de solenoide.

Para la selección correcta deberá incluirse un tramo de tubería desde el compresor hasta la solenoide, la válvula de solenoide, una tubería hasta la entrada del evaporador, una tubería que simule ser el evaporador, la tubería de aspiración y si existe la válvula limitadora de la presión de aspiración.

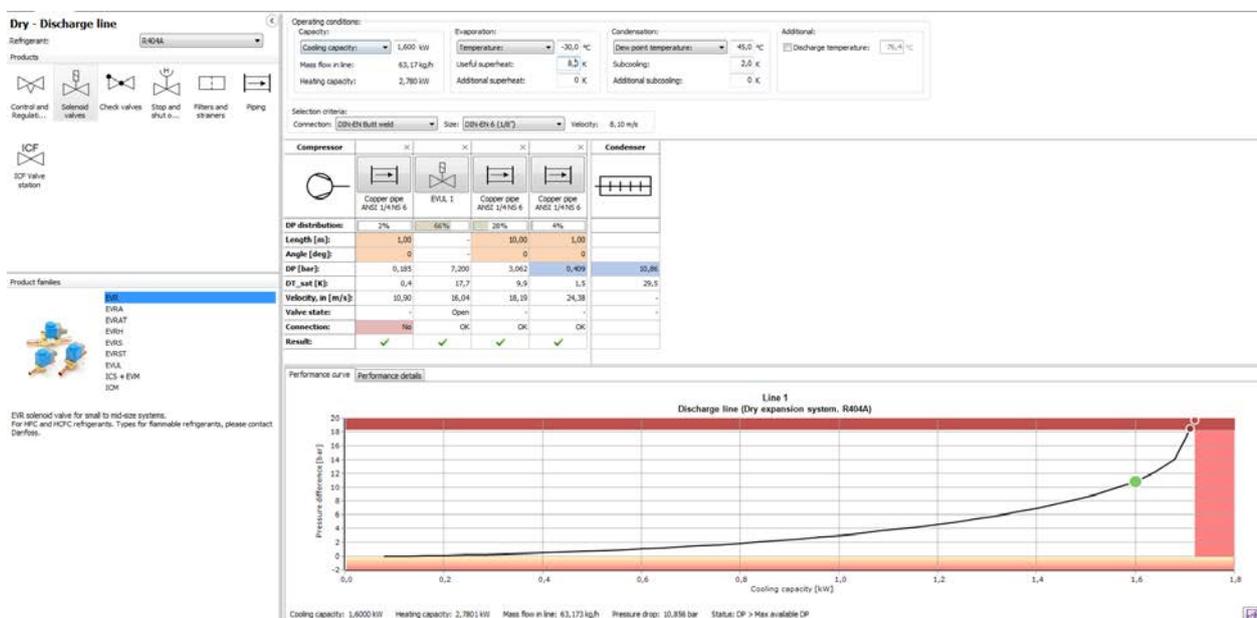


Figura 15. Ejemplo de análisis de líneas y válvula de solenoide de gas caliente.

La figura 15 muestra una análisis con el programa CoolSelector2 de Danfoss para un evaporador con una capacidad frigorífica de 1,6 kW con R404A a -30°C Te. y 45°C Tc. con un ΔP cercano a 11 bar.

7. CONCLUSIONES

El desescarche por gas caliente mareando el gas, si bien no es una solución energéticamente óptima, si es válida y aporta rapidez y economía en el desescarche. Solo la precaución de una selección correcta de los componentes utilizados es suficiente para un funcionamiento correcto y sin problemas.

8. REFERENCIAS

- SANZ F. y SANZ D. (2014) “Control de Refrigeración”. Editorial UNED. Madrid
SANZ F. y VADILLO I. (2016) “Hot gas bypass defrost” Congreso CYTEF. Coimbra